

Substância promissora a barreira química aplicada na ictiofauna em usinas hidrelétricas

Wllyane Silva Figueiredo

Mestre, UnB, Brasil
wllyane@gmail.com

Tania Machado da Silva

Mestre, UnB, Brasil.
taniamachado91@gmail.com

Luiz Fabrício Zara

Professor Doutor, UnB, Brasil.
fabriciozara@gmail.com

RESUMO

Em usinas hidrelétricas ocorrem, de modo regular ou intempestivo, paralizações das unidades geradoras para realização de algumas manobras para testes e manutenções mecânicas. A baixa vazão operacional propicia probabilidade de acúmulo de ictiofauna no tubo de sucção. Em função disso, as variáveis que determinam a qualidade da água podem ser alteradas, o que demanda um amplo e coordenado esforço humano para o resgate dos peixes aprisionados. Além dos riscos ligados à segurança do trabalho, há grandes passivos econômicos em decorrência do tempo de paralização das unidades geradoras. Para minimização dessa problemática, se faz necessário o aprimoramento de técnicas de repulsão dos peixes das áreas de risco. A detecção de substâncias químicas na água é um dos mais eficientes métodos de comunicação entre os peixes. Dessa forma, este estudo apresenta uma breve revisão das substâncias de alarme, as quais são liberadas na epiderme dos peixes em sinal de resposta defensiva a uma situação de perigo e são promissoras para utilização como barreira química no setor hidrelétrico.

PALAVRAS-CHAVE: Peixes aprisionados. Repulsão de peixes. Substâncias de alarme.

1 INTRODUÇÃO

A hidroeletricidade é uma das principais fontes de energia no mundo, sendo a China o país que detém a maior produção. No Brasil aproximadamente 65% da matriz energética corresponde à energia hidrelétrica (IEA, 2017).

Atualmente as hidrelétricas são as formas mais eficientes de conversão de energia primária em secundária, podendo chegar a 90% de eficiência (ANEEL, 2005). O baixo custo do suprimento na comparação com outras fontes, como petróleo, gás natural, carvão e urânio, além do fato da operação das hidrelétricas provocar baixa emissão de gases que causam o efeito estufa, conferem à energia hidrelétrica o rótulo mundial de renovável e limpa (ANEEL, 2008).

Durante as manutenções mecânicas, programadas ou intempestivas, nas unidades geradoras do tipo Francis ou Kaplan, a baixa vazão operacional pode propiciar o acúmulo da ictiofauna dentro da caixa espiral do tubo de sucção e do poço de esgotamento (PERRY *et al.*, 2014). É importante ressaltar que as manutenções das unidades geradoras demandam uma operação complexa tanto em termos de força de trabalho como em horas de parada de máquina, além da questão de segurança de trabalho das equipes de resgate da ictiofauna.

Dessa forma, os riscos para a ictiofauna na operação e manutenção de usinas hidrelétricas é parte integrante do processo de geração de energia, sendo necessário o aprimoramento de técnicas de repulsão de peixes das áreas de risco.

Há estudos que mostram eficácias comprovadas de métodos físicos, como grades e telas (Andrade *et al.*, 2012); do método “desvia peixe” ou “engana peixe”, a qual consiste na abertura do vertedouro e/ou parada das unidades geradoras adjacentes àquela a ser drenada (CEMIG, 2016); o *bypass*, o qual consiste na criação de um caminho alternativo de modo devolver o peixe ao seu ambiente natural; o elevador, que consiste numa caçamba coletora a qual é elevada até o nível do reservatório e libera os peixes em um canal que os conduz a montante da barragem; as eclusas que são sistemas que elevam o nível da água até o nível do rio a montante, com comportas se abrem para a liberação dos peixes; e os caminhões tanque, que capturam os peixes a jusante e os liberam a montante (SILVA, 2010).

