

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ANA BEATRIZ PELLIZZARI

**SUPERSATURAÇÃO GASOSA EM TILÁPIAS-DO-NILO (*OREOCHROMIS
NILOTICUS*) EM TANQUES-REDE: UM ESTUDO DE CASO SOBRE OS
IMPACTOS DA OPERAÇÃO HIDRELÉTRICA NO RIO IGUAÇU**

DOIS VIZINHOS

2026

ANA BEATRIZ PELLIZZARI

**SUPERSATURAÇÃO GASOSA EM TILÁPIAS-DO-NILO (*OREOCHROMIS
NILOTICUS*) EM TANQUES-REDE: UM ESTUDO DE CASO SOBRE OS
IMPACTOS DA OPERAÇÃO HIDRELÉTRICA NO RIO IGUAÇU**

**Gas Supersaturation in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Net Pens: A
Case Study on the Impacts of Hydroelectric Operation on the Iguaçu River**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Zootecnia, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Ricardo Yuji Sado

DOIS VIZINHOS

2026



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ANA BEATRIZ PELLIZZARI

**SUPERSATURAÇÃO GASOSA EM TILÁPIAS-DO-NILO (*OREOCHROMIS
NILOTICUS*) EM TANQUES-REDE: UM ESTUDO DE CASO SOBRE OS
IMPACTOS DA OPERAÇÃO HIDRELÉTRICA NO RIO IGUAÇU**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Zootecnia, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 16/junho/2026

Prof. Dr. Ricardo Yuji Sado
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dra. Andressa Radtke Baungratz
Doutora
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Rusbel Raul Aspilcueta Borquis
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

DOIS VIZINHOS

2026

Dedico este trabalho à minha família, em especial,
meu pai, meu maior suporte e minha maior força.

AGRADECIMENTOS

Expresso minha profunda gratidão à minha família, que foi um pilar de apoio inabalável, especialmente nos momentos de maior dificuldade, e que sempre endossou minhas decisões.

Ao meu pai, meu agradecimento especial por todo o suporte oferecido durante este período e por ter mantido uma fé constante em minha capacidade, mesmo nos momentos em que minha própria fé falhou. Aos meus irmãos, sou grata pelos conselhos e por todo o apoio irrestrito em cada etapa deste processo. Agradeço à minha mãe pela sua presença e pelo apoio contínuo ao meu lado.

Agradeço também aos colegas de classe e aos professores que fizeram parte desta jornada acadêmica. Eles não apenas proporcionaram momentos incríveis, mas também contribuíram significativamente para o meu desenvolvimento e desempenho.

Agradeço ao meu orientador pela compreensão diante das dificuldades pessoais que enfrentei, pelo apoio às minhas decisões e, principalmente, pela contribuição de seus conhecimentos e devolutivas essenciais para a concretização deste trabalho.

Por fim, sou grata a Deus por ter me concedido a força necessária para superar os desafios e alcançar este objetivo. Estendo meus agradecimentos a todos aqueles que, de alguma forma, tornaram possível a realização desta pesquisa.

"A sabedoria suprema é ter sonhos
bastante grandes para não se perderem
de vista enquanto os perseguimos."
(William Faulkner)

RESUMO

O setor aquícola, com destaque para a criação intensiva da tilápia-do-nylo (*Oreochromis niloticus*) em sistemas de tanque-rede, demonstra contínua expansão, contribuindo significativamente para o progresso econômico e a segurança alimentar, sendo o estado do Paraná o líder nacional dessa produção. Dada a dependência dos sistemas intensivos em relação à qualidade da água, este estudo de caso teve como objetivo analisar os fatores que culminaram em uma mortalidade massiva de peixes em uma piscicultura localizada no reservatório de uma usina hidrelétrica. O evento principal, ocorrido em outubro de 2023, resultou na perda imediata de aproximadamente 120.516 tilápias (cerca de 52,8 toneladas de biomassa), com o volume total de peixes mortos removido nos 10 dias subsequentes atingindo cerca de 400 toneladas. A metodologia consistiu na análise e discussão de dados retrospectivos obtidos de laudos técnicos e canais de divulgação. Os resultados da pesquisa documental revelaram que o evento foi precedido por chuvas intensas e pela abertura não anunciada de comportas da represa. A inspeção clínica dos peixes mortos evidenciou embolia gasosa, com a presença de bolhas nas nadadeiras, e o monitoramento ambiental registrou uma supersaturação de oxigênio de aproximadamente 132% na água, um nível que excede os limites de segurança e está diretamente associado à patologia observada. A conclusão é que a mortalidade em massa foi causada pela Doença das Bolhas Gasosas, um severo distúrbio fisiológico resultante do desequilíbrio agudo de gases dissolvidos, provocado pela associação entre as condições climáticas e a dinâmica hidráulica da represa. O estudo propõe medidas preventivas urgentes, como a implementação de monitoramento contínuo da pressão total de gases dissolvidos e o estabelecimento de um rigoroso protocolo de comunicação e operação hidrológica entre a usina e a piscicultura, visando aumentar a segurança produtiva e a sustentabilidade ambiental do cultivo.

