

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**Efeito do transporte com dose calmante de
óleo-de-cravo no comportamento alimentar e
agressivo de tilápia-do-Nilo**

Guilherme Trindade de Vasconcelos

Jaboticabal, São Paulo

2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**Efeito do transporte com dose calmante de
óleo-de-cravo no comportamento alimentar e
agressivo de tilápia-do-Nilo**

Guilherme Trindade de Vasconcelos

Orientador: Dr. Rodrigo Egydio Barreto

Tese apresentada ao Programa de
pós-graduação em Aquicultura do
Centro de Aquicultura da UNESP –
CAUNESP, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Doutor.

Jaboticabal, São Paulo

2024

V331e

Vasconcelos, Guilherme Trindade de

Efeito do transporte com dose calmante de óleo-de-cravo no comportamento alimentar e agressivo de tilápia-do-Nilo / Guilherme Trindade de Vasconcelos. -- Jaboticabal, 2024
129 f.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Centro de Aquicultura da Unesp, Jaboticabal

Orientador: Rodrigo Egidio Barreto

1. Aquicultura. 2. Criação de peixe. 3. Comportamento animal. 4. Cravo-da-Índia. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Centro de Aquicultura da Unesp, Jaboticabal.
Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

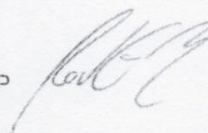
TÍTULO DA TESE: Efeito do transporte com dose calmante de óleo-de-cravo no comportamento alimentar e agressivo de tilápia-do-Nilo

AUTOR: GUILHERME TRINDADE DE VASCONCELOS

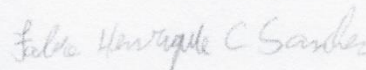
ORIENTADOR: RODRIGO EGYDIO BARRETO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Aquicultura, pela Comissão Examinadora:

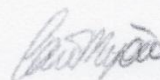
Prof. Dr. RODRIGO EGYDIO BARRETO (Participação Presencial)
Departamento de Biologia Estrutural e Funcional / IBB/Unesp, Botucatu-SP



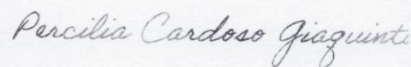
Prof. Dr. FÁBIO HENRIQUE CARRETERO SANCHES (Participação Virtual)
. / Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) - Campus Baixada Santista



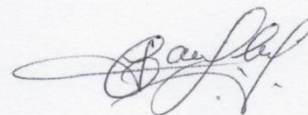
Prof. Dr. CAIO AKIRA MIYAI (Participação Virtual)
. / Instituto de Biociências do Litoral Paulista, UNESP, Campus São Vicente



Profa. Dra. PERCILIA CARDOSO GIAQUINTO (Participação Presencial)
Departamento de Biologia Estrutural e Funcional / IBB/Unesp, Botucatu-SP



Prof. Dr. HELTON CARLOS DELICIO (Participação Presencial)
Departamento de Biologia Estrutural e Funcional / IBB/Unesp, Botucatu-SP



Jaboticabal, 01 de março de 2024

DEDICATÓRIA

A Deus pela oportunidade de estar vivo, com saúde e realizar essa caminhada. Sou muito grato.

Ao meu pai João Xavier pescador da pesca industrial que passava meses em alto mar e hoje não está presente fisicamente, mas sei que está de alguma forma. Obrigado pela inspiração em me tornar Engenheiro de pesca.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Professor Rodrigo Egydio pelos ensinamentos e direcionamentos durante todo esse trabalho. Sou muito grato.

Aos membros da banca de defesa professora Percília Giaquinto, professor Helton Delício, professores Caio Miyai e Fabio Sanches pelas sugestões e contribuições grandiosas a esse estudo.

Ao Departamento de Biologia Estrutural e Funcional / IBB/Unesp, Botucatu-SP, que forneceu a infraestrutura necessária para a realização dos experimentos.

Aos colegas de laboratório: João Favero e Nina pelas conversas e ajudas durante essa jornada. A Renata Villas Boas pela convivência ao longo desse tempo. A todos muito obrigado.

A Luciana Spadotto pela grande ajuda nas questões do estágio de docência e assuntos burocráticos.

Ao David Laurent pela ajuda na resolução das questões burocráticas junto a secretaria da pós-graduação.

Ao Caunesp e todos os responsáveis pelo funcionamento da pós-graduação. Muito obrigado.

Aos meus ancestrais que me deram a bagagem para chegar até aqui. Gratidão.

A minha querida avó Maria Palheta pelo exemplo de força, determinação, Fé, descontração e alegria. Muito obrigado.

A minha querida, chic e maravilhosa mãe Sandra Aurora por ser exemplo de garra, coragem, sabedoria, alegria plena e amor a vida.

As minhas irmãs Tatiana Vasconcelos e Alexsandra Trindade por me inspirar a ser determinado e sempre ajudar o próximo.

A minha amiga e companheira Ângela Ferreira por todo apoio durante essa jornada.

Por fim, agradeço à agência de fomento CAPES pelo apoio essencial para realização deste estudo através da concessão de bolsa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, processo nº 88887.495536/2020-00.

SUMÁRIO

Dedicatória	
Agradecimentos	
Preâmbulo.....	2
Capítulo 1: Efeito do transporte com dose calmante de óleo-de-cravo no comportamento alimentar e agressivo de tilápia-do-Nilo.	4
Resumo.	4
Abstract.....	5
1. Introdução	6
2. Experimento 1: indução anestésica de tilápia-do-Nilo	9
2.1. Materiais e métodos.....	9
2.2. Resultados	11
3. Experimento 2: Concentrações potencialmente calmantes de óleo-de-cravo para o transporte: efeitos na reatividade natatória e alimentar.	12
3.1. Materiais e Métodos.....	12
3.2. Resultados	15
4. Experimento 3: Efeito da concentração calmante de óleo-de-cravo no comportamento alimentar e agressivo de tilápia-do-Nilo exposta ao transporte. ...	18
4.1. Materiais e Métodos.....	18
4.2. Resultados	20
5. Discussão.....	26
Referências.....	30
Capitulo 2: Efeitos dos anestésicos sintéticos e herbais no comportamento e fisiologia de peixes	36
Resumo.	36
Abstract.....	37
1. Introdução	38
2. Métodos	39
3. Anestésicos sintéticos.....	39
3.1. Benzocaína	39
3.2. MS-222	46
3.3. Metomidato.....	55
3.4. 2-Fenoxietanol.....	59
3.5. Propofol.....	62
4. Anestésicos herbais.....	66
4.1. Verbenaceae	66
4.2. Lamiaceae.....	74
4.3. Lauraceae	81
4.4. Myrtaceae	85
4.5. Outras famílias	94
5. Conclusões	104
6. Referências	111

Preâmbulo

Nas últimas décadas tem aumentado o interesse na saúde e bem-estar de peixes expostos rotineiramente a estímulos estressantes, algo comum aos manejos inerentes à aquicultura (biometria, manuseio e transporte). Nesse sentido, anestésicos podem ser usados para diminuir o nível de estresse e, possivelmente a mortalidade, associado a esses estressores. Na aquicultura é comum o uso de anestésicos sintéticos como a Benzocaína, o MS-222 e o metomidato. Recentemente, os óleos essenciais têm sido utilizados frequentemente em banhos de imersão e promovido efeito anestésico em peixes. O óleo essencial de cravo é um potencial anestésico alternativo aos sintéticos, porque promove rápida indução anestésica; tem preço menor e não causa alterações fisiológicas prejudiciais durante anestesia. Neste estudo, nós avaliamos se o óleo-de-cravo reduz os efeitos prejudiciais do transporte na tilápia-do-Nilo. Para isso, realizamos três testes experimentais, sendo eles: experimento 1, Indução anestésica de tilápia-do-Nilo com óleo-de-cravo; experimento 2, concentrações potencialmente calmantes de óleo-de-cravo para o transporte: efeitos na reatividade natatória e alimentar; e experimento 3, efeito da concentração calmante de óleo-de-cravo no comportamento alimentar e agressivo de tilápia-do-Nilo exposta ao transporte. Sendo este o primeiro capítulo desta tese. Nós utilizamos o transporte como estressor, porque é um procedimento comum no gerenciamento de peixes na aquicultura e é altamente estressante. Neste capítulo, inicialmente, realizamos testes com duas soluções alcóolicas de óleo-de-cravo em 50 e 100 mg/L para definir uma concentração que promovesse estágio II de anestesia (sem reflexo tátil, mas mantidos equilíbrio e batimentos operculares reduzidos) em até 180 s, um limite de tempo comumente tido como desejável para um anestésico ideal, pois evita efeitos maiores do próprio anestésico. No transporte de peixes deve-se utilizar concentrações não sedativas de anestésicos, para evitar consequências letais da anestesia. Baseado na avaliação anterior, utilizamos a concentração de 50 mg/L como referência para definir uma concentração calmante, que induz hiporeatividade, sem sedar. Assim, utilizamos concentrações de 0 mg/L, 0,5 mg/L ou 5 mg/L de solução alcóolica de óleo-de-cravo que, portanto, correspondem a 0%, 1% e 10% da concentração anestésica de 50 mg/L. A concentração de 5 mg/L

de óleo-de-cravo foi utilizada no transporte de juvenis de tilápia-do-Nilo, porque se mostrou adequada em termos de geração de hiporeatividade sem sedação. O óleo-de-cravo deprime o sistema nervoso central e permanece no corpo do animal gerando efeitos mesmo após efeitos sedativos ou calmantes não serem mais visíveis. Com isso, avaliamos se o óleo-de-cravo é seguro no sentido de não afetar negativamente comportamentos adaptativos na tilápia-do-Nilo (comportamento alimentar e agressivo) após o transporte de tilápias com concentrações baixas de óleo-de-cravo. O segundo capítulo é uma revisão de literatura. Sistematizamos efeitos comportamentais, fisiológicos e outros efeitos (sedação, recuperação etc.) de anestésicos sintéticos (Benzocaína, MS-222, Metomidato, Propofol e 2-fenoxietanol) e de alguns óleos essenciais (cravo-da-Índia, manjerição, citronela e outros). Assim, descrevemos os efeitos dos anestésicos no manejo de peixes.

Nota ética

Tal estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) do Instituto de Biociência de Botucatu - UNESP protocolo número 4492180521.

Capítulo 1: Efeito do transporte com dose calmante de óleo-de-cravo no comportamento alimentar e agressivo de tilápia-do-Nilo.

RESUMO

O transporte pode causar estresse e alterações comportamentais em peixes; sendo recomendado o uso de baixas concentrações de anestésicos, visando promover bem-estar. O óleo-de-cravo promove efeito calmante, mas não sabemos se reatividade ao alimento e motivação agressiva são alteradas após o transporte. Como anestésicos deprimem o sistema nervoso central, é possível considerar tais possibilidades. Assim, o objetivo do estudo foi verificar se o óleo-de-cravo pode minimizar possíveis alterações negativas após o transporte de tilápia-do-Nilo. Para isso, tilápias foram expostas a 50 mg/L ou 100 mg/L de óleo-de-cravo até atingirem anestesia (estágio II). Posteriormente, definimos a concentração calmante para o transporte. Para tal, peixes foram expostos por 2 h a 0 mg/L, 0,5 mg/L ou 5 mg/L de óleo-de-cravo. A reatividade ao toque leve foi classificada em: fuga, deslocamento e sem reação. Baseado em avaliação anterior, o transporte de tilápia foi realizado em 10 sacos plásticos (n = 6 cada) contendo 0 mg/L ou 5 mg/L de óleo-de-cravo. Após o transporte, os peixes (n = 15 / tratamento) foram mantidos individualmente em aquários de vidro para quantificação da mortalidade, comportamento alimentar e agressivo. A latência e ingestão alimentar foram avaliadas nos 4 primeiros dias; enquanto, o comportamento agressivo foi analisado no 2º dia (latência e ataques), utilizando o teste do espelho. O óleo-de-cravo não prejudicou o comportamento agressivo, porém, afetou positivamente o comportamento alimentar dos animais, pois mostraram maior motivação para se alimentar. Portanto, nossas evidências corroboram o uso seguro desse óleo, mitigando os efeitos colaterais e mantendo os comportamentos adaptativos.

PALAVRAS-CHAVE

aquicultura, criação de peixe, comportamento animal, cravo-da-Índia

ABSTRACT

The transport It can cause stress and behavioral changes in fishes; The use of low concentrations of anesthetics is recommended to promote well-being. Clove oil promotes calming effect, but we do not know whether food reactivity and aggressive motivation are altered after transport. Since anesthetics depress the central nervous system, it is possible to consider such possibilities. Thus, the objective of the study was to verify whether clove oil can minimize possible negative changes after transporting Nile tilapia. For this, tilapia were exposed to 50 mg/L or 100 mg/L of clove oil until they reached anesthesia (stage II). Afterwards, we set the calming concentration for transport. To this end, fish were exposed for 2 h to 0 mg/L, 0.5 mg/L or 5 mg/L of clove oil. Reactivity to light touch was classified as: escape, displacement and no reaction. Based on a previous evaluation, tilapia was transported in 10 plastic bags (n = 6 each) containing 0 mg/L or 5 mg/L of clove oil. After transport, fish (n = 15/treatment) were kept individually in glass aquaria to quantify mortality, feeding and aggressive behavior. Latency and food intake were assessed in the first 4 days; while, aggressive behavior was analyzed on the 2nd day (latency and attacks), using the mirror test. Clove oil did not harm aggressive behavior, however, it positively affected the animals' eating behavior, as they showed greater motivation to eat. Therefore, our evidence supports the safe use of this oil, mitigating side effects and maintaining adaptive behaviors.

KEY-WORDS

aquaculture, fish farm, animal behaviour, clove tree.

1. Introdução

A produção aquícola vem crescendo anualmente e contribuindo com a segurança alimentar global. Com isso, o gerenciamento dos cultivos deve ser direcionado para a produção com o mínimo de impacto nos sistemas aquáticos e no bem-estar dos organismos cultivados (FAO, 2022). Neste sentido, é recomendado que o manejo dos peixes seja realizado visando minimizar possíveis ameaças ao bem-estar (Huntingford e Kadri, 2014). O transporte de peixes é uma etapa fundamental para a aquicultura, sendo utilizado com o objetivo de fornecer juvenis para os sistemas de cultivo (Azambuja et al., 2011; Brandão et al., 2022; Gomes et al., 2006). Nesse tipo de procedimento, os peixes são comumente transportados em alta densidade. Um procedimento possível para transporte é por meio do uso de sacos plásticos, com uma parte de água, insuflados com oxigênio puro e selados (Berka, 1986). Nessas condições, os peixes são expostos a choques mecânicos (Huntingford e Kadri, 2014), aumento da concentração de dióxido de carbono e redução dos níveis de oxigênio (Berka, 1986) e outros estressores em potencial. Devido a tais condições, respostas de estresse foram observadas em peixes durante e após o transporte, evidenciadas pelo aumento dos níveis de cortisol e glicose plasmáticos (Saccol et al., 2018; Urbinati et al., 2004); perda de íons (Urbinati et al., 2004; Parodi et al., 2014); aumento da pressão parcial de dióxido de carbono, redução de oxigênio sanguíneos (Barbas et al., 2020) e redução de hematócrito (Becker et al., 2012). O conhecimento do comportamento de peixes em contextos com e sem estresse é necessário, tendo em vista, que estímulos estressantes tem relação com alterações comportamentais potencialmente mal-adaptativas (Conte, 2004).

Os procedimentos rotineiros da aquicultura devem ser realizados visando a manutenção de condições adequadas para promover a saúde e bem-estar, evitando, portanto, efeitos deletérios em processos centrais para produção animal como o crescimento e a reprodução, que dependem das manifestações comportamentais de modo adaptativo (Sneddon et al., 2016). Nesse sentido, como a aquisição de nutrientes para manutenção da saúde e do crescimento depende da ingestão alimentar, tal variável é uma medida que contribui para se inferir sobre o

estado de bem-estar em peixes cultivados (Huntingford e Kadri, 2014). No entanto, peixes expostos a condições de cultivo podem apresentar crescimento heterogêneo, devido a interações agressivas onde peixes subordinados tem menos acesso ao alimento comparativamente aos dominantes (Huntingford e Adams, 2005; Volpato e Fernandes, 1994). Assim, se o estressor de transporte exacerbar a agressividade da tilápia-do-Nilo, o crescimento heterogêneo pode aumentar também. De fato, peixes platys (*Xiphophorus variatus*) apresentaram aumento no número de mordidas a coespecíficos após o transporte (Vanderzwalmen et al., 2020), o que reforça a possibilidade de exacerbação da agressividade em outras espécies, especialmente a tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) que é uma espécie territorial e agressiva (Barreto et al., 2009; Fernandes e Volpato, 1993; Giaquinto e Volpato, 1997). Em relação ao comportamento alimentar, peixes expostos a estímulos estressantes podem apresentar redução do apetite e consequentemente menor consumo de alimento (Huntingford et al., 2006), indicando comprometimento do bem-estar. Especificamente, peixes expostos ao transporte apresentaram alterações no comportamento alimentar, como redução da motivação para ingerir alimentos (Vanderzwalmen et al., 2021).

Nesse sentido, o uso de anestésicos sintéticos durante o manuseio para pesagem (Da Silva et al., 2023; Jacobsen et al., 2019; Liu et al., 2022; Witeska et al., 2015) e transporte (Barbas et al., 2017a; Darmawan et al., 2023; Failaman et al., 2022) tem sido uma prática frequente, visando atenuar o efeito estressor de tais procedimentos. No entanto, anestésicos sintéticos não minimizaram a resposta ao estresse em peixes expostos a anestesia ou transporte. Por exemplo, o MS-222 não aliviou a resposta ao estresse após anestesia profunda em carpa capim (*Ctenopharyngodon idella*), evidenciado pelo aumento de cortisol plasmático (Gause et al., 2012) e da glicose sanguínea em 'walleyes' (*Sander vitreus*) (Trushenski et al., 2018). Anestesia profunda com 2-fenoxietanol não promoveu atenuação dos indicadores bioquímicos de estresse, particularmente, elevação do nível de glicocorticoide (Weber et al., 2011) e hiperglicemia em *Rhandia quelen* (Da Silva et al., 2023). Kenter et al., (2019) observaram aumento do cortisol plasmático em 'striped bass' (*Morone saxatilis*) transportados por 1 h com 25 mg/L de MS-222. Assim, esperasse aumento de glicemia em juvenis de tambaqui (*Colossoma*

macropomum) após o transporte por 2 h com 20 mg/L de MS-222 (Barbas et al., 2017a).

Alternativamente, o óleo essencial de cravo-da-Índia *Eugenia caryophyllus* tem ganhado destaque devido ao seu efeito anestésico e sedativo para procedimentos comumente realizados em peixes (Javahery et al., 2012; Priborsky e Velisek, 2018). O óleo-de-cravo tem demonstrado efeito anestésico na tilápia-do-Nilo (*O. niloticus*) (da Silva et al., 2021; Simões et al., 2011) e em outras espécies de peixes (Adel et al., 2016; Inoue et al., 2003; Hajek, 2011; Keene et al., 1998; Mitjana et al., 2018), sendo frequentemente utilizado nas concentrações de 50 mg/L e 100 mg/L e com tempos de indução da sedação variando de 30 a 220 s, aproximadamente. Apesar do uso frequente de óleo-de-cravo como anestésico em peixes, a avaliação de efeitos comportamentais tem se restringido a observação dos estágios de anestesia e poucos estudos avaliaram possíveis alterações de comportamentos essenciais como a alimentação, a atividade agressiva e a reprodução. Dos poucos estudos existentes nessa linha de pensamento, observou-se que o óleo essencial de cravo não alterou os componentes motivacionais e a reatividade a estímulos relevantes, ilustrados pela avaliação dos componentes apetitivos e consumatórios dos comportamentos alimentar e agressivo na tilápia-do-Nilo (da Silva et al., 2021). Essa constatação é positiva, pois indica a segurança do uso do óleo em não gerar alterações mal-adaptativas em comportamentos típicos da tilápia-do-Nilo (*O. niloticus*). Contudo, os pacotes tecnológicos do uso de óleos essenciais devem ser continuamente aprimorados; sendo necessário avaliar se tais substâncias afetam negativamente comportamentos essenciais após o transporte, ou se atenuam consequências estressantes de tal procedimento.

Em relação ao transporte, de fato óleos essenciais em concentrações baixas vêm sendo usadas sem causar sedação profunda (Barbas et al., 2017b; Becker et al., 2012) e consequente mortalidade (Almeida et al., 2018; Barbas et al., 2017b). O uso de óleo-de-cravo promoveu efeito calmante durante o transporte, o qual é caracterizado por reduzida reatividade, equilíbrio normal e taxa respiratória levemente reduzida (Cooke et al., 2004). A concentração de 9 mg/L de óleo-de-cravo promoveu reatividade reduzida em juvenis de tilápia-do-Nilo (*O. niloticus*) (Simões et al., 2011). Salmão do atlântico (*Salmo salar*) transportados com 4 mg/L

de óleo-de-cravo demonstraram recuperação dos níveis de magnésio no plasma e menor mortalidade após o transporte (Iversen et al., 2009). Truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) expostas a 40 µL/L de óleo-de-cravo para sedação leve demonstraram 100% de sobrevivência após o transporte por 10 h (Rajesh et al., 2023) ou 40 h (Kamalam et al., 2017).

Tendo em vista que, o óleo-de-cravo promove efeito depressor do sistema nervoso central (Javahery et al., 2012); demonstrado pelo tempo de meia-vida de 8 h no linguado japonês (Tago et al., 2018) e 12 h na truta-arco íris (Guénette et al., 2007), é possível inferir efeitos negativos de concentração baixa de óleo-de-cravo em comportamentos de peixes frente a estímulos relevantes, como o alimento ou um oponente. Portanto, o objetivo do estudo foi avaliar se, a aplicação de uma concentração calmante de óleo-de-cravo pode atenuar as consequências negativas causadas pelo transporte nos comportamentos alimentar e agressivo de tilápia-do-Nilo. Além disso, avaliamos se o uso de óleo-de-cravo afeta a ingestão, motivação alimentar e agressividade.

2. Experimento 1: indução anestésica de tilápia-do-Nilo

2.1. Materiais e métodos

2.1.1. Animais e condições de estoque

Exemplares de juvenis de tilápia-do-Nilo *Oreochromis niloticus* L., (linhagem Supreme, sexualmente revertidos, todos machos) pesando 1 g foram obtidos de piscicultura comercial e utilizados para constituir nossa população estoque. Para isso, os peixes foram aclimatados em biotério, mantidos em um tanque de alvenaria de 1200 L (300 indivíduos – 1 peixe / 4 litros) com aeração constante, fluxo contínuo de água desclorificada, renovação ininterrupta e filtragem mecânica-biológica. A água foi mantida entre 25 – 27° C, pH 6,6 – 7,0 e amônia total $\geq 0,5$ mg/L. O fotoperíodo foi estabelecido em 12 h de claro (6 h às 18 h) com transição abrupta do claro para escuro, controlado por temporizador. Os peixes foram alimentados

diariamente com ração comercial extrusada (36 % de proteína bruta) 1 vez ao dia até a saciedade aparente. Uma vez que os peixes alcançaram $2,5 \text{ g} \pm 1,0$, os animais foram mantidos em jejum por 24 h antes da realização da primeira parte do experimento. Enquanto isso, os peixes utilizados na segunda parte do experimento ($6,1 \text{ g} \pm 3,0$) e transporte ($24,8 \text{ g} \pm 9,2$) foram mantidos nas mesmas condições e permaneceram em jejum por 24 h antes dos testes.

2.1.2. Anestésico

O óleo essencial de cravo *Eugenia caryophyllus* puro foi obtido da WNF – World's Natural Fragrances. Uma solução mãe foi produzida diluindo-se 1,0 g de óleo-de-cravo em 10 mL de etanol absoluto. Com isso, tivemos uma solução alcoólica de concentração de 100 mg/mL.

2.1.3. Delineamento experimental

A primeira parte do estudo foi replicar as concentrações anestésicas obtidas previamente (de 50 ou 100 mg/L) para tilápia-do-Nilo (ver da Silva et al., 2021). Para tal, peixes da população de estoque foram capturados e individualmente inseridos em baldes de plástico atóxico graduado (volume 8 L) contendo 1 L de água para exposição em banho ao anestésico (1 peixe/balde). Utilizamos 2 concentrações diferentes de óleo-de-cravo 50 mg/L ou 100 mg/L, totalizando 2 tratamentos experimentais ($n = 12$ cada).

2.1.4. Procedimentos

Os animais ficaram em banho anestésico ($28^\circ\text{C} \pm 1,0$) até que atingissem o estágio II de anestesia, o qual é caracterizado por perda total do equilíbrio, sem movimento muscular, mas ventilação mantida (Gontijo et al., 2003). O tempo para alcançar este estágio de anestesia foi quantificado e assim que atingido, cada peixe foi retirado do balde, pesado e medido quanto ao comprimento padrão. Em seguida,

os peixes foram transferidos individualmente para aquários de vidro (40 x 23 x 25 cm, 20 L de com água desclorificada e temperatura de 27 °C ± 0,6. Nesses aquários, a aeração foi constante e provida por compressores de ar, via mangueiras de plástico atóxico anexadas a pedras porosas. Os animais foram mantidos nesses aquários experimentais por 24 horas, para observação da recuperação anestésica e ocorrência de mortalidade.

2.1.5. Análises dos dados

Os valores de tempo de indução anestésica foram considerados não-normais e heteroscedásticos. Com isso, utilizamos o teste não paramétrico de Mann-Whitney para comparar os tempos de indução entre as concentrações anestésicas (50 mg/L ou 100 mg/L). Consideramos diferenças estatisticamente significativas quando $p < 0,05$.

2.2. Resultados

O tempo para alcançar o estágio II de anestesia foi maior em peixes expostos a banhos com solução alcoólica de 50 mg/L de óleo-de-cravo comparativamente aos expostos a banhos com 100 mg/L (Teste U Mann-Whitney; $Z = 4,01$; $p < 0,0001$; fig.1).

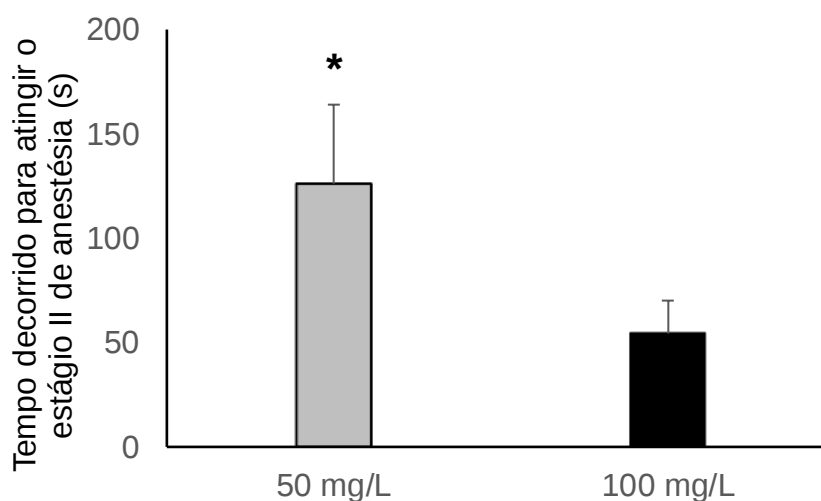


Fig. 1. Tempo para atingir o estágio II de anestesia em tilápias-do-Nilo expostas a concentrações de 50 mg/L ou 100 mg/L de soluções alcólicas de óleo-de-cravo. Valores expressos em média $\pm$ DP ($n = 12$). * indica diferença estatística entre as concentrações (Teste U Mann-Whitney; $p < 0,05$).

3. Experimento 2: Concentrações potencialmente calmantes de óleo-de-cravo para o transporte: efeitos na reatividade natatória e alimentar.

3.1. Materiais e Métodos

3.1.1. Delineamento experimental

A partir do experimento 1, com intuito de obter uma concentração calmante para o transporte, avaliamos os efeitos na reatividade das tilápias com concentrações proporcionais 5 mg/L ou 0,5 mg/L da concentração de 50 mg/L de óleo-de-cravo. Essa concentração foi considerada eficaz, porque promoveu estágio II de anestesia, conforme o critério de característica necessária de um anestésico, ou seja, promover anestesia em 180 segundos (Ross e Ross, 2009). Utilizamos um grupo controle (0 mg/L), perfazendo 3 condições experimentais ($n = 11$ cada). A

sedação leve é indicada pela ocorrência de atividade natatória reduzida, reação a estímulo tátil reduzida levemente e equilíbrio normal (Zahl et al., 2012).

3.1.2. Procedimentos

Para realização do experimento 2, os animais foram introduzidos individualmente em aquários de vidro com água dechlorada (40 x 23 x 25 cm, 20 L de água, 21,9 °C $\pm$ 0,6 DP) e aeração constante. Considerando que, uma concentração baixa de um anestésico deve manter a atividade dos peixes reduzida durante o tempo de transporte (Ross e Ross, 2009); e o efeito do óleo-de-cravo é influenciado pela frequência de ventilação e área da superfície das brânquias (Javahery et al., 2012); a avaliação da reatividade foi realizada ao longo de 2 h nos momentos 0, 30, 60, 90 e 120 min após adição das concentrações potencialmente calmante e controle. Para isso, adicionamos as concentrações de 5 mg/L e 0,5 mg/L de óleo-de-cravo e grupo controle (0 mg/L) na água dos aquários com pipetas de volume fixo. Nós definimos tais sucessivos tempos de amostragem para observar os animais, uma vez a cada intervalo (Martin e Bateson, 1993). Após esse período, realizamos a avaliação do comportamento alimentar.

A reatividade dos animais foi verificada com uma haste de vidro de 30 cm, aplicando um toque leve na região da nadadeira dorsal. A reatividade dos peixes foi avaliada considerando-se 3 tipos de reações, como: 1) Fuga: comportamento natatório de disparo “burst”, em que a distância percorrida em nado rápido é maior que no mínimo um comprimento referente ao corpo do peixe; 2) Deslocamento: locomoção reduzida e lenta, na qual a distância percorrida é aproximadamente igual ao comprimento referente ao corpo do peixe e 3) Sem reação: imobilidade natatória. Assim, estabelecemos os respectivos escores para cada uma delas: a) fuga = 2; b) deslocamento = 1 e c) sem reação = 0. Tais escores foram definidos, por fornecer forte medida da condição comportamental dos indivíduos (Martin e Bateson, 1993).

O comportamento alimentar foi definido como: 1) latência alimentar e 2) ingestão alimentar. Definimos tais componentes para avaliar a reatividade de tilápia-do-Nilo expostas a diferentes concentrações potencialmente calmante de

óleo-de-cravo e controle, em relação a presença da ração e a motivação para se alimentar (Volpato et al., 2013). A latência alimentar foi o tempo decorrido a partir da introdução dos pellets de ração nos aquários até o primeiro pellete ser abocanhado. A ingestão alimentar foi estabelecida com base na diferença do número de pellets oferecidos e os pellets não consumidos após 13 min. Em cada alimentação oferecemos 6 pellets por peixe, totalizando ~ 60 mg, sendo equivalente a 1% do peso médio dos peixes (pellets de aproximadamente 3 mm).

3.1.3. Análises dos dados

Os dados de escore comportamental foram normais e homoscedásticos. Assim, realizamos ANOVA uma via e teste a posterior de Tukey. Os valores de latência e ingestão alimentar foram não normais e homoscedásticos. Deste modo, utilizamos o teste de Kruskal-Wallis, sendo as concentrações de óleo-de-cravo e controle como fator categórico. Consideramos diferenças estatisticamente significativa quando $p < 0,05$.

3.2. Resultados

Reatividade comportamental

Nós observamos efeito do óleo-de-cravo nos escores comportamentais (ANOVA uma via; $F_{2;27} = 5,973$; $p = 0,0071$; fig. 2). As tilápias expostas a concentração de 5 mg/L (10% de 50 mg/L) de óleo-de-cravo demonstraram menor reatividade ao toque com haste de vidro comparado com peixes do grupo controle. Contudo, não houve diferenças significativas para o número de escores comportamentais entre peixes do grupo controle e aqueles expostos a 0,5 mg/L de óleo-de-cravo

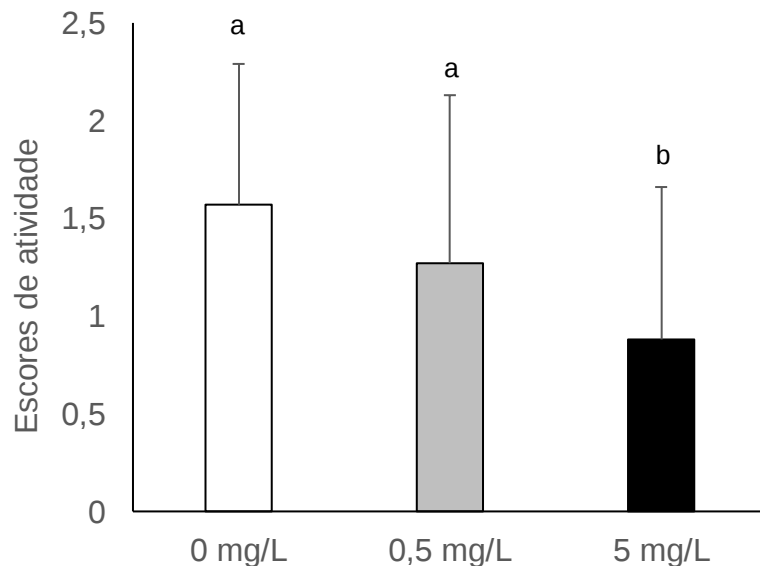


Fig. 2. Efeito de diferentes concentrações (0 mg/L, 0,5 mg/L ou 5 mg/L) de soluções alcólicas de óleo-de-cravo na reatividade da tilápia-do-Nilo, realizada através de avaliação do número de escores comportamentais (fuga, deslocamento e sem reação). Letras distintas denotam diferenças estatística significativas entre os tratamentos (ANOVA seguida de teste pós hoc de Tukey; $p < 0,05$). Valores expressos média $\pm$ DP ($n = 11$).