Ainda que pouco usais, tem-se as cortinas de corrente de aço que são utilizadas para a repulsão de peixes através dos estímulos visuais e acústicos (SILVA, 2010). As barreiras comportamentais (bolhas, sons, luzes estroboscópicas e correntes elétricas) ainda são pouco empregadas devido às incertezas de efetividade que dependem da espécie e do tamanho dos peixes, e das condições ambientais, como a turbidez e a vazão (BOWEN, 2004; PERRY *et al.*, 2014; WISENDEN & SMITH, 1997).

As barreiras químicas, ainda pouco discutidas, são também candidatas a minimização desses impactos socioambientais extensivos em hidrelétricas devido à grande sensibilidade dos peixes em detectarem e reagirem às substâncias bioquímicas na água.

As substâncias de alarme, as quais são liberadas pelo dano físico da pele de peixes em sinal de resposta defensiva a uma situação de perigo, são um dos principais e mais eficientes sistemas de repulsão químicos de peixes. Entretanto, não há uma caracterização detalhada dessas substâncias e o comportamento da comunidade aquática ainda é pouco previsível. Nesse contexto, o presente estudo visa apresentar uma revisão das substâncias de alarme.

2 OBJETIVOS

Fazer uma revisão acerca das substâncias de alarme extraídas da pele de peixes para subsidiar pesquisas a respeito de métodos químicos para repulsão da ictiofauna, sobretudo no setor hidrelétrico.

3 METODOLOGIA

Foram pesquisadas publicações presentes nos portais ScienceDirect, Scientific Electronic Library Online (SciELO), Springer Link e Medical Literature Analysis and Retrieval System Online (MedLine) utilizando-se os descritores “alarm response in fish”, “alarm behaviour in fish”, “chemical alarm”, “repulse skin extract in fish” e “hydroelectric fish repulsion”. Os critérios de inclusão foram artigos publicados em inglês e português, na forma completa, em periódicos indexados nas bases de dados virtuais descritos acima. Os critérios de exclusão foram cartas, editoriais, resumos em anais de eventos ou periódicos. A pesquisa dos artigos não foi limitada por período, os estudos foram pesquisados até o ano 2020. No total foram selecionados 37 estudos de acordo com a pertinência às evidências a serem analisadas.

4 RESULTADOS

O habitat e as condições ambientais podem moldar o comportamento e a morfologia dos peixes. Quimiorrecepção ou capacidade de detectar substâncias químicas pode aumentar a sobrevivência, permitindo maior consciência sobre as perturbações ambientais ameaçadoras (ABREU et al., 2016; TOA et al., 2004).

Os sinais químicos são importantes em casos onde há limitação de visão dos peixes como regiões escuras, com muitos obstáculos visuais ou com alta turbidez (TOA et al., 2004). A comunicação química supera as barreiras físicas e alcança distâncias onde as luzes, as bolhas e os sons não atingem os sentidos dos peixes (JORDÃO & VOLPATO, 2000).

Os estressores nos peixes podem ser oriundos de contato físico com outras espécies, estímulos visuais ou auditivos, memória de uma condição estressante e dicas liberadas por um coespecífico anteriormente estressado (BARCELLOS et al., 2011; BROWN & SMITH, 1997). A última condição é a única que envolve uma comunicação química entre espécimes. Esses sinais de alarme são armazenados pelas células epidérmicas e podem ser liberados na água como resultado de lesões, isto é, substância de alarme. Os sinais químicos liberados na água por peixes não feridos expostos a situações estressantes podem ser denominados substâncias perturbadoras (BROWN & GODIN, 1997; TOA et al., 2004; BARCELLOS et al., 2011; ABREU et al., 2016).