Palavras-chave: Estresse ambiental, parâmetros físico-químicos, piscicultura, mortalidade.

ABSTRACT

The aquaculture sector, particularly the intensive farming of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in net-cage systems, shows continuous expansion, contributing significantly to economic progress and food security, with the state of Paraná being the national leader in this production. Given the dependence of intensive systems on water quality, this case study aimed to analyze the factors that culminated in a massive fish mortality event at a fish farm located in a hydroelectric power plant reservoir. The main event, which occurred in October 2023, resulted in the immediate loss of approximately 120,516 tilapias (about 52.8 tonnes of biomass), with the total volume of dead fish removed over the subsequent 10 days reaching about 400 tonnes. The methodology consisted of the analysis and discussion of retrospective data obtained from technical reports and media outlets. The results of the documentary research revealed that the event was preceded by intense rainfall and the unannounced opening of the dam gates. Clinical inspection of the dead fish evidenced gas embolism, with the presence of bubbles in the fins, and environmental monitoring registered an oxygen supersaturation of approximately 132% in the water, a level that exceeds safety limits and is directly associated with the observed pathology. The conclusion is that the mass mortality was caused by Gas Bubble Disease, a severe physiological disorder resulting from the acute dissolved gas imbalance, triggered by the combination of climatic conditions and the dam's hydraulic dynamics. The study proposes urgent preventive measures, such as the implementation of continuous monitoring of total dissolved gas pressure and the establishment of a rigorous hydrological communication and operation protocol between the plant and the fish farm, aiming to enhance the productive safety and environmental sustainability of the farming system.

Keywords: Environmental stress, physicochemical parameters, pisciculture, mortality.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	11
2.1	Objetivo geral.....	11
2.2	Objetivos específicos.....	11
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1	Parâmetros da qualidade da água	12
3.1.1	Temperatura	12
3.1.2	Oxigênio dissolvido.....	13
3.1.3	Potencial hidrogeniônico	13
3.1.4	Compostos nitrogenados.....	14
3.1.5	Transparência.....	15
3.2	Causas de mortalidade massiva na piscicultura	16
3.2.1	Doenças infecciosas de origem bacteriana	16
3.2.2	Doenças infecciosas de origem viral	17
3.2.3	Causas ambientais	17
3.3	Efeitos do oxigênio no ambiente aquícola	18
3.3.1	Hipóxia	19
3.3.2	Supersaturação e seus impactos nos peixes	19
4	MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1	Estudo de caso	21
4.2	Pesquisa documental.....	21
4.3	Dados Coletados	21
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1	Relação entre parâmetros da água e a mortalidade.....	24
5.2	Observações registradas na literatura científica.....	26
5.3	Proposta de manejo preventivo	27
6	CONCLUSÃO	30
	REFERÊNCIAS.....	31

1 INTRODUÇÃO

O setor aquícola, em especial a piscicultura, tem demonstrado expansão contínua, contribuindo significativamente para o progresso econômico, a segurança alimentar e o aumento da geração de renda, em regiões, países e no mundo (Ummus *et al.*, 2025). Além disso, a atividade se destaca por sua capacidade de oferecer proteína animal de alto valor biológico, caracterizada por ciclos produtivos eficientes e relativamente curtos (Barroso *et al.*, 2024). Neste cenário, a tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) é a espécie dominante, amplamente cultivada devido à sua notável tolerância a altas densidades e à facilidade de adaptação ao manejo alimentar, fatores que maximizam a produtividade em sistemas intensivos (Stiz *et al.*, 2019).

O sucesso da piscicultura é evidenciado pelo cultivo de espécies comerciais em diversos modelos de produção, com particular relevância para os tanque-rede. Este sistema é visto como uma alternativa com elevado potencial produtivo e viabilidade econômica, demandando um investimento inicial menor do que o dos métodos tradicionais (Codevasf, 2019; SENAR, 2018). As vantagens dos tanque-rede incluem alta eficiência na despesca, facilidade de manejo e viabilidade técnica para diferentes escalas de produção (SENAR, 2018). A criação de tilápias em tanque-rede é uma combinação estratégica, pois permite a manutenção de altas densidades de estocagem, integrando-se a sistemas de produção intensiva que otimizam o uso dos recursos hídricos e promovem práticas mais sustentáveis (Ayroza, 2009; Saraiva, 2016).