Ingestão alimentar

Exposição a 5 mg/L de óleo-de-cravo não promoveu significantes alterações da quantidade de alimento consumido comparativamente aos peixes do grupo controle (Kruskal-Wallis; $X^2 = 1,196$; $p = 0,550$; fig. 3). Peixes expostos a 0,5 mg/L demonstraram similar consumo de alimento em relação aos peixes do tratamento controle.

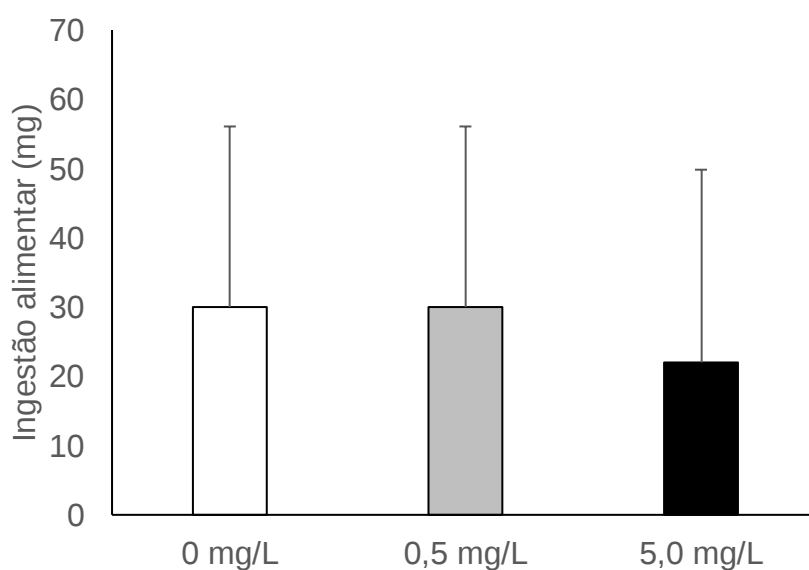


Fig. 3. Efeito de diferentes concentrações (0 mg/L, 0,5 mg/L ou 5 mg/L) de soluções alcólicas de óleo-de-cravo na reatividade da tilápia-do-Nilo, realizada através de avaliação da ingestão alimentar. Valores expressos em médias $\pm$ DP ($n = 11$) (Teste de Kruskal-Wallis; $p > 0,05$).

Latência alimentar

As tilápias expostas a 5 mg/L de óleo-de-cravo não demonstraram diferenças estatísticas para latência alimentar comparado com aquelas do grupo controle (Kruskal-Wallis; $X^2 = 0,644$; $p = 0,725$; fig. 4). Ainda, tilápias expostas a 0,5 mg/L demonstraram similar motivação para se alimentar comparativamente aos peixes do tratamento controle.

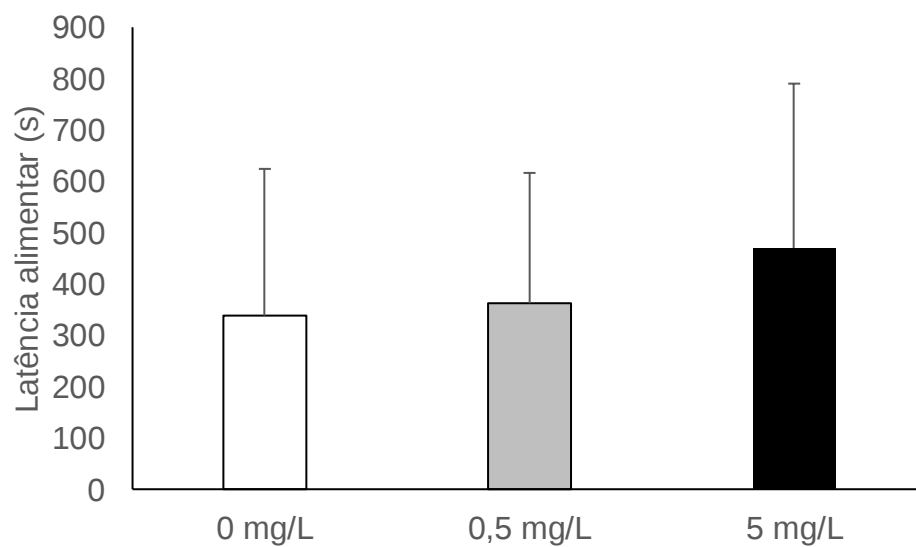


Fig. 4. Efeito de diferentes concentrações (0 mg/L, 0,5 mg/L ou 5 mg/L) de soluções alcólicas de óleo-de-cravo na reatividade da tilápia-do-Nilo, realizada através de avaliação da latência alimentar. Valores expressos em médias $\pm$ DP ($n = 11$) (Teste de Kruskal-Wallis; $p > 0,05$).

4. Experimento 3: Efeito da concentração calmante de óleo-de-cravo no comportamento alimentar e agressivo de tilápia-do-Nilo exposta ao transporte.

4.1. Materiais e Métodos

4.1.1. Delineamento experimental

Juvenis de tilápia-do-Nilo foram introduzidos em 10 sacos plásticos (n= 6 peixes cada) com 1 L de água a 26 °C contendo 5 mg/L de solução alcoólica de óleo-de-cravo ou grupo controle (0 mg/L). Em seguida os sacos foram insuflados com 2 L de oxigênio puro fechados duplamente com abraçadeiras de poliamida, acomodados em caixa de isopor para conferir isolamento térmico e foram transportados por 2 h. Utilizamos a densidade de carga de 127g $\pm$ 30, porque encontra-se dentro de variação utilizada no transporte de tilápia (Oliveira et al. 2009; Hohlenwerger et al. 2017; Teixeira et al. 2018). Após o transporte, coletamos aleatoriamente 30 peixes dos sacos e introduzimos eles em aquários de vidro (40 x 23 x 25 cm, 20 L de água desclorificada – 25,4 °C $\pm$ 0,6 DP) com aeração constante 1 peixe/aquário. Os peixes foram mantidos nesses aquários por 7 dias (fotoperíodo 6 h às 18 h e transição abrupta do claro para escuro, controlado por temporizador) para avaliação do comportamento alimentar e agressivo. O comportamento alimentar foi avaliado nos 4 primeiros dias às 10:00 h. Enquanto, o comportamento agressivo no 2º dia, utilizando o paradigma experimental do teste do espelho.

4.1.2. Procedimentos

Para avaliação do comportamento alimentar, a latência foi o tempo decorrido a partir da introdução dos pellets de ração nos aquários até o primeiro pellete ser abocanhado. A ingestão alimentar foi estabelecida em cada dia de alimentação com base na diferença do número de pellets oferecidos e os pellets não consumidos após 5 min, e a massa referente a quantidade consumida. Em cada alimentação

foram oferecidos 6 pelletes por peixe, totalizando ~ 60 mg (pelletes de aproximadamente 3 mm).

O comportamento agressivo foi avaliado a partir de filmagens. Para isso, um espelho foi introduzido em uma das laterais menores do aquário experimental e o comportamento de cada peixe foi filmado durante um intervalo total de 10 min, o qual foi dividido em dois momentos: 5 min antes (0-5 min) e após (5-10 min) a queda de uma esfera de vidro na água. Após 5 min da introdução do espelho no aquário, uma esfera de vidro era abruptamente introduzida no aquário por meio de tubo de PVC, o qual foi posicionado aproximadamente 70 cm do aquário, com inclinação suficiente para a esfera deslizar rapidamente para dentro do aquário. O tempo de queda da esfera da soltura até atingir o fundo do aquário foi de cerca de 2 s.

4.1.3. Variáveis resposta

O comportamento alimentar foi estabelecido de acordo com: I) número de dias em que os peixes se alimentaram; II) latência alimentar e III) ingestão alimentar. Definimos esses componentes para avaliar a reatividade a presença do alimento (pelletes de ração) e a motivação para se alimentar (Volpato et al., 2013).

O comportamento agressivo foi avaliado a partir de filmagens considerando operacionalmente: 1) latência para atacar o espelho e 2) o número de ataques desferidos no espelho. No momento 1 (0-5 min), a latência de ataque é o tempo decorrido entre a introdução do espelho e o primeiro ataque feito no mesmo. No momento 2, (5-10 min), a latência de ataque é o tempo decorrido entre a queda da bola e o primeiro ataque subsequente ao espelho. Se algum peixe não atacasse o espelho em um ou ambos os momentos, o valor máximo de duração foi definido em 300 s como o valor de tempo sem atacar. Os ataques ao espelho foram classificados em dois tipos: toque ou mordida. Os toques consistem no ato do peixe se aproximar do espelho e o encostar com a boca fechada. As mordidas consistem no ato do peixe se aproximar do espelho com a boca aberta, justapô-la a superfície do espelho e executar rápidos movimentos caudais ondulatórios, impulsionando o corpo em direção ao espelho. A queda da esfera foi realizada para promover resposta de sobressalto nos animais. A latência para retornar a atacar o espelho é

inferida como o grau de motivação agressiva. A duração do sobressalto fornece uma medida inversa de motivação para retomar a atividade anterior (baseado em Arnott e Elwood, 2009).

4.1.4. Análises dos dados

O número de dias que os peixes se alimentaram e latência alimentar foram considerados não-normais e heteroscedásticos, enquanto, os valores de ingestão alimentar não-normais e homoscedásticos. Assim, utilizamos o teste U de Mann-Whitney para comparação entre as condições de transporte. O Teste de Friedman foi utilizado para analisar os efeitos ao longo do tempo dentro cada tratamento.

Os dados de comportamento agressivo (latência, toques e mordidas) são apresentados não transformados (figuras 7 e 8). Contudo, a latência para atacar o espelho foram considerados normais e homoscedásticos após transformação para logaritmo decimal. O número de mordidas e toques tiveram distribuição normal e homoscedasticidade após transformação em raiz quadrada. Assim, ANOVA mista foi aplicada aos fatores categóricos (óleo-de-cravo e controle) e as medidas repetidas (os momentos de avaliação: 0-5 min e 5-10 min). O teste Tukey foi utilizado para determinar diferenças significativas entre os tratamentos. Consideramos diferenças estatisticamente significativas quando $p < 0,05$.

4.2. Resultados

Número de dias de alimentação

O transporte com concentração baixa de 5 mg/L de óleo-de-cravo não afetou o número de dias que as tilápias-do-Nilo se alimentaram comparativamente aos peixes do tratamento controle (Mann-Whitney; $Z = 1,33$; $p = 0,0922$; fig. 5A).

Ingestão alimentar

As tilápias-do-Nilo transportadas com 5 mg/L de óleo-de-cravo não demonstraram alterações na quantidade de alimento consumido comparado com aquelas do tratamento controle (Teste U de Mann-Whitney; $p > 0,05$; fig. 5B). Porém, a quantidade de alimento ingerido aumentou em função do tempo no tratamento controle, sendo menor no primeiro dia comparativamente ao terceiro e quarto dia (Teste de Friedman; $X^2 = 23,181$; $p = 0,000037$; fig. 5B). Os peixes expostos ao óleo-de-cravo demonstraram menor ingestão de alimento no primeiro dia comparado com o quarto dia (Teste de Friedman; $X^2 = 12,471$; $p = 0,0059$).

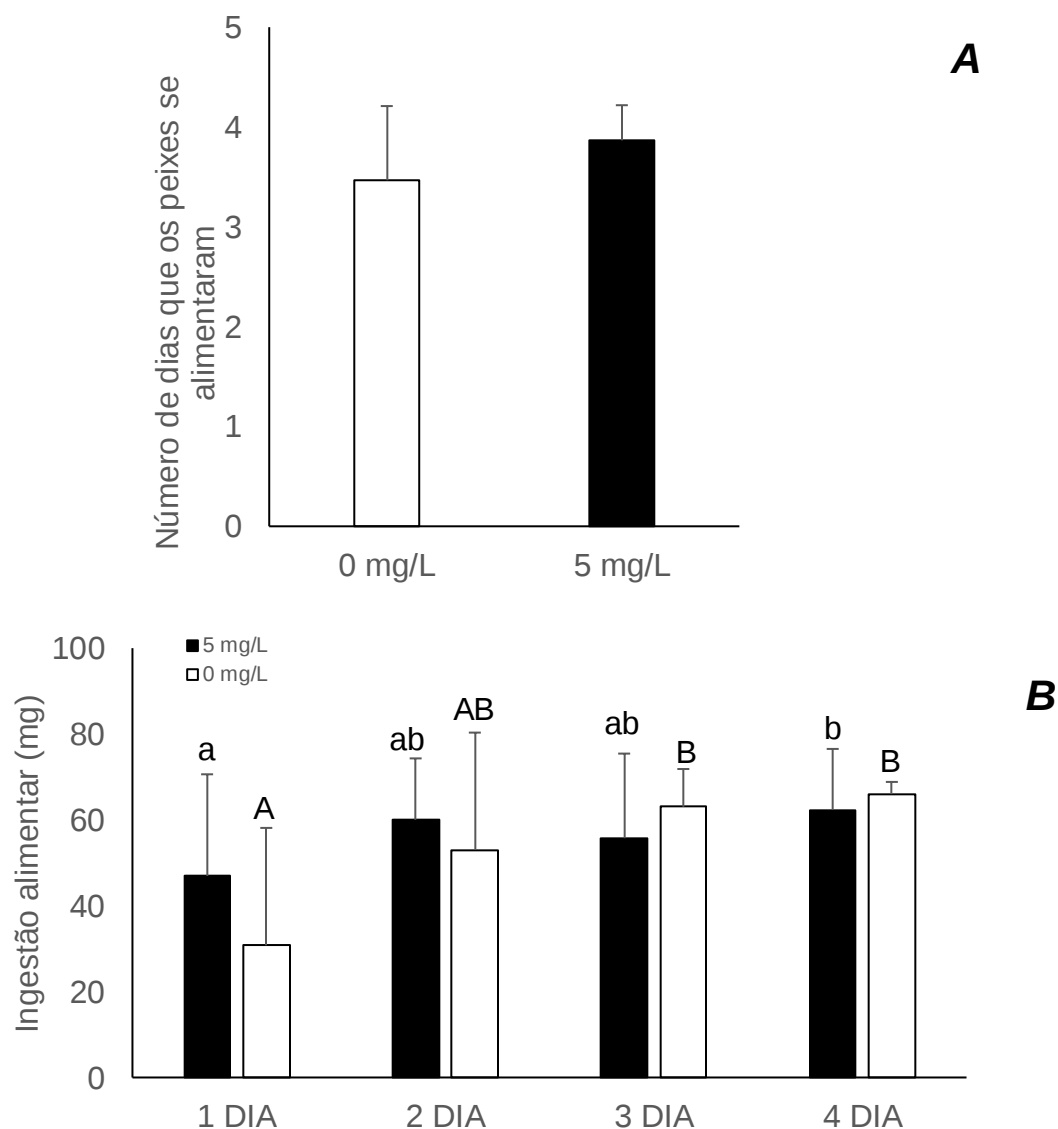


Fig. 5. Efeitos de concentração calmante de óleo-de-cravo (5 mg/L) e controle (0 mg/L) durante o transporte no número de dias que a tilápia se alimentou (5A) e na quantidade de alimento ingerido (5B) (Teste de Mann-Whitney; $p > 0,05$). Diferentes letras maiúsculas indicam diferença estatística entre diferentes momentos na condição controle (Teste de Friedman; $p < 0,05$), enquanto diferentes letras minúsculas indicam diferença estatística entre momentos na condição óleo-de-cravo. Valores expressos em médias $\pm$ DP ($n = 15$).

Latência alimentar

Os peixes expostos a 5 mg/L de óleo-de-cravo demonstraram maior motivação para abocanhar os pellets de ração no primeiro e segundo dias, comparado com grupo controle (Teste de Mann-Whitney; 1 Dia, $Z = 2,592$; $p = 0,0048$; 2 Dia, $Z = 1,721$; $p = 0,0426$; fig. 6). Mas, não observamos diferenças significativas na latência alimentar no terceiro e quarto dia entre peixes do tratamento óleo-de-cravo e aqueles do grupo controle. Em peixes do transporte controle, a latência foi maior no primeiro dia em relação ao terceiro e quarto (teste de Friedman $X^2 = 27,845$; $p = 0,0000039$), e não diferiu do segundo dia. Enquanto, o segundo dia foi maior que o quarto dia e não diferiu dos demais. Na condição óleo-de-cravo, a latência alimentar foi maior no primeiro dia comparado com terceiro e quarto dia (Teste de Friedman; $X^2 = 25,64$; $p = 0,000011$), e não diferiu do segundo dia. Por outro lado, o segundo dia não diferiu dos demais.

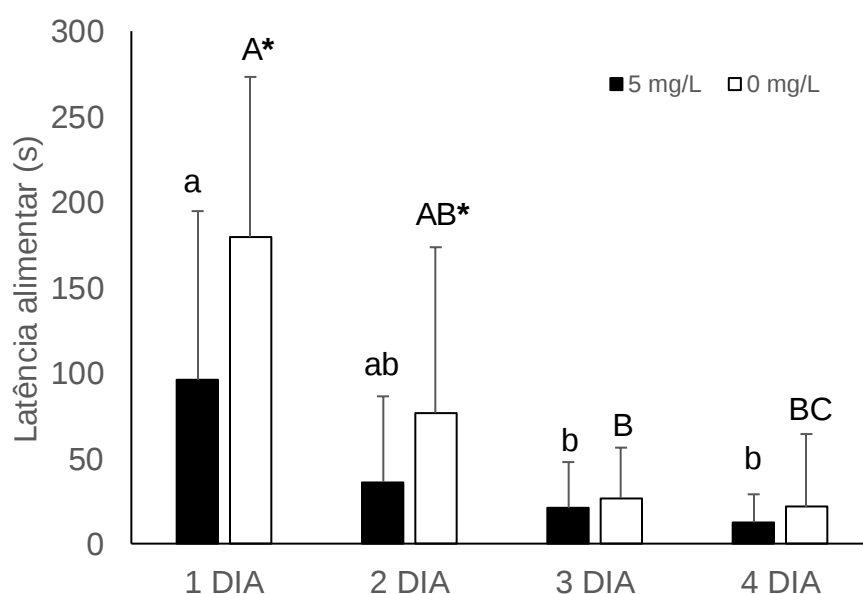


Fig. 6. Efeitos de concentração calmante de óleo-de-cravo (5 mg/L) e controle (0 mg/L) na latência alimentar de tilápia-do-Nilo exposta ao transporte. Distintas letras maiúsculas indicam diferença estatística entre diferentes momentos na condição controle (Teste de Friedman; $p < 0,05$), enquanto, distintas letras minúsculas indicam diferença estatística entre momentos na condição óleo-de-cravo. Asterisco indica diferença estatística entre as concentrações no mesmo momento (Teste Mann-Whitney; $p < 0,05$). Valores expressos em médias $\pm$ DP ($n = 15$).

Comportamento agressivo

Latência de ataque

Os peixes transportados nas duas condições experimentais não demonstraram alterações nas reatividades em relação ao espelho (0-5 min) e na resposta de sobressalto (5-10 min) conforme indicado pela ANOVA mista (tratamento, $F_{1,56} = 1,972$; $p = 0,166$; fig. 7). Ainda, não houve efeito do momento nem interação deste com a condição de transporte (ANOVA mista, momento $F_{1,56} = 0,917$; $p = 0,343$; interação, $F_{1,56} = 0,490$; $p = 0,487$).

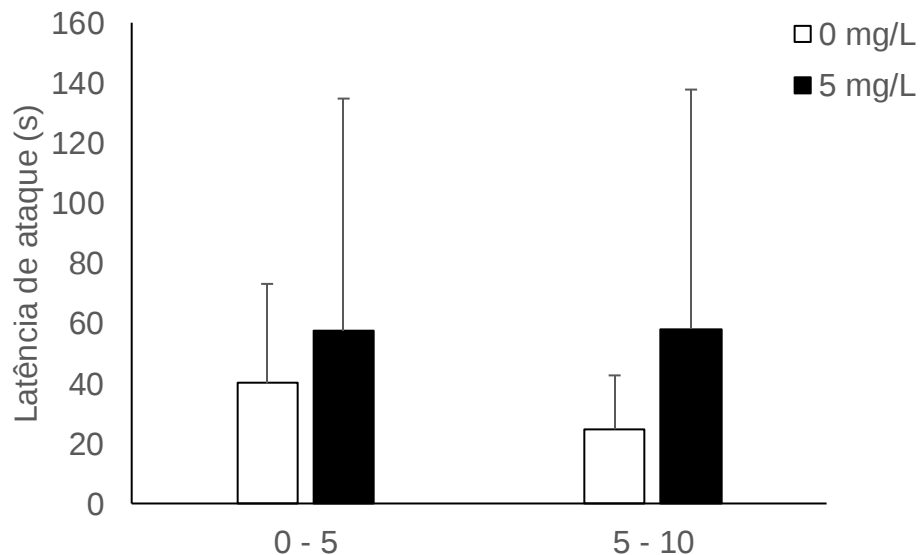


Fig. 7. Efeito de concentração calmante de óleo-de-cravo (5 mg/L) e controle (0 mg/L) na latência de ataque de tilápia-do-Nilo exposta ao transporte (ANOVA mista; $p > 0,05$). Os dados de latência de ataque foram transformados como ($\log_{10} x$). Valores são médias $\pm$ DP ($n = 15$).

Frequência de ataque

Nós não observamos diferenças significativas no número de mordidas desferidas no espelho entre peixes transportados com 5 mg/L de óleo-de-cravo e grupo controle (ANOVA mista, $F_{1,56} = 0,761$; $p = 0,387$; fig. 8A). Além disso, não houve efeito do momento (ANOVA mista, $F_{1,56} = 1,354$; $p = 0,250$) ou interação deste com o tratamento ($F_{1,56} = 0,144$; $p = 0,706$).

Em relação ao toque no espelho, houve efeito do tempo (ANOVA mista, $F_{1,56} = 4,573$; $p = 0,037$; fig. 8B) no número de toques, o qual foi menor no segundo momento em relação ao primeiro nas duas condições de transporte. Porém, não observamos efeito das condições de transporte (ANOVA mista, $F_{1,56} = 0,699$; $p = 0,407$) nem interação destas com o tempo ($F_{1,56} = 0,207$; $p = 0,651$).

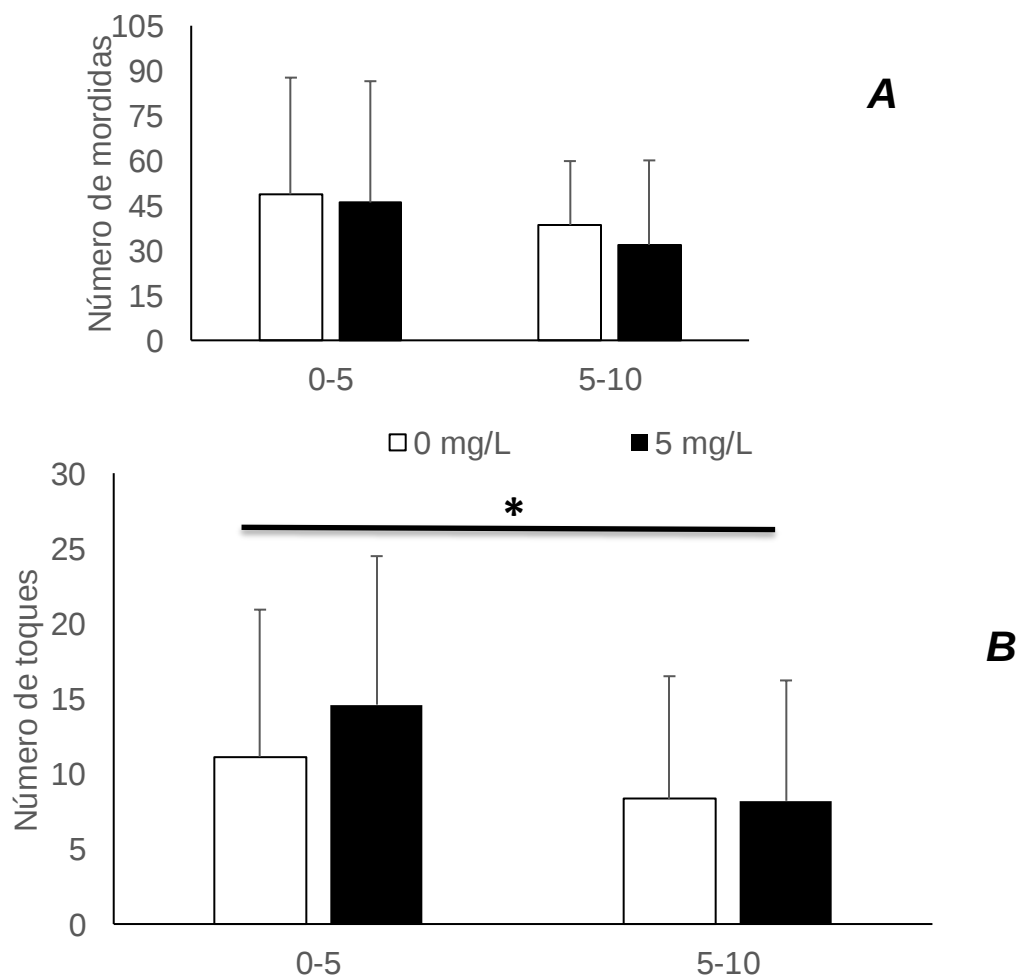


Fig. 8. Efeito de concentração calmante de óleo-de-cravo (5 mg/L) e controle (0 mg/L) no número de ataques de tilápia-do-Nilo expostas ao transporte (ANOVA mista; $p > 0,05$). Os dados de toques e mordidas foram transformados como $\sqrt{x}$. Valores são médias $\pm$ DP ($n = 15$).

5. Discussão

Nesse estudo, mostramos que, a concentração calmante de óleo-de-cravo não teve efeito no comportamento agressivo de tilápia-do-Nilo; após o transporte por 2h em sacos. Considerando que, o transporte pode aumentar a agressividade de peixes; e a baixa concentração de óleo-de-cravo promove hiporeatividade nas tilápias, nós esperávamos que tal anestésico promovesse redução da agressividade. Tal resultado, seria positivo em termos de produtividade, visto que o crescimento heterogêneo seria menor nos cultivos de tilápia. No entanto, no presente estudo, não observamos esse comportamento nos peixes expostos ao óleo-de-cravo. Contudo, vimos que, o óleo-de-cravo reduziu a latência alimentar no primeiro e segundo dias após transporte; indicando um benefício, mesmo que tênue, do uso desse óleo essencial no procedimento de transporte.

Concentração anestésica

Em nosso estudo, a indução anestésica foi obtida em tempos distintos em relação a concentração de óleo-de-cravo. A concentração de 50 mg/L promoveu anestesia em maior tempo comparativamente a concentração de 100 mg/L, em média, 117 s e 53 s, respectivamente. Portanto, tais resultados estão de acordo com prévias evidências, que o tempo de indução anestésica pode apresentar uma relação inversa com o aumento da concentração do anestésico (Ribeiro et al., 2019; Zeppenfeld et al., 2019). Contudo, consideramos 50 mg/L como a concentração eficaz para indução anestésica, pois se encontra dentro de variações de concentrações encontradas na literatura para tilápia-do-Nilo (da Silva et al., 2021; Simões et al., 2011).

Concentração calmante

No teste de concentração calmante, 5 mg/L de óleo-de-cravo promoveu reatividade reduzida e manutenção do equilíbrio, sendo eleita para o transporte da tilápia. Diferentemente, peixes do grupo controle (0 mg/L) e 0,5 mg/L de óleo-de-

cravo demonstraram similar padrão de responsividade, evidenciado por resposta de fuga e deslocamento ao serem estimulados com uma haste de vidro, indicando que a concentração de 0,5 mg/l não é adequada, pois não levou a hiporeatividade sem sedação. Em relação ao comportamento alimentar, operacionalmente, avaliamos a quantidade de ração consumida e a motivação dos peixes frente a presença de pellets de ração. Nossas evidências indicam que não houve impacto negativo de óleo-de-cravo no comportamento alimentar comparativamente ao grupo controle (0 mg/L).

Comportamento alimentar após o transporte

O número de dias em que os peixes se alimentaram e a quantidade de alimento ingerido não foram afetados pelo óleo-de-cravo comparativamente aos peixes do grupo controle (0 mg/L). Mas, ambos os tratamentos tendem a consumir menos ração no primeiro dia comparado com os demais. Possivelmente, fruto de efeito estressor do transporte e alocação em ambiente novo. De fato, a resposta neuroendócrina ao estresse em peixes atua na regulação de vários processos fisiológicos, tais como a ingestão de alimento (Volkoff, 2016). Além disso, procedimentos rotineiros na aquicultura promovem estresse comportamental (Kulczykowska e Sánchez Vázquez, 2010), tais como a introdução em ambiente novo, onde peixes podem, por exemplo, apresentar estresse (Roza-e-Silva et al., 2020).

No entanto, os peixes transportados com concentração baixa de óleo-de-cravo demonstraram maior motivação para abocanhar os pellets de ração em relação ao tratamento controle. Visto que, anestesia com anestésicos sintéticos para breve manuseio (Gonçalves e Giaquinto, 2020) e o transporte (Vanderzwalm et al., 2021) são manejos comuns na aquicultura e que podem causar redução da motivação para se alimentar, esse achado é importante para o cultivo da tilápia-do-Nilo, quando se tem o objetivo de obter peixes prontamente ativos a presença do alimento após o manejo. Além disso, esses resultados agregam evidências de que o óleo-de-cravo é seguro para tilápia-do-Nilo em relação ao comportamento alimentar.

Comportamento agressivo após o transporte

Em relação ao comportamento agressivo, não observamos efeitos do óleo-de-cravo no número de mordidas e na latência de ataque ao espelho em relação ao grupo controle. No entanto, em ambos os tratamentos reduz do número de toques no segundo momento comparado com o primeiro. A causa dessa redução é controversa, uma vez que o número de mordidas e a latência de ataque não foram alteradas em ambas as condições de transporte. Tendo em vista que, a motivação é um ajuste que envolve vários sistemas internos de um animal (Koob et al., 2008), consideramos que o óleo-de-cravo não teve efeito prejudicial nas reações dos componentes do comportamento agressivo e alimentar, evidenciados pela presença de outro peixe (Arnott e Elwood, 2009) e do alimento (Elnwishy et al., 2012; Volpato et al., 2013).

Considerações finais

Nas próximas décadas, a produção aquícola deve crescer sustentavelmente. Para isso, melhores práticas devem ser adotadas visando operações de rotina eficientes com baixo impacto no bem-estar dos animais cultivados (FAO, 2022). O transporte é um manejo em que os peixes são expostos a elevadas densidades de estocagem e possíveis alterações na qualidade da água. Os peixes são animais sensientes com capacidade de perceber calor, frio, dor e desconforto (Volpato, 2014). Portanto, devemos minimizar os efeitos prejudiciais de estímulos estressores. Pensando nisso, o uso de anestésicos tem sido utilizado visando minimizar os efeitos do manejo nos sistemas de cultivo.

Nesse sentido, concentrações anestésicas de óleo-de-cravo têm sido utilizadas para tal finalidade durante procedimentos rotineiros, por exemplo pesagem de peixes. Decerto, concentrações de óleo-de-cravo não promoveram alterações prejudiciais no comportamento alimentar e agressivo de tilápia-do-Nilo (da Silva et al., 2021), nem causaram mortalidade em peixe palhaço marinho (*Amphiprion ocellaris*) e peixe espada (*Xiphophorus helleri*) (Hekimoğlu et al., 2017) após anestesia com esse óleo essencial. No presente estudo, a concentração calmante de óleo-de-cravo também não promoveu mortalidades após o transporte da tilápia.

Tal resultado demonstra que o uso desse óleo essencial é vantajoso em termos de gerenciamento da produtividade na piscicultura.

Além disso, concentrações baixas de óleo-de-cravo foram usadas com o objetivo de minimizar o efeito estressor do transporte em peixes: 10 $\mu\text{L/L}$ (Sink e Neal, 2009); 2,5 mg/L (Jerez-Cepa et al., 2019); 4,0 mg/L (Iversen et al., 2009); 40 $\mu\text{L/L}$ (Kamalam et al., 2017). No entanto, tais estudos focaram nos efeitos do óleo-de-cravo em parâmetros de qualidade de água (Kamalam et al., 2017; Simões et al., 2011; Sink e Neal, 2009) e aspectos fisiológicos dos peixes, por exemplo, cortisol, glicose, sódio, cloreto e osmolaridade no plasma. Sendo, poucos estudos abordando os efeitos desse óleo essencial nos comportamentos alimentar e agressivo (da Silva et al., 2021). Porém, o próprio anestésico pode ser um estressor (Ross e Ross, 2009), que dependendo da concentração pode causar mortalidade (Simões et al., 2011; Adel et al., 2016). De fato, mortalidades foram observadas em tilápia-do-Nilo após o transporte com 18 mg/L de óleo-de-cravo (Simões et al., 2011).