Vários estudos avaliaram a mudança de comportamento de peixes receptores de água condicionada por sinais químicos de peixes não lesionados, apenas expostos a situações

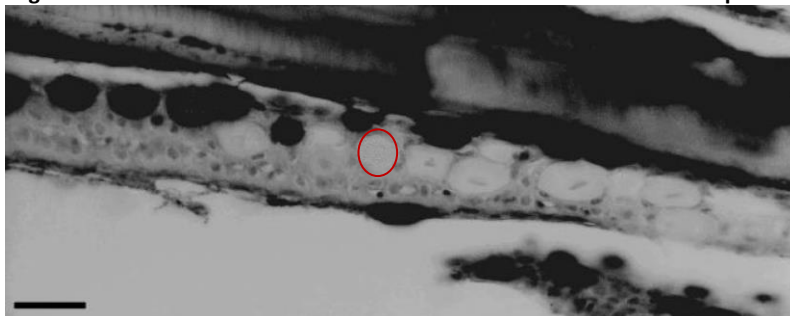
perturbadoras, como avistamento de predadores, indução de jejum por longo período, mudanças nas características físico-químicas da água, perseguição com redes, entre outros. Todos os autores identificaram reações de defesa dos peixes receptores, indicando a existência de uma comunicação química (ABREU et al., 2016; BARCELLOS et al., 2011; JORDÃO & VOLPATO, 2000; OLIVOTTO et al., 2002).

A amônia (NH₃) foi indicada por Jordão & Volpato (2000) e Vavrek et al. (2008), como a substância de perturbação liberada pelos peixes. Toa et al. (2004) afirmam que possivelmente essa substância é liberada pela urina.

Considerando-se as substâncias de alarme, as quais são sintetizadas e armazenadas em células epidérmicas especializadas, há liberação somente após lesões físicas (MAJER et al., 2009).

As células “club”, onde estão armazenadas as substâncias de alarme, estão incorporadas no epitélio (**Figura 1**). Dependendo da espécie de peixe, as células podem estar localizadas em diferentes regiões da epiderme (centro ou inferior), sem acesso direto à superfície do corpo através dos poros (IDE et al., 2003; CHIA et al., 2019).

Figura 1 – Célula “club” onde é armazenada a substância de alarme nos peixes.



Fonte: IDE et al., 2003.

Verheijen (1962) e Heczko & Seghers (1981) afirmam, através de estudos com peixes expostos a sinais de alarme, que o mecanismo de defesa primário é a busca por cobertura e o mecanismo secundário é a aglomeração. Contudo, Frisch (1938), Ide et al. (2003) e Mathuru et al. (2012) afirmam que a principal reação é a natação rápida seguida por imobilidade. Todas essas reações podem persistir por até quatro horas e ser transmitidas visualmente a outros peixes, compondo uma comunicação eficiente entre presas (BROWN & GODIN, 1997; HINTZ et al., 2017).

É importante ressaltar que o reconhecimento de predadores e não-predadores é uma resposta inata, visto que durante experimentos feitos por Jordão & Volpato (2000), os peixes manifestaram reação de medo contra um predador que nunca tiveram contato. Contudo, maiores exposições a situações de perigo determinam melhores respostas aos sinais de alarme (MAJER et al., 2009).

Animais pertencentes a outros táxons, como gastrópodes, equinodermos e anfíbios, também identificam e reagem às substâncias de alarme de coespecíficos (CHIVERS & SMITH, 1994). Os equinodermos possuem maior potencial de quimiorrecepção, tanto na variabilidade quanto na distância da fonte, devido à sua maior suscetibilidade à predação (MAJER et al., 2009).

Os estudos direcionados aos sinais de alarme químico entre peixes datam de décadas atrás. Frisch (1938) mostrou a existência de sinais químicos de alarme entre os peixes da ordem

ostariofisios, que inclui carpas, pacus e bagres, sendo estes representantes de aproximadamente 72% das espécies de peixe encontradas na água doce. É comum encontrar na literatura o termo “Schreckstoff” (em alemão) referindo-se às substâncias de alarme, pois foi assim que o pioneiro nesse tema, Frisch, denominou essas substâncias.