No contexto nacional, a tilapicultura brasileira consolidou-se como referência tecnológica. Dados do IBGE (2020) indicam que a criação de tilápia estava presente em 2.510 municípios, abrangendo quase todo o território nacional, exceto os estados do Amazonas, Roraima e Rondônia. Em 2024, a tilápia manteve-se como a espécie mais cultivada no país, com produção de 499,3 mil toneladas (IBGE, 2024). O estado do Paraná lidera essa produção, com 190,5 mil toneladas registradas pelo órgão federal.

Essa magnitude do setor é corroborada e apresentada em patamares ainda mais elevados pelo levantamento do próprio setor produtivo. Segundo o Anuário da Associação Brasileira da Piscicultura (PEIXE BR, 2025), a produção nacional de tilápia cresceu 14% no último ano, atingindo a marca de 662.230 toneladas. Esses dados reafirmam a consolidação do Paraná como o principal polo produtivo do País,

fortemente impulsionado pela ampliação contínua dos investimentos de empresas e cooperativas do setor.

Dado o crescimento exponencial da tilapicultura e a predominância dos sistemas intensivos em tanque-rede, a compreensão dos elementos críticos para o sucesso da produção é essencial (Codevasf, 2019). O conhecimento técnico é crucial, uma vez que a qualidade da água se destaca como o fator de maior impacto sobre o desempenho zootécnico das espécies cultivadas (Lima; Costa; Santos, 2017). Dessa forma, a gestão inadequada dos parâmetros ambientais e hídricos pode culminar em sérios prejuízos, incluindo episódios de mortalidade em larga escala (Pilar *et al.*, 2017). Parâmetros como temperatura, pH e oxigênio dissolvido (OD) são vitais para a saúde dos peixes, sendo que a redução crítica de OD, por exemplo, está diretamente associada ao aumento da taxa de mortalidade e à maior suscetibilidade a quadros infecciosos (Urbinati; Carneiro, 2004).

Considerando os aspectos discutidos sobre a qualidade da água, o objetivo deste estudo é analisar um caso de mortalidade massiva, ocorrido em uma piscicultura localizada em reservatório na Bacia do Rio Iguaçu, no Estado do Paraná, identificar suas possíveis causas e propor medidas preventivas para evitar a recorrência de episódios semelhantes.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Identificar os fatores que podem ter ocasionado a mortalidade em massa de peixes em uma piscicultura localizada em reservatório de usina hidrelétrica na bacia do Rio Iguaçu, Paraná.

2.2 Objetivos específicos

- Descrever as alterações abruptas nos parâmetros de qualidade da água documentadas no período, com foco nos níveis de supersaturação de oxigênio e pressão gasosa;
- Relatar os sinais clínicos de doença das bolhas gasosas (embolia gasosa) evidenciados nos laudos veterinários e cortes histológicos do caso;
- Discutir, com base na literatura científica, as estratégias de manejo e comunicação preventiva para mitigar os impactos da operação hidrelétrica em tanques-rede.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Parâmetros da qualidade da água

A eficiência operacional de qualquer sistema de piscicultura está intrinsecamente ligada à fiscalização dos parâmetros de qualidade da água, cruciais para a sobrevivência e o desenvolvimento dos organismos (Lima; Costa; Santos, 2017). Os componentes primários de monitoramento incluem temperatura, OD, pH, transparência, cor, amônia e nitrito (Codevasf, 2019). Essa vigilância rigorosa é indispensável, visto que os peixes mantêm um contato direto e ininterrupto com o ambiente aquático, portanto, o controle desses indicadores deve ser contínuo e estritamente mantido, especialmente durante as fases críticas do ciclo produtivo (Mastelini, Neto, 2022; Barcellos, 2022).

3.1.1 Temperatura

O controle da temperatura da água é um fator essencial para prevenir o estresse e as disfunções alimentares, minimizando também o risco de surgimento de enfermidades (Mastelini, Neto, 2022).

Como os peixes são organismos ectotérmicos, eles não possuem a capacidade de regular a própria temperatura corporal, assim, seu metabolismo é diretamente determinado pela temperatura do meio aquático (Barcellos, 2022). Dessa forma, a tilápia, uma espécie tropical, apresenta uma faixa de tolerância ideal situada entre 20 e 29 °C (Boyd; Tucker, 2014).