Contudo, no presente estudo, nós mostramos que a concentração de 5 mg/L de óleo-de-cravo afetou benéficamente o comportamento alimentar. Pois, tilápias expostas a essa concentração apresentaram maior motivação para comer os pellets de ração 1 h e 24 h após o transporte. Assim, consideramos que o óleo-de-cravo atenuou o efeito estressor do transporte. Além disso, não observamos alterações prejudiciais nos componentes consumatórios e motivacionais do comportamento agressivo frente a um coespecífico. Considerando que, o transporte é um procedimento estressor que promove mortalidades de peixes imediatamente (Becker et al., 2013) ou por até 6 dias (Iversen et al., 2009; Simões et al., 2011) após tal manejo; no presente experimento, não houve mortalidades ao longo de 7 dias após o transporte da tilápia.

Assim, de acordo com nossas fundamentações, consideramos a concentração calmante de 5 mg/L de óleo-de-cravo como segura para tilápia-do-Nilo em contextos associados à aquicultura, tal como o transporte de peixes. Tais evidências são positivas, visto que, contribui para continuo aprimoramento dos pacotes tecnológicos associados ao uso de óleos essenciais em peixes.

Referências

- ADEL, M. *et al.* Anesthetic efficacy of clove oil, propofol, 2-phenoxyethanol, and ketamine hydrochloride on Persian Sturgeon, *Acipenser persicus*, juveniles. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 47, n. 6, p. 812-819, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/jwas.12286>.
- ALMEIDA, A. P. G. *et al.* Essential oils and eugenol as anesthetics for *serrasalmus rhombeus* [Óleos essenciais e eugenol como anestésico para *serrasalmus rhombeus*]. v. 44, n. 1, 2018. DOI: <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2018.195>.
- ARNOTT, G.; ELWOOD, R. Probing aggressive motivation in a cichlid fish. **Biology Letters**, v. 5, n. 6, p. 762-764, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsbl.2009.0526>
- AZAMBUJA, C. R. *et al.* Effect of the essential oil of *Lippia alba* on oxidative stress parameters in silver catfish (*Rhamdia quelen*) subjected to transport. **Aquaculture**, v. 319, n. 1-2, p. 156-161, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.06.002>
- BARBAS, L. A. L. *et al.* Anaesthesia and transport of juvenile tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) with tricaine methane-sulphonate: Implications on secondary and oxidative stress responses. **Journal of Applied Ichthyology**, v. 33, n. 4, p. 720-730, 2017a. DOI: <https://doi.org/10.1111/jai.13382>
- BARBAS, L. A. L. *et al.* Properties of two plant extractives as anaesthetics and antioxidants for juvenile tambaqui *Colossoma macropomum*. **Aquaculture**, v. 469, p. 79-87, 2017b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.12.012>
- BARBAS, L. A. L. *et al.* Stress relieving potential of two plant-based sedatives in the transport of juvenile tambaqui *Colossoma macropomum*. **Aquaculture**, v. 520, p. 734681, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734681>
- BARRETO, R. E. *et al.* Aggressive behaviour traits predict physiological stress responses in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Marine and Freshwater Behaviour and Physiology**, v. 42, n. 2, p. 109-118, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1080/10236240902850392>
- BECKER, A. G. *et al.* Transportation of silver catfish, *Rhamdia quelen*, in water with eugenol and the essential oil of *Lippia alba*. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 38, p. 789-796, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10695-011-9562-4>
- BERKA, R. The transport of live fish: a review. Rome, Italy: **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 1986. DOI: <https://www.fao.org/3/af000e/af000e.pdf>
- BRANDÃO, F. R. *et al.* Essential oils of *Lippia sidoides* and *Mentha piperita* as reducers of stress during the transport of *Colossoma macropomum*. **Aquaculture**, v. 560, p. 738515, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738515>
- CONTE, F. S. Stress and the welfare of cultured fish. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 86, n. 3-4, p. 205-223, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.02.003>

- COOKE, S. J. *et al.* Behavioral and physiological assessment of low concentrations of clove oil anaesthetic for handling and transporting largemouth bass (*Micropterus salmoides*). **Aquaculture**, v. 239, n. 1-4, p. 509-529, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.06.028>
- Da SILVA, D. R. *et al.* Effects of clove oil on behavioral reactivity and motivation in Nile tilapia. **Aquaculture**, v. 532, p. 736045, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736045>
- DA SILVA, E. *et al.* (2023). 2-Phenoxyethanol as an anesthetic for *Rhamdia quelen*: a comparison with eugenol. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, 18(1), 41–50. DOI: <https://doi.org/10.54451/PanamJAS.18.1.41>
- DARMAWAN, J.; TAHAPARI, E.; PAMUNGKAS, W. Effectiveness of anesthesia solution (2-Phenoxyethanol) in the transportation of brood stock of Perkasa Striped Catfish (*Pangasianodon hypophthalmus* Sauvage, 1878). In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2023. p. 012034. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1137/1/012034>
- ELNWISHY, N.; SABRI, D.; NWONWU, F. The effect of difference in environmental colors on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) production efficiency. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 14, n. 4, 2012. DOI: <http://www.fspublishers.org>
- FAILAMAN, A. N.; TRAI FALGAR, R. F. M.; CORRE JR, V. L. Survival of nursery-reared juvenile milkfish, *Chanos chanos*, at different transport density and temperature. **Journal of Applied Aquaculture**, v. 34, n. 4, p. 938-952, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/10454438.2021.1910605>
- FAO. Agriculture Organization Of The United Nations. Fisheries Department. **The State of World Fisheries and Aquaculture**. Food & Agriculture Org., 2000.
- FERNANDES, D. O. M.; VOLPATO, G. L. Heterogeneous growth in the Nile tilapia: social stress and carbohydrate metabolism. **Physiology & Behavior**, v. 54, n. 2, p. 319-323, 1993. DOI: [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(93\)90117-X](https://doi.org/10.1016/0031-9384(93)90117-X)
- GAUSE, B. R. *et al.* Efficacy and physiological responses of grass carp to different sedation techniques: I. Effects of various chemicals on sedation and blood chemistry. **North American Journal of Aquaculture**, v. 74, n. 4, p. 560-566, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1080/15222055.2012.691013>
- GIAQUINTO, P. C.; VOLPATO, G. L. Chemical communication, aggression, and conspecific recognition in the fish Nile tilapia. **Physiology & Behavior**, v. 62, n. 6, p. 1333-1338, 1997. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0031-9384\(97\)00347-8](https://doi.org/10.1016/S0031-9384(97)00347-8)
- GOMES, L. D. C. *et al.* Use of salt during transportation of air breathing pirarucu juveniles (*Arapaima gigas*) in plastic bags. **Aquaculture**, v. 256, n. 1-4, p. 521-528, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.02.004>
- GONCALVES, B.; GIAQUINTO, P. C. Propofol and benzocaine anesthetics responses profiles in Nile tilapia. **International Aquatic Research**, v.12, n. 3, 2020. DOI: <https://doi.org/10.22034/IAR.2020.1895923.1026>
- GONTIJO, Á. M. M. C. *et al.* Anesthesia of fish with benzocaine does not interfere with comet assay results. **Mutation Research/Genetic Toxicology and**

- Environmental Mutagenesis**, v. 534, n. 1-2, p. 165-172, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1383-5718\(02\)00276-0](https://doi.org/10.1016/S1383-5718(02)00276-0)
- GUÉNETTE, S. A. *et al.* Pharmacokinetics of eugenol in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v. 266, n. 1-4, p. 262-265, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.02.046>
- HAJEK, G. J. The anaesthetic-like effect of tea tree oil in common carp *Cyprinus carpio* L. **Aquaculture Research**, v. 42, n. 2, p. 296-300, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02625.x>
- HEKIMOĞLU, M. A. *et al.* Sedative effect of clove oil and 2-phenoxyethanol on marine clownfish (*Amphiprion ocellaris*) and freshwater swordfish (*Xiphophorus helleri*). **Pakistan Journal of Zoology**, v. 49, n. 6, p. 2209-2216, 2017. DOI: <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/2017.49.6.2209.2216>
- HOHLENWERGER, J. C. *et al.* Essential oil of *Lippia alba* in the transport of Nile tilapia. *Ciência Rural*, v. 47, p. e20160040, 2016. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160040>
- HUNTINGFORD, F. A. *et al.* Current issues in fish welfare. **Journal of fish biology**, v. 68, n. 2, p. 332-372, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2005.01046.x>
- HUNTINGFORD, F. A.; KADRI, S. Defining, assessing and promoting the welfare of farmed fish. **Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)**, v. 33, n. 1, p. 233-244, 2014. DOI: <https://doi.org/10.20506/rst.33.1.2286>
- HUNTINGFORD, F.; ADAMS, C. Behavioural syndromes in farmed fish: implications for production and welfare. **Behaviour**, v. 142, n. 9-10, p. 1207-1221, 2005. <https://doi.org/10.1163/156853905774539382>
- INOUE, L. A. K. A.; SANTOS NETO, C. D.; MORAES, G. Clove oil as anaesthetic for juveniles of matrinxã *Brycon cephalus* (Gunther, 1869). **Ciência Rural**, v. 33, p. 943-947, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782003000500023>
- IVERSEN, M.; ELIASSEN, R.A.; FINSTAD, B. Potential benefit of clove oil sedation on animal welfare during salmon smolt, *Salmo salar* L. transport and transfer to sea. **Aquaculture Research**, v. 40, n. 2, p. 233-241, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02091.x>
- JACOBSEN, J. V.; STEEN, K.; NILSSEN, K. J. Anaesthetic efficacy of Aqui-S, Benzoak, and MS-222 on lumpfish (*Cyclopterus lumpus*) fries. Impact from temperature, salinity, and fasting. **Plos one**, v. 14, n. 1, p. e0211080, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211080>
- JAVAHERY, S.; NEKOUBIN, H.; MORADLU, A. H. Effect of anaesthesia with clove oil in fish. **Fish physiology and biochemistry**, v. 38, p. 1545-1552, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10695-012-9682-5>
- JEREZ-CEPA, I. *et al.* Transport and recovery of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) sedated with clove oil and MS-222: Effects on stress axis regulation and intermediary metabolism. **Frontiers in Physiology**, v. 10, p. 612, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00612>

- KAMALAM, B. S. *et al.* 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.08.012>
- KEENE, J. L. *et al.* The efficacy of clove oil as an anaesthetic for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). **Aquaculture Research**, v. 29, n. 2, p. 89-101, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.1998.00927.x>
- KENTER, L. W.; GUNN, M. A.; BERLINSKY, D. L. Transport stress mitigation and the effects of preanesthesia on striped bass. **North American Journal of Aquaculture**, v. 81, n. 1, p. 67-73, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/naaq.10072>
- KOOB, G. F.; EVERITT, B. J.; ROBBINS, T. W. Reward, motivation, and addiction. *In: Fundamental neuroscience*. Academic Press, p. 871-898, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385870-2.00041-X>
- KULCZYKOWSKA, E.; SÁNCHEZ VÁZQUEZ, F. J. Neurohormonal regulation of feed intake and response to nutrients in fish: aspects of feeding rhythm and stress. **Aquaculture research**, v. 41, n. 5, p. 654-667, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02350.x>
- LIU, Y. *et al.* Effects of tricaine methanesulfonate (MS-222) on sedation and responses of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) subjected to simulated transportation stress. **Aquaculture**, v. 549, p. 737789, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737789>
- MITJANA, O. *et al.* Simultaneous effect of sex and dose on efficacy of clove oil, tricaine methanesulfonate, 2-phenoxyethanol and propofol as anaesthetics in guppies, *Poecilia reticulata* (Peters). **Aquaculture Research**, v. 49, n. 6, p. 2140-2146, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/are.13668>
- OLIVEIRA, J. R. *et al.* Cloreto de sódio, benzocaína e óleo de cravo-da-índia na água de transporte de tilápia-do-nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, p. 1163-1169, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000700001>
- PARODI, T. V. *et al.* Anesthetic activity of the essential oil of *Aloysia triphylla* and effectiveness in reducing stress during transport of albino and gray strains of silver catfish, *Rhamdia quelen*. **Fish Physiology and Biochemistry**, v.40, p. 323-334, 2014. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10695-013-9845-z>
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1080/23308249.2018.1442812>
- RAJESH, M. *et al.* Optimisation of Safe Loading Density for Live Transportation of Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792), Yearlings in Plastic Bags. **Asian Fisheries Science**, v. 36, n. 1, 2023. DOI: <https://doi.org/10.33997/j.afs.2023.36.1.001>
- RIBEIRO, P. A. P. *et al.* Eugenol and benzocaine as anesthetics for *Lophiosilurus alexandri* juvenile, a freshwater carnivorous catfish. **Aquaculture International**, v. 27, p. 313-321, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10499-018-0326-3>
- ROSS, L. G.; ROSS, B. Anaesthetic and sedative techniques for aquatic animals. **John Wiley & Sons**, 2009.

- ROZA-E-SILVA, M. L. R. *et al.* Effects of water flow on ventilation rate and plasma cortisol in Nile tilapia introduced into novel environment. **Aquaculture Reports**, v. 18, p. 100531, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100531>
- SACCOL, E. M. *et al.* *Myrcia sylvatica* essential oil mitigates molecular, biochemical and physiological alterations in *Rhamdia quelen* under different stress events associated to transport. **Research in veterinary science**, v.117, p. 150-160, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.12.009>
- SIMÕES, L. N. *et al.* Efficacy of clove oil as anesthetic in handling and transportation of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Actinopterygii: Cichlidae) juveniles. **Zoologia (curitiba)**, v. 28, p. 285-290, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1984-46702011000300001>
- SINK, T. D.; NEAL, J. W. Stress response and posttransport survival of hybrid striped bass transported with or without clove oil. **North American Journal of Aquaculture**, v. 71, n. 3, p. 267-275, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1577/a08-040.1>
- SNEDDON, L. U.; WOLFENDEN, D. C.C; THOMSON, J. S. Stress management and welfare. *In: Fish physiology*. Academic Press. p. 463-539, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802728-8.00012-6>
- TAGO, A. *et al.* Pharmacokinetics of eugenol in Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 49, n. 4, p. 780-787, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/jwas.12438>
- TEIXEIRA, R. R. *et al.* Essential oil of *Aloysia triphylla* is effective in Nile tilapia transport. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 44, n. 1, p. 17-24, 2018. DOI: [10.20950/1678-2305.2018.263](https://doi.org/10.20950/1678-2305.2018.263)
- TRUSHENSKI, J. T.; JOHNSON, J.; BOWKER, J. D. Efficacy and Hematological Responses of Walleyes to Chemosedation and Electrosedation. **North American Journal of Aquaculture**, v. 80, n. 4, p. 355-362, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/naaq.10040>
- URBINATI, E. C. *et al.* Loading and transport stress of juvenile matrinxã (*Brycon cephalus*, Characidae) at various densities. **Aquaculture**, v. 229, n. 1-4, p. 389-400, 2004. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00350-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00350-8)
- VANDERZWALMEN, M. *et al.* Effect of a water conditioner on ornamental fish behaviour during commercial transport. **Aquaculture**, v. 514, p. 734486, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734486>
- VANDERZWALMEN, M. *et al.* Monitoring water quality changes and ornamental fish behaviour during commercial transport. **Aquaculture**, v. 531, p. 735860, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735860>
- VOLKOFF, H. The neuroendocrine regulation of food intake in fish: a review of current knowledge. **Frontiers in neuroscience**, v. 10, p. 540, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00540>
- VOLPATO, G. L. *et al.* Red light stimulates feeding motivation in fish but does not improve growth. **PloS one**, v. 8, n. 3, p. e59134, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059134>

- VOLPATO, G. L.; FERNANDES, M. O. Social control of growth in fish. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 27, p. 797-797, 1994. DOI: <https://www.researchgate.net/publication/284688926>
- VOLPATO, G.L. Comportamento e bem-estar. *In*: Biologia e fisiologia de peixes neotropicais de água doce. Jaboticabal: **FUNEP**, 336p. 2014.
- WEBER, R. A. *et al.* Effects of acute exposure to 2-phenoxyethanol, clove oil, MS-222, and metomidate on primary and secondary stress responses in Senegalese sole (*Solea senegalensis* Kaup 1858). **Aquaculture**, v. 321, n. 1-2, p. 108-112, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.08.029>
- WITESKA, M.; DUDYK, J.; JARKIEWICZ, N. Haematological effects of 2-phenoxyethanol and etomidate in carp (*Cyprinus carpio* L.). **Veterinary Anaesthesia and Analgesia**, v. 42, n. 5, p. 537-546, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/vaa.12242>
- ZAHL, I. H. *et al.* Anaesthesia of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) Effect of pre-anaesthetic sedation, and importance of body weight and water temperature. **Aquaculture Research**, v. 42, n. 9, p. 1235-1245, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02711.x>
- ZAHL, I. H.; SAMUELSEN, O.; KIESSLING, A. Anaesthesia of farmed fish: implications for welfare. **Fish physiology and biochemistry**, v. 38, p. 201-218, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10695-011-9565-1>
- ZEPPENFELD, C. C. *et al.* Anesthetic induction of juveniles of *Rhamdia quelen* and *Ctenopharyngodon idella* with *Ocimum micranthum* essential oil. **Ciência Rural**, v. 49, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478CR20180218>

Capítulo 2: Efeitos dos anestésicos sintéticos e herbais no comportamento e fisiologia de peixes

RESUMO

Anestésicos sintéticos são utilizados frequentemente para promover anestesia durante procedimentos comuns na aquicultura. Especificamente, o MS-222; 2-fenoxietanol e o eugenol (principal constituinte do óleo-de-cravo) agem de maneiras diferentes no sistema nervoso. Contudo, os óleos essenciais têm ganhado destaque, pois, promoveram anestesia e sedação leve para diferentes tipos de manejo rotineiros na aquicultura; sendo, portanto, potenciais substitutos aos anestésicos sintéticos. Nessa revisão, nós sistematizamos os efeitos comportamentais e fisiológicos de anestésicos sintéticos e herbais em peixes. A benzocaína e o MS-222 foram utilizados para promover anestesia profunda e cirúrgica para procedimentos que necessitem de analgesia; e sedação leve para o transporte. *Eugenia caryophyllus*, *Aloysia triphyla*, *Lippia alba*, *Ocimum basilicum* e *melaleuca alternifolia* também proporcionaram efeito anestésico e calmante. Portanto, nessa revisão, nós descrevemos os efeitos comportamentais e fisiológicos entre anestésicos sintéticos e óleos herbais em peixes.

PALAVRAS-CHAVE

anestésicos, propofol, anestesia animal, cravo-da-Índia

ABSTRACT

Synthetic anesthetics are often used to provide anesthesia during common aquaculture procedures. Specifically, the MS-222; 2-phenoxyethanol and eugenol (main constituent of clove oil) act in different ways on the nervous system. However, essential oils have gained prominence, as they promote anesthesia and light sedation for different types of routine management in aquaculture; Therefore, they are potential substitutes for synthetic anesthetics. In this review, we systematize the behavioral and physiological effects of synthetic and herbal anesthetics in fish. Benzocaine and MS-222 were used to promote deep and surgical anesthesia for procedures requiring analgesia; and light sedation for transport. *Eugenia caryophyllus*, *Aloysia triphyla*, *Lippia alba*, *Ocimum basilicum* and *Melaleuca alternifolia* also provided an anesthetic and calming effect. Therefore, in this review, we describe the behavioral and physiological effects between synthetic anesthetics and herbal oils in fish.

KEY-WORDS

anesthetics, propofol, animal anesthesia, clove oil

1. Introdução

O manejo é uma atividade que facilmente promove estresse em peixes, e tal atividade, dependendo da gravidade pode causar lesões físicas, imunossupressão e mortalidade (Coyle et al., 2004). A resposta ao estresse é a percepção de um estímulo, o qual ativa o eixo hipotálamo-hipófise-células inter-renais, liberando catecolaminas e corticosteroides. Tal resposta, promove a elevação do consumo de oxigênio; mobilização de substratos energéticos; realocação da energia para crescimento e reprodução; com posterior supressão da resposta imune (Wendelaar Bonga, 1997). Nesse sentido, o uso de anestesia é necessário, pois promove melhor bem-estar aos peixes durante procedimentos de rotina, que podem ser potencialmente dolorosos ou causar sofrimento. Assim, agentes anestésicos são utilizados para imobilização com ou sem analgesia; e proporcionar efeito calmante durante o transporte (Ross e Ross, 2009). Neste contexto, o MS-222 aliviou a resposta ao estresse em ‘indian tiger barb’ (*Puntius filamentosus*) transportados por 48 h (Pramod et al., 2010). A concentração de 60 mg L⁻¹ de Benzocaína promoveu anestesia cirúrgica e recuperação < 3 min em juvenis de pacamã (*Lophiosilurus alexandri*) (Ribeiro et al., 2019). Por outro lado, banhos anestésicos com 150 mg L⁻¹ de MS-222 em carpa capim (*Ctenopharyngodon idella*) (Gause et al., 2012) e 150 mg L⁻¹ de Benzocaína em ‘walleyes’ (*Sander vitreus*) (Trushenski et al., 2018) promoveram aumento do cortisol após a exposição. Alternativamente, os óleos essenciais demonstraram efeitos sedativos e anestésicos em peixes. A concentração de 25 µL L⁻¹ de óleo essencial de *Aloysia triphylla* minimizou a perda de íons sódio e potássio no sangue após o transporte de pacamã (*L. alexandri*) (Becker et al., 2017). Juvenis de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) demonstraram menor cortisol após anestesia com 300 µL L⁻¹ de *A. triphylla* (Teixeira et al., 2017). O óleo-de-cravo é o anestésico herbal mais utilizado em peixes, sendo seus principais constituintes o eugenol e o isoeugenol (Javahery et al., 2012). O efeito anestésico de eugenol é provavelmente em virtude da modulação alostérica positiva dos receptores GABAA no sistema nervoso central (Reiner et al., 2013). O efeito anestésico de MS-222 ocorre em razão à inibição da transmissão do sinal neural pelo bloqueio dos canais de sódio (Frazier e Narahashi, 1975), enquanto o 2-fenoxietanol interage com os receptores NMDA causando inibição da transmissão sináptica

(Mußhoff et al., 1999). Devido a tais distintos modos de ação no sistema nervoso, torna-se necessário conhecer se ocorre diferenças efeitos no comportamento e fisiologia. Tal conhecimento é importante para entender, se a exposição aos anestésicos sintéticos e herbais é segura quando utilizados em procedimentos rotineiros na aquicultura. Portanto, esta revisão sumarizou os efeitos comportamentais (sedação leve, anestesia profunda e cirúrgica) e fisiológicos (parâmetros sanguíneos, estresse oxidativo e eletromiografia) de óleo-de-cravo, 2-fenoxietanol, MS-222, benzocaína, propofol, metomidato e outros óleos essenciais, e proporciona uma visão geral dos efeitos desses anestésicos em peixes.

2. Métodos

As publicações foram pesquisadas com palavras-chaves '*essencial oils*' e '*synthetic anesthetics*', e utilizando o termo '*fish*' como filtro no site acadêmico '*Web of Science*'.

3. Anestésicos sintéticos

3.1. Benzocaína

A benzocaína (4 - aminobenzoato de etila) tem aspecto cristalino, incolor; e pouco solúvel em água, sendo necessário sua diluição em etanol ou acetona (Ross e Ross, 2009). A benzocaína é frequentemente utilizada na medicina veterinária como analgésico local (Sneddon, 2012). Em diferentes espécies peixes, a benzocaína promoveu anestesia e sedação com concentrações variando de 25 mg L⁻¹ a 150 mg L⁻¹ (Tabela 1).

3.1.1. Efeito comportamental

3.1.1.1. Anestesia ou sedação

A anestesia foi obtida em 3 minutos ou menos com concentrações de 25 mg L⁻¹ (Zahl et al., 2009), 40 mg L⁻¹ (Zahl et al., 2011), 50 mg L⁻¹ (Braz et al., 2017), 60 mg L⁻¹ (Ribeiro et al., 2019), 80 mg L⁻¹ (Gontijo et al., 2003) ou 150 mg L⁻¹ (Gause et al., 2012; Trushenski et al., 2012a, 2012b, 2018). Nesses estudos foram obtidos tempos de retorno do equilíbrio ou recuperação ≤ 5 minutos. Por outro lado, a recuperação pode ultrapassar 15 minutos em peixes anestesiados com 40 mg L⁻¹ de benzocaína (Zahl et al., 2011). Apesar de, benzocaína promover eficientes tempos de indução anestésicas, as concentrações de 25 mg L⁻¹ e 40 mg L⁻¹ não reduziram totalmente a responsividade ao manuseio durante a pesagem e reação a aperto no pedúnculo caudal em peixes (Zahl et al., 2009; Zahl et al., 2011). Além disso, a concentração de 80 mg L⁻¹ promoveu longo tempo para promover inconsciência em tilápia-do-Nilo (10 min) (*O. niloticus*) para o abate (Santos et al., 2021). Em relação ao comportamento alimentar, a concentração de 6,5 mL L⁻¹ de benzocaína não prejudicou a latência alimentar de tilápia-do-Nilo (*O. niloticus*) após exposição a anestésica (Gonçalves e Giaquinto, 2020).

3.1.1.2. Anestesia profunda

A benzocaína não foi efetiva para promover anestesia profunda em juvenis de ‘pike silverside’ (*Menidia estor*) (24 mg L⁻¹, indução aproximadamente 32 min, retorno do equilíbrio < 5 min) (Ross et al., 2007). Por outro lado, a concentração de 100 mg L⁻¹ promoveu anestesia profunda e recuperação, ambas < 3 min em guppy (*Poecilia vivipara*) (Bolasina et al., 2017).

3.1.1.3. Anestesia cirúrgica

Os procedimentos rotineiros podem causar lesões físicas e ser potencialmente dolorosos para os peixes (Ross e Ross, 2009). Nesse sentido, o uso de anestesia

pode ser uma ferramenta visando minimizar tais efeitos. As concentrações de 60 mg L⁻¹ (Medeiros-Júnior et al., 2019) e 120 mg L⁻¹ (Okamura et al., 2010) de benzocaína promoveram rápida indução a anestesia cirúrgica < 3 minutos em peixes (tabela 2). No entanto, a concentração de 37,5 mg L⁻¹ em 'lumpfish' (*Cyclopterus lumpus*) (Jacobsen et al., 2019) e 100 ppm em carpa cruciana (*Carassius carassius*) (Heo e Shin, 2010) promoveram anestesia cirúrgica em < 5 minutos.

Em relação a recuperação, maiores concentrações promoveram recuperação mais longa, mas permaneceram abaixo de 5 minutos. Juvenis de 'lumpfish' (*C. lumpus*) recuperaram rapidamente (60 s) após anestesia cirúrgica com 37,5 mg L⁻¹ de benzocaína (Jacobsen et al., 2019). Juvenis de curimba (*Prochilodus lineatus*) expostos a 60 mg L⁻¹ demonstraram recuperação em < 4 min (Medeiros Júnior et al., 2019). A tilápia-do-Nilo (*O. niloticus*) recuperou em menos de 5 minutos após exposição a concentração anestésica de 120 mg L⁻¹ (Okamura et al., 2010).

3.1.2. Efeitos fisiológicos: anestesia

3.1.2.1. Cortisol

A concentração de 100 ppm de benzocaína aliviou a resposta ao estresse em carpa cruciana (*C. carassius*) após anestesia cirúrgica (Heo e Shin, 2010). Por outro lado, banhos anestésicos com 150 mg L⁻¹ de benzocaína não aliviaram a resposta primária ao estresse em 6 horas após sedação (estágio 4) em carpa capim (*C. idella*) (Gause et al., 2012) e 'walleyes' (*S. vitreus*) (Trushenski et al., 2018) (tabela 1).

3.1.2.2. Glicose

A concentração de 150 mg L⁻¹ não foi eficiente em atenuar a resposta secundária ao estresse em peixes (tabela 1). Tal concentração de benzocaína não preveniu a hiperglicemia por até 6 h após sedação (estágio 4) em adultos de 'hybrid striped bass' (*Morone crissops* × *M. saxatilis*) (Trushenski et al., 2012a) e juvenis de 'walleyes' (*S. vitreus*) (Trushenski et al., 2018). Apesar desses resultados, a

benzocaína não promoveu resposta secundária ao estresse em adultos de pacamã (*L. alexandri*) após anestesia cirúrgica com 60 ou 120 mg L⁻¹ (Ribeiro et al., 2019); adultos de carpa capim (*C. idella*) em 6h após exposição a sedação com 150 mg L⁻¹ (Gause et al., 2012); e carpa crucian (*C. carassius*) após anestesia cirúrgica com 100 ppm (Heo e Shin, 2010).

3.1.2.3. Lactato

A concentração de 150 mg L⁻¹ de benzocaína promoveu aumento temporário dos níveis de lactato após a sedação (estágio 4) em adultos de 'hybrid striped bass' (*M. crissops* × *M. saxatilis*) (Trushenski et al., 2012a) e adultos de carpa capim (*C. idella*) (Gause et al., 2012).

3.1.2.4. Hematologia

A benzocaína não causou relevantes alterações hematológicas em peixes expostos a sedação (estágio 4) ou anestesia cirúrgica (tabela 1). A sedação (estágio 4) não teve efeito no percentual de hematócrito ao longo de 6 horas em adultos de carpa capim (*C. idella*) após sedação (estágio 4) com 150 mg L⁻¹ (Gause et al., 2012). As concentrações de 60 a 480 mg L⁻¹ de benzocaína também não alteraram os níveis de hematócrito após anestesia cirúrgica em pacamã (*L. Alexandre*) (Ribeiro et al., 2019). No entanto, 'hybrid striped bass' (*M. chrysops* × *M. saxatilis*) apresentaram redução do percentual de hematócrito em 6 h após exposição a 150 mg L⁻¹ (Trushenski et al., 2012a).

Estudos abordando aspectos hematológicos são importantes para verificar se o uso de um anestésico é seguro em termos de efeitos genotóxicos em peixes (Valença-Silva et al., 2014). De fato, a anestesia com 80 mg L⁻¹ de benzocaína mostrou ser segura para tilápia-do-Nilo (*O. niloticus*), pois não promoveu danos no DNA de eritrócitos em 48 h após exposição anestésica (Gontijo et al., 2003).

3.1.2.5. Osmolaridade

A sedação (estágio 4) com 150 mg L⁻¹ de benzocaína causou redução da osmolaridade em adultos de 'hybrid striped bass' (*M. crissops* × *M. saxatilis*) (Trushenski et al., 2012a) (tabela 1).

3.1.3. Transporte

3.1.3.1. Cortisol e glicose

A benzocaína aliviou a resposta primária e secundária ao estresse em juvenis de indian 'tiger barb' (*P. filamentosus*) ao longo de 48 h após o transporte com 20 mg L⁻¹ (Pramod et al., 2010). Por outro lado, a concentração de 6 mg L⁻¹ de benzocaína promoveu hiperglicemia em juvenis de cobia (*Rachycentron canadum*) imediatamente e 2 horas após o transporte, com nível similar ao grupo controle somente em 48 horas após o transporte (Pedron et al., 2016) (tabela 1).

Tabela 1. Concentrações, efeito comportamental e fisiológico de benzocaína em peixes.