Outros estudos antigos também analisaram os comportamentos dos peixes expostos às substâncias de alarme (PFEIFFER, 1962; VERHEIJEN, 1962; SMITH, 1977). Lawrence & Smith (1989) constataram, via experimentos com extratos obtidos da epiderme da espécie *Pimephales promelas* em diferentes diluições, que o extrato oriundo de 1 cm² de epiderme é capaz de causar efeitos em 58 m³ de água, mostrando a extrema sensibilidade e eficácia das substâncias de alarme.

Para extração das substâncias de alarme outros autores utilizam métodos muito similares. Ide et al. (2003) utilizou 133 peixes juvenis da espécie Matrinxã. Os peixes doadores de epiderme foram sacrificados por imersão numa solução de benzocaína (350 mg L⁻¹, etil-p-amino e benzoato). Cerca de 13,5 cm² de epiderme, de ambos os lados dos peixes, foram removidos e homogeneizados em 100 mL de água destilada. Em seguida, essa solução foi filtrada e adicionada a ela água destilada até que o volume final atingisse 200 mL. O extrato foi armazenado a -20 °C até o momento dos experimentos. Toa et al. (2004) removeu 5 g de epiderme de juvenis de Truta arco-íris da seção dorsal ao longo da linha lateral e inseriu em 100 mL de água destilada, o extrato foi homogeneizado e filtrado em duas malhas (1 mm e 20 µM). Em seguida 400 mL de água do tanque de peixes foi adicionado à solução de extrato. Brown & Godin et al. (1999) inicialmente testaram a dispersão das substâncias de alarme com corante em um aquário com 35 cm de largura, 22 cm de comprimento e 23 cm de altura e concluíram que a distribuição uniforme da substância é de aproximadamente 20 segundos. Para os experimentos eles removeram 5,2 cm² de pele de peixes da espécie *Poecilia reticulata* e maceraram com 50 mL de água destilada, o extrato resultante foi filtrado e completado para o volume final de 100 mL com água destilada. Em seguida, foi inserido 5 mL dessa solução no aquário, sendo observado aglomeração, natação rápida e congelamento dos peixes em sinais de resposta de alarme.

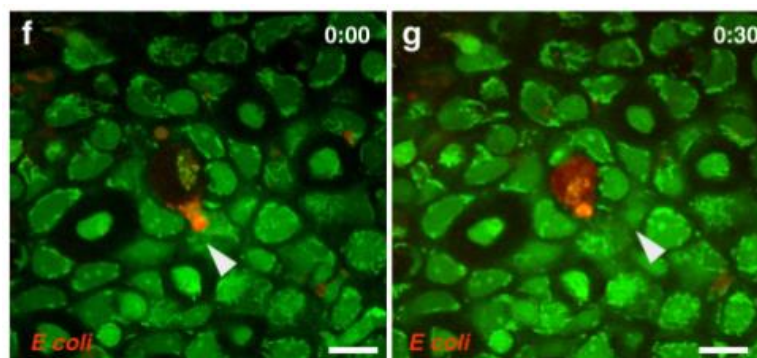
A estrutura molecular das substâncias de alarme ainda não é totalmente conhecida, mas se supõe, desde o estudo de Frisch (1938), que um dos componentes ativos é a 3-N-óxido de hipoxantina (IDE et al., 2003). Experimentos realizados por Mathuru et al. (2012) indicam que as proteínas e a maioria dos lipídios não sejam componentes ativos das substâncias de alarme. Contudo, os glicosaminoglicanos, presentes na mucosa, correlacionaram-se com o comportamento dos peixes. Os dados também indicam que as substâncias de alarme incluem oligossacarídeos de condroitina, com um tamanho mínimo de um tetrassacarídeo (~ 1.000 Daltons). Outros estudos também sugerem a condroitina e outros componentes adicionais, possivelmente compostos com óxido de nitrogênio (BROWN et al., 2000; HINTZ et al., 2017).