A falha no controle adequado da temperatura pode comprometer processos fisiológicos vitais, como a respiração, a digestão, a excreção e a movimentação, devido à sua influência direta sobre os processos metabólicos (Straskrabra, Tundisi, 2013). Tais aspectos ressaltam a importância da aferição diária da temperatura em diferentes profundidades, pois a estratificação térmica é um fenômeno comum em sistemas com pouca movimentação hídrica e para isso, recomenda-se o uso de equipamentos como o termômetro (Codevasf, 2019; SENAR 2018). A garantia do conforto térmico para os peixes, em conjunto com o controle de outros parâmetros da água, contribui para o aumento da resistência ao estresse de manejo e para uma melhor resposta imunológica (Martins, Catroxo, Hipólito, 2015).

3.1.2 Oxigênio dissolvido

A atividade metabólica dos peixes depende de forma crucial da concentração de oxigênio dissolvido no meio aquático, elemento fundamental para sua sobrevivência (Mastelini, Neto, 2022). Dessa forma, o monitoramento e controle diário dos níveis de OD pelo produtor é indispensável para assegurar tanto o bem-estar animal quanto a eficiência produtiva do sistema (Brito Junior, 2023).

A oxigenação no ambiente aquático é estabelecida majoritariamente por duas fontes: a produção fotossintética realizada por algas e outros organismos autotróficos, e a transferência do oxigênio atmosférico para a coluna d'água, processo este facilitado pela aeração e pelo contato da superfície com o ar (Brito Junior, 2023). Em contrapartida, a redução do OD resulta, principalmente, da atividade respiratória dos peixes, do plâncton e dos organismos bentônicos, assim como dos processos de decomposição da matéria orgânica, além do processo de difusão que retorna o oxigênio da água para a atmosfera (Barcellos, 2022).

As medições de OD são tipicamente realizadas por meio do oxímetro, equipamento que oferece a capacidade de monitoramento em tempo real. Este controle contínuo permite a implementação de intervenções imediatas diante de valores inadequados, prevenindo consequências negativas, como a redução na taxa de crescimento, o aumento da suscetibilidade a enfermidades e a queda na taxa de sobrevivência (Barcellos, 2022; Brito Junior, 2023).

3.1.3 Potencial hidrogeniônico

O potencial hidrogeniônico (pH) é o indicador do grau de acidez ou alcalinidade da água, apresentando uma escala de 0 a 14 (Barcellos, 2022). Valores inferiores a 7,0 definem um meio ácido, enquanto os superiores a 7,0 indicam um meio básico. Extremos de pH (abaixo de 4,0 ou acima de 11,0) podem induzir mortalidade em massa, devido à influência direta do pH nas reações químicas ambientais e nos processos celulares dos organismos aquáticos (Barcellos, 2022).

Para a criação de peixes de água doce, a faixa considerada adequada geralmente situa-se entre 6,5 e 9,0 (Costa Neto, 1990). Em sistemas aquícolas, o pH tipicamente oscila ao longo do dia em função da dinâmica metabólica: a intensa atividade fotossintética (diurna) consome dióxido de carbono (CO_2), elevando o pH; inversamente, o processo de respiração (noturno) libera CO_2 , causando sua

diminuição (Cavalcante, 2012). Variações diárias acentuadas afetam negativamente o crescimento e o desempenho dos peixes, reforçando a necessidade do controle desse parâmetro (Cavalcante, 2012).

Para um monitoramento frequente e preciso, recomenda-se o uso de equipamentos como o pHmetro, pois permite medições em tempo real.

3.1.4 Compostos nitrogenados

A presença de compostos nitrogenados no ambiente aquático é primariamente decorrente da excreção dos peixes e da degradação das proteínas alimentares (Mastelini; Neto, 2022). Entre esses metabólitos, a amônia e o nitrito destacam-se como os principais limitantes da qualidade da água devido ao seu alto potencial tóxico.

No meio hídrico, a amônia existe em um equilíbrio dinâmico entre duas formas distintas: o íon amônio (NH_4^+), que é menos tóxico, e a amônia não ionizada (NH_3), altamente tóxica (Mastelini; Neto, 2022). A forma NH_3 é a mais preocupante do ponto de vista sanitário, e sua concentração ideal deve ser mantida abaixo de 0,05 mg/L, visto que, mesmo neste patamar, já se observa um aumento na suscetibilidade dos peixes a patógenos (Barcellos, 2022). A amônia passa a ser considerada tóxica em concentrações entre 0,05 e 0,5 mg/L, faixa na qual provoca alterações patológicas em órgãos vitais como brânquias, rins e baço, além de prejudicar o crescimento. Níveis acima de 0,5 mg/L são classificados como letais, com alto risco de mortalidade em larga escala (Barcellos, 2022).