Espécies	Concentrações	Efeito comportamental	Efeito fisiológico	Autor
<i>Carassius carassius</i> 368,3 ± 22,7g	25, 50, 100 ppm	Anestesia cirúrgica (estágio 5) 100 ppm 251 ± 2 s.	100 ppm ↓cortisol e glicose vs peixes não anestesiados.	Heo e Shin, 2010
<i>Ctenopharyngodon. idella</i> 301 ± 8 g	150 mg L ⁻¹ 0; 0,5; 1; 2; 6h após sedação (15,9 °C) 0,426 Salinidade (‰)	Sedação (estágio 4) 1,5 min. Retorno de equilíbrio 5 min, retorno de resposta tátil 15,4 min.	Cortisol ↑ 0,5 h, ↓ 1h, estável 2 h, ↓6 h, mas permaneceu > Nb. Não afetou a glicose e hematócrito. Sem efeito na osmolaridade. ↑ lactato 1 h, ↓ 6 h ~ Nb.	Gause et al., 2012
<i>Cyclopterus lumpus</i> 0,97 ± 0,45 g	12,5 - 100 mg L ⁻¹ (12°C) 37,5 mg L ⁻¹ exposição 5, 10, 20 min	Anestesia cirúrgica (estágio 3b) 37,5 mg L ⁻¹ 200 s, recuperação 5 min 60 s e 20 min 83 s.		Jacobsen et al., 2019
<i>Gadus morhua</i>	25 mg L ⁻¹ (100 g 16 °C)	Anestesia 127 ± 9 s. Recuperação 137 ± 30 s. Manuseio 73% sem, 20% response, 7% impossível de manusear. Reflexo 43% ausente, 57% presente.		Zahl et al., 2009
<i>Hippoglossus hippoglossus</i>	40 mg L ⁻¹ (1243 g 15 °C)	Anestesia 130 ± 12 s, recuperação 945 ± 104 s. Manuseio 76% sem, 24% response, 7% impossível de manusear. Reflexo 33% ausente, 67% presente.		Zahl et al., 2011
<i>Lophiosilurus alexandri</i> 214,87 ± 75,83 g	60 - 480 mg L ⁻¹ 0 e 24 após anestesia (28,30 ± 0,68 °C)	Anestesia 60 mg L ⁻¹ 175,60 ± 14,53 s. Recuperação 34,40 ± 13,29 s.	60 e 120 mg L ⁻¹ não ↑ Glicose e Hematócrito vs controle (não anestesiado).	Ribeiro et al., 2019
<i>Menidia estor</i> 7,7 g	3 - 40 mg L ⁻¹ Exposição de 64 minutos (25 ± 2°C)	Anestesia profunda 24 mg L ⁻¹ ~ 32 min + 80%, retorno do equilíbrio < 5 min.		Ross et al., 2007
<i>Micropterus salmoides</i> 508 ± 20 g exp 1 492 ± 20 g exp 2	150 mg L ⁻¹ (21,2 °C)	Sedação (estágio 4) 1,6 ± 0,1 min. Retorno do equilíbrio 3,0 ± 0,3 min, resposta ao estímulo tátil 3,1 ± 0,3 min.		Trushenski et al., 2012b
<i>Morone chrysops</i> × <i>M. saxatilis</i> 510 ± 26,5 g Exp 1 509 ± 9,0 g Exp 2	150 mg L ⁻¹ (17,8°C)	Anestesia (estágio 4) 1,3 ± 0,1 min, retorno do equilíbrio 3,1 ± 0,1 min, responsividade audiovisual 4,0 ± 0,4 minutos.	Cortisol ↑ 0,5 h, normal 2 h. Glicose ↑ 0,5 h, leve ↑ 1 e 2 h, estável 6 h, mas permaneceu > Nb. Lactato ↑ 1 h, mas ↓ 2 e 6 h ~ Nb. ↓ Hematócrito 6h e Osmolaridade ↓ 2h e 6h < Nb.	Trushenski et al., 2012a

Cont. tabela 1.

<i>Mugil liza</i> 6,9 ± 1,4 g	30, 40, 50 e 60 mg L ⁻¹ (23,8 ± 0,5 °C)	Anestesia (estágio 3) 50 mg L ⁻¹ 173,2 ± 52,7 s, recuperação 190,2 ± 34,9 s.		Braz et al., 2017
<i>Oreochromis niloticus</i> 166,7 a 196,8 g exp 1 28,03 a 50,31 g exp 2	80 mg L ⁻¹ Anestesia 80, 160 e 600 mg L ⁻¹ (10 min exposição – <i>in vitro</i>)	Anestesia (estágio 2):180 s, 80 mg L ⁻¹ . Migração DNA eritrócitos (30 min, 2, 8, 24 e 48 h após anestesia)	80-600 mg L ⁻¹ não promove efeito genotóxicos. Anestesia não induz a danos no DNA (com ou sem interação com MMS ou H ₂ O ₂). Anestesia não induz a danos no DNA ao longo de 48 h vs controle.	Gontijo et al., 2003
<i>Oreochromis niloticus</i> 6 ± 0,6 a 18 ± 1,4 cm	60.120, 180, 240 mg L ⁻¹ (25 ± 1,4°C)	Anestesia cirúrgica (estágio 3) 120 mg L ⁻¹ 117 ± 34 s, recuperação 280 ± 87 s.		Okamura et al., 2010
<i>Oreochromis niloticus</i> 22,85 ± 2,57 g	6,5 mL L ⁻¹	Anestesia (decubito lateral, ventilação reduzida): 4 min 26 s. Latencia alimentar 9,27 ± 3,32 min vs controle (5,9 ± 4,53 min)		Gonçalves e Giaquinto, 2020
<i>Oreochromis niloticus</i> 42,9 ± 12,99 g	80 mg L ⁻¹	Anestesia: Reflexo vestibulo-ocular: perda: 10 min, retorno 4 min; Eriçamento nadadeira: perda 3 min, retorno 2 min (100% dos peixes).		Santos et al., 2021
<i>Poecilia vivipara</i> 1,42 ± 0,94 g	50, 100, 200 mg L ⁻¹ Salinidade (15 ± 1 ppt) (25 ± 0,5°C)	Anestesia profunda 100 mg L ⁻¹ 80,5 ± 20,9 s, recuperação 122,9 ± 30,6 s.		Bolasina et al., 2017
<i>Prochilodus lineatus</i> 4,7 ± 1,6 g	30, 40, 50, 60, 70, 80 mg L ⁻¹ (22, 25, 28 e 31 °C)	Anestesia cirúrgica 60 mg L ⁻¹ 175 ± 31 s, recuperação < 4 min (28 °C).		Medeiros Júnior et al., 2019
<i>Puntius filamentosus</i> 12 ± 1 g	5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 mg L ⁻¹ 20 mg L⁻¹ Transporte simulado 6 - 48 h	Sedação leve 20% vs controle 40% - após 7 dias de transporte.	Sedação leve < ↑ cortisol e glicose vs grupo controle (6 a 48 h, exceto glicose de 36 h).	Pramod et al., 2010
<i>Rachycentron Canadum</i> 30,9 ± 9,3 g	0, 2, 6 mg L ⁻¹ transporte 8h (0, 2, 24 e 48 horas depois)		6 mg ↑glicose (0 e 2 h), mas ↓ 48 h ~ controle (nível antes do transporte).	Pedron et al., 2016
<i>Sander vitreus</i> 22,6 ± 0,07 cm	150 mg L ⁻¹ 0; 0,5;1; 2; 6h depois da sedação	Sedação (estágio 4) < 1 min. Recuperação ~ 1,5 min pós-sedação.	Cortisol ↑ 0 e 0,5 h, ↓ 1, 2 e 6 h, mas permaneceu > Nb. ↑glicose 0,5 h depois, fraco ↓ 1 e 2h, leve ↑ 6 h > Nb.	Trushenski et al., 2018

Nb, Níveis basais.

3.2. MS-222

O metanossulfonato de tricaína (MS-222) é analgésico local utilizado na medicina humana; tem aspecto de um pó cristalino, o qual quando dissolvido em água forma uma solução ácida (Topic Popovich et al., 2011); sendo, portanto, necessário o tamponamento da solução com bicarbonato de sódio para evitar possível irritação nos peixes (Ross e Ross, 2008). Contudo, o MS-222 é um anestésico sintético amplamente utilizado em peixes, em virtude de promover rápida indução anestésica (Priborsky e Velisek, 2018).

3.2.1. Efeito comportamental

3.2.1.1. Anestesia e sedação

A indução anestésica foi obtida em menos de 3 minutos com 60 mg L⁻¹ de MS-222 em banhos anestésicos no bacalhau do atlântico (*Gadus morhua*) (recuperação < 4 min) (Zahl et al., 2009) e 80 mg L⁻¹ em adultos halibute do atlântico (*Hippoglossus hippoglossus*) (recuperação 15 min) (Zahl et al., 2011) (tabela 2).

A concentração de 150 mg L⁻¹ de MS-222 promoveu rápida indução anestésica para pesagem ≤ 3 min em adultos de carpa capim (*C. idella*) (Gause et al., 2012), 'hybrid striped bass' (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) (Trushenski et al., 2012a), 'largemouth bass' (*Micropterus salmoides*) (Trushenski et al., 2012b), juvenis de 'walleyes' (*S. vitreus*) (Trushenski et al., 2018), juvenis de tainha (*Mugil liza*) (recuperação < 5 min) (Braz et al., 2017) e tilápia-do-Nilo (*O. niloticus*) (Barreto et al., 2007). Os tempos de retorno do equilíbrio ou recuperação foram obtidos em menos de 5 minutos. No entanto, maiores concentrações de MS-222 foram necessárias para promover eficiente tempo de indução anestésica de adultos de zebra fish (*Danio rerio*) (160 mg L⁻¹, < 3 min e recuperação < 3 min) (Huang et al., 2010) e juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*) (240 mg L⁻¹, < 3 min, recuperação < 3 min) (Barbas et al., 2017b).

As concentrações de 60 mg L⁻¹ em bacalhau do atlântico (*G. morhua*) (Zahl et al., 2009) e 80 mg L⁻¹ em halibute do atlântico (*H. hippoglossus*) não reduziram

totalmente a responsividade ao manuseio e nem as reações reflexas a estímulo externo (beliscar na nadadeira caudal) (Zahl et al., 2011). Além disso, 'largemouth bass' (*M. salmoides*) requerem pelo menos cinco minutos após o retorno do equilíbrio e ventilação regular para garantir a recuperação comportamental, em consequência da exposição a 100 mg L⁻¹ de MS-222 (Prystay et al., 2017).

3.2.1.2. Anestesia profunda

O MS-222 promoveu anestesia para procedimentos rotineiros que necessitem de rápida imobilização, por exemplo, pesagem, raspagem de pele ou brânquias (tabela 2). A anestesia profunda foi obtida em menos de 3 minutos e recuperação < 5 minutos com 100 mg L⁻¹ e 160 mg L⁻¹, respectivamente, em guppies (*P. vivipara*) (Bolasina et al., 2017) e guppies (*Poecilia reticulata*) (Mitjana et al., 2018).

3.2.1.3. Anestesia cirúrgica

As concentrações de 60, 90 e 150 mg L⁻¹ de triclaína não promoveram eficientes tempos de indução a anestesia cirúrgica (em 3 minutos ou menos), mas recuperação foi rápida < 180 s em peixes anestesiados com 60 ou 150 mg L⁻¹ (tabela 2). A concentração de 150 mg L⁻¹ de MS-222 foi utilizada para procedimentos dolorosos em zebra fish (*D. rerio*) (indução 252 s, recuperação 140 s) sem causar mortalidade (Collymore et al., 2014).

Por outro lado, menores concentrações foram utilizadas para promover anestesia cirúrgica em peixes. A anestesia cirúrgica foi obtida em mais de 7 minutos em tetra (*Astyanax altiparanae*) independentemente do tamanho em banhos anestésicos com 90 mg L⁻¹ de MS-222; mesmo padrão para recuperação, a qual foi obtida em menos de 7 minutos em peixes de diferentes tamanhos (Ostrensky et al., 2016). A concentração de 60 mg L⁻¹ de triclaína promoveu indução a anestesia cirúrgica em aproximadamente 5 minutos, com rápida recuperação em juvenis de 'lumpfish' (*C. lumpus*) (Jacobsen et al., 2019).

3.2.2. Efeitos fisiológicos

3.2.2.1. Cortisol

Peixes apresentam elevação temporária do cortisol após exposição a MS-222 (tabela 2). 'Sunshine bass' (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*) apresentou aumento do cortisol plasmático após 15 ou 30 min de exposição à concentração sedativa de 25 mg L⁻¹ de MS-222; mas peixes expostos a essa concentração apresentaram redução do cortisol em 2 h, que permaneceu similar ao tratamento controle (Davis e Griffin, 2004). Mesmo padrão para 'hybrid striped bass' (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*) (Trushenski et al., 2012a) e 'walleyes' (*S. vitreus*) (Trushenski et al., 2018) que apresentaram níveis plasmáticos de cortisol elevados em 0,5 h após a exposição à concentração sedativa (estágio 4) de 150 mg L⁻¹ de MS-222, mas normais 2 h após a exposição. Diferentemente, exposição a 150 mg L⁻¹ de MS-222 em 'largemouth bass' (*Micropterus salmoides*) (Trushenski et al., 2012b) ou carpa capim (*C. idella*) (Gause et al., 2012) não aliviou a resposta primária ao estresse 6 horas após a sedação (estágio 4).

3.2.2.2. Glicose

A hiperglicemia é uma resposta secundária ao estresse comum em peixes teleósteos (Wendelaar-Bonga, 1997). No entanto, o MS-222 não promoveu aumento de glicose em peixes após sedação (estágio 1) (Davis e Griffin et al., 2004) ou anestesia cirúrgica (Ostrensky et al., 2016) (tabela 2). O MS-222 não teve efeito nos níveis de glicose plasmática em 'largemouth bass' (*Micropterus salmoides*) (Trushenski et al., 2012b) e carpa capim (*C. idella*) (Gause et al., 2012) após sedação (estágio 4) com 150 mg L⁻¹. Diferentemente a esses resultados, a sedação com 100 ppm de MS-222 reduziu a glicemia em 'channel catfish' (*Ictalurus punctatus*) exposto à estressor (redução do volume de água), comparado com grupo controle (exposto ao estressor sem anestésico) (Bosworth et al., 2007).

3.2.2.3. Lactato

A captura, pesagem e transporte são estímulos estressores que promovem a liberação de catecolaminas pelas células cromafins, que irão aumentar a taxa cardíaca, elevar o fluxo de sangue nas brânquias e os níveis de glicose na circulação, com consequente aumento dos níveis de lactato no organismo (Wendelaar-Bonga, 1997). A sedação com 100 ppm de MS-222 reduziu o lactato sanguíneo em juvenis do bagre-de-canal (*Ictalurus punctatus*) expostos a redução do volume de água, comparativamente aos peixes do tratamento controle expostos ao estressor (sem anestésico) (Bosworth et al., 2007). Por outro lado, a concentração sedativa (estágio 4, 150 mg L⁻¹) em 'hybrid striped bass' (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) (Trushenski et al., 2012a) e carpa capim (*C. idella*) (Gause et al., 2012) não evitaram o aumento do lactato após a exposição.

3.2.2.4. Concentração de íons e osmolaridade

A concentração de 150 mg L⁻¹ de MS-222 não promoveu significantes alterações na osmolaridade do plasma de peixes em 6 h após sedação (estágio 4) (tabela 2). Juvenis de 'sunshine bass' (*M. chrysops* × *M. saxatilis*) sedados (estágio 1) com 25 mg L⁻¹ demonstraram normalização dos níveis de cloreto no plasma em 6 h de recuperação (Davis e Griffin et al., 2004).

3.2.2.5. Hematologia

O MS-222 promoveu redução de hematócrito em peixes, após sedação ao estágio 4 com 150 mg L⁻¹ (tabela 2). No entanto, análises *in vitro* de eritrócitos sanguíneos de tilápia-do-Nilo (*O. niloticus*) não demonstraram migração do DNA após 15 min ou 4 h de exposição a concentrações de 150 - 600 mg L⁻¹ de MS-222 (Barreto et al., 2007). Nesse estudo, os autores também não observaram migração do DNA em 15 min ou 3 dias após anestesia de tilápia-do-Nilo com a concentração de 150 mg L⁻¹.

3.2.3. Transporte

3.2.3.1. Cortisol

O MS-222 aliviou a resposta ao estresse em diferentes espécies de peixes (tabela 2). Juvenis de 'gilthead seabream' (*Sparus aurata*) expostos a 5 mg L⁻¹ de MS-222 não apresentaram alterações no cortisol plasmático após transporte simulado por 6 h (Jerez-Cepa et al., 2019). A sedação leve com 40 mg L⁻¹ em 'indian tiger barb' (*P. filamentosus*) proporcionou menor aumento do cortisol plasmático após transporte simulado por 48 horas (Pramod et al., 2010).

3.2.3.2. Glicose

O MS-222 aliviou o aumento da glicose sanguínea após o transporte com 40 mg L⁻¹ em 'indian tiger barb' (*P. filamentosus*) (Pramod et al., 2010). A concentração de 5 mg L⁻¹ não promoveu hiperglicemia em juvenis de 'gilthead seabream' (*S. aurata*) após o transporte (Jerez-Cepa et al., 2019) (tabela 2). Em outro estudo utilizando o transporte, a concentração sedativa de 20 mg L⁻¹ de MS-222 não atenuou o aumento dos níveis de glicose no sangue de juvenis de tambaqui (*C. macropomum*) (Barbas et al., 2017c). Provavelmente, o transporte em sacos plásticos por rodovia promoveu efeito estressor mais potente, comparativamente ao transporte simulado com 40 mg L⁻¹ em 'indian tiger barb' (*P. filamentosus*).

3.2.3.3. Lactato

A concentração baixa de MS-222 não promove aumento de lactato após o transporte simulado de 'gilthead seabream' (*S. aurata*) (Jerez-Cepa et al., 2019).

3.2.3.4. Hematologia

A concentração de 20 mg L⁻¹ de tricaína aumentou o hematócrito e a hemoglobina em juvenis de tambaqui (*C. macropomum*) após o transporte por 10 horas, comparado com peixes do grupo não transportados (Barbas et al., 2017c).

3.2.3.5. Osmolaridade

O MS-222 não evitou distúrbios osmorregulatórios após o transporte por 6 h em 'gilthead seabream' (*S. aurata* L.) sedado com 5 mg L⁻¹ (Jerez-Cepa et al., 2019) e juvenis de tambaqui (*C. macropomum*) expostos a 20 mg L⁻¹ durante o transporte por 10 h (Barbas et al., 2017c).

Tabela 2. Concentrações, efeitos comportamentais e fisiológicos de MS-222 em peixes.

Espécies	Concentrações	Efeito comportamental	Efeito fisiológico	Autor
<i>Astyanax altiparanae</i> I 1,5-5 cm, II 5,1-8 cm, III > 8 cm	50 a 90 mg L ⁻¹ (25,3 ± 1,69 °C)	Anestesia cirúrgica 90 mg L ⁻¹ I, 476 s II, 469 s III, 545,5 s Recuperação I, 320 s II, 313 s III, 413,5 s	90 mg L ⁻¹ não afeta a glicose ♂ ou ♀ (classe II ou III).	Ostrensky et al., 2016
<i>Colossoma macropomum</i> 15,1 ± 3,1 g exp 1 66 ± 15 g exp 2	150, 180, 210, 240, 270 e 300 mg L ⁻¹ 20 mg L⁻¹ (transporte por 2, 6, 10h) Temperatura antes 24,3 °C	Anestesia profunda 240 mg 162 ± 48 s, recuperação 166 ± 45 s.	Sedação ↑ glicose 2, 6 e 10 h vs Nt. Sedação 10 h ↑ perda Na ⁺ e K ⁺ , ↑ Hematócrito e Hemoglobina vs Nt.	Barbas et al., 2017c
<i>Danio rerio</i> 0,19 ± 0,05 g adultos	100, 120, 140, 160, 180 e 200 ppm (27 °C, Sala)	Anestesia 160 ppm 1,48 ± 0,09 min, recuperação < 2,8 min, falha respiratória 5,21 ± 0,23 min.	160 ppm ↓ frequência cardíaca 97 ± 8 batimentos/min após 3 min de anestesia (estágio 4).	Huang et al., 2010
<i>Danio rerio</i> adultos	150 mg L ⁻¹ (24 e 26 °C)	Anestesia cirúrgica 150 mg L ⁻¹ 252 ± 89 s, recuperação ~ 140 ± 51 s.		Collymore et al., 2014
<i>Ctenopharyngodon idella</i> 301 ± 8 g	150 mg L ⁻¹ hematologia (0,5; 1 - 6 h após sedação)	Sedação (estágio IV) 1,8 min. Retorno do equilíbrio 2,5 min. Resposta a estímulo ~ 6,0 min.	Cortisol ↑ 0,5 h, ↓ 1 e 2 h, ↑ 6 h permaneceram > Nb. Sem efeito na glicose. Lactato ↑ 0,5 h e ↑ 6 h > Nb. Sem efeito na osmolaridade e hematócrito.	Gause et al., 2012
<i>Cyclopterus lumpus</i> 0,97 ± 0,45 g	25, 38, 44, 60, 75, 100, 150 mg L ⁻¹ 60 mg L⁻¹ <i>exposição 5, 10 e 20 min</i>	Anestesia cirúrgica: ~ 5 min 60 mg L ⁻¹ , recuperação 20 min 104 s vs 5 min 60 s.		Jacobsen et al., 2019
<i>Gadus morhua</i>	55 mg L ⁻¹ 1000 g - 8 °C 60 mg L ⁻¹ 1000 g - 16 °C	Anestesia 1000 g: 8 °C 159 ± 7 s vs 16 °C 137 ± 6 s. Recuperação 1000 g: 8 °C 429 ± 32 s vs 16 °C 195 ± 31 s. Manuseio: 72% sem, 23% com resposta, 5% impossível manusear. Reflexo: 46% ausente, 54% presente.		Zahl et al., 2009

Cont. tabela 2.

<i>Hippoglossus hippoglossus</i>	80 mg L ⁻¹	Anestesia 1243 g a 15 °C: 141 ± 12 s, recuperação 922 ± 104 s. Manuseio (1243 g a 15 °C): 89% sem resposta, 11% resposta. Reflexo : 28% ausente, 72% presente.			Zahl et al., 2011
<i>Ictalurus punctatus</i> 81,3 g	100 ppm estresse (redução do nível da água, 27 °C)	Sedação 5 min de exposição		Sedação + estresse ↓cortisol, glicose e lactato vs controle (sem anestésico + estresse).	Bosworth et al., 2007
<i>Micropterus salmoides</i> 508 ± 20 g exp 1 492 ± 20 g exp 2	150 mg L ⁻¹	Sedação (estágio IV) 1,9 ± 0,1 min. Retorno do equilíbrio 2,1 ± 0,3 min. Resposta ao estímulo tátil 2,3 ± 0,3 min.		Cortisol ↑0,5 h, ↓1h e 2h, novo ↑6 h > Nb. A glicose não mudou vs Nb. Hematócrito ↓ 0,5 e 6 h < Nb. Sem efeito na osmolaridade e lactato.	Trushenski et al., 2012b
<i>Micropterus salmoides</i> 300 – 400 mm	100 mg L ⁻¹	Sedação (estágio IV). Ventilação de retorno regular 47 ± 7 s. Retorno do equilíbrio 264 ± 30 s. Índices reflexos↓.			Prystay et al., 2017
<i>Morone chrysops</i> x <i>M. saxatilis</i> 87,0 ± 24,4 g	25 mg L ⁻¹	Anestesia (estagio 1)	15 e 30 min exposição 2, 6 e 24 h recuperação	Anestesia ↑cortisol 15 e 30 min, ↓ 2 h similar ao controle; sem efeito na glicose; ↓Cl ⁻ após 30 min e 2 h, mas similar ao controle em 6 h).	Davis e Griffin, 2004
<i>Mugil Lisa</i> 6,9 ± 1,4 g	100, 125, 150 e 175 mg L ⁻¹	Anestesia 150 mg L ⁻¹ 158,7 ± 20,6 s, Recuperação 215,1 ± 75,3 s.			Braz et al., 2017

Nt: peixes não transportados. Nb: níveis basais.

Cont. tabela 2.

Espécies	Concentrações	Efeito comportamental	Efeito fisiológico	Autor
<i>Oreochromis niloticus</i> 20 g	150, 300 e 600 mg L ⁻¹ In vitro (15 min e 4 h depois) 150 mg L ⁻¹ Anestesia (15 min e 3 dias depois)	Anestesia (estágio 2): 150 mg L ⁻¹ em 3 min.	MS-222 em 150-600 mg L ⁻¹ não promoveu aumento migração do DNA (eritrócitos sanguíneos). Anestesia com 150 mg L ⁻¹ não induziu a danos no DNA vs controle.	Barreto et al., 2007
<i>Poecilia vivipara</i> 1,42 ± 0,94 g	50, 100 e 200 mg L ⁻¹	Anestesia profunda 100 mg L ⁻¹ 98 ± 31,2 s, recuperação 108,8 ± 15,3 s		Bolasina et al., 2017
<i>Poecilia reticulata</i> ♂ 0,41±0,01 g ♀ 2,10±0,03 g	120, 140, 160 e 180 mg L ⁻¹	Anestesia profunda ♂ 160 mg L ⁻¹ 2,65 ± 0,280 min ♀ 180 mg L ⁻¹ 2,02 ± 0,109 min Recuperação ♂ 4,11 ± 0,353 min ♀ 3,34 ± 0,447 min		Mitjana et al., 2018
<i>Puntius filamentosus</i> 12 ± 1 g	40 mg L ⁻¹ Transporte simulado por 48 h Sacos polietileno Temperatura ambiente 22 ± 1 °C	Sedação leve 40 mg L ⁻¹	Sedação < ↑ cortisol (6 a 48 h) vs controle, 48 h ~ basal. Sedação < ↑ glicose vs controle, mas 48 h foi > basal.	Pramod et al., 2010
<i>Sparus aurata</i> 42,7± 6,8 g Tanque aclimação (salinidade 38 ppt, temperatura 19 °C)	10, 25, 50, 70, 80, 100 mg L ⁻¹ 5 mg L⁻¹ transporte simulado 6h recuperação 18h	Anestesia profunda: 80 mg L ⁻¹ 214 ± 9 s. Recuperação 289 ± 19 s.	Sedação não ↑ cortisol e glicose 0h e 18h. Não ↓ lactato 18h vs controle. Sedação ↓ osmolaridade plasmática 18h vs 6h.	Jerez-Cepa et al., 2019

3.3. Metomidato

O metomidato ou cloridrato de metomidato (Metil 3-(1-feniletil) imidazol-4-cloridrato de carboxilato) é um pó solúvel em água com propriedades hipnóticas, utilizado na medicina humana e veterinária (Ross e Ross 2009), no entanto, vem sendo frequentemente utilizado como anestésico durante procedimentos rotineiros na aquicultura, tais como, breve manuseio para avaliação de medidas biométricas (Zahl et al., 2009; Zahl et al., 2011), punção com agulha e biopsia de ovários (King et al., 2005).

3.3.1. Efeito comportamental: Anestesia

O metomidato promoveu anestesia < 3,5 minutos para procedimentos não invasivos na aquicultura com concentrações de 2,5 e 2,9 mg L⁻¹. No entanto, o tempo de recuperação foi de 26 minutos, em média, a 8 °C. Anestesia para procedimentos cirúrgicos foram realizadas com 2,0 e 5,0 mg L⁻¹ (recuperação < 9 minutos) (Tabela 3). O metomidato promoveu anestesia para pesagem < 2 minutos em banhos anestésicos com 6 mg L⁻¹ em juvenis de bacalhau do atlântico (*G. morhua*) (Zahl et al., 2009) e adultos de zebra fish (*D. rerio*) (recuperação 625 s) (Collymore et al., 2014). No entanto, maior concentração foi necessária para anestésias fêmeas de enguia europeia (*Anguilla anguilla*) (40 mg L⁻¹, indução < 3 min, recuperação < 7 min) (Iversen et al., 2013).

A concentração de 2,9 mg L⁻¹ de metomidato reduziu a resposta ao manuseio em halibute do atlântico (*H. hippoglossus*), mas não reduziu totalmente reações reflexas ao estímulo externo (beliscão no pedúnculo caudal) (Zahl et al., 2011). No entanto, como observado em outros anestésicos sintéticos, anestesia com 6 mg L⁻¹ metomidato não reduziu totalmente as reações reflexas a estímulos externos (beliscão no pedúnculo caudal) e a responsividade durante o manuseio no bacalhau do atlântico (*G. morhua*) (Zahl et al., 2009).

3.3.2. Efeitos fisiológicos: sedação e anestesia

3.3.2.1. Cortisol

O metomidato minimizou a liberação de cortisol na circulação de peixes (tabela 3). Juvenis de 'sunshine bass' (*M. chrysops* x *M. saxatilis*) não demonstraram aumento dos níveis plasmáticos de cortisol após exposição a concentração sedativa de 1,5 mg L⁻¹ e redução do volume de água (Davis e Griffin, 2004). A concentração de 1,5 mg L⁻¹ de metomidato reduziu o cortisol plasmático no bagre-de-canal (*Ictalurus punctatus*) após 45 min de confinamento; 24 h de exposição à amônia ou depleção de oxigênio por 30 minutos (Small, 2004). Em outro estudo, o bagre-de-canal (*I. punctatus*) apresentou cortisol sérico mais baixo quando sedados com 8 ppm de metomidato e expostos a nível de água reduzido, em comparação com peixes do grupo controle (expostos apenas ao estressor) (Bosworth et al., 2007).

Apesar desses resultados, metomidato não minimizou a resposta primária ao estresse. Juvenis de 'black sea bass' (*Centropristis striata*) apresentaram aumento do cortisol plasmático 10 minutos após exposição a 5 mg L⁻¹ metomidato, comparado com níveis basais (King et al., 2005). A enguia europeia (*Anguilla anguilla*) também apresentou aumento do cortisol plasmático após anestesia (estágio 2) com 40 mg L⁻¹ de metomidato (Iversen et al., 2013).

3.3.2.2. Glicose

O metomidato em concentrações de 1,5 mg L⁻¹ (Small, 2004) e 8 ppm (Bosworth et al., 2007) não promoveram hiperglicemia em bagre-de-canal (*I. punctatus*) exposto a diferentes estressores na aquicultura (Tabela 3). Além disso, Davis e Griffin (2004) não observaram alterações significativas na glicose plasmática após exposição e recuperação de juvenis 'sunshine bass' (*M. chrysops* x *M. saxatilis*) expostos a 1,5 mg L⁻¹ de metomidato.

3.3.2.3. Lactato

Juvenis de bagre-de-canal (*I. punctatus*) expostos a concentrações sedativas de 8 ppm (Bosworth et al., 2007) ou 1,5 mg L⁻¹ (Small, 2004) de metomidato e expostos a estressores comuns na aquicultura não apresentaram aumento dos níveis de lactato (tabela 3).

3.3.2.4. Concentração de íons

O metomidato não promoveu significantes alterações nos níveis de cloreto plasmático de juvenis de 'sunshine bass' (*M. chrysops* x *M. saxatilis*) expostos à 1,5 mg L⁻¹ (Davis e Griffin, 2004) e enguia europeia (*Anguilla anguilla*) após anestesia com 40 mg L⁻¹ (Iversen et al., 2013).

3.3.3. Transporte

O metomidato não evitou a elevação dos níveis de glicose no sangue de 'threespot gourami' (*Trichogaster trichopterus*) em 12 horas após o transporte com 0,4 mg L⁻¹ (Crosby et al., 2012).

Tabela 3. Concentrações, efeitos comportamentais e fisiológicos de metomidato em peixes.

Espécies	Concentrações		Efeito comportamental	Efeito fisiológico	Autor
<i>Anguilla anguilla</i> 536 g	40,0 mg L ⁻¹		Anestesia (estágio 2) 2,6 ± 0,6 min Recuperação 6,5 ± 2,3 min.	40 mg L ⁻¹ ↑cortisol após anestesia (estágio 2) e recuperação vs controle. Não ↓ Cl ⁻ plasma.	Iversen et al., 2013
<i>Centropristis striata</i> 36 ± 1,6 g	1,0;1,5; 2,0 e 2,5 mg L ⁻¹ 5 mg L⁻¹ 10, 20 e 30 minutos após exposição		Anestesia (estágio II) 2,5 mg L ⁻¹ 3:14 ± 0:42 min, recuperação 6:55 ± 1:04 min. Anestesia (estágio II), punção 2,0 mg L ⁻¹ 7:38 ± 0:26 min. Anestesia (estágio 3) biópsia 5,0 mg L ⁻¹ 6:06 ± 0:16 min, recuperação 8:13 ± 1:21 min.	Cortisol ↑10 min, estabilizado 20 e 30 min vs nível basal.	King et al., 2005
<i>Danio rerio</i> adulto	2, 4, 6, 8, 10 mg L ⁻¹		Anestesia leve (estágio 3, plano 1) 6 mg L ⁻¹ , perda de equilíbrio 113 ± 45 s, redução do movimento opercular 260 ± 55 s, recuperação 625 ± 247 s.		Collymore et al., 2014
<i>Gadus morhua</i> 100 g	4,0 mg L ⁻¹ 8 °C	6,0 mg L ⁻¹ 16 °C	Anestesia 16 °C, 70 ± 11 s; 8 °C, 110 ± 11 s, recuperação 16 °C 376 ± 50 s; 8 °C 529 ± 50 s. Manuseio 78% sem resposta, 21% com resposta, 1% impossível manusear, n = 92. Reflexo 7% ausente e 93% presente n = 74.		Zahl et al., 2009
<i>Hippoglossus Hippoglossus</i> 33 ± 14 g 1243 ± 353 g	2,9 mg L ⁻¹ 8 °C		Anestesia 33 g, 145 ± 13 s e 1243 g, 150 ± 12 s, recuperação 1243 g, 854 ± 104 s e 33 g, 1553 ± 114 s. Manuseio 1243 g: 94% não e 6% resposta, reflexo : 44% ausente e 56% presente.		Zahl et al., 2011
<i>Ictalurus punctatus</i> 61,8 ± 11,3 g	1,5 mg L ⁻¹ 15, 30, 45 min – confinamento; 24 h - 1 mg L ⁻¹ de amônia; 30 min – redução O ₂ .		Sedação	Sedação ↓cortisol, sem efeito na glicose e lactato após 45 min de confinamento vs controle. Sedação ↓cortisol, glicose e lactato após 24 h de exposição à amônia vs controle. Sedação ↓cortisol, não ↑ glicose e lactato após depleção de O ₂ vs controle.	Small, 2004
<i>Ictalurus punctatus</i> 81,3 g	8 ppm Estressor (redução do nível da água: 30 minutos de exposição)		Sedação	Sedação ↓cortisol sérico, glicose e lactato vs controle (sem anestésico).	Bosworth et al., 2007
<i>Morone crissops</i> x <i>M. saxatilis</i> 87,0 ± 24,4 g	1,5 mg L ⁻¹ Exposição de 15 e 30 min Recuperação: 2, 6 e 24 horas após fluxo água		Sedação (estágio 1)	Não ↑ cortisol e glicose vs controle. Mas ↓Cl ⁻ 2 h ↑ 6 h, 24 h ~ controle.	Davis e Griffin, 2004
<i>Trichogaster trichopterus</i> 50,0 –76,0 mm	0,1, 0,2, 0,3, 0,4 mg L ⁻¹ transporte por 24 horas 0, 2, 6, 12 horas		Sedação 0,1 - 0,4 mg L ⁻¹ não ↑ escores de aparência ou comportamento em comparação com peixes não transportados.	0,1 - 0,4 mg L ⁻¹ não preveniu a ↑glicose (0 a 12 h).	Crosby et al., 2012

3.4. 2-Fenoxietanol

O 2-Fenoxietanol (1-Hidroxi-2-fenoxietano) é um líquido oleoso incolor, usado como anestésico tópico em cirurgias na medicina humana (Ross e Ross, 2009). O uso de 2-fenoxietanol promoveu diferentes estágios de anestesia para procedimentos rotineiros na aquicultura (Priborsky e Velisek, 2018).