Chia et al. (2019) ainda afirmam que pode haver um componente bacteriano nas substâncias de alarme em peixes. Esses autores indicam que essa substância pode se originar num compartimento da pele diretamente ligado à imunidade e ser apenas armazenada nas células “club” na epiderme. A caracterização bioquímica indica que as substâncias de alarme são uma composição que pode ser extraída pela aglutinina do germe de trigo (MATHURU et al., 2012), que liga o muco ou um anticorpo ao sulfato de condroitina, que é um componente do muco. No entanto, o muco evoca uma forte resposta somente após ser aquecido, implicando a necessidade de alguma forma de decomposição. O muco, que contém uma população

diversificada de bactérias, tem múltiplas funções na pele dos peixes, incluindo a defesa contra agentes infecciosos. Mathuru et al. (2012) afirmam que há comportamento de alarme leve em peixes expostos ao muco após descamação da epiderme.

Sabe-se que as bactérias produzem substâncias que podem estimular os sistemas quimiosensoriais dos vertebrados. Elas são encontradas no muco da epiderme e, uma vez dentro do peixe, podendo ser absorvidas pelos neutrófilos. Chia et al. (2019) inseriram o peixe-zebra em água contendo *Escherichia coli* quimicamente morta, a qual foi corada em vermelho. A **Figura 2** apresenta o transporte da bactéria para dentro da célula “club”, a mesma que armazena as substâncias de alarme.

Figura 2 – Introdução da *Escherichia coli* em célula “club”, onde as substâncias de alarme também são armazenadas.



Fonte: CHIA et al., 2019.

Além disso, Chia et al. (2019) ainda levantam a hipótese de que a imobilidade pode ser um comportamento de peixes expostos a substâncias de alarme constituídas por bactérias, ao passo que para substâncias sem esses microrganismos o efeito comportamental dos peixes consiste em contínua movimentação.

Há tempos se sabe da eficácia da substância entre diferentes espécies (PFEIFFER, 1963; SMITH 1977). Mirza & Chivers (2001) e Majer et al. (2009) reforçam essa afirmação, acrescentando que a intensidade da resposta é mais forte entre a mesma espécie. Em resumo, os sinais de agir não são idênticos, quando trata-se de heteroespecíficos, mas são semelhantes o suficiente para serem reconhecidos.

As reações defensivas dos peixes são induzidas por diferentes sinais químicos que emanam de estresses relacionados aos sentidos. Esses animais utilizam a combinação de informações e o contexto da situação para determinar sua estratégia de evasão (ABREU et al., 2016).

O sentido que identifica a substância é o olfato (PFEIFFER, 1963; BROWN & GODIN, 1997). Chivers & Smith (1994) reafirmam este fato com o *Astyanax fasciatus*, o qual é um peixe sem visão e teve reações de alerta quando exposto às substâncias de alarme. É importante ressaltar que o sistema olfativo é mais desenvolvido dependendo da espécie, o que influencia na sensibilidade de percepção da substância de alarme. O tamanho e a idade do peixe também são determinantes na intensidade da resposta à substância (MAJER et al., 2009).

Além disso, quando peixes são expostos a estímulos indutores de estresse, suas fisiologias se alteram. No geral, o estresse afeta o metabolismo e aumenta os níveis de cortisol e glicose no sangue (BARCELLOS et al., 2011; TOA et al., 2004; VAVREK et al., 2008). O cortisol

regula a energia metabólica, o equilíbrio hidromineral e a captação de oxigênio (OLIVOTTO et al., 2002).

A exposição a uma situação de estresse também pode liberar proteínas de choque térmico (HSP). Houve aumento da expressão da proteína HSP70 no cérebro e no fígado de peixes na presença de um predador, indicando a possibilidade de um estressor psicológico, percebido através da visão. Entretanto, a HSP70 é geralmente induzida quando os animais são expostos a poluentes, metais pesados, efluentes industriais, pesticidas e hidrocarbonetos. Outros tipos de estresse, como captura, confinamento e o manuseio por si só podem afetar alguns indicadores da resposta fisiológica ao estresse (cortisol e glicose), mas podem não induzir uma resposta ao estresse celular em peixes (TOA et al., 2004).