Para determinar com exatidão a concentração de NH_3 , que é a fração tóxica, é imprescindível realizar a aferição simultânea do pH e da temperatura no momento da coleta. Isso se deve ao fato de que a NH_3 se torna mais predominante em ambientes alcalinos, onde sua toxicidade aumenta exponencialmente com a elevação do pH, podendo se multiplicar em até dez vezes a cada unidade (Barcellos, 2022). Além disso, temperaturas mais elevadas favorecem a predominância da forma tóxica. Tais interações físico-químicas reforçam a necessidade de monitoramento contínuo (Boyd; Tucker, 2014; Barcellos, 2022).

Além da amônia, o nitrito (NO_2^-) é outro composto nitrogenado de extrema criticidade. Ele é gerado como um produto intermediário durante o processo de nitrificação, no qual bactérias autotróficas oxidam a amônia, transformando-a

posteriormente em nitrato (Boyd; Tucker, 2014). O grande risco do nitrito reside em sua capacidade de ser absorvido ativamente pelas brânquias. Ao atingir a corrente sanguínea, ele oxida o ferro da hemoglobina, convertendo-a em meta-hemoglobina, uma molécula incapaz de transportar oxigênio de forma eficiente (Boyd; Tucker, 2014; Lima; Costa; Santos, 2017).

Essa condição metabólica desencadeia a chamada "doença do sangue marrom", levando os peixes a apresentarem sinais severos de asfixia e hipóxia celular, como boquejamento na superfície, mesmo quando as concentrações de oxigênio dissolvido na água estão adequadas (Boyd; Tucker, 2014). Para mitigar a toxicidade do nitrito, recomenda-se a manutenção rigorosa do equilíbrio bacteriano do sistema e, em casos de picos de concentração, a aplicação de cloreto de sódio (sal comum), visto que o íon cloreto compete diretamente com o nitrito pelos mesmos sítios de absorção branquial, impedindo sua entrada na corrente sanguínea (Lima; Costa; Santos, 2017; Barcellos, 2022).

3.1.5 Transparência

A transparência da água é um indicador ambiental que reflete, sobretudo, a concentração de plâncton ou a presença de partículas sólidas em suspensão, como sedimentos finos (Mastelini; Neto, 2022). A avaliação desse parâmetro é tradicionalmente feita com o disco de Secchi, que deve ser submerso gradualmente até desaparecer visualmente, registrando-se a profundidade em centímetros. Para assegurar a precisão da leitura, recomenda-se realizá-la em áreas sombreadas e em dias sem ventilação. O monitoramento contínuo desses dados é fundamental para o manejo planctônico, pois o excesso de biomassa pode provocar quedas drásticas na concentração de oxigênio dissolvido durante a noite. Nesse sentido, considera-se ideal uma transparência entre 40 e 70 cm. Leituras acima desse limite indicam baixa produtividade e favorecem o surgimento indesejado de macrófitas aquáticas devido à alta penetração luminosa, enquanto valores abaixo de 40 cm só são toleráveis quando a redução da visibilidade for de origem estritamente biológica, caracterizada pela coloração esverdeada da água (Barcellos, 2022).

3.2 Causas de mortalidade massiva na piscicultura

O sucesso na piscicultura está intrinsecamente ligado à gestão rigorosa dos fatores sanitários e ambientais, visando a prevenção de mortalidades em larga escala. As perdas nos sistemas de produção são frequentemente atribuídas a duas categorias principais. A primeira engloba as doenças infecciosas, que podem ser de natureza bacteriana, viral, parasitária ou fúngica (Albuquerque, 2022; Tattiyapong *et al.*, 2017; Pilar *et al.*, 2017). A segunda categoria envolve as condições ambientais desfavoráveis, tais como poluição, flutuações acentuadas de temperatura e desequilíbrios nos níveis de oxigênio dissolvido, entre outros fatores adversos (Cunha, 1994; Pilar *et al.*, 2017).

3.2.1 Doenças infecciosas de origem bacteriana

As doenças bacterianas representam uma das principais ameaças à piscicultura moderna, sendo responsáveis por elevadas taxas de mortalidade e prejuízos econômicos substanciais. Dentre as enfermidades mais críticas, a estreptococose destaca-se como a principal patologia em cultivos de tilápia-do-Nilo no Brasil (Leira *et al.*, 2016). Causada por cocos Gram-positivos do gênero *Streptococcus*, essa infecção pode culminar em surtos de alta letalidade, sendo os fatores de risco comumente associados à elevação da temperatura, alta densidade de estocagem, intensificação do manejo e ao estresse