3.4.1. Efeito comportamental

3.4.1.1. Anestesia

O 2-fenoxietanol promoveu anestesia para breve manuseio em < 3 minutos no halibute do atlântico (*H. hipoglossus*) a 8 °C com 0,6 mL L⁻¹ (33 g ou 1243 g), mas peixes apresentaram recuperação em 15 minutos (Zahl et al., 2011). Juvenis de bacalhau do atlântico (*G. morhua*, 100 g) demonstraram indução anestésica para pesagem e medição, em 116 s, com rápida recuperação a 16 °C (106 s, 0,25 mL L⁻¹) (Zahl et al., 2009) (Tabela 4).

A concentração de 200 mg L⁻¹ de 2-Fenoxietanol promoveu anestesia para procedimentos invasivos (punção com agulha subcutânea) por volta de 4 minutos em juvenis de 'black sea bass' (*Centropristis striata* L.) (recuperação em < 2 min). O 2-fenoxietanol foi utilizado para implantação de 'tag' ou biópsia ovariana em 'black sea bass' (*C. striata* L) (< 6 min, recuperação < 4 min, 300 mg L⁻¹) (King et al., 2005). Por outro lado, concentrações elevadas foram necessárias para promover anestesia com tempos de indução menores que 3 minutos (recuperação ≤ 7 min) em juvenis de esturjão persa (*Acipenser persicus*) (Adel et al., 2016) e 'meagre' (*Argyrosomus regius*) (Barata et al., 2016).

A pesagem, raspagem de brânquias e pele podem ser realizados sob anestesia leve (estagio 3, plano 1), a qual é caracterizada como perda total do equilíbrio resposta reflexa reduzida e tônus muscular diminuído. Por outro lado, anestesia cirúrgica (estagio 3, plano 2, resposta reflexa ausente) pode ser indicada em procedimentos invasivos, sendo necessárias imobilização com analgesia (Collymore et al., 2014). O 2-fenoxietanol não foi eficaz para manuseio e procedimentos potencialmente dolorosos em bacalhau do atlântico (*G. morhua*)

(Zahl et al., 2009) e no halibute do atlântico (*H. hipoglossus*) (Zahl et al., 2011) (tabela 4).

3.4.2. Efeitos fisiológicos: sedação e anestesia

3.4.2.1. Cortisol

O 2-Fenoxietanol não minimizou a resposta ao estresse em peixes (tabela 4). Juvenis de ‘black sea bass’ (*Centropristis striata* L.) apresentaram maior cortisol plasmático após 10 minutos de exposição a 300 mg L⁻¹ de 2-fenoxietanol, comparativamente aos valores basais (King et al., 2005). Além disso, a concentração de 100 mg L⁻¹ de 2-Fenoxietanol não reduziu o cortisol plasmático de juvenis de ‘meagre’ (*Argyrosomus regius*) após manipulação para biometria (Barata et al., 2016).

Tabela 4. Concentrações, efeitos comportamentais e fisiológicos de 2-fenoxietanol em peixes.

Espécies	Concentrações	Efeito comportamental	Efeito fisiológico	Autor
<i>Argyrosomus regius</i> 136,0 ± 9,0 g	100, 250, 400, 550, 700 mg L ⁻¹ 100 mg L⁻¹ Exposição de 10 minutos	Anestesia profunda 700 mg L ⁻¹ 2,85 ± 0,62 min, recuperação 6,79 ± 1,55 min.	Anestesia 100 mg L ⁻¹ ↑cortisol, sem efeito em glicose vs controle.	Barata et al., 2016
<i>Acipenser persicus</i> 6,88 ± 0,9 g 7,12 ± 0,8 g	110, 330, 550, 770 mg L ⁻¹	Anestesia (estágio 2) 550 mg L ⁻¹ 2,37 ± 0,02 min, recuperação 6,95 ± 0,62 min.		Adel et al., 2016
<i>Centropristis striata</i> 36 ± 1,6 g	100, 200, 300 mg L ⁻¹ 300 mg L⁻¹ Exposição de 10 minutos	Anestesia (estágio II) 200 mg L ⁻¹ 4:18 ± 0:46 s, recuperação 1:24 ± 0:16 s. (estágio III) 300 mg L ⁻¹ 5:40 ± 0:25 min, recuperação 3:19 ± 0:14 min.	Cortisol ↑ 300 mg L ⁻¹ vs nível basal, estável 20 e 30 min foi > basal.	King et al., 2005
<i>Gadus morhua</i> 100 g	0,25 mL L ⁻¹ 276,7 mg L⁻¹ 16 °C	Anestesia 116 ± 14 s, recuperação 106 ± 23 s. Manuseio 77% sem resposta, 22% com resposta, 1% impossível manusear. n = 87. Reflexo 28% ausentes, 72% presentes. n = 69.		Zahl et al., 2009
<i>Hipoglossus hipoglossus</i> 33 ± 14 g 1243 ± 353 g	0,6 mL L ⁻¹ (664,2 mg L⁻¹) 8 °C Manuseio e Reflexo 1243 g, 8 °C	Anestesia 33 g, 151 ± 13 s. e 1243 g, 163 ± 13 s. Recuperação 33 g, 925 ± 107 s 1243 g, 1110 ± 107 s. Manuseio 89% sem resposta, 11% com resposta. n = 18. Reflexo 67% sem resposta, 33% com resposta. n = 18.		Zahl et al., 2011

3.5. Propofol

O propofol (2,6-diisopropifenol) é um agente anestésico de ação rápida, e comumente utilizado para induzir e manter o estado anestésico (Glen, 1980). O propofol é um anestésico intravenoso utilizado na medicina humana em procedimentos cirúrgicos (Lengley e Hell, 1988).

3.5.1. Efeito comportamental: sedação ou anestesia

O propofol promoveu rápida imobilização para pesagem em diferentes espécies de peixes. Porém, esse anestésico ocasionou longos tempos de recuperação em peixes (Tabela 5). Juvenis de esturjão persa (*Acipenser persicus*) expostos a 2,5 mg L⁻¹ de propofol atingiram rapidamente o estágio II da anestesia (< 3 min), mas com recuperação por volta de 8 min (Adel et al., 2016). A anestesia profunda foi obtida em menos de 3 minutos com 10 mg L⁻¹, independentemente ao sexo, mesmo padrão para os tempos de recuperação > 10 min em guppies (*P. reticulata*) (Mitjana et al., 2018). As concentrações de 0,3 mL L⁻¹ (Gonçalves e Giaquinto, 2020) e 0,6 mL L⁻¹ (Valença-Silva et al., 2014) de propofol promoveram anestesia para pesagem de juvenis de tilápia-do-Nilo (*O. niloticus*) em menos de 6 minutos.

No entanto, concentrações de propofol não foram eficientes para promover anestesia cirúrgica em peixes. Tetra (*Astyanax altiparanae*) demonstraram longo tempo para atingir anestesia cirúrgica > 6 min, independentemente do tamanho, quando expostos a concentrações de 0,22; 0,23 e 0,27 mg L⁻¹ de propofol (Ostrensky et al., 2016). Nesse estudo, os autores observaram tempos de recuperação por volta de 10 min ou menos. Com relação ao comportamento alimentar, juvenis de tilápia-do-Nilo demonstraram longo tempo para o retorno da alimentação após a anestesia com 0,3 mL L⁻¹ de propofol. Além disso, concentrações de 0,3 – 1,2 mL L⁻¹ promovem redução da frequência ventilatória durante anestesia, sendo recomendado seu uso com prudência (Gonçalves e Giaquinto, 2020).

3.5.2. Efeitos fisiológicos: sedação e anestesia

3.5.2.1. Cortisol, glicose e lactato

A concentração sedativa de 0,4 mg L⁻¹ de propofol não reduziu o cortisol plasmático em ‘gray silver catfish’ (*Rhamdia quelen*) após exposição por 6h (Gressler et al., 2015) (tabela 5). O propofol não promoveu hiperglicemia em peixes após anestesia. As concentrações de 0,23 mg L⁻¹ e 0,27 mg L⁻¹ de propofol não causaram alterações significativas nos níveis de glicose após anestesia cirúrgica em tetra (*Astyanax altiparanae*), independentemente ao tamanho (Ostrensky et al., 2016). Juvenis de ‘gray silver catfish’ (*R. quelen*) não demonstraram significantes alterações nos níveis plasmáticos de glicose após exposição a 0,4 mg L⁻¹ de propofol, em comparação com grupo controle (0 mg L⁻¹) (Gressler et al., 2015). Em relação ao lactato, juvenis de ‘gray silver catfish’ demonstraram redução dos níveis plasmáticos de lactato após exposição a 0,4 mg L⁻¹ de propofol, comparativamente aos peixes controle (0 mg L⁻¹) (Gressler et al., 2015).

3.5.2.2. Concentração de íons e hematologia

O propofol não causou grandes alterações nos parâmetros hidrominerais (Na⁺, K⁺ e Cl⁻) no plasma de ‘gray silver catfish’ (*R. quelen*) após 6 h de exposição a 0,4 mg L⁻¹ (Gressler et al., 2015). Contudo nesse estudo, os autores observaram redução de hematócrito e hemoglobina após 6 h de exposição a essa concentração, comparado com indivíduos do grupo controle (0 mg L⁻¹) (Gressler et al., 2015). Em relação a segurança de propofol em banhos anestésicos em peixes, as concentrações de propofol de 0,15 - 0,6 mL L⁻¹ não promoveram efeitos genotóxicos nos eritrócitos de tilápia-do-Nilo (*O. niloticus*) após anestesia (estágio 2) (Valença - Silva et al., 2014).

3.5.2.3. Eletromiografia

O propofol promoveu relaxamento muscular em juvenis de tambaqui (*C. macropomum*) durante exposição anestésica por 5 minutos a 4 µL L⁻¹, evidenciados

por redução significativa na amplitude média dos registros eletromiográficos durante a indução, com retorno da atividade muscular na recuperação (Souza et al., 2019). Nesse estudo, os autores observaram alterações no ritmo cardíaco durante a recuperação a anestesia profunda com essa concentração.

3.5.2.4. Parâmetros antioxidantes

O propofol aumentou a atividade de enzima antioxidante (SOD) nas brânquias, cérebro e fígado de 'gray silver catfish' (*R. quelen*) após 6 h de exposição a 0,4 mg L⁻¹ (Gressler et al., 2016). Contudo, os autores não observaram efeito dessa concentração de propofol nos níveis de peroxidação lipídica em importantes órgãos após exposição por 6 h.

Tabela 5. Concentrações, efeitos comportamentais e fisiológicos de propofol em peixes.

Espécies	Concentrações	Efeito comportamental	Efeito fisiológico	Autor
<i>Acipenser persicus</i> 6,88 ± 0,9 g	1,0; 1,25; 2,50; 5,0 mg L ⁻¹	Anestesia 2,5 mg L ⁻¹ 2,39 ± 0,16 min, recuperação 8,13 ± 0,18 min.		Adel et al., 2016
<i>Astyanax altiparanae</i> Classe I: 1,5 – 5,0 cm; II: 5,1 – 8,0 cm e III: > 8,0 cm	0,21 - 0,28 mg L ⁻¹	Anestesia cirúrgica I 0,22 mg L ⁻¹ 508 s II 0,23 mg L ⁻¹ 497 s III 0,27 mg L ⁻¹ 737 s Recuperação: I 523 s II 617s III 568 s	0,23 (classe II) e 0,27 mg L ⁻¹ (classe III) não afetaram a glicemia ♂ ou ♀.	Ostrensky et al., 2016
<i>Colossoma macropomum</i> 5,6 ± 1,8 g	4 µL L ⁻¹ (5 minutos de exposição)	Anestesia profunda < 5 minutos. Eletromiografia Eletrocardiografia Registros: indução e recuperação.	Indução: ↓ amplitude média e frequência registros eletromiograficos vs controle. Recuperação: ↑ amplitude média, mas < controle. Alterou o ritmo cardíaco na recuperação.	Souza et al., 2019
<i>Oreochromis niloticus</i> 22,85 ± 2,57 g	0,3 mL L ⁻¹	Anestesia (decubito lateral, ventilação reduzida): 4 min 28 s ± 1 min 23 s. Latencia alimentar 36,67 min ± 9,87 min.	Concentrações de 0,3 – 1,2 mL L ⁻¹ reduzem a frequência ventilatoria na anestesia.	Gonçalves e Giaquinto, 2020
<i>Poecilia reticulata</i> Macho 0,41 ± 0,01 g Fêmea 2,10 ± 0,03 g	7,50; 8,25; 10,0 e 11,25 mg L ⁻¹	Anestesia profunda 10 mg L ⁻¹ ♂ 2,93 ± 0,430 min ♀ 2,46 ± 0,488 min Recuperação ♂ 31,95 ± 2,835 min ♀ 14,15 ± 1,69 min		Mitjana et al., 2018
<i>Rhamdia quelen</i> 91,44 ± 1,98 g	0,4 mg L ⁻¹ 1, 6, 12 horas Exposição	Sedação (estágio 2) 0,4 mg L ⁻¹	Sedação ↓ Ht e Hg 6 h; não ↓ cortisol 6 h; sem efeito na glicose; ↓ lactato 6 h; sem efeito Na ⁺ , Cl ⁻ e K ⁺ vs 0 mg L ⁻¹ .	Gressler et al., 2015
<i>Rhamdia quelen</i> 91,44 ± 1,98 g	0,4 mg L ⁻¹ 1, 6 e 12 h exposição	Sedação (estágio 2) 0,4 mg L ⁻¹	↑ SOD brânquia, cérebro e fígado; GST brânquia; sem efeito em TBARS vs 0 mg L ⁻¹	Gressler et al., 2016

TBARS, substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico. SOD, superóxido dismutase. GST, glutathione-s-transferase. Ht, hematócrito. Hg, hemoglobina.

4. Anestésicos herbais

4.1. Verbenaceae

4.1.1. *Aloysia triphylla*

A espécie Lemon verbena (*Aloysia triphylla*) (L' Her.) é nativa da América do Sul, sendo cultivada em vários países, em razão do seu aroma similar ao de limão (Argyropoulou et al., 2007). O β -citral e α -citral são os principais constituintes do óleo essencial das folhas de *A. triphylla* (Becker et al., 2017).

4.1.1.1. Efeito comportamental: anestesia profunda

As concentrações de 150 $\mu\text{L L}^{-1}$ (Almeida et al., 2018) e 300 $\mu\text{L L}^{-1}$ (Teixeira et al., 2017) de lemon verbena (*A. triphylla*) promoveram eficazes tempos de indução e recuperação anestésica (tabela 6).

4.1.1.2. Efeitos fisiológicos: Anestesia profunda

Cortisol, glicose e lactato

A concentração de 300 $\mu\text{L L}^{-1}$ de lemon verbena (*A. triphylla*) reduziu o cortisol no plasma de tilápia-do-Nilo (*O. niloticus*) 1 h após o manuseio para biometria, comparado com peixes do grupo controle (sem anestésico) (Teixeira et al., 2017). Nesse estudo, os autores observaram aumento de glicose no plasma 1 h após anestesia, mas redução em 4h que permaneceu similar ao grupo controle. Mesmo padrão para o lactato, que demonstrou elevação temporária após a biometria, mas similar ao grupo controle após 1 h (tabela 6).

4.1.1.3. Efeitos fisiológicos: transporte

Cortisol

O transporte de peixes é uma prática comum na aquicultura, onde os peixes são expostos a estímulos estressores, por exemplo, altas densidades de estocagem e alterações na qualidade de água (Berka 1998). No entanto, concentrações baixas de *A. triphylla* não promoveu resposta primária ao estresse em juvenis de ‘fat snook’ (*Centropomus paralelos*) transportados por 6, 12 ou 24 horas (Parodi et al., 2016) e ‘silver catfish’ (*Rhamdia quelen*) albino após o transporte por 5 horas (Parodi et al., 2014) (tabela 6).

Glicose e lactato

A concentração de 20 $\mu\text{L L}^{-1}$ de *A. triphylla* promoveu hiperglicemia em ‘fat snook’ (*Centropomus paralelos*) transportado por 6 h ou 12 h. Mas, não causou metabolismo anaeróbio em ‘fat snook’ transportado com 20 $\mu\text{L L}^{-1}$ por 6 h (Parodi et al., 2016) e adultos de peixe amazônico (*Serrasalmus eigenmanni*) expostos a concentração sedativa de 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ de *A. triphylla* por 4 h (Almeida et al., 2019).

Concentração de íons

O óleo essencial de *A. triphylla* evitou distúrbios osmorregulatórios em ‘silver catfish’ (*Rhamdia quelen*) albino após transporte por 5 h (Parodi et al., 2014); no pacamã (*L. alexandri*) após o transporte por 4 h (Becker et al., 2017) e adultos de peixe amazônico (*Serrasalmus eigenmanni*) após exposição por 4 h a 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ (Almeida et al., 2019).

Hematologia

Adultos de pacamã (*L. alexandri*) apresentaram aumento da hemoglobina após o transporte por 4 h com 25 $\mu\text{L L}^{-1}$ de óleo essencial de *A. triphylla* (Becker et al., 2017). Nesse estudo, os autores hipotetizaram que esse aumento promoveu

maior capacidade de condução de oxigênio em situação com maior demanda de energia em condições estressantes, tal como o transporte.

Tabela 6. Concentrações, efeito comportamental e fisiológico de *Aloysia triphylla* em peixes.

Espécies	Concentrações	Efeito Comportamental	Efeito Fisiológico	Autor
<i>Centropomus parallelus</i> 2,70 ± 0,6 g	25, 50, 100, 200 e 300 µL L ⁻¹ 0, 10 e 20 µL L⁻¹ Transporte 6, 12 ou 24h	Anestesia profunda 200 µL L ⁻¹ 217,5 ± 10,1 s, recuperação 262,2 ± 33,6 s.	20 µL L ⁻¹ ↓cortisol (6, 12, 24h) mas ↑glicose 6 h e 12 h vs controle. Lactate ↓ 6 h vs controle.	Parodi et al., 2016
<i>Lophiosilurus alexandri</i> 135,95 ± 5,01 g	25 - 400 µL L ⁻¹ 25 µL L⁻¹ Transporte 4h	Anestesia 400 µL L ⁻¹ em 3 min, recuperação ≤ 10 min.	Sedação 25 µL L ⁻¹ não altera hematócrito, mas ↑Hemoglobina vs At; ↑ Na ⁺ e K ⁺ após, mas ~ At 24 h. Sem efeito Ca ⁺⁺ vs At.	Becker et al., 2017
<i>Oreochromis niloticus</i> 16,05 ± 5,14 g Biometria 107,31 ± 18,70 g	10 - 450 µL L ⁻¹ 300 µL L⁻¹ Biometria exposição ar 1 minuto	Anestesia 300 µL L ⁻¹ 170 s, recuperação 186 s.	300 µL L ⁻¹ ↓cortisol 1 hora após vs controle. Glicose ↑ 1 h, mas ↓ 4 h vs controle. Lactato ↑ 0 h mas ↓ 1 h.	Teixeira et al., 2017
<i>Rhamdia quelen</i> Albino 2,6 ± 1,0 g	20, 30, 40, 50, 100, 200, 300, 400, 600 e 800 µL L ⁻¹ 0, 30, 40, 50 µL L⁻¹ Transporte 5h	Anestesia profunda 400 µL L ⁻¹ albino 146,0 ± 5,5 s, recuperação 554,2 ± 26,6 s.	30 µL L ⁻¹ ↓perda de Na ⁺ , Cl ⁻ , K ⁺ albino vs controle, não alterou cortisol vs At.	Parodi et al., 2014
<i>Rhamdia quelen</i> 3,95 ± 0,85 g	0, 25, 150, 300 mL L ⁻¹	Anestesia profunda 300 µL L ⁻¹ < 200 s, recuperação : 200 s.		Santos et al., 2017
<i>Serrasalmus rhombeus</i> 110,9 ± 3,79 g	50, 100, 150 µL L ⁻¹	Anestesia profunda 150 µL L ⁻¹ ~ 164 s, recuperação ~ 200 s.		Almeida et al., 2018
<i>Serrasalmus eigenmanni</i> 171,01 ± 6,38 g	25, 50, 100, 150 µL L ⁻¹ 3 e 5 µL L⁻¹ Exposição de 240 minutos	Anestesia profunda 100 µL L ⁻¹ ~ 266 s, recuperação 110 s.	3 µL L ⁻¹ não alteraram cortisol, glicose e lactato vs controle. Evitou ↓Na ⁺ , Cl ⁻ e K ⁺ vs controle.	Almeida et al., 2019

At: Níveis antes do transporte.

4.1.2. *Lippia alba*

O gênero *Lippia* (Houst.) compreende aproximadamente 200 espécies herbais aromáticas, distribuídas nas Américas Central e Sul (Terblanché e Kornelius, 1996). A espécie *Lippia alba* (Mill.) é um arbusto tradicionalmente conhecido como cidreira (Hennebelle et al., 2008). O linalol (66,35%) e o eucaliptol (10,63%) são os principais constituintes do óleo essencial de *L. alba* (Almeida et al., 2018). A espécie *Lippia origanoides* (Kunth) é conhecida popularmente no norte do Brasil como ‘salva-de-marajó’, onde as folhas têm importância na medicina tradicional para tratamento de alterações gastrointestinais e geniturinárias. *L. origanoides* pode ser encontrada desde o Sul da América do Norte até o Norte da América do Sul (Oliveira et al., 2014). O óleo essencial de *L. origanoides* contém carvacrol (47, 2%), timol (12,8%) e p-cimeno (9,7%) (Becker et al., 2018).

4.1.2.1. Efeito comportamental: anestesia profunda

As concentrações de 200 e 450 $\mu\text{L L}^{-1}$ de óleo essencial de cidreira (*L. alba*) promoveram eficientes tempos de indução (≤ 3 minutos) e recuperação (< 7 min) anestésica (Cunha et al., 2011; Almeida et al., 2018; Almeida et al., 2019). A concentração de 300 $\mu\text{L L}^{-1}$ de *L. origanoides* também promoveu rápida indução anestésica 180 s, porém com recuperação em aproximadamente 12 minutos (Becker et al., 2018) (Tabela 7).

4.1.2.2. Efeitos fisiológicos: anestesia profunda

Cortisol, glicose e lactato

A concentração anestésica de 200 $\mu\text{L L}^{-1}$ minimizou a resposta primária e secundária ao estresse imediatamente e 4 h após o manuseio de juvenis de tambacu (*Piaractus mesopotamicus* $\times$ *Colossoma macropomum*) (Sena et al., 2016). Por outro lado, os autores demonstraram um uso temporário do metabolismo anaeróbio após anestesia para manuseio com 200 $\mu\text{L L}^{-1}$ de *L. alba*.

4.1.2.3. Efeitos fisiológicos: Transporte

Cortisol, Glicose e lactato

A concentração de 5 $\mu\text{L L}^{-1}$ de cidreira (*L. alba*) não promoveu liberação de cortisol, aumento de glicose ou de lactato no plasma de adultos de peixe amazônico (*Serrasalmus eigenmanni*) após 4 h de exposição (Almeida et al., 2019). Adultos de ‘silver catfish’ (*Rhamdia quelen*) demonstraram redução dos níveis de glicogênio e lactato hepáticos e muscular após o transporte por 4 h com 20 $\mu\text{L L}^{-1}$, comparado com peixes do tratamento controle (transportados sem anestésico) (Salbego et al., 2017). De fato, óleo essencial de *L. alba* foi benéfico, pois, atenuou os efeitos do estresse secundário em juvenis de cavalo-marinho (*Hippocampus reidi*) transportados por 4 h ou 24 h com 15 $\mu\text{L L}^{-1}$ (Cunha et al., 2011).

Concentração de íons

O óleo essencial de *L. alba* evitou distúrbios osmorregulatórios em peixes após exposição a 5 $\mu\text{L L}^{-1}$ (Almeida et al., 2019) e transporte com 20 $\mu\text{L L}^{-1}$ por 4 h (Becker et al., 2012) (tabela 6).

Hematologia

O óleo essencial de cidreira (*L. alba*) não alterou a contagem de linfócitos ou neutrófilos de juvenis de cavalo-marinho (*Hippocampus reidi*) após o transporte com 15 $\mu\text{L L}^{-1}$, em comparação com os níveis antes do transporte (Cunha et al., 2011). Por outro lado, a concentração de 20 $\mu\text{L L}^{-1}$ de cidreira (*L. alba*) não evitou distúrbios hematológicos em adultos de ‘silver catfish’ (*R. quelen*), comparado com valores antes do transporte (Becker et al., 2012). Os autores hipotetizaram que a redução de hematócrito após o transporte pode ter sido resultado da hemodiluição causada por distúrbios osmorregulatórios.

Parâmetros antioxidante

O óleo essencial de cidreira promoveu melhora na condição antioxidante. Adultos de 'silver catfish' (*R. quelen*) demonstraram redução de TBARS (substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico) e aumento de NPSH (grupo tiol não proteicos) hepáticos, após o transporte por 4 h com 20 $\mu\text{L L}^{-1}$, comparativamente aos peixes do grupo controle (transportados sem anestésico) (Salbego et al., 2017).

Tabela 7. Concentrações, efeito comportamental e fisiológico de *Lippia alba* e *Lippia origanoides** em peixes.

Espécies	Concentrações	Efeito comportamental	Efeito fisiológico	Autor
<i>Hippocampus reidi</i> 2,5 ± 0,5 g 2,3 ± 0,8 g	0, 10, 20, 50, 150, 300, 450 µL L ⁻¹ 15 µL L⁻¹ Transporte 4 e 24 h	Anestesia profunda 450 µL L ⁻¹ 75,9 ± 14,2 s, recuperação 352,8 ± 123,8 s.	Sedação 15 µL L ⁻¹ ↓ glicose (4 h e 12 h) vs controle (sem anestésico) e não alterou neutrófilos e linfócitos vs At.	Cunha et al., 2011
<i>Piaractus mesopotamicus</i> × <i>Colossoma macropomum</i> 72,80 ± 2,73 g	75, 100, 200, 300 µL L ⁻¹ 0 e 200 µL L⁻¹ 0, 1, 4 h	Anestesia 200 µL L ⁻¹ 76 ± 4,74 s, recuperação 307,14 ± 27,50 s.	200 µL L ⁻¹ ↓ cortisol 0 h e ↓ glicose 4 h, ↑ lactato 0 h, mas ↓ 4h vs controle.	Sena et al., 2016
<i>Rhamdia quelen</i> 301,24 ± 21,4 g	10 e 20 µL L ⁻¹ Exposição de 6 horas 20 µL L⁻¹ Transporte por 4 h	Sedação leve 10 ou 20 µL L ⁻¹ ↓ frequência ventilatória 2, 3 e 4 h.	20 µL L ⁻¹ ↓ perda de Na ⁺ , Cl ⁻ e K ⁺ no sangue vs controle. ↓ Hct (26,56%) vs At (32,64%).	Becker et al., 2012
<i>Rhamdia quelen</i> 301,24 ± 21,40g	0, 10 ou 20 µL L ⁻¹ Transporte por 4 h	Leve sedação	Sedação 20 µL L ⁻¹ ↓ glicogênio e lactato no fígado/músculo vs controle; ↓ TBARS e ↑ NPSH fígado vs controle.	Salbego et al., 2017
<i>Rhamdia quelen</i> 40,88 ± 1,21g	50, 100, 150, 200 e 300 µL L ⁻¹	Anestesia 200 µL L ⁻¹ 180 s, recuperação < 400 s.		Becker et al., 2018
<i>*Rhamdia quelen</i> 40,88 ± 1,21 g	25, 50, 100, 200 e 300 µL L ⁻¹	Anestesia 300 µL L ⁻¹ ≤ 180 s, recuperação ≤ 720 s.	5 µL L ⁻¹ melhor padrão ↓ FV (0 a 8h).	Becker et al., 2018
<i>Serrasalmus rhombeus</i> 110,9 ± 3,79 g	50, 100 e 200 µL L ⁻¹	Anestesia profunda 200 µL L ⁻¹ 180 s, recuperação < 400 s.		Almeida et al., 2018
<i>Serrasalmus eigenmanni</i> 171,01 ± 6,38g	200 µL L ⁻¹ 5 µL L⁻¹ Exposição de 240 minutos	Anestesia profunda 200 µL L ⁻¹ < 100 s, recuperação < 200 s.	5 µL L ⁻¹ não altera cortisol, glicose ou lactato, ↓ perda Na ⁺ vs controle.	Almeida et al., 2019

Grupo tiol não proteico (NPSH). Substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS). At: Níveis antes do transporte. FV: Frequência ventilatória.

4.2. Lamiaceae

4.2.1. *Ocimum basilicum* e *Ocimum gratissimum*

O gênero *Ocimum* é representado por 150 espécies de arbustos, sendo o manjerição doce (*Ocimum basilicum*) utilizado como planta ornamental e na culinária (Purushothaman et al., 2018). O óleo essencial de *O. basilicum* é rico em linalol (53,35%) (Limma-Netto et al., 2016). *Ocimum gratissimum* L. é uma planta aromática nativa das regiões tropicais da Índia e Leste da África. Na Nigéria é utilizada tradicionalmente para tratamento de distúrbios gastrointestinais e problemas respiratórios; e no Nordeste do Brasil é utilizada como planta medicinal e também como condimento (Prabhu et al., 2009). *O. gratissimum* é conhecido popularmente como alfavaca ou manjerição. O eugenol (73,6%) é o principal constituinte do óleo essencial dessa espécie (Silva et al., 2012).

4.2.1.1. Efeito comportamental: Anestesia

O óleo essencial de manjerição (*Ocimum basilicum*) promoveu eficazes tempos de anestesia para procedimentos não invasivos na aquicultura (tabela 8). Juvenis de tambacu (*Piaractus mesopotamicus* x *Colossoma macropomum*) foram anestesiados em 161 s, com rápida recuperação < 180 s, quando expostos a 200 $\mu\text{L L}^{-1}$ (Limma-Netto et al., 2016). A concentração de 400 $\mu\text{L L}^{-1}$ promoveu indução anestésica < 3 minutos em juvenis de tilápia-do-Nilo (*O. niloticus*) e recuperação < 4 minutos (Limma-Netto et al., 2017).

4.2.1.2. Efeito comportamental: anestesia profunda e cirúrgica

As práticas rotineiras promovem algum nível de dor em peixes, sendo uso de anestesia necessária para evitar sofrimento e desconforto (Ross e Ross, 2009). Neste sentido, a concentração de 150 mg L^{-1} de óleo essencial de manjerição (*Ocimum gratissimum*) promoveu rápida indução a anestesia profunda em 146 s em juvenis de 'silver catfish' (*Rhamdia quelen*), mas peixes expostos a essa

concentração apresentaram longo tempo de recuperação, 17 minutos (Silva et al., 2012). Por outro lado, a concentração de 200 mg L⁻¹ de *O. gratissimum* promoveu anestesia para procedimentos invasivos, tais como punção com agulha para amostragem de sangue em juvenis de bagre sul-americano (*Pseudoplatystoma reticulatum*) em 232 s, com recuperação em 276 s (Silva et al., 2020) (Tabela 8).

4.2.1.3. Efeito fisiológico: anestesia cirúrgica

Glicose, hematócrito e hemoglobina

Ocimum gratissimum não promoveu hiperglicemia em juvenis de bagre sul-americano (*P. reticulatum*) após anestesia cirúrgica com 200 mg L⁻¹ (Silva et al., 2020). Nesse estudo, os autores não observaram efeito das concentrações de *O. gratissimum* nos valores de hematócrito e hemoglobina após anestesia.

4.2.1.4. Efeito fisiológico: transporte

Glicose, lactato e concentração de íons

Ocimum basilicum não promoveu distúrbios metabólicos em tilápia-do-Nilo após o transporte. A concentração de 20 µL L⁻¹ de *O. basilicum* não aumentou a glicose, mas reduziu o lactato no plasma de tilápia-do-Nilo, comparativamente aos valores antes do transporte (Ventura et al., 2020). Por outro lado, os autores observaram redução nos valores de sódio e cloreto plasmáticos nessa espécie após o transporte com 20 µL L⁻¹ de *O. basilicum* (Ventura et al., 2020) (Tabela 8).