As alterações plasmáticas hormonais ou metabólicas são dependentes da natureza e da intensidade do estímulo, do desenho experimental e das espécies estudadas. Esses fatores podem ser responsáveis pela falta de uma resposta clara ao estresse (IDE et al., 2003).

Outro fator que deve ser observado é que a exposição contínua a qualquer estímulo ao estresse pode ter consequências fisiológicas. A habituação a predadores pode diminuir o grau de estresse das presas em até 40%, reduzindo significativamente a resposta de defesa (JÄRVI, 1990). As condições do ambiente, como a diminuição do pH, podem resultar em uma mudança estrutural nas substâncias de alarme, reduzindo sua eficiência na repulsão da ictiofauna (BROWN et al., 2000; MATHURU et al., 2012). Além disso, comportamento de acasalamento suprime as respostas dos peixes ao extrato de pele, pois as vias que mediam a reprodução e a defesa são anatomicamente segregadas (CHOI et al., 2005; VERDUGO et al., 2019).

Diante do exposto, pode-se afirmar que as substâncias de alarme são promissoras na aplicação de barreiras químicas em inúmeras situações que expõem a ictiofauna ao risco de morte.

Entretanto, a introdução de quaisquer substância na vida aquática deve ser previamente subsidiada por testes rígidos em laboratório. É necessário ter mais conhecimento sobre essas substâncias, quantificar as concentrações das substâncias tóxicas e, posteriormente aplicar testes toxicológicos para avaliar seus efeitos sobre os organismos (ANDRADE & ARAÚJO, 2011; COSTA et al., 2008; DAMATO & BARBIERI, 2012).

5 CONCLUSÃO

Considerando a ótica da sustentabilidade, a qual tem caracterizado e balizado o setor hidrelétrico atual frente a outras formas de geração de energia elétrica, a questão ambiental se reveste de grande importância, pois é um dos pilares do princípio da sustentabilidade. Assim, a criação de mecanismos de repulsão da ictiofauna mais robustos em usinas hidrelétricas é de grande importância e altamente desejável.

As substâncias de alarme como barreiras químicas mostram-se com potencial na atenuação dos riscos que a ictiofauna frequentemente está exposta. Entretanto, é necessário caracterizar a natureza dessas substâncias mais detalhadamente do ponto de vista bioquímico. Além disso, são necessários testes toxicológicos e comportamentais em peixes em laboratório e analisar a aplicabilidade em campo e em larga escala. Também, avaliar a possibilidade de sintetização das substâncias de alarme, visto que, sua aquisição depende do sacrifício de alguns organismos. Caso contrário, o principal objetivo de minimização de impactos ambientais não será alcançado.

6 AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa de P&D da Energia Sustentável do Brasil (ANEEL/PD-06631-0009/2019) e a equipe da Jirau Energia, que tem fornecido todo o apoio necessário para o desenvolvimento da pesquisa.

7 REFERÊNCIAS

ABREU, M.S. GIACOMINI, A.C.V.; GUSO D.; KOAKOSKI G. OLIVEIRA T.A.; MARQUEZE A.; BARRETO R.E.; BARCELLOS L.J.G. Behavioral responses of zebrafish depend on the type of threatening chemical cues. **Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology**, v.202, n.12, p. 895-901, 2016.

ANDRADE, E.S; ARAÚJO, J.C. Medidas mitigadoras dos impactos ambientais causados por usinas hidrelétricas sobre peixes. **Revista eletrônica de Veterinária**, v.12, n.3, 2011.

ANDRADE F.; PRADO I.G.; LOURES R.C.; GODINHO A.L. Evaluation of techniques used to protect tailrace fishes during turbine maneuvers at Três Marias Dam, Brazil. **Neotropical Ichthyology**, v.10, p.723–730, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília: ANEEL, 243p., 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: ANEEL, 236p., 2008.