4.2.2. *Cunila galioides*

O gênero *Cunila* consiste em 22 espécies, encontradas no México; e outras na região sul do Brasil, especificamente, Rio grande do Sul, Paraná e Santa Catarina (Echeverrigaray et al., 2003). A espécie *Cunila galioides* é um arbusto perene com ramos de pequenas flores violetas, e frequentemente conhecida como

‘poejo’ (Fracaro e Echeverrigaray, 2001). O neral e o geranial são os principais componentes presentes no óleo essencial de *C. galioides* (Sandri et al., 2007).

4.2.2.1. Efeito comportamental

O óleo essencial de *Cunila galioides* promoveu somente sedação em juvenis de ‘silver catfish’ (*Rhandia quelen*) após 30 minutos de exposição a concentração de 100 mL L⁻¹. Houve redução do tempo de indução com o aumento da concentração (Cunha et al., 2017). Nesse estudo, os autores observaram que os tempos de recuperação aumentaram proporcionalmente ao aumento de concentração. Sendo, a concentração de 300 µL L⁻¹ de *C. galioides* promoveu melhor tempo de indução a anestesia para procedimentos dolorosos em 225 s, porém ‘silver catfish’ (*R. quelen*) anestesiados com essa concentração demonstraram longo tempo para recuperação 900 s.

4.2.2.2. Efeito fisiológico

Concentração de íons

O óleo essencial de *C. galioides* evitou distúrbios osmorregulatórios em ‘silver catfish’ (*R. quelen*) após 8 h de exposição a 25 µL L⁻¹, comparativamente aos peixes do grupo controle (Cunha et al., 2017). Os autores destacaram que essa concentração baixa de *C. galioides* teve um efeito protetor contra perda de íons promovidos por estressores, tais como, captura, transferência e confinamento.

4.2.3. *Hyptis mutabilis*

As espécies do gênero *Hyptis* (Jacq) são plantas perenes, aromáticas, com distribuição na região tropical e subtropical, desde a América do Norte até Argentina (Silva-Luz et al., 2012).

4.2.3.1. Efeito comportamental: anestesia

Juvenis de ‘silver catfish’ (*Rhamdia quelen*) não apresentaram eficientes tempos de indução anestésica (estágio 4) quando expostos a 344 mg L⁻¹ de óleo essencial das folhas de *Hyptis mutabilis* (indução por volta de 1250 s) (Silva et al., 2013). Nesse estudo, os autores observaram que apenas 50% dos peixes anestesiados com 344 mg L⁻¹ de *H. mutabilis* apresentaram comportamento normal após 30 minutos de observação.

4.2.4. *Mentha spp*

O gênero *Mentha* compreende aproximadamente 30 espécies de plantas aromáticas comumente encontrada nas regiões temperadas da Europa, América do Norte, Norte da África e Ásia (Stringaro et al., 2018). *Mentha spp* apresenta grande diversidade química, o que reflete nos seus constituintes dos óleos essenciais (Mimica-Dukic e Bozin, 2008). O óleo essencial de *Mentha longifolia* possui propriedades antimicrobianas e o extrato metanólico demonstrou efeito antioxidante (Gulluce et al., 2007).

4.2.4.1. Efeito comportamental: anestesia

Mentha spp promoveu sedação (estágio 5) para imobilização de juvenis de tilápia-do-Nilo (*O. niloticus*) por volta de 9 minutos e recuperação total em menos de 9 minutos (536 s em média) com 1.117 ppm (Rezende et al., 2017). Nesse estudo, o óleo de menta causou eriçamento das nadadeiras e alteração do padrão de coloração corporal até o estágio 3 de sedação em peixes expostos a 1.117 ppm.

4.2.5. *Nepeta cataria*

A espécie *Nepeta cataria* é uma planta herbácea perene, conhecida como ‘catnip’. O gênero *Nepeta* consiste de aproximadamente 300 espécies distribuídas nas regiões temperadas da Europa, Ásia e África (Aćimović et al., 2021). A

nepetalactona é o principal componente do óleo essencial de *N. cataria* (Souza et al., 2019).

4.2.5.1. Efeito comportamental: anestesia

A concentração de 175 $\mu\text{L L}^{-1}$ de óleo essencial de *Nepeta cataria* promoveu anestesia profunda em juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*) < 5 min (Souza et al., 2019) (Tabela 8).

4.2.5.2. Efeito fisiológico

O óleo essencial de *Nepeta cataria* promoveu relaxamento muscular em juvenis de tambaqui (*C. macropomum*) durante exposição por 5 minutos a 175 $\mu\text{L L}^{-1}$, evidenciado por significativa redução na amplitude média dos registros eletromiográficos na indução, com retorno gradual da atividade muscular na recuperação (Souza et al., 2019). Nesse estudo, os autores não observaram alterações no ritmo cardíaco durante a indução ou recuperação anestésica.

4.2.6. *Origanum majorana*

O gênero *Origanum L.* compreende 44 espécies de plantas aromáticas, sendo a espécie *Origanum majorana* conhecida como manjerona doce (Vasudeva, 2015). O terpinen-4-ol (20,44%), cisterpineno (13,14 %) e o cisterpineol (12,67%) são os constituintes em maior quantidade no óleo essencial de *O. majorana* (Cunha et al., 2017).

4.2.6.1. Efeito comportamental: anestesia

Cunha et al., (2017) realizaram banhos anestésicos com concentrações de 100 a 500 $\mu\text{L L}^{-1}$ de óleo essencial de *Origanum majorana* em juvenis de ‘silver catfish’ (*Rhamdia quelen*). Os autores demonstraram que 100 $\mu\text{L L}^{-1}$ promoveu

somente sedação (perda parcial do equilíbrio) após 30 min de exposição. Por outro lado, a concentração de 500 $\mu\text{L L}^{-1}$ promoveu anestesia profunda por volta de 200 s com rápida recuperação < 300 s. O tempo de indução anestésica diminui com o aumento das concentrações, porém não ocorre evidente relação entre o tempo de recuperação e o aumento das concentrações (Cunha et al., 2017).

4.2.6.2. Efeito fisiológico

Concentração de íons

O óleo essencial de *O. majorana* evitou a perda de íons sódio e potássio após 8 horas de exposição a 100 $\mu\text{L L}^{-1}$ (Cunha et al., 2017). Nesse estudo, os autores concluíram que essa concentração pode ser utilizada em estudos que abordem transporte, em virtude dos resultados de frequência ventilatória reduzida e menor perda de íons ao longo de 8 h de exposição.

Tabela 8. Concentrações, efeito comportamental e fisiológico de óleos herbais da família Lamiaceae em peixes.

Herbais	Espécies	Concentrações	Efeito comportamental	Efeito fisiológico	Autor
<i>Cunila galioides</i>	<i>Rhamdia quelen</i> 10,84 ± 0,16 g	50, 100, 200 e 300 µL L ⁻¹ Exposição por 8 horas	Sedação 100 µL L ⁻¹ 30 minutos exposição. Anestesia 300 µL L ⁻¹ ~ 225 s, recuperação 900 s.	25 µL L ⁻¹ ↓ perda Na ⁺ , Cl ⁻ vs controle.	Cunha et al., 2017
<i>Hyptis mutabilis</i>	<i>Rhamdia quelen</i> 4,96 ± 0,56 g	344 mg L ⁻¹	Anestesia (estágio 4) ~ 1250 s. recuperação 30 min (50% peixe).		Silva et al., 2013
<i>Mentha spp</i>	<i>Oreochromis niloticus</i> 24,1 ± 3,8 g	1,199 ppm	Sedação (estágio 5) 528 ± 188 s, recuperação 536 ± 176 s.		Rezende et al., 2017
<i>Nepeta cataria</i>	<i>Colossoma macropomum</i> 5,6 ± 1,8 g	175 µL L ⁻¹ (5 minutos de exposição)	Anestesia profunda < 5 minutos. Eletromiografia Eletrocardiografia Registros: indução e recuperação.	Indução: ↓ amplitude média e frequência registros eletromiograficos vs controle. Recuperação: ↑ amplitude média, mas < controle. Não alterou o ritmo cardíaco na indução ou recuperação.	Souza et al., 2019
<i>Ocimum gratissimum</i>	<i>Rhamdia quelen</i> 9,0 ± 0,2 g	10 a 300 mg L ⁻¹	Anestesia profunda 150 mg L ⁻¹ 153 s, recuperação 1031 s.		Silva et al., 2012
<i>Ocimum basilicum</i>	<i>Piaractus mesopotamicus</i> x <i>Colossoma macropomum</i> 17,45 ± 0,66 g	0, 10, 25, 50, 100, 200, 300 µL L ⁻¹	Anestesia 200 µL L ⁻¹ 161,00 ± 29,26 s, recuperação 161,25 ± 22,22 s.		Limma -Netto et al., 2016
<i>Ocimum basilicum</i>	<i>Oreochromis niloticus</i> 17,45 ± 0,66 g	0, 10, 25, 50, 100, 200, 400, 600 µL L ⁻¹	Anestesia 400 µL L ⁻¹ 135, 2 s, recuperação 199,1 s.		Limma -Netto et al., 2017
<i>Ocimum gratissimum</i>	<i>Pseudoplatystoma reticulatum</i> 40,0 ± 9,9 g	100, 150 e 200 mg L ⁻¹	Anestesia cirúrgica 200 mg L ⁻¹ 232,4 ± 36,8 s, recuperação 276,2 ± 47,2 s.	Concentrações não afetaram a glicemia, hematócrito e hemoglobina após biometria vs controle (sem anestésico).	Silva et al., 2020
<i>Ocimum basilicum</i>	<i>Oreochromis niloticus</i> 816,36 ± 31,37 g	20 µL L ⁻¹ Transporte 2h	Leve sedação	Não afetou a glicose, hematócrito e hemoglobina vs At. Mas, ↓ eritrócitos vs At. Sedação ↓ lactato, ↓ Na ⁺ e Cl ⁻ vs At.	Ventura et al., 2020
<i>Origanum majorana</i>	<i>Rhamdia quelen</i> 10,84 ± 0,16 g	50, 100, 200, 300, 400 e 500 µL L ⁻¹ 10, 25, 50, 100 µL L⁻¹ Exposição por 8h	Anestesia profunda 500 µL L ⁻¹ ~ 200 s, recuperação < 300 s.	Sedação 100 µL L ⁻¹ ↓ perda Na ⁺ , K ⁺ , mas ↑ perda Cl ⁻ . Sedação 100 µL L ⁻¹ ↓ Frequência ventilatória vs controle.	Cunha et al., 2017

At: Níveis antes do transporte.

4.3. Lauraceae

4.3.1. *Aniba parviflora* e *Aniba roseodora*

O gênero *Aniba* Aubl compreende aproximadamente 40 espécies de árvores. A espécie *Aniba rosaeodora* (Ducke) é conhecida como 'pau-rosa', tem distribuição na bacia amazônica, Bolívia, Peru, Suriname e Guiana Francesa. No Brasil, tal espécie ocorre nas regiões do Pará, Amapá e Amazonas (Pedroso, 1984). *Aniba parviflora* (Meisn) são árvores de 5 a 11 m de altura conhecidas como 'louro-rosa', podem ser encontrados exemplares em Manaus e Pará – Brasil (Kostermans, 1938).

4.3.1.1. Efeito comportamental: anestesia profunda

Os óleos essenciais de *A. parviflora* ou *A. rosaeodora* promoveram eficientes tempos de indução anestésica em menos de 3 minutos em juvenis de tambaqui (*C. macropomum*), mas a recuperação foi mais rápida em tambaqui anestesiados com *A. parviflora* < 5 min (212 s, em média) (Tabela 9).

4.3.2. *Nectandra grandiflora* e *Nectandra megapotamica*

O gênero *Nectandra* (Rol. ex Rottb) compreende 114 espécies restritas à região tropical e subtropical das Américas, sendo *Nectandra grandiflora* (Nees) popularmente conhecida como 'canela-amarela' ou 'canela-nhuva'. *N. grandiflora* é uma espécie arbórea que pode alcançar 12 m de altura (Baitello, 2003). *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez é conhecida como 'canela-preta' ou 'canelinha' e pode atingir 25 m de altura, tem distribuição na Argentina, Bolívia, Paraguai, norte do Uruguai e Brasil (Carvalho et al., 2006).

4.3.2.1. Efeito comportamental: anestesia profunda

As concentrações de 150 $\mu\text{L L}^{-1}$ de óleo essencial de ‘canelinha’ (*N. megapotamica*) ou 300 $\mu\text{L L}^{-1}$ de ‘canela-amarela’ (*N. grandiflora*) não promoveram eficiente tempos de indução a anestesia profunda, respectivamente, em juvenis de robalo (*Centropomus paralellus*) (indução e recuperação, ambas < 6 min) (Tondolo et al., 2013) e juvenis de tambaqui (*C. macropomum*) (indução > 20 min., recuperação < 6 min) (Barbas et al., 2017a) (Tabela 9). Tais diferenças nos tempos de indução anestésica com óleos essenciais podem ser devido aos tipos e proporções dos principais compostos ativos presentes nesses óleos herbais (Aydin e Barbas, 2020).

4.3.2.2. Efeitos fisiológicos: anestesia

Glicose e lactato

A concentração de 300 $\mu\text{L L}^{-1}$ de óleo essencial de ‘canelinha’ (*N. megapotamica*) não preveniu o aumento de glicose e lactato no plasma de juvenis de robalo (*Centropomus parallelus*) após 10 minutos de exposição (Tondolo et al., 2013).

Concentração de íons

A concentração de 300 $\mu\text{L L}^{-1}$ de óleo essencial de *N. megapotamica* não promoveu a perda de íons sódio e potássio no plasma de juvenis de robalo (*C. parallelus*) após 10 minutos de exposição, comparado com valores basais (Tondolo et al., 2013).

4.3.2.3. Efeitos fisiológicos: transporte

Glicose

O óleo essencial de *N. grandiflora* atenuou a resposta secundária ao estresse em juvenis de tambaqui (*C. macropomum*) transportado por 6 h com 30 $\mu\text{L L}^{-1}$, comparativamente aos peixes do grupo controle (Barbas et al., 2020).

Concentração de íons

O óleo essencial de *N. grandiflora* não causou significantes alterações nas concentrações de íons e osmolaridade sanguínea após transporte de tambaqui (*C. macropomum*) por 2, 6 ou 10 h, quando comparados com níveis antes do transporte (Barbas et al., 2020).

Hematologia

A concentração calmante de *N. grandiflora* não promoveu distúrbios hematológicos em juvenis de tambaqui (*C. macropomum*) durante o transporte, comparado com valores antes do transporte (Barbas et al., 2020).

Parâmetros antioxidantes

O óleo essencial de *N. grandiflora* promoveu melhora na condição antioxidante de juvenis de tambaqui (*C. macropomum*) durante o transporte com 30 $\mu\text{L L}^{-1}$, pois, reduziu em os níveis de peroxidação lipídica em 41,5% (TBARS, 6 h) e aumentou GST (glutathione-s-transferase, 78%, 10 h), ambos no musculo, quando comparados com peixes do grupo controle (transportados sem anestésico) (Barbas et al., 2017b).

Tabela 9. Concentrações, efeito comportamental e fisiológico de óleos herbais da família Lauraceae em peixes.

Herbais	Espécies	Concentrações	Efeito comportamental	Efeito fisiológico	Autor
<i>Aniba parviflora</i>	<i>Colossoma macropomum</i> 2,0 ± 0,2 g	50, 100, 200, 300 µL L ⁻¹	Anestesia profunda 200 µL L ⁻¹ 116,4 ± 4,9 s, recuperação 212,2 ± 22,5 s.		Baldisserotto et al., 2018
<i>Aniba rosaeodora</i>	<i>Colossoma macropomum</i> 2,0 ± 0,2 g	25, 50, 100, 200 µL L ⁻¹	Anestesia profunda 200 µL L ⁻¹ 98,7 ± 2,1 s, recuperação 419,4 ± 22,5 s.		Baldisserotto et al., 2018
<i>Nectandra megapota mica</i>	<i>Centropomus parallelus</i> 0,49 ± 0,03 g	30, 150, 300, 450 µL L ⁻¹ 300 µL L⁻¹ exposição 10 minutos	Anestesia profunda 150 µL L ⁻¹ 337,2 ± 47,0 s, recuperação 341,5 ± 78,3 s.	300 µL L ⁻¹ ↑ glicose e lactato, não afetaram Na ⁺ e K ⁺ vs valores basais.	Tondolo et al., 2013
<i>Nectandra grandiflora</i>	<i>Colossoma macropomum</i> Exp 1: 3,3 ± 0,5 g Exp 2: 8,6 ± 0,6 g	100, 200, 300 µL L ⁻¹ 30 µL L⁻¹ Transporte 2, 6, 10 h	Anestesia profunda 300 µL L ⁻¹ 1218 ± 407 s, recuperação 324 ± 187 s.	Sedação ↓ 41,5 % TBARS musculo 6 h vs controle; ↑ 78% GST músculo 10 h vs controle.	Barbas et al., 2017b
<i>Nectandra grandiflora</i>	<i>Colossoma macropomum</i> 65,74 ± 15,35 g	30 µL L ⁻¹ Transporte 2, 6, 10 horas	Sedação leve	Sedação ↓ glicemia 6 h vs controle; não afetou osmolaridade, K ⁺ , Ca ⁺⁺ e Na ⁺ , hematócrito e hemoglobina vs At.	Barbas et al., 2020

At: Níveis antes do transporte. GST: glutiona-S-transferase. TBARS, substância reativa ao ácido tiobarbitúrico.

4.4. Myrtaceae

4.4.1. *Syzygium aromaticum* (*Eugenia aromaticum* ou *Eugenia caryophyllata*)

O gênero *Eugenia* L. compreende aproximadamente 1000 espécies de árvores pequenas com ocorrência nas Américas Central e Sul. Outro gênero da família, *Syzygium* Gaertn possui cerca de 1800 espécies encontradas, principalmente, no Sul e Sudeste Asiático. Dentre essas, 4 espécies têm ocorrência na América do Sul (Costa et al., 2020). O óleo-de-cravo é um líquido marrom escuro obtido da destilação de flores, caules e folhas (Javahery et al., 2012), tendo como principais compostos ativos o eugenol e o isoeugenol (Priborsky e Velisek, 2020).

4.4.1.1. Efeito comportamental: anestesia

As concentrações de 20 mg L⁻¹ (King et al., 2005), 50 mg L⁻¹ (Da Silva et al., 2021) e 100 mg L⁻¹ (Mitjana et al., 2018) de óleo-de-cravo promoveram eficientes tempos de indução anestésicas < 3 minutos para o manuseio durante medidas biométricas e pesagens, com tempos de recuperação em menos de 7 minutos (tabela 10). Por outro lado, a anestesia (estágio 3) foi obtida em 6 minutos, com recuperação por volta de 3 minutos em juvenis de ‘black sea bass’ (*Centropristis striata* L.) expostos a 30 mg L⁻¹ de óleo-de-cravo (King et al., 2005).

Um anestésico deve apresentar como características indução anestésica rápida, sem causar estresse; e recuperação completa em 5 minutos com ausência de alterações comportamentais após exposição (Ross e Ross, 2009). Apesar de promover anestesia eficientemente em outras espécies de peixes, a sedação (estágio 5) com 1,239 ppm de óleo-de-cravo promoveu longo tempo de recuperação em tilápia-do-Nilo (*O. niloticus*) (Rezende et al., 2014). Nesse estudo, os autores observaram escurecimento corporal na tilápia-do-Nilo durante a exposição, indicando algum grau de estresse. De fato, uma concentração efetiva de um anestésico é variável, sendo influenciada pelas características da espécie e qualidade de água (Aydin e Barbas, 2020). Com relação a alterações comportamentais em peixes expostos ao óleo-de-cravo, a concentração anestésica

de 50 mg L⁻¹ não alterou o comportamento alimentar e agressivo de tilápia-do-Nilo em 4 dias após exposição (Da Silva et al., 2021).

4.4.1.2. Efeitos fisiológicos: anestesia

Cortisol

O aumento do tempo de exposição não aumenta proporcionalmente o cortisol no plasma de 'black sea bass' (*C. striata* L.) expostos a 40 mg L⁻¹ de óleo-de-cravo (King et al., 2005).

4.4.1.3. Efeito fisiológico: transporte

Cortisol

A concentração de 4 mg L⁻¹ de óleo essencial de cravo atenuou o efeito estressor do transporte em salmão do atlântico transportado por 2 h (Iversen et al., 2009) (tabela 10). Diferentemente, 'hybrid striped bass' (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*) demonstrou aumento dos níveis de cortisol imediatamente e 24 h após o transporte por 180 minutos com 10 µL L⁻¹ de óleo-de-cravo (Sink e Neal, 2009). Davis e Griffin (2004) também observaram aumento do cortisol no plasma de 'hybrid striped bass' após 15 ou 30 minutos de exposição a 8 µL L⁻¹ de óleo-de-cravo; porém níveis de cortisol reduziram em 2 h de recuperação, que ficaram similares ao tratamento controle. Tais resultados com 'hybrid striped bass' podem ser fruto das concentrações utilizadas, visto que, concentrações mais baixas de óleos essenciais, por exemplo, 3 µL L⁻¹ de *A. triphylla* e 5 µL L⁻¹ *L. alba*, não causaram aumento de cortisol após 4 h de exposição (Almeida et al., 2019).

Glicose

O óleo-de-cravo não evitou o aumento de glicose no plasma de 'hybrid striped bass' imediatamente após o transporte com 10 µL L⁻¹ por 180 minutos (Sink e Neal, 2009). Davis e Griffin (2004) também observaram maior glicose no plasma

de 'hybrid striped bass' 24 h após exposição a 8 $\mu\text{L L}^{-1}$ de óleo-de-cravo, comparativamente aos peixes do grupo controle. Segundo tais autores, esse aumento de glicose não demonstrou significância fisiológica e não foram observadas mortalidades durante o período experimental.

Concentração de íons

O 'Hybrid striped bass' (*M. chrysops* x *M. saxatilis*) apresentou alterações osmorregulatórias, que não normalizaram em 24 h após o transporte com 10 $\mu\text{L L}^{-1}$ de óleo-de-cravo, comparados aos peixes do tratamento controle (transportados sem anestésico) (Sink e Neal, 2009). No entanto, Davis e Griffin (2004) não observaram alterações persistentes no cloreto plasmático de 'hybrid striped bass' expostos por 15 ou 30 min a 8,0 $\mu\text{L L}^{-1}$ de óleo-de-cravo. Em salmão do atlântico, o óleo-de-cravo foi benéfico; os peixes transportados com 4 mg L^{-1} apresentaram recuperação dos níveis de magnésio no plasma 96 h após o transporte, comparativamente ao grupo controle (sem anestésico) (Iversen et al., 2009).

4.4.2. *Melaleuca alternifolia*

A espécie 'tea tree' (*Melaleuca alternifolia*) é uma planta nativa da Austrália, tendo importância, ao fato de seu óleo essencial ter propriedades antimicrobianas, sendo os principais componentes o terpine-4-ol (40,1%), γ - terpineno (23,0%) e α - terpineno (10,4%) (Carson et al., 2006).

4.4.2.1. Efeito comportamental: Anestesia

O óleo essencial 'tea tree' (*M. alternifolia*) promoveu anestesia para manuseio por volta de 3 minutos ou menos em peixes expostos a 1,2 ppm (Rezende et al., 2017), 0,5 mL L^{-1} (Hajek, 2011) ou 500 $\mu\text{L L}^{-1}$ (Souza et al., 2018) com tempos de recuperação abaixo de 9 minutos (tabela 10).

4.4.2.2. Efeito fisiológico

Parâmetros oxidativos

O óleo essencial 'tea tree' (*M. alternifolia*) promoveu melhora na condição antioxidante no fígado e rim de juvenis de 'silver catfish' (*Rhamdia quelen*) após exposição a 25 $\mu\text{L L}^{-1}$. O óleo essencial 'tea tree' aumentou a atividade de GST no fígado e rim, e reduziu TBARS no fígado de silver catfish' (Souza et al., 2018).

4.4.2.3. Efeito Fisiológico: transporte

Cortisol, glicose e lactato

Juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*) apresentaram aumento de cortisol, da glicose e do lactato plasmáticos imediatamente após o transporte com 10,4 mg L^{-1} de 'tea tree' e óleo-de-cravo, porém houve redução desses parâmetros após 96 h de recuperação, que ficaram similar aos níveis basais (Santos et al., 2020).

Concentrações de íons

O óleo essencial de 'tea tree' e óleo-de-cravo não promoveu alterações significativas nos íons plasmáticos de juvenis de tambaqui (*C. macropomum*) após o transporte por 15 h ou 36 h, comparativamente aos níveis basais (Santos et al., 2020).

Hematologia

O óleo essencial de 'tea tree' e óleo-de-cravo não promoveu distúrbios hematológicos (redução de hematócrito e/ou hemoglobina) em juvenis de tambaqui durante o transporte por 15 h ou 36 h, em relação aos valores basais (Santos et al., 2020).

4.4.3. *Myrcia sylvatica*

O gênero *Myrcia* De Candolle compreende aproximadamente 380 espécies distribuídas do México ao sul do Brasil (Lucas et al., 2011). A espécie *Myrcia sylvatica* (G. Mey.) são árvores de pequeno porte, amplamente distribuída na América do Sul. No Brasil, *M. sylvatica* pode ser encontrada nos biomas Amazônia, Caatinga e Cerrado. Especificamente, no Pará, tal espécie pode ser encontrada em florestas secundárias, várzea e cerrado, sendo popularmente conhecida como ‘cumatê-folha-miúda’, ‘murtinha’ ou ‘pedra-ume-caá’ (Silva et al., 2015).

4.4.3.1. Efeito comportamental: Anestesia

O óleo essencial de *M. sylvatica* promoveu eficazes tempos de indução anestésica (estágio 3) < 3 minutos, com rápida recuperação < 5 minutos em juvenis de tambaqui (*C. macropomum*) expostos a banhos anestésicos com 300 $\mu\text{L L}^{-1}$ (Saccol et al., 2017). Por outro lado, a concentração de 200 $\mu\text{L L}^{-1}$ de *M. Sylvatica* promoveu elevados tempos de indução e recuperação anestésicas (estágio 3) em ‘silver catfish’ (*Rhamdia quelen*) (Saccol et al., 2018) (Tabela 10). De fato, as características da espécie de peixes, tipos e proporções dos compostos ativos presentes nos óleos essenciais podem influenciar a eficácia anestésica (Aydin e Barbas, 2020).

4.4.3.2. Efeitos fisiológicos: anestesia

Cortisol, glicose e lactato

O óleo essencial de *M. sylvatica* não promoveu a liberação de cortisol ou hiperglicemia em juvenis de tambaqui após exposição a concentração de 200 $\mu\text{L L}^{-1}$ (Saccol et al., 2017) (Tabela 10). Porém, nesse estudo, os autores observaram aumento dos níveis de lactato no plasma de juvenis de tambaqui após a exposição anestésica.

Parâmetros antioxidantes

O óleo essencial de *M. sylvatica* proporcionou melhora nos biomarcadores de estresse oxidativo em juvenis do tambaqui (*C. macropomum*) após 5 minutos de exposição anestésica. Juvenis de tambaqui demonstraram aumento de enzimas antioxidantes (GR e SOD) no cérebro, bem como redução da peroxidação de lipídeos (TBARS) no fígado e brânquias após anestesia com 200 $\mu\text{L L}^{-1}$ *M. sylvatica* (Saccol et al., 2017).

4.4.3.3. Efeitos fisiológicos: sedação leve

Cortisol, glicose e lactato

O óleo essencial de *M. sylvatica* não promoveu aumento de cortisol ou hiperglicemia no plasma de juvenis de tambaqui após 6 h de exposição a 10 $\mu\text{L L}^{-1}$, comparativamente os peixes do grupo controle (Saccol et al., 2017) (Tabela 10). Contudo, houve aumento de lactato no plasma de juvenis de tambaqui após 6 h de exposição a essa concentração, comparado com controle (sem anestésico) (Saccol et al., 2017).

Parâmetros antioxidantes

O óleo essencial de *M. sylvatica* promoveu melhora nos biomarcadores de estresse oxidativo em importantes órgãos de juvenis do tambaqui (*C. macropomum*). Peixes expostos a 10 $\mu\text{L L}^{-1}$ demonstraram redução de TBARS no cérebro e fígado, bem como aumento de GR no fígado, cérebro e brânquia após 6 h de exposição (Saccol et al., 2017).

4.4.4. *Eucalyptus spp*

O gênero *Eucalyptus* L' Herit são árvores aromáticas com aproximadamente 900 espécies e subespécies nativas da Austrália, no entanto, tais espécies são cultivadas em todos os continentes (Barbosa et al., 2016).

4.4.4.1. Efeito comportamental: Sedação

Juvenis de tilápia-do-Nilo (*O. niloticus*) demonstraram longos tempos de indução a sedação (estagio 5) e recuperação ambas > 20 minutos, quando expostos a concentração de 1,217 ppm de óleo essencial de *Eucalyptus spp* (Rezende et al., 2017). Neste estudo, os autores observaram estresse comportamental em tilápia-do-Nilo, evidenciado por eriçamento das nadadeiras e mudança no padrão de coloração do corpo (Tabela 10).

Tabela 10. Concentrações, efeito comportamental e fisiológico de óleos herbais da família Myrtaceae em peixes.

Herbais	Espécies	Concentrações	Efeito comportamental	Efeito fisiológico	Autor
<i>Eucalyptus spp</i>	<i>Oreochromis niloticus</i> 24,1 ± 3,8 g	1.217 ppm	Sedação (estágio 5) 1231 ± 258 s, recuperação 1260 ± 351 s. Causou eriçamento e mudança no padrão de coloração.		Rezende et al., 2017
<i>Eugenia caryophyllata</i>	<i>Centropristis striata</i> 36 ± 1,6 g	10, 15, 20 mg L ⁻¹ 40 mg L⁻¹ (10 min exposure) 10, 20, 30 min	Anestesia (estágio 2) 20 mg L ⁻¹ 1:53 ± 0:30, recuperação 5:36 ± 0:49. Anestesia (estágio 3) 30 mg L ⁻¹ 6:08 ± 0:18, recuperação 3:18 ± 0:24 (min:s).	Cortisol↑ 40 mg L ⁻¹ (0-10 min) vs nível basal, estável 10 - 30 min.	King et al., 2005
<i>Eugenia caryophyllata</i>	<i>Morone chrysops</i> x <i>M. saxatilis</i> 87,0 ± 24,4 g	8,0 µL L ⁻¹	Anestesia (estágio1) Exposição 15 e 30 minutos Recuperação de 2, 6, 24 horas	↑cortisol 15 e 30 min, ↓2h similar ao controle; ↑ glicose 24h, ↓ cloreto apenas 2h vs controle.	Davis e Griffin, 2004
<i>Eugenia caryophyllata</i>	<i>Morone chrysops</i> x <i>M. saxatilis</i> 132,1 ± 7,2 g	10,0 µL L ⁻¹ Transporte por 180 min (0h e 24h depois)	Sedação leve	↑cortisol 0h vs At e 24 horas vs controle. ↑ glicose 0h, ↓24 h < controle. ↓Na ⁺ 0h, ↑ 24 h < controle. ↓ Cl ⁻ 0h e 24h vs controle.	Sink e Neal, 2009
<i>Eugenia caryophyllata</i>	<i>Oreochromis niloticus</i> 24,1 ± 3,8 g	1.239 ppm	Sedação (estágio 5) 117 ± 64 s, recuperação 1268 ± 463 s. Causou escurecimento do corpo.		Rezende et al., 2017
<i>Eugenia caryophyllata</i>	<i>Oreochromis niloticus</i> 9,5 g	50 e 100 mg L ⁻¹ (1, 2, 3 e 4 dias)	Anestesia (estágio 2) 50 mg L ⁻¹ ~ 128 s e 100 mg/L ~ 65 s. Concentrações não prejudicaram a latência e ingestão alimentar, e agressividade.		Silva et al., 2021
<i>Eugenia caryophyllata</i>	<i>Poecilia reticulata</i> ♂ 0,41 ± 0,01 g ♀ 2,10 ± 0,03 g	25, 50, 75 e 100 mg L ⁻¹	Anestesia profunda ♂ 100 mg L ⁻¹ 0,85 ± 0,119 min ♀ 100 mg L ⁻¹ 0,98 ± 0,134 min Recuperação ♂ 6,41 ± 0,560 min ♀ 3,29 ± 0,231 min		Mitjana et al., 2018
<i>Eugenia caryophyllata</i>	<i>Salmo salar</i> 71,8 ± 8,8 g	4 mg L ⁻¹ Transporte por 2h	Sedação leve	↓ cortisol plasmático (1, 2, 4 e 48 h) após transporte vs controle. Plasma Mg ⁺⁺ normalizado 96 h vs pré- estresse.	Iversen et al., 2009
<i>Melaleuca alternifolia</i> + <i>Eugenia caryophyllata</i>	<i>Colossoma macropomum</i> 65,2 ± 1,20 g	10,4 mg L ⁻¹ Transporte 15 e 36 horas 96 horas de recuperação	Leve sedação	Não ↓ hematócrito e hemoglobina vs basal; ↑ cortisol, glicose e lactato vs basal, normal após 96 h; não afeta Na ⁺ , Cl ⁻ e K ⁺ vs basal.	Santos et al., 2020

Cont. tabela 10.