BARCELLOS, L.J.G.; VOLPATO, G.L.; BARRETO, R.E.; COLDEBELLA, I.; FERREIRA, D. Chemical communication of handling stress in fish. **Physiology & Behavior**, v.103, p.372-375, 2011.

BOWEN, M.D., et al. Empirical and Experimental Analyses of Secondary Louver Efficiency at the Tracy Fish Collection Facility: March 1996 to November 1997. US Department of the Interior, Bureau of Reclamation. **Tracy Studies California**, p.1-33, 2004.

BROWN, G. E.; ADRIAN JR, J. C.; SMYTH, E.; LEET, H.; BRENNAN, S. Ostariophysan alarm pheromones: Laboratory and field tests of the functional significance of nitrogen oxides. **Journal of Chemical Ecology**, v.26, n.1, p.139-154, 2000.

BROWN, G.; GODIN, J-G. Anti-predator responses to conspecific and heterospecific skin extracts by threespine sticklebacks: alarm pheromones revisited. **Behaviour**, v.134, p.1123-1134, 1997.

BROWN, G.E.; GODIN, J.G.J. Chemical alarm signals in wild Trinidadian guppies (*Poecilia reticulata*). **Canadian Journal of Zoology**, v.77, p.562–570, 1999.

CHIA, J.S.M.; WALL, E.S.; WEE, C.L.; ROWLAND, T.A.J.; CHENG, R.-K.; CHEOW, K.; GUILLEMIN, K; JESUTHASAN, S. Bacteria evoke alarm behaviour in zebrafish. **Nature Communications**, v.10, p-3831, 2019.

CHIVERS D.P.; SMITH R.J.F. Intra- and interspecific avoidance of areas marked with skin extract from brook sticklebacks (*Culaea inconstans*) in a natural habitat. **Journal of Chemical Ecology**, v.20, n.7, p.1517-1524, 1994.

CHOI, G.B.; DONG, H.; MURPHY, A.J., VALENZUELA, D.M.; YANCOPOULOS, G.D.; SWANSON, L.W.; ANDERSON, D.J. Lhx6 Delineates a Pathway Mediating Innate Reproductive Behaviors from the Amygdala to the Hypothalamus. **Neuron**, v.46, n.4, p.647-660, 2005.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Avaliação de Risco de Morte de Peixes em Usinas Hidrelétricas**. Belo Horizonte: Cemig, 332p, 2016.

COSTA, C.R.; OLIVI, P; BOTTA, C.M.R.; ESPINDOLA, E.L.G. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, 31: 1820-1830, 2008.

DAMATO, M.; BARBIERI, E. Estudo da toxicidade aguda e alterações metabólicas provocadas pela exposição do cádmio sobre o peixe *Hyphessobrycon callistus* utilizando como indicador de saúde ambiental. **O mundo da Saúde**, 36(4):574-581, 2012.

FRISCH, K. Von. Zur Psychologie des Fisch-Schwarmes. **Naturwissenschaften**, v.26 n.37, p. 601-606, 1938.

HECZKO E. J.; SEGHERS B.H. Effects of alarm substance on schooling in the common shiner (*Notropis cornutus*, Cyprinidae). **Environmental Biology of Fishes**, v.6, n.1, p. 25-29, 1981.

HINTZ, H.A.; WEIHING, C.; BAYER, R.; LONZARICH, D.; BRYANT, W. Cultured fish epithelial cells are a source of alarm substance. **MethodsX**, v.4, p.480-485, 2017.

IDE, L.M.; URBINATI, E.C.; HOFFMANN. The role of olfaction in the behavioural and physiological responses to conspecific skin extract in *Brycon cephalus*. **Journal of Fish Biology**, v.63, p.332–343, 2003.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Renewables 2017**. Disponível em: < <https://www.iea.org/renewables/> >. Acesso em: abril de 2019.

JÄRVI T. Cumulative acute physiological stress in Atlantic salmon smolts: the effect of osmotic imbalance and the presence of predators. **Aquaculture**, v.89, n.3-4, p.337-350, 1990.

JORDÃO, L.C.; VOLPATO, G.L. Chemical transfer of warning information in non-injured fish. Instituto de Biologia, UNESP – Botucatu. **Behaviour**, v.137, p.681-690, 2000.

LAWRENCE, B.J. & SMITH, R.J.F. Behavioral response of solitary fathead minnows *Pimephales promelas*, to alarm substance. **Journal of Chemical Ecology**, v.15, n.1, p.209-219, 1989.

MAJER, A., TRIGO, J., & DUARTE, L. Evidence of an alarm signal in Ophiuroidea (Echinodermata). **Marine Biodiversity Records**, v.2, n.102, p.1-7, 2009.

MATHURU, A. S.; KIBAT, C.; CHEONG, W. F.; SHUI, G.; WENK, M. R.; FRIEDRICH, R. W.; JESUTHASAN, S. Chondroitin fragments are odorants that trigger fear behavior in fish. **Current Biology**, v.22, n.6, p.538-544, 2012.

MIRZA, R.S.; CHIVERS, D.P. Are chemical alarm cues conserved within salmonid fishes? **Journal of Chemical Ecology**, v.27, n.8, 2001.

OLIVOTTO, I.; MOSCONI, G.; MARADONNA, F.; CARDINALI, M.; CARNEVALIA, O. Diplodus sargus interrenal–pituitary response: chemical communication in stressed fish. **General and Comparative Endocrinology**, v.127, p.66-70, 2002.

PFEIFFER, W. The fright reaction of fish. **Biological Reviews**, v.37, p.495-511, 1962.

PERRY, R. W.; ROMINE, J. G.; ADAMS, N. S.; BLAKE, A. R.; BURAU, J. R.; JOHNSTON, S. V.; LIEDTKE, T. L. Using a non-physical behavioural barrier to alter migration routing of juvenile chinook salmon in the Sacramento–San Joaquin river delta. **River Research and Applications**, v.30, p.192-203, 2014.

SILVA, F.N.A. **Efeito de campo elétrico no comportamento de peixes brasileiros e estudo de barreira elétrica como mecanismo de controle de movimentação de peixes**. Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica: Belo Horizonte, 122p., 2010.

SMITH, R.J.F. **Chemical communication as adaptation: Alarm substance of fish**. pp 303-320. In: D. Miiller-Schwarze & M., M. Mozell (ed.) *Chemical Signals in Vertebrates*, Plenum Press, New York, 1977.

TOA, D.G.; AFONSO, L.O.B.; IWAMA, G.K. Stress response of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to chemical cues released from stressed conspecifics. **Fish Physiology and Biochemistry**, v.30, p.103-108, 2004.

VAVREK, M.A.; ELVIDGE, C.K.; DECAIRE, R.; BELLAND, B.; JACKSON, C.D.; BROWN, G.E. Disturbance cues in freshwater prey fishes: do juvenile convict cichlids and rainbow trout respond to ammonium as an _early warning_ signal? **Chemoecology**, v.18, p.255-261, 2008.

VERHEIJEN, F.J. Alarm substance and intraspecific predation in cyprinids. **Die Naturwissenschaften**, v.49, p. 356, 1962.

VERDUGO, C.D.; SUN, G.J.; FAWCETT, C.H.; ZHU, P.; FISHMAN, M.C. Mating Suppresses Alarm Response in Zebrafish. **Current Biology**, v.29, p.2541-2546, 2019.

WISENDEN, B. D.; SMITH, R. J. F. The effect of physical condition and shoalmate familiarity on proliferation of alarm substance cells in the epidermis of fathead minnows. **Journal of Fish Biology**, 50: 799–808, 1997.