<i>Melaleuca alternifolia</i>	<i>Cyprinus carpio</i> 22 ± 6 g	0,2; 0,3; 0,4; 0,5 e 0,6 mL L ⁻¹	Anestesia geral 0,5 mL L ⁻¹ 145 ± 44 s, recuperação 335 ± 82 s.		Hajek, 2011
		0,5 mL L⁻¹ 15, 30, 45, 60, 75 minutos			
<i>Melaleuca alternifolia</i>	<i>Oreochromis niloticus</i> 24,1 ± 3,8 g	1.200 ppm	Sedação (estágio 5): 275 ± 67 s, recuperação 367 ± 94 s. Não alterou o padrão de cor do corpo e o eriçar das nadadeiras.		Rezende et al., 2017
<i>Melaleuca alternifolia</i>	<i>Rhamdia quelen</i> exp1: 6,60 ± 2,21 g exp2: 6,70 ± 1,7 g	100 - 1000 µL L ⁻¹ 25 µL L⁻¹ Exposição por 6 horas	Anestesia profunda 500 µL L ⁻¹ ~ 316 s, recuperação < 500 s.	Sedação 25 µL L ⁻¹ ↓ TBARS fígado e ↑ GST fígado e rim vs controle.	Souza et al., 2018
<i>Myrcia sylvatica</i>	<i>Colossoma macropomum</i> Exp1: 2,06 ± 0,18 g Exp2: 553,35 ± 22,14 g	50, 100, 200, 300 µL L ⁻¹ 200 µL L⁻¹ (5 min de exposição) 10,0 µL L⁻¹ (6 h exposição)	Anestesia (estágio 3) 300 µL L ⁻¹ 110,50 ± 5,03 s, recuperação 254,20 ± 18,23 s.	Anestesia 200 µL L ⁻¹ não ↑ cortisol e glicose, mas ↑ lactato; ↓ TBARS: fígado, brânquia e rim; ↑ GR e SOD cérebro vs controle. Sedação 10,0 µL L ⁻¹ não aumenta cortisol ou glicose, mas ↑ lactato; ↓ TBARS e HL fígado, brânquia e cérebro; ↑ GR brânquia, cérebro e fígado vs controle.	Saccol et al., 2017
<i>Myrcia sylvatica</i>	<i>Rhamdia quelen</i> Exp1: 8,9 ± 2,7 g Exp2: 25,20 ± 2,90 g	25, 50, 75, 100.200 µL L ⁻¹ 25 e 35 µL L⁻¹ Transporte por 6 h	Anestesia (estágio 3) 200 µL L ⁻¹ 550,67 ± 54,42 s, recuperação 803,89 ± 72,94 s.	Sedação 35 µL L ⁻¹ ↓ cortisol e lactato, não ↑ glicose plasmática vs At.	Saccol et al., 2018

At: Níveis antes do transporte. SOD, superóxido dismutase. GR, glutatona redutase. TBARS, substância reativa ao ácido tiobarbitúrico. GST: glutatona-S-transferase. HL, hidroperóxidos lipídeos.

4.5. Outras famílias

4.5.1 Poaceae

4.5.1.1. Cymbopogon flexuosus e Cymbopogon nardus

O gênero *Cymbopogon* são capins aromáticos com aproximadamente 140 espécies nativas das regiões tropicais e subtropicais da Ásia. Entre tais espécies, o capim limão (*Cymbopogon flexuosus*) e citronela (*Cymbopogon nardus*) são utilizadas frequentemente para produção de óleos essenciais ricos em compostos bioativos (Ganjewala e Gupta, 2013).

Efeito comportamental: Anestesia

As concentrações de 300 $\mu\text{L L}^{-1}$ de capim limão (*C. flexuosus*) e 600 $\mu\text{L L}^{-1}$ de citronela (*C. nardus*) promoveram anestesia profunda em menos de 3 minutos, com rápida recuperação abaixo de 2 minutos, respectivamente, em tambacu (*Piaractus mesopotamicus x Colossoma macropomum*) (Limma-Netto et al., 2016) e juvenis de tambaqui (*C. macropomum*) (Barbas et al., 2017a) (Tabela 11).

Por outro lado, as concentrações de 300 $\mu\text{L L}^{-1}$ (Dos Santos et al., 2017) e 600 $\mu\text{L L}^{-1}$ (Limma-Netto et al., 2017) de capim-limão não promoveu eficazes tempos de indução e recuperação anestésica, respectivamente, em ‘silver catfish’ (*R. quelen*) e tilápia-do-Nilo (*O. niloticus*). Tais diferenças nos tempos de indução e recuperação anestésica podem ser influenciados pelos aspectos biológicos da espécie ou diferentes tipos e taxas de componentes ativos presentes nos óleos essenciais (Aydin e Barbas, 2020).

Efeito fisiológico: anestesia

O óleo essencial de citronela (*C. nardus*) causou relaxamento muscular e depressão cardiorrespiratória durante a indução, com retorno gradual da atividade muscular e cardíaca na recuperação em juvenis de tambaqui (*C. macropomum*) expostos à anestesia profunda com 600 $\mu\text{L L}^{-1}$ de citronela (Barbas et al., 2017c).

4.5.2. Compositae

4.5.2.1. Spilanthes acmella

O jambú *Spilanthes acmella* Var. *Oleracea* (L.) é uma planta nativa das regiões tropicais da Ásia e América do Sul (Dias et al., 2012), sendo frequentemente conhecida pelo sabor picante e efeito dormente. Tal característica, é possivelmente efeito do ‘spilanthol’, o principal composto ativo do extrato das flores de jambú (Nakatani e Nagashima, 1992).

Efeito comportamental: anestesia profunda

As concentrações de 10 mg L⁻¹ (Barbas et al., 2017a) e 20 mg L⁻¹ (Barbas et al., 2016) de extrato das flores de jambú (*S. acmella*) promoveram anestesia profunda em juvenis de tambaqui (*C. macropomum*) em aproximadamente 3 minutos ou menos com rápida recuperação (≤ 5 minutos) (Tabela 11).

Efeitos fisiológicos: anestesia

Glicose

A concentração anestésica de 20 mg L⁻¹ de extrato de flores de jambú (*S. acmella*) aumentou a glicose de juvenis de tambaqui (*C. macropomum*) imediatamente e 2 h após o manuseio para realização de medidas biométricas; porém, peixes anestesiados com essa concentração apresentaram redução de glicose em 72 h, que permaneceu similar ao tratamento controle (sem anestésico) (Barbas et al., 2016).

Hematologia

O extrato das flores de jambú reduziu hematócrito e hemoglobina de tambaqui (*C. macropomum*) em 2 e 48 horas após anestesia com 20 mg L⁻¹,

comparativamente aos peixes do grupo controle (sem anestésico) (Barbas et al., 2016).

Osmolaridade

O extrato de flores de jambú não promoveu alterações significativas na osmolaridade sanguínea de juvenis de tambaqui (*C. macropomum*) em 72 horas após a anestesia para pesagem e medição (Barbas et al., 2016).

Efeitos fisiológicos: transporte

Glicose

A concentração de 2 mg L⁻¹ de extrato de flores de jambú (*S. acmella*) não teve efeito nos níveis de glicemia de juvenis de tambaqui (*C. macropomum*) após transporte por 2, 6 ou 10 horas, comparado com peixes do tratamento controle (Barbas et al., 2020).

Hematologia

O extrato de flores de jambú (*S. acmella*) não promoveu alterações significativas nos níveis de hematócrito e hemoglobina durante o transporte de juvenis de tambaqui (*C. macropomum*) por 2, 6 ou 10 horas com 2 mg L⁻¹, comparativamente aos valores antes do transporte (Barbas et al., 2020).

Concentração de íons

O extrato de flores de jambú (*S. acmella*) não evitou a perda de íons de sódio no sangue de juvenis de tambaqui (*C. macropomum*) após o transporte por 2, 6 e 10 horas com 2 mg L⁻¹, em comparação com os níveis antes do transporte (Barbas et al., 2020). Por outro lado, esses autores não observaram grandes alterações na osmolaridade sanguínea.

Parâmetros antioxidantes

A concentração de 1,0 mg L⁻¹ de extrato de flores de jambú proporcionou efeito protetor contra danos oxidativos em juvenis de tambaqui (*C. macropomum*). Peixes demonstraram redução de 41% nos valores de peroxidação lipídica (TBARS) no músculo após o transporte por 6 h com 1 mg L⁻¹ de extrato de jambú, quando comparados com valores dos peixes do grupo controle (transportados sem anestésico) (Barbas et al., 2017b).

4.5.3. Zingiberaceae

4.5.3.1. Curcuma longa

A *Curcuma longa* Linn é uma erva nativa da Índia, mundialmente conhecida como cúrcuma. As raízes de *C. longa* possuem curcumina, um polifenol com propriedades terapêuticas, sendo utilizada para tratamento de desordens gastrointestinais, respiratórias e diabetes (krup et al., 2013).

Efeito comportamental: anestesia

A concentração de 500 µL L⁻¹ de óleo essencial de cúrcuma promoveu anestesia (estágio 3) com tempos de indução de 372 segundos, com rápida recuperação (319 segundos) em juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*) (Saccol et al., 2017) (Tabela 11). Nesse estudo, os autores observaram que apenas 50% dos peixes expostos 500 µL L⁻¹ de óleo essencial de cúrcuma alcançaram anestesia após 30 minutos de avaliação.

Efeito fisiológico: anestesia

Cortisol, glicose e lactato

O óleo essencial de cúrcuma não aumentou os níveis de cortisol ou glicose plasmática de tambaqui (*C. macropomum*) após 5 minutos de exposição a 500 $\mu\text{L L}^{-1}$, em comparação ao grupo controle (sem anestésico) (Saccol et al., 2017). Mas, juvenis de tambaqui demonstraram aumento de lactato após exposição a 500 $\mu\text{L L}^{-1}$ de cúrcuma, comparativamente aos peixes do tratamento controle (sem anestésico).

Parâmetros antioxidantes

O óleo essencial de cúrcuma reduziu os níveis de peroxidação lipídica e aumentou a atividade de enzimas antioxidantes em juvenis de tambaqui (*C. macropomum*). A concentração anestésica de 500 $\mu\text{L L}^{-1}$ reduziu TBARS no cérebro, fígado, brânquia e rim; e aumentou SOD e GR no cérebro de tambaqui após 5 minutos de exposição, comparativamente aos peixes do grupo controle (sem anestésico) (Saccol et al., 2017).

Efeito fisiológico: sedação leve

Cortisol, glicose e lactato

A concentração de 40 $\mu\text{L L}^{-1}$ de óleo essencial de cúrcuma reduziu o cortisol e não teve efeito hiperglicêmico no plasma de tambaqui, comparativamente aos peixes do tratamento controle (sem anestésico). Porém, o óleo essencial de cúrcuma aumentou o lactato no plasma de tambaqui após exposição a 40 $\mu\text{L L}^{-1}$, quando comparado com animais do grupo controle (sem anestésico) (Saccol et al., 2017).

Parâmetros antioxidantes

O óleo essencial de cúrcuma reduziu os níveis de peroxidação lipídica no cérebro, fígado, brânquia e rim de juvenis de tambaqui expostos a 40 $\mu\text{L L}^{-1}$ (Saccol et al., 2017). Ainda sobre esse estudo, os autores observaram melhora na atividade de enzimas antioxidantes no cérebro de juvenis de tambaqui, após exposição a concentração de 40 $\mu\text{L L}^{-1}$ de cúrcuma, comparativamente ao tratamento controle (sem anestésico).

4.5.3.2. Zingiber officinale

O gengibre (*Zingiber officinale*) Rosc é uma planta nativa do Sudeste Asiático, sendo que, sua raiz é muito utilizada na medicina tradicional asiática desde os tempos antigos. O zingibereno e o curcumeno são os principais constituintes do óleo de gengibre. Além destes, o gingerol é uma substância não volátil, responsável pela sensação 'quente' na boca (Shukla e Singh, 2007).

Efeito comportamental: Anestesia cirúrgica

O óleo essencial de gengibre (*Z. officinale*) não promoveu eficaz tempo de indução anestésica em juvenis de bagre sul-americano (*Pseudoplatistoma reticulatum*) (indução 647 segundos); porém os peixes apresentaram recuperação em 257 segundos, em média, quando expostos a concentração de 200 mg L^{-1} (Silva et al., 2020). Os autores apontaram que, provavelmente, esses tempos de indução elevados podem ter sido causados pela característica do óleo de gengibre disperso em muitos compostos sem efeito anestésico evidente (Tabela 11).

Efeito fisiológico

Glicose

Juvenis de bagre sul-americano (*P. reticulatum*) não apresentaram alterações nos níveis de glicose plasmática após a anestesia cirúrgica com 200 mg

L⁻¹ de óleo essencial de gengibre, em comparação ao grupo controle (Silva et al., 2020).

Hematologia

O óleo essencial de gengibre promoveu alterações hematológicas após anestesia cirúrgica em bagre sul-americano. A concentração de 200 mg L⁻¹ de gengibre aumentou o percentual de hematócrito e reduziu os valores de hemoglobina de juvenis de bagre sul-americano (*P. reticulatum*) após biometria e punção com agulha para retirada de amostra de sangue, em comparação com o grupo controle (Silva et al., 2020).

4.5.4. Rhamnaceae

4.5.4.1. Condalia buxifolia

O gênero *Condalia* compreende aproximadamente 16 espécies de arbustos distribuídos do Norte ao Sul do continente americano (Johnston, 1962). A espécie *Condalia buxifolia* Reissek é uma planta que pode alcançar 4 m de altura, tendo distribuição na região Sul do Brasil, Uruguai e Argentina (Morel et al., 2002).

Efeito comportamental: sedação leve

As concentrações de 0,5 a 120 µL L⁻¹ de extrato de *C. buxifolia* promoveram somente sedação leve (estagio 1) em 'silver catfish' (*Rhamdia quelen*) de diferentes tamanhos após 30 minutos de exposição (Becker et al., 2013) (Tabela 11).

Efeito fisiológico: sedação leve

Concentração de íons

A sedação com 50 µL L⁻¹ de extrato de *C. buxifolia* reduziu a perda de íons sódio, cloro e potássio no plasma de 'silver catfish' (*R. quelen*) e a taxa de

mortalidade após o transporte por 12 h, em comparação com o tratamento controle (Becker et al., 2013).

4.5.5. Piperaceae

4.5.5.1. Piper divaricatum

O gênero *Piper* compreende aproximadamente 1000 espécies distribuídas nas regiões tropicais da Ásia, África, América Central e do Sul (Jaramillo e Manos, 2001). O metil-eugenol (69,2%) e o eugenol (16,2%) possuem as maiores proporções no óleo essencial de *Piper divaricatum* (Souto et al., 2012).

Efeito comportamental: Anestesia

Vilhena et al., (2019) avaliaram o efeito anestésico de diferentes concentrações de *P. divaricatum* (20, 25, 30, 35, 40 e 45 $\mu\text{L L}^{-1}$) em juvenis de tambaqui (*C. macropomum*). Nesse estudo, os autores observaram uma correlação negativa entre o aumento das concentrações e os tempos de indução anestésica. Contudo, houve fraca correlação entre o aumento dessas concentrações e os tempos de recuperação. Tais autores identificaram que 40 ou 45 $\mu\text{L L}^{-1}$ de *P. divaricatum* promoveram rápida indução e recuperação anestésica em tambaqui (Tabela 11).

Efeito fisiológico

A concentração anestésica de 40 $\mu\text{L L}^{-1}$ de óleo essencial de *P. divaricatum* promoveu acentuada redução da amplitude média e da frequência dos registros eletromiográficos durante indução. Contudo, houve aumento gradual da amplitude dos registros eletromiográficos na recuperação (Vilhena et al., 2019).

Tabela 11. Concentrações, efeito comportamental e fisiológico de óleos herbais de outras famílias.

Herbais	Espécies	Concentrações	Efeito comportamental	Efeito fisiológico	Autor
<i>Condalia buxifolia</i>	<i>Rhamdia quelen</i> Exp1: 1,50 ± 0,02 g 165,7 ± 22,5 g Exp2: 12,01 ± 1,73 g	0,5 a 120 $\mu\text{L L}^{-1}$ 50 $\mu\text{L L}^{-1}$ Transporte por 12h	Sedação leve em 30 min exposição 0,50 a 120 $\mu\text{L L}^{-1}$	Sedação leve 50 $\mu\text{L L}^{-1}$ ↓ fluxo Na^+ , Cl^- , K^+ ; ↓ taxa de mortalidade (~ 35%) vs controle (~60%).	Becker et al., 2013
<i>Cymbopogon nardus</i>	<i>Colossoma macropomum</i> Exp1: 1,53 ± 0,39 g	200 - 1600 $\mu\text{L L}^{-1}$ 600 $\mu\text{L L}^{-1}$ Eletromiografia	Anestesia profunda 600 $\mu\text{L L}^{-1}$ 132 ± 11 s, recuperação 73 ± 15 s.	Anestesia ↓ amplitude de contração muscular e frequência cardíaca na indução vs controle, retorno gradual na recuperação. Sem alteração ECG.	Barbas et al., 2017c
<i>Cymbopogon flexuosus</i>	<i>Oreochromis niloticus</i> 17,45 ± 0,66 g	0, 10, 25, 50, 100, 200, 400, 600 $\mu\text{L L}^{-1}$	Anestesia 600 $\mu\text{L L}^{-1}$ 327,1 s. recuperação 374,8 s.		Limma -Netto et al., 2017
<i>Cymbopogon flexuosus</i>	<i>Piaractus mesopotamicus</i> ♂ x <i>Colossoma macropomum</i> ♀ 17,45 ± 0,66 g	0, 10, 25, 50, 100, 200, 300 $\mu\text{L L}^{-1}$	Anestesia 300 $\mu\text{L L}^{-1}$ 152,12 ± 16,39 s, recuperação 116,25 ± 22,98 s.		Limma-Netto et al., 2016
<i>Cymbopogon flexuosus</i>	<i>Rhamdia quelen</i> 3,95 ± 0,85 g	0, 25, 150, 300 $\mu\text{L L}^{-1}$	Anestesia (estágio 3) 300 $\mu\text{L L}^{-1}$ ~ 200 s, recuperação ~ 450 s.		Dos Santos et al., 2017
<i>Curcuma longa</i>	<i>Colossoma macropomum</i> Exp1: 2,06 ± 0,18 g Exp2: 353,35 ± 22,14 g	200, 300, 500 $\mu\text{L L}^{-1}$ Anestesia 500 $\mu\text{L L}^{-1}$ (5 min exposição) 40,0 $\mu\text{L L}^{-1}$ (6 h exposição)	Anestesia (estágio 3) 500 $\mu\text{L L}^{-1}$ 372,40 ± 35,59 s. Recuperação 319,00 ± 40,55 s.	Anestesia não ↑ cortisol e glicose, ↑ lactato; ↓ TBARS brânquia, fígado e rim, e HL cérebro; ↑ CAT fígado e GR cérebro vs controle. Sedação ↓ cortisol, não ↑ glicose, ↑ lactato; ↓ TBARS cérebro, fígado, brânquia e rim; ↑ SOD e GR cérebro vs controle.	Saccol et al., 2017
<i>Piper divaricatum</i>	<i>Colossoma macropomum</i> Exp1: 3,9 ± 0,3 g Exp2: 5,60 ± 1,80 g	25, 30, 35, 40, 45 $\mu\text{L L}^{-1}$ Anestesia 40 $\mu\text{L L}^{-1}$	Anestesia profunda 40 $\mu\text{L L}^{-1}$ 156 ± 2 s, recuperação 188 ± 2 s.	Anestesia ↓ amplitude de contração muscular na indução (83,7%) vs controle. Retorno gradual na recuperação.	Vilhena et al., 2019

Cont. tabela 11.

<i>Spilanthus acmella</i>	<i>Colossoma macropomum</i> Exp1: 46,6 ± 6,2 g Exp2: 50,5 ± 3,9 g	5, 10, 15, 20, 25 mg L ⁻¹ Anestesia Exposição anestésica 20 mg L⁻¹ (5 min) (0, 2, 24, 48, 72 horas, após manuseio)	Anestesia profunda 20 mg L ⁻¹ 173 ± 40 s. Recuperação 300 ± 64 s.	Anestesia ↑ glicose 0 e 2h, normal em 72h; sem efeito na osmolaridade; ↓ hematócrito e hemoglobina (2 e 48h) vs controle.	Barbas et al., 2016
<i>Spilanthus acmella</i>	<i>Colossoma macropomum</i> Exp1: 3,3 ± 0,5 g Exp2: 8,6 ± 0,6 g	5; 10; 15; 20 e 25 mg L ⁻¹ 1,0 mg L⁻¹ Sedação transporte 2, 6, 10 horas	Anestesia profunda 10 mg L ⁻¹ 182 ± 36 s, recuperação 171 ± 70 s.	Sedação ↓41% TBARS músculo 6h vs controle.	Barbas et al., 2017a
<i>Spilanthus acmella</i>	<i>Colossoma macropomum</i> Exp1: 65,74 ± 15,35 g	2 mg L ⁻¹ transporte 2, 6, 10 horas	Leve sedação	Não afetou hematócrito e hemoglobina vs Nt; sem efeito glicose vs controle; ↓ Na ⁺ vs Nt.	Barbas et al., 2020
<i>Zingiber officinale</i>	<i>Pseudoplatystoma reticulatum</i> 40,0 ± 9,9 g	100, 150, 200 mg L ⁻¹	Anestesia cirúrgica 200 mg L ⁻¹ 647,8 ± 64,8 s. Recuperação 257,33 ± 53,9 s.	Anestesia não ↑ glicose; ↑ hematócrito e ↓ hemoglobina vs controle.	Silva et al., 2020

Nt: não transportado. CAT, catalase. SOD, superóxido dismutase. GR, glutathione redutase. TBARS, substância reativa ao ácido tiobarbitúrico. HL, hidroperóxidos lipídicos. ECG: registros eletrocardiográficos.

5. Conclusões

Anestesia para breve manuseio

A benzocaína e o MS-222 são estruturalmente similares em suas estruturas químicas (Ross e Ross, 2009), e de fato, tais anestésicos promoveram efeitos comportamentais semelhantes quando utilizados em concentrações de 25 a 80 mg L⁻¹. A indução anestésica ocorreu em menos de 3 minutos, com rápida recuperação (em menos de 4 minutos). Por outro lado, esses anestésicos não eliminaram totalmente a responsividade ao manuseio após pesagem e reflexo ao aperto na nadadeira caudal. Com relação ao metomidato, peixes expostos à 2,9 e 6 mg L⁻¹ alcançaram anestesia em menos de 3 minutos, com recuperação, geralmente, obtida em tempos acima de 6 minutos. Em relação a 2-fenoxietanol, as concentrações de 0,25 e 0,60 mL L⁻¹ promoveram rápida indução e recuperação anestésicas com tempos inferiores a 3 minutos. Comparativamente aos anestésicos sintéticos, as concentrações de 20, 50 e 100 mg L⁻¹ de óleo-de-cravo também promoveram indução a anestesia, para breve manuseio, em tempos abaixo de 3 minutos, porém a recuperação anestésica foi um pouco demorada (< 7 minutos) em relação aqueles expostos a anestésicos sintéticos. Decerto, peixes expostos ao óleo-de-cravo podem demonstrar maior tempo de recuperação, provavelmente, por motivo do efeito persistente do eugenol nos tecidos (Priborsky e Velisek, 2015).

Anestesia profunda e sedação

Anestésicos sintéticos promoveram anestesia profunda e estagio 4 de sedação em menos de 3 minutos, em peixes expostos a benzocaína; MS-222; 2-fenoxietanol ou propofol. De maneira geral, o tempo de recuperação e retorno do equilíbrio foram rápidos e não ultrapassaram 5 minutos em peixes expostos a benzocaína ou MS-222; porém, a recuperação anestésica foi acima de 6 minutos em peixes expostos ao 2-fenoxietanol. Similarmente, peixes expostos a 2,5 mg L⁻¹ de propofol demonstraram recuperação em tempos acima de 8 minutos; em alguns

casos, a recuperação pode alcançar 14 e 31 minutos, dependendo do sexo em guppies (*P. reticulata*). Em relação aos anestésicos herbais, nós observamos uma ampla faixa de concentrações utilizadas. Os óleos herbais promoveram rápida indução anestésica; sendo que, tempos de indução inferiores a 3 minutos foram comuns em peixes expostos a concentrações de 40 a 600 $\mu\text{L L}^{-1}$. Com relação aos tempos de recuperação, os óleos essenciais não promoveram excessivo tempo de recuperação em peixes expostos às concentrações de 40 a 600 $\mu\text{L L}^{-1}$. Geralmente, tais tempos de recuperação foram inferiores a 5 minutos, sendo que, em alguns casos abaixo de 7 minutos.

Anestesia cirúrgica

Anestésicos sintéticos promoveram anestesia para procedimentos potencialmente dolorosos em peixes. A benzocaína promoveu rápida indução e recuperação anestésicas. Contudo, peixes expostos ao MS-222, metomidato, 2-fenoxietanol ou propofol não promoveram tempos de indução anestésicas similares aos expostos a benzocaína. Anestésicos herbais promoveram anestesia cirúrgica para procedimentos invasivos na aquicultura. O óleo essencial de manjerição (*O. gratissimum*, 200 $\mu\text{L L}^{-1}$) promoveu indução anestésica em 232 s no bagre sul-americano. Por outro lado, a concentração 200 mg L^{-1} de óleo essencial de gengibre (*Z. officinale*) não promoveu eficiente tempo de indução a anestesia cirúrgica no bagre sul-americano.

Efeitos fisiológicos da exposição a concentrações anestésicas e sedativas

Cortisol

A Benzocaína ou o MS-222 não minimizaram o aumento de cortisol após sedação (estágio 4). Além disso, a liberação de cortisol não foi minimizada quando peixes foram expostos ao 2-fenoxietanol ou propofol. Diferentemente, concentrações baixas de metomidato (1,5 mg L^{-1} e 8 ppm) bloquearam a liberação de cortisol após exposição a estressores na aquicultura (redução do volume de

água, confinamento, baixo O₂ e etc.). Por outro lado, óleos herbais demonstraram efeito benéfico e minimizaram a liberação de cortisol após manuseio em peixes expostos a concentrações anestésicas de *L. alba*; *M. sylvatica*, *A. triphylla* e *C. longa*.

Glicose

As concentrações de benzocaína (100 ppm, 60 e 120 mg L⁻¹) não promoveram aumento de glicose após exposição. Diferentemente, o MS-222; metomidato; 2-Fenoxietanol ou Propofol não causaram significantes alterações nos níveis glicêmicos após exposição. As concentrações anestésicas de *O. gratissimum*, *L. Alba*, *Z. officinale* ou *C. longa* também não promoveram aumento de glicose em peixes.

Lactato

As concentrações baixas de metomidato não causaram aumento dos níveis de lactado, após exposição a estressores comuns na aquicultura. Diferentemente, a concentração anestésica de propofol reduz o lactato após exposição. Por outro lado, concentrações de 150 mg L⁻¹ de benzocaína e MS-222 não evitaram o aumento lactato após sedação ao estágio 4. Distintivamente ao propofol e metomidato, óleos herbais promoveram metabolismo anaeróbico em peixes após exposição. Especificamente, *M. sylvatica* e *L. alba* promoveram aumento dos níveis de lactado no plasma. Além disso, maiores concentrações de *Aloysia triphylla*, *C. longa* e *N. Megapotamica* também não evitaram o aumento de lactato

Hematologia

Anestésicos sintéticos causaram alterações hematológicas em peixes, após sedação (estágio 4) com benzocaína ou MS-222; e após anestesia com propofol. Um anestésico deve ter como propriedade não causar efeitos carcinogênicos (Ross e Ross, 2009). Nesse sentido, anestésicos sintéticos tais como, propofol e MS-222

não demonstraram efeitos genotóxicos nos eritrócitos de tilápia-do-Nilo após exposição anestésica para breve manuseio. Em relação aos efeitos fisiológicos de óleos herbais, o óleo essencial de manjerição (*O. gratissimum*) não teve efeito nos valores de hematócrito e hemoglobina de bagre sul-americano após anestesia cirúrgica. No entanto, uma concentração anestésica de jambú reduziu hematócrito e hemoglobina em tambaqui.

Concentração íons e osmolaridade

A sedação (estágio 4) com benzocaína reduziu a osmolaridade no plasma de 'hybrid striped bass' após exposição. Diferentemente, o MS-222, propofol ou metomidato não promoveram alterações osmorregulatórias após exposição. A concentração anestésica de *N. megapota mica* também não causaram alterações relevantes nos valores de íons plasmáticos de 'fat snook' (*C. parallelus*) após exposição. Além disso, o extrato de jambú também não promoveu alterações osmorregulatórias em juvenis de tambaqui.

Eletromiografia

Os óleos essenciais promoveram acentuada perda de tônus muscular durante anestesia de peixes. A concentração anestésica de 600 $\mu\text{L L}^{-1}$ de óleo essencial de *C. nardus* promoveu significativa redução da amplitude dos registros eletromiográficos durante indução, mas com aumento gradual da amplitude dos registros na recuperação de tambaqui. O óleo essencial de *P. divaricatum* também promoveu acentuada redução da amplitude dos registros eletromiográficos durante indução anestésica com 40 $\mu\text{L L}^{-1}$, porém o retorno do relaxamento muscular foi gradual na recuperação. Portanto, tais evidências demonstram que concentrações anestésicas desses óleos causam relaxamento muscular.

Transporte

Cortisol

O transporte é um procedimento que promove alterações imediatas e possivelmente persistentes na composição bioquímica sanguínea de peixes expostos a esse manejo (Berka, 1986). Decerto, as concentrações de anestésicos sintéticos minimizaram o efeito estressor do transporte. A benzocaína ou o MS-222 aliviaram o aumento de cortisol no plasma após o transporte simulado. Os óleos essenciais demonstraram tal efeito, pois, aliviaram a resposta primária ao estresse após o transporte com óleo-de-cravo ou *A. triphylla*. De fato, óleos herbais não promovem aumento dos níveis de cortisol em peixes, especificamente, as concentrações baixas de *L. alba*; *M. sylvatica* ou *C. longa*.

Glicose

A glicose aumenta em peixes, geralmente, em função da resposta a um estímulo estressor; tais como despesca, pesagem e transporte (Wendelaar Bonga, 1997). Nesse sentido, anestésicos sintéticos promoveram hiperglicemia após o transporte com benzocaína, metomidato ou MS-222. Por outro lado, encontramos que diferentes tipos de óleos essenciais não causam aumento de glicose, por exemplo, o extrato das flores de jambú, o óleo essencial de *O. basilicum* e de *N. grandiflora*.

Lactato

Uma substância anestésica pode promover redução da taxa ventilatória e possivelmente causar hipóxia, por consequência de prolongada exposição (Ross e Ross, 2009), tal situação pode causar o uso anaerobicamente da glicose para o fornecimento de anergia sob situação de estresse (Ribeiro et al., 2019). No entanto, o MS-222 não promoveu aumento de lactato após o transporte simulado. Nesse

contexto, os óleos essenciais também não promoveram uso anaeróbio de glicose após o transporte, especificamente, *Aloysia triphylla* e *O. basilicum*.

Hematologia

O MS-222 pode promover alterações nos parâmetros bioquímicos no plasma e nos índices hematológicos de peixes (Priborsky e Velisek, 2018). De fato, MS-222 aumentou hematócrito e hemoglobina após o transporte de tambaqui (*C. macropomum*). Em relação aos óleos essenciais, as baixas concentrações não promoveram significantes alterações hematológicas (hematócrito e hemoglobina) durante o transporte com jambú (*S. acmella*), manjerição (*O. basilicum*) ou ‘canela-amarela’ (*N. grandiflora*).

Concentração de íons e osmolaridade

O MS-222 não evitou alterações osmorregulatórias durante o transporte de peixes por 6 ou 10 h. Diferentemente a esse anestésico, os óleos essenciais não causaram perda de íons após o transporte por 4 - 36 h, com óleo essencial de cidreira (*L. alba*); lemon verbena (*A. triphylla*); ‘canela-amarela’ (*N. grandiflora*); ‘tea tree’ (*M. alternifolia*) ou óleo-de-cravo.

Parâmetros antioxidantes

Os óleos herbais promovem efeito anestésico para diferentes tipos de manejo em peixes, por exemplo, pesagem e transporte. Por isso, tem sido verificado suas possíveis propriedades antioxidantes durante curtos ou longos tempos de exposição. Decerto, os óleos essenciais promoveram melhora na condição antioxidante após o transporte de peixes, particularmente, a concentração de 1,0 mg L⁻¹ de extrato de flores de jambú; o óleo essencial de ‘canela-amarela’ (30 µL L⁻¹) ou de cidreira (*L. alba*) (20 µL L⁻¹). Além de jambú, cidreira e canela-amarela, outras espécies herbais também promoveram melhora na resposta ao

estresse oxidativo, por exemplo, 'tea tree' (*M. alternifolia*); cúrcuma (*C. longa*) ou 'murtinha' (*M. sylvatica*).

Os anestésicos sintéticos foram utilizados para anestésiar peixes para diferentes finalidades na aquicultura, tais como procedimentos de pesagem; medição; punção com agulha para amostra de sangue; biopsia de ovário e transporte. Nós observamos que, anestésicos sintéticos foram, frequentemente, usados para indução a anestesia profunda e cirúrgica. Os anestésicos sintéticos promoveram rápida indução e recuperação anestésicas, mas de maneira geral, não minimizaram a resposta ao estresse em peixes, em alguns casos, ele próprio pode ser um estressor.

Tais substâncias não possuem registro no Ministério da agricultura e pecuária - MAPA para utilização como anestésicos para peixes e camarões no Brasil. Nos Estados Unidos, o MS-222 é permitido para uso em peixes destinados ao consumo humano e animal, sendo necessário 21 dias de carência após seu uso. Esse anestésico é vendido com o nome de 'syncaïne' em frascos de 10 g e valor de 73,00 \$ cada. O metomidato é comercializado com o nome de Aquacalm, sendo recomendado apenas para uso em peixes ornamentais. Além desses aspectos, os anestésicos sintéticos possuem difícil disponibilidade e com preços mais elevados quando comparado com óleos herbais. Contudo, nós recomendamos que estudos sejam realizados com concentrações baixas de benzocaína, MS-222 e 2-fenoxietanol, e se tais concentrações promovem eficientes tempos de anestesia profunda ou cirúrgica sem causar resposta ao estresse em peixes de água doce e salgada. Esses estudos podem focar em peixes nativos do Brasil de ambientes marinhos e dulcícola, pois a maioria dos estudos encontrados nesta revisão foram com espécies de clima frio.

Por outro lado, os óleos herbais promoveram sedação para o transporte com concentrações baixas, comparativamente às concentrações utilizadas com os anestésicos sintéticos. De fato, óleos essenciais mostraram ter efeito positivo durante o transporte de peixes, pois promoveram efeito calmante e minimizaram as consequências estressantes desse tipo de manejo. Em vários casos, os óleos essenciais foram eficientes em promover anestesia profunda para procedimentos que necessitem de algum nível de analgesia. Outra vantagem dos óleos essenciais,

é a sua disponibilidade e preços mais baratos comparativamente aos sintéticos. O óleo essencial de cravo, melaleuca e menta são comercializados em frascos de 10 mL, com preços de variando de 38 a 52 reais.

Com isso, consideramos que, os óleos essenciais são potenciais substitutos aos anestésicos sintéticos para realização de procedimentos rotineiros na aquicultura. Porém, assim como anestésicos sintéticos, ainda não há óleos essenciais registrados no MAPA para anestesia ou sedação de peixes. Nós recomendamos que, novos estudos sejam realizados com concentrações maiores de óleos herbais, verificando se, ocorre analgesia para procedimentos invasivos e seus efeitos na fisiologia de peixes. Tais estudos, podem abordar a avaliação dos estágios de anestesia com exames eletromiográficos, cardiográficos e eletroencefalogramas; bem como os efeitos dessas concentrações nos parâmetros hematológicos, estresse oxidativo, genotoxicidade e histologia de importantes órgãos.

Por fim, esperamos que essa sistematização dos efeitos comportamentais e fisiológicos de anestésicos sintéticos e herbais possa contribuir para o meio acadêmico e aquícola. Tais informações, da utilização desses anestésicos podem ser utilizadas para escolha de uma substância para uma determinada finalidade; levando em consideração facilidade de aquisição, preço, legislação, efeitos indesejáveis e/ou prejudiciais no comportamento e fisiologia.

Referências

- AĆIMOVIĆ, M. *et al.* *Nepeta cataria*—cultivation, chemical composition and biological activity. **Journal of Agronomy, Technology and Engineering Management (JATEM)**, v.4, n. 4, p. 620-634, 2021. URL: <http://fiver.ifvcns.rs/handle/123456789/2344>
- ADEL, M. *et al.* Anesthetic efficacy of clove oil, propofol, 2-phenoxyethanol, and ketamine hydrochloride on Persian Sturgeon, *Acipenser persicus*, juveniles. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.47, n. 6, p. 812-819, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/jwas.12286>
- ALMEIDA, A. P. G. *et al.* Essential oils and eugenol as anesthetics for *serrasalmus rhombeu*. v.44, n. 1, 2018. DOI: <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2018.195>

- ALMEIDA, A. P. G. *et al.* Stress-reducing and anesthetic effects of the essential oils of *Aloysia triphylla* and *Lippia alba* on *Serrasalmus eigenmanni* (Characiformes: Serrasalminidae). **Neotropical Ichthyology**, v.17, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20190021>
- ARGYROPOULOU, C. *et al.* Chemical composition of the essential oil from leaves of *Lippia citriodora* HBK (Verbenaceae) at two developmental stages. **Biochemical Systematics and Ecology**, v.35, n. 12, p. 831-837, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bse.2007.07.001>
- AYDIN, B; BARBAS, L. A. L. Sedative and anesthetic properties of essential oils and their active compounds in fish: A review. **Aquaculture**, v. 520, p. 734999, 2020.
- BAITELLO, J.B. *Nectandra Rol.* ex Rottb. p.167 In: WANDERLEY, M. D. G. L. *et al.* Flora fanerogâmica do estado de São Paulo Online. **Instituto de Botânica, São Paulo**. 441p. 2003.
- BALDISSEROTTO, B. *et al.* Anesthesia of tambaqui *Colossoma macropomum* (Characiformes: Serrasalminidae) with the essential oils of *Aniba rosaeodora* and *Aniba parviflora* and their major compound, linalool. **Neotropical Ichthyology**, v.16, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20170128>
- BARATA, M. *et al.* Efficiency of 2-phenoxyethanol and clove oil for reducing handling stress in reared meagre, *Argyrosomus regius* (Pisces: Sciaenidae). **Journal of the World Aquaculture Society**, v.47, n. 1, p. 82-92, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/jwas.12245>
- BARBAS, L. A. L. *et al.* Anaesthesia and transport of juvenile tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) with tricaine methane-sulphonate: Implications on secondary and oxidative stress responses. **Journal of Applied Ichthyology**, v.33, n. 4, p. 720-730, 2017b. DOI: <https://doi.org/10.1111/jai.13382>
- BARBAS, L. A. L. *et al.* Essential oil of citronella modulates electrophysiological responses in tambaqui *Colossoma macropomum*: a new anaesthetic for use in fish. **Aquaculture**, v.479, p. 60-68, 2017c. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.05.027>
- BARBAS, L. A. L. *et al.* Jambu, *Spilanthes acmella* as a novel anaesthetic for juvenile tambaqui, *Colossoma macropomum*: secondary stress responses during recovery. **Aquaculture**, v.456, p. 70-75, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.01.026>
- BARBAS, L. A. L. *et al.* Properties of two plant extractives as anaesthetics and antioxidants for juvenile tambaqui *Colossoma macropomum*. **Aquaculture**, v.469, p. 79-87, 2017a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.12.012>
- BARBAS, L. A. L. *et al.* Stress relieving potential of two plant-based sedatives in the transport of juvenile tambaqui *Colossoma macropomum*. **Aquaculture**, v.520, p. 734681, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734681>

BARBOSA, L. C. A.; FILOMENO, C. A.; TEIXEIRA, R. R. Chemical variability and biological activities of *Eucalyptus spp.* essential oils. **Molecules**, v.21, n. 12, p. 1671, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules21121671>

BARRETO, R. E. *et al.* MS222 does not induce primary DNA damage in fish. **Aquaculture International**, v.15, p. 163-168, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10499-007-9073-6>

BECKER, A. G. *et al.* Can the essential oil of *Aloysia triphylla* have anesthetic effect and improve the physiological parameters of the carnivorous freshwater catfish *Lophosilurus alexandri* after transport? **Aquaculture**, v.481, p. 184-190, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.09.007>

BECKER, A. G. *et al.* Efficacy of eugenol and the methanolic extract of *Condalia buxifolia* during the transport of the silver catfish *Rhamdia quelen*. **Neotropical Ichthyology**, v.11, p. 675-681, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1679-62252013000300021>

BECKER, A. G. *et al.* Transportation of silver catfish, *Rhamdia quelen*, in water with eugenol and the essential oil of *Lippia alba*. **Fish Physiology and Biochemistry**, v.38, p. 789-796, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10695-011-9562-4>

BECKER, A. J. *et al.* Ventilatory frequency and anesthetic efficacy in silver catfish, *Rhamdia quelen*: a comparative approach between different essential oils. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.47, p. e20170185, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/rbz4720170185>

BERKA, R. The transport of live fish: a review. Rome, Italy: **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, v. 48, p. 1-52, 1986.

BOLASINA, S. N.; DE AZEVEDO, A.; PETRY, A. C. Comparative efficacy of benzocaine, tricaine methanesulfonate and eugenol as anesthetic agents in the guppy *Poecilia vivipara*. **Aquaculture Reports**, v.6, p. 56-60, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2017.04.002>

BOSWORTH, B. G. *et al.* Effects of rested-harvest using the anesthetic AQUI-S™ on channel catfish, *Ictalurus punctatus*, physiology and fillet quality. **Aquaculture**, v.262, n. 2-4, p. 302-318, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.10.035>

BRAZ, R. S. *et al.* Benzocaína, MS-222, eugenol e mentol como anestésicos para juvenis de tainha *Mugil liza*. **Boletim do Instituto de Pesca**, v.43, n. 4, p. 605-613, 2017. DOI: <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n4p605>

CARSON, C. F.; HAMMER, K. A.; RILEY, T. V. *Melaleuca alternifolia* (tea tree) oil: a review of antimicrobial and other medicinal properties. **Clinical microbiology reviews**, v.19, n. 1, p. 50-62, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1128/cmr.19.1.50-62.2006>

CARVALHO, P. E. R. Canela-imbuia: *Nectandra megapotamica*. In: CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília, DF: Embrapa Informação

Tecnológica; **Colombo: Embrapa Florestas**, v. 2, p. 149-156, 2006. URL: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/232358/1/Especies-Arboreas-Brasileiras-vol-2-Canela-Imbuia.pdf>

COLLYMORE, C. *et al.* Efficacy and safety of 5 anesthetics in adult zebrafish (*Danio rerio*). **Journal of the American Association for Laboratory Animal Science**, v.53, n. 2, p. 198-203, 2014. URL: <https://www.ingentaconnect.com/content/aalas/jaalas/2014/00000053/00000002/art00012#>

COSTA, J. S. D. *et al.* Essentials oils from Brazilian *Eugenia* and *Syzygium* species and their biological activities. **Biomolecules**, v.10, n. 8, p. 1155, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom10081155>

COYLE, S. D. *et al.* **Anesthetics in aquaculture**. Texas: Southern Regional Aquaculture Center, 2004.

CROSBY, T. C. *et al.* Effects of metomidate hydrochloride sedation on blood glucose and marketability of transported threespot gourami *Trichogaster trichopterus*. **Journal of aquatic animal health**, v.24, n. 2, p. 73-80, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1080/08997659.2012.675923>

CUNHA, J. A. da *et al.* Essential oils of *Cunila galioides* and *Origanum majorana* as anesthetics for *Rhamdia quelen*: efficacy and effects on ventilation and ionoregulation. *Neotropical Ichthyology*, v.15, p. e160076, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20160076>

CUNHA, M. A. *et al.* Anesthetic induction and recovery of *Hippocampus reidi* exposed to the essential oil of *Lippia alba*. **Neotropical Ichthyology**, v.9, p. 683-688, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1679-62252011000300022>

Da SILVA, D. R. D. *et al.* Effects of clove oil on behavioral reactivity and motivation in Nile tilapia. **Aquaculture**, v.532, p. 736045, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736045>

DAVIS, K. B.; GRIFFIN, B. R. Physiological responses of hybrid striped bass under sedation by several anesthetics. **Aquaculture**, v.233, n. 1-4, p. 531-548, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.09.018>

DIAS, A. M. A. *et al.* Spilanthol from *Spilanthes acmella* flowers, leaves and stems obtained by selective supercritical carbon dioxide extraction. **The Journal of Supercritical Fluids**, v.61, p. 62-70, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2011.09.020>

Dos SANTOS, A. C. *et al.* Anesthesia and anesthetic action mechanism of essential oils of *Aloysia triphylla* and *Cymbopogon flexuosus* in silver catfish (*Rhamdia quelen*). **Veterinary anaesthesia and analgesia**, v.44, n. 1, p. 106-113, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/vaa.12386>

ECHEVERRIGARAY, S. *et al.* Essential oil composition of south Brazilian populations of *Cunila galioides* and its relation with the geographic

distribution. **Biochemical systematics and ecology**, v.31, n. 5, p. 467-475, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0305-1978\(02\)00175-8](https://doi.org/10.1016/S0305-1978(02)00175-8)

FRACARO, F.; ECHEVERRIGARAY, S. Micropropagation of *Cunila galioides*, a popular medicinal plant of south Brazil. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v.64, p. 1-4, 2001. URL: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1010626200045>

FRAZIER, D. T.; NARAHASHI, T. Tricaine (MS-222): effects on ionic conductances of squid axon membranes. **European journal of pharmacology**, v.33, n. 2, p. 313-317, 1975. DOI: [https://doi.org/10.1016/0014-2999\(75\)90175-2](https://doi.org/10.1016/0014-2999(75)90175-2)

GANJEWALA, D.; GUPTA, A. K. Lemongrass (*Cymbopogon flexuosus* Steud.) Wats essential oil: overview and biological activities. **Recent Progress in Medicinal Plants**, v.37, p. 235-271, 2013. URL: <https://www.researchgate.net/publication/308293166>

GAUSE, B. R. *et al.* Efficacy and physiological responses of grass carp to different sedation techniques: I. Effects of various chemicals on sedation and blood chemistry. **North American Journal of Aquaculture**, v.74, n. 4, p. 560-566, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1080/15222055.2012.690830>

GLEN, J. B. Animal studies of the anaesthetic activity of ICI 35 868. **British Journal of Anaesthesia**, v.52, n. 8, p. 731-742, 1980. DOI: <https://doi.org/10.1093/bja/52.8.731>

GONCALVES, B.; GIAQUINTO, P. C. Propofol and benzocaine anesthetics responses profiles in Nile tilapia. **International Aquatic Research**, v.12, n. 3, 2020. DOI: <https://doi.org/10.22034/IAR.2020.1895923.1026>

GONTIJO, A. M. M. C. *et al.* Anesthesia of fish with benzocaine does not interfere with comet assay results. **Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v.534, n. 1-2, p. 165-172, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1383-5718\(02\)00276-0](https://doi.org/10.1016/S1383-5718(02)00276-0)

GRESSLER, L. T. *et al.* Hematological, morphological, biochemical and hydromineral responses in *Rhamdia quelen* sedated with propofol. **Fish Physiology and Biochemistry**, v.41, p. 463-472, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10695-014-9997-5>

GRESSLER, L. T. *et al.* Histological and antioxidant responses in *Rhamdia quelen* sedated with propofol. **Aquaculture research**, v.47, n. 7, p. 2297-2306, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/are.12682>

GULLUCE, M. *et al.* Antimicrobial and antioxidant properties of the essential oils and methanol extract from *Mentha longifolia* L. ssp. *longifolia*. **Food chemistry**, v.103, n. 4, p. 1449-1456, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.061>

HAJEK, G. J. The anaesthetic-like effect of tea tree oil in common carp *Cyprinus carpio* L. **Aquaculture Research**, v.42, n. 2, p. 296-300, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02625.x>

- HENNEBELLE, T. *et al.* Ethnopharmacology of *Lippia alba*. **Journal of ethnopharmacology**, v.116, n. 2, p. 211-222, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2007.11.044>
- HEO, G. J.; SHIN, G. Efficacy of benzocaine as an anaesthetic for Crucian carp (*Carassius carassius*). **Veterinary Anaesthesia and Analgesia**, v.37, n. 2, p. 132-135, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-2995.2009.00510.x>
- HUANG, W.C. *et al.* Combined use of MS-222 (tricaine) and isoflurane extends anesthesia time and minimizes cardiac rhythm side effects in adult zebrafish. **Zebrafish**, v.7, n. 3, p. 297-304, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1089/zeb.2010.0653>
- IVERSEN, M. H. *et al.* The efficacy of A qui-S vet (iso-eugenol) and metomidate as anaesthetics in European eel (*Anguilla anguilla* L.), and their effects on animal welfare and primary and secondary stress responses. **Aquaculture Research**, v.44, n. 8, p. 1307-1316, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2012.03140.x>
- IVERSEN, M.; ELIASSEN, R. A.; FINSTAD, B. Potential benefit of clove oil sedation on animal welfare during salmon smolt, *Salmo salar* L. transport and transfer to sea. **Aquaculture Research**, v.40, n. 2, p. 233-241, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02091.x>
- JACOBSEN, J. V.; STEEN, K.; NILSEN, K. J. Anaesthetic efficacy of Aqui-S, Benzoak, and MS-222 on lumpfish (*Cyclopterus lumpus*) fries. Impact from temperature, salinity, and fasting. **Plos one**, v.14, n. 1, p. e0211080, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211080>
- JARAMILLO, M. A.; MANOS, P. S. Phylogeny and patterns of floral diversity in the genus *Piper* (Piperaceae). **American journal of botany**, v.88, n. 4, p. 706-716, 2001. DOI: <https://doi.org/10.2307/2657072>
- JAVAHERY, S.; NEKOUBIN, H.; MORADLU, A. H. Effect of anaesthesia with clove oil in fish. **Fish physiology and biochemistry**, v.38, p. 1545-1552, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10695-012-9682-5>
- JEREZ-CEPA, I. *et al.* Transport and recovery of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) sedated with clove oil and MS-222: Effects on stress axis regulation and intermediary metabolism. **Frontiers in Physiology**, v. 10, p. 612, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00612>
- JOHNSTON, M. C. Revision of *Condalia* including *Microrhamnus* (Rhamnaceae). **Brittonia**, v.14, n. 4, p. 332-368, 1962. URL: <https://link.springer.com/article/10.2307/2805251>
- KING, W. *et al.* The use of clove oil, metomidate, tricaine methanesulphonate and 2-phenoxyethanol for inducing anaesthesia and their effect on the cortisol stress response in black sea bass (*Centropristis striata* L.). **Aquaculture Research**, v.36, n. 14, p. 1442-1449, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01365.x>

KOSTERMANS, A. J. G. H. Revision of the Lauraceae V.A monograph of the genera: *Anaueria*, *Beilschmiedia* (American species) and *Aniba*. **Recueil des travaux botaniques néerlandais**, v.35, n. 2, p. 834-931, 1938. URL: <https://natuurtijdschriften.nl/pub/552263/RTBN1938035002001.pdf>

KRUP, V.; PRAKASH, L. H.; HARINI, A. Pharmacological activities of turmeric (*Curcuma longa* Linn): a review. **J Homeop Ayurv Med**, v.2, n. 133, p. 2167-1206, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4172/2167-1206.1000133>

LANGLEY, M. S.; HEEL, R. C. Propofol: a review of its pharmacodynamic and pharmacokinetic properties and use as an intravenous anaesthetic. **Drugs**, v. 35, p. 334-372, 1988. <https://doi.org/10.2165/00003495-198835040-00002>

LIMMA-NETTO, J. D.; OLIVEIRA, R. S. M; COPATTI, C. E. Efficiency of essential oils of *Ocimum basilicum* and *Cymbopogon flexuosus* in the sedation and anaesthesia of Nile tilapia juveniles. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v.89, p. 2971-2974, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170001>

LIMMA-NETTO, J. D.; SENA, A. C.; COPATTI, C. E. Essential oils of *Ocimum basilicum* and *Cymbopogon flexuosus* in the sedation, anesthesia and recovery of tambacu (male *Piaractus mesopotamicus* x female *Colossoma macropomum*). **Bulletin of the Fisheries Institute**, v.42, no. 3, p. 727-733, 2016.

LUCAS, E. J. *et al.* Phylogenetics, morphology, and evolution of the large genus *Myrcia* s.l (Myrtaceae). **International Journal of Plant Sciences**, v.172, n. 7, p. 915-934, 2011. URL: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/pdf/10.1086/660913>

MEDEIROS JUNIOR, E. F. *et al.* Effectiveness of benzocaine as anesthetic at different water temperatures for early juvenile curimba (*Prochilodus lineatus* Valenciennes, 1836), a neotropical fish species. **Boletim do Instituto de Pesca**, v.45, n. 3, 2019. DOI: <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2019.45.3.474>

MIMICA-DUKIC, N.; BOZIN, B. *Mentha* L. species (Lamiaceae) as promising sources of bioactive secondary metabolites. **Current Pharmaceutical Design**, v.14, n. 29, p. 3141-3150, 2008. DOI: <https://doi.org/10.2174/138161208786404245>

MITJANA, O. *et al.* Simultaneous effect of sex and dose on efficacy of clove oil, tricaine methanesulfonate, 2-phenoxyethanol and propofol as anaesthetics in guppies, *Poecilia reticulata* (Peters). **Aquaculture Research**, v.49, n. 6, p. 2140-2146, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/are.13668>

MOREL, A. F. *et al.* Antibacterial cyclopeptide alkaloids from the bark of *Condalia buxifolia*. **Phytochemistry**, v.61, n. 5, p. 561-566, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(02\)00287-X](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(02)00287-X)

MUßHOFF, U. *et al.* Effects of 2-phenoxyethanol on N-methyl-D-aspartate (NMDA) receptor-mediated ion currents. **Archives of toxicology**, v.73, p. 55-59, 1999. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s002040050586>

NAKATANI, N.; NAGASHIMA, M. Pungent alkalamides from *Spilanthes acmella* L. var. *oleracea* Clarke. **Bioscience, biotechnology, and biochemistry**, v.56, n. 5, p. 759-762, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1271/bbb.56.759>

OKAMURA, D. *et al.* Influência da concentração de benzocaína e do comprimento dos peixes na anestesia e na recuperação de tilápias-do-Nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p. 971-976, 2010. URL: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/57813>

OLIVEIRA, D. R., *et al.* "Ethnopharmacological studies of *Lippia organoides*." **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v.24, p. 206-214, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjp.2014.03.001>

OSTRENSKY, A.; PEDRAZZANI, A. S.; VICENTE, A. L. Use of MS-222 (tricaine methanesulfonate) and propofol (2, 6-diisopropylphenol) as anaesthetics for the tetra *Astyanax altiparanae* (Teleostei, Characidae). **Aquaculture Research**, v.47, n. 11, p. 3477-3488, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/are.12797>

PARODI, T. V. *et al.* Anesthetic activity of the essential oil of *Aloysia triphylla* and effectiveness in reducing stress during transport of albino and gray strains of silver catfish, *Rhamdia quelen*. **Fish Physiology and Biochemistry**, v.40, p. 323-334, 2014. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10695-013-9845-z>

PARODI, T. V. *et al.* Anesthetic induction and recovery time of *Centropomus parallelus* exposed to the essential oil of *Aloysia triphylla*. **Ciência Rural**, v.46, p. 2142-2147, 2016. URL: <https://www.redalyc.org/pdf/331/33147755011.pdf>

PEDRON, J. S. *et al.* Stress response in transport of juvenile cobia *Rachycentron canadum* using the anesthetic benzocaine. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v.44, n. 3, p. 638-642, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3856/vol44-issue3-fulltext-22>

PEDROSO, L. Silvicultura do pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Duckei). **Simpósio do Trópico Úmido**, v.1, p. 313-324, 1984.

TOPIC POPOVIC, N. *et al.* Tricaine methane-sulfonate (MS-222) application in fish anaesthesia. **Journal of Applied Ichthyology**, v. 28, n. 4, p. 553-564, 2012. DOI: [10.1111/j.1439-0426.2012.01950.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2012.01950.x)

PRABHU, K. S. *et al.* *Ocimum gratissimum*: A review of its chemical, pharmacological and ethnomedicinal properties. **The open Complementary medicine journal**, v. 1, n. 1, 2009.

PRAMOD, P. K. *et al.* Comparative efficacy of MS-222 and benzocaine as anaesthetics under simulated transport conditions of a tropical ornamental fish *Puntius filamentosus* (Valenciennes). **Aquaculture Research**, v.41, n. 2, p. 309-314, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02333.x>

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. DOI: <https://doi.org/10.1080/23308249.2018.1442812>

PRYSTAY, T. S. *et al.* Comparison of the behavioral consequences and recovery patterns of Largemouth Bass exposed to MS-222 or electrosedation. **Transactions of the American Fisheries Society**, v.146, n. 3, p. 556-566, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/00028487.2017.1285354>

PURUSHOTHAMAN, B. *et al.* A comprehensive review on *Ocimum basilicum*. **Journal of Natural Remedies**, p. 71-85, 2018. DOI: <https://doi.org/10.18311/jnr/2018/21324>

REINER, G. N. *et al.* GABAergic pharmacological activity of propofol related compounds as possible enhancers of general anesthetics and interaction with membranes. **Cell biochemistry and biophysics**, v.67, p. 515-525, 2013. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12013-013-9537-4>

REZENDE, F. P. *et al.* Sedation of Nile tilapia with essential oils: tea tree, clove, eucalyptus, and mint oils. **Revista Caatinga**, v.30, p. 479-486, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n223rc>

RIBEIRO, P. A. P. *et al.* Eugenol and benzocaine as anesthetics for *Lophiosilurus alexandri* juvenile, a freshwater carnivorous catfish. **Aquaculture International**, v.27, p. 313-321, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10499-018-0326-3>

ROSS, L. G. *et al.* Anaesthesia, sedation and transportation of juvenile *Menidia estor* (Jordan) using benzocaine and hypothermia. **Aquaculture Research**, v.38, n. 9, p. 909-917, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2006.01642.x>

ROSS, L. G.; ROSS, B. Anaesthetic and sedative techniques for aquatic animals. **John Wiley & Sons**, 2009.

SACCOL, E. M. *et al.* Anaesthetic and antioxidant effects of *Myrcia sylvatica* (G. Mey.) DC. and *Curcuma longa* L. essential oils on tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Aquaculture Research**, v.48, n. 5, p. 2012-2031, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/are.13034>

SACCOL, E. M. *et al.* *Myrcia sylvatica* essential oil mitigates molecular, biochemical and physiological alterations in *Rhamdia quelen* under different stress events associated to transport. **Research in veterinary science**, v.117, p. 150-160, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.12.009>

SALBEGO, J. *et al.* Biochemical parameters of silver catfish (*Rhamdia quelen*) after transport with eugenol or essential oil of *Lippia alba* added to the water. **Brazilian Journal of Biology**, v.77, p. 696-702, 2017. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28492807/>

SANDRI, I. G. *et al.* Antimicrobial activity of the essential oils of Brazilian species of the genus *Cunila* against foodborne pathogens and spoiling bacteria. **Food**

chemistry, v.103, n. 3, p. 823-828, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.032>

SANTOS, C.B. *et al.* Welfare in Nile Tilapia Production: Dorsal Fin Erection as a Visual Indicator for Insensibility. **Animals**, v.11, n. 10, p. 3007, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11103007>

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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735164>

SENA, A. C. *et al.* Essential oil from *Lippia alba* has anaesthetic activity and is effective in reducing handling and transport stress in tambacu (*Piaractus mesopotamicus* × *Colossoma macropomum*). **Aquaculture**, v.465, p. 374-379, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.09.033>

SHUKLA, Y.; SINGH, M. Cancer preventive properties of ginger: a brief review. **Food and chemical toxicology**, v.45, n. 5, p. 683-690, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2006.11.002>

SILVA, F. K. S. *et al.* Levantamento das espécies conhecidas como pedra-ume-caá (Myrtaceae), com ênfase nas comercializadas na cidade de Belém, Pará, Brasil. **Biota Amazônia (Biote Amazonie, Biota Amazonia, Amazonian Biota)**, v.5, n. 1, p. 7-15, 2015. DOI: <https://doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v5n1p7-15>

SILVA, L. A. D. *et al.* Essential oils of *Ocimum gratissimum* and *Zingiber officinale* as anesthetics for the South American catfish *Pseudoplatystoma reticulatum*. **Aquaculture**, v.528, p. 735595, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735595>

SILVA, L. L. *et al.* Essential oil of *Ocimum gratissimum* L.: Anesthetic effects, mechanism of action and tolerance in silver catfish, *Rhamdia quelen*. **Aquaculture**, v.350, p. 91-97, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.012>

SILVA, L. L. *et al.* Sedative and anesthetic activities of the essential oils of *Hyptis mutabilis* (Rich.) Briq. and their isolated components in silver catfish (*Rhamdia quelen*). **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v.46, p. 771-779, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/1414-431X20133013>

SILVA-LUZ, C. L. D. *et al.* Flora da Serra do Cipó, Minas Gerais: Lamiaceae. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo**, p. 109-155, 2012. URL: <https://www.jstor.org/stable/42871753>

SINK, T. D.; NEAL, J. W. Stress response and posttransport survival of hybrid striped bass transported with or without clove oil. **North American Journal of Aquaculture**, v.71, n. 3, p. 267-275, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1577/A08-040.1>

SMALL, B. C. Effect of isoeugenol sedation on plasma cortisol, glucose, and lactate dynamics in channel catfish *Ictalurus punctatus* exposed to three

stressors. **Aquaculture**, v.238, n. 1-4, p. 469-481, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.05.021>

SOUTO, R. N. P. *et al.* Insecticidal activity of *Piper* essential oils from the Amazon against the fire ant *Solenopsis saevissima* (Smith) (Hymenoptera: Formicidae). **Neotropical Entomology**, v.41, p. 510-517, 2012. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13744-012-0080-6>

SOUZA, A. da S. L. D. *et al.* Propofol and essential oil of *Nepeta cataria* induce anaesthesia and marked myorelaxation in tambaqui *Colossoma macropomum*: implications on cardiorespiratory responses. **Aquaculture**, v.500, p. 160-169, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.017>

SOUZA, C. F. *et al.* Is monoterpene terpinen-4-ol the compound responsible for the anesthetic and antioxidant activity of *Melaleuca alternifolia* essential oil (tea tree oil) in silver catfish? **Aquaculture**, v.486, p. 217-223, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.12.025>

STRINGARO, A.; COLONE, M.; ANGIOLELLA, L. Antioxidant, antifungal, antibiofilm, and cytotoxic activities of *Mentha spp.* essential oils. **Medicines**, v.5, n. 4, p. 112, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/medicines5040112>

TEIXEIRA, R. R. *et al.* Essential oil of *Aloysia triphylla* in Nile tilapia: anaesthesia, stress parameters and sensory evaluation of fillets. **Aquaculture Research**, v.48, n. 7, p. 3383-3392, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/are.13165>

TERBLANCHÉ, F. C.; KORNELIUS, G. Essential oil constituents of the genus *Lippia* (Verbenaceae) a literature review. **Journal of essential oil research**, v.8, n. 5, p. 471-485, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1080/10412905.1996.9700673>

TONDOLO, J. S. M. *et al.* Anesthesia and transport of fat snook *Centropomus parallelus* with the essential oil of *Nectandra megapota* (Spreng.) Mez. **Neotropical Ichthyology**, v.11, p. 667-674, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1679-62252013000300020>

TRUSHENSKI, J. T. *et al.* Chemical and electrical approaches to sedation of cobia: induction, recovery, and physiological responses to sedation. **Marine and Coastal Fisheries**, v.4, n. 1, p. 639-650, 2012a. DOI: <https://doi.org/10.1080/19425120.2012.728182>

TRUSHENSKI, J. T. *et al.* Induction, recovery, and hematological responses of largemouth bass to chemo-and electro-sedation. **North American Journal of Aquaculture**, v.74, n. 2, p. 214-223, 2012b. DOI: <https://doi.org/10.1080/15222055.2012.675990>

TRUSHENSKI, J. T.; JOHNSON, J.; BOWKER, J. D. Efficacy and Hematological Responses of Walleyes to Chemosedation and Electro-sedation. **North American Journal of Aquaculture**, v.80, n. 4, p. 355-362, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/naaq.10040>

VALENÇA-SILVA, G. *et al.* Low dose of the anesthetic propofol does not induce genotoxic or mutagenic effects in Nile tilapia. **Transactions of the American Fisheries Society**, v.143, n. 2, p. 414-419, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1080/00028487.2013.856814>

VASUDEVA, N. *Origanum majorana* L. Phyto-pharmacological review. 2015. DOI: <http://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/33655>

VENTURA, A. S. *et al.* Natural anesthetics in the transport of Nile tilapia: Hematological and biochemical responses and residual concentration in the fillet. **Aquaculture**, v.526, p. 735365, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735365>

VILHENA, C. S. *et al.* Essential oil of *Piper divaricatum* induces a general anaesthesia-like state and loss of skeletal muscle tonus in juvenile tambaqui, *Colossoma macropomum*. **Aquaculture**, v.510, p. 169-175, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.05.057>

WENDELAAR BONGA, S. E. The stress response in fish. **Physiological reviews**, v.77, n. 3, p. 591-625, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1152/physrev.1997.77.3.591>

ZAHL, I. H. *et al.* Anaesthesia of Atlantic cod (*Gadus morhua*) effect of pre-anaesthetic sedation, and importance of body weight, temperature and stress. **Aquaculture**, v.295, n. 1-2, p. 52-59, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.06.019>

ZAHL, I. H. *et al.* Anaesthesia of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) Effect of pre-anaesthetic sedation, and importance of body weight and water temperature. **Aquaculture Research**, v.42, n. 9, p. 1235-1245, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02711.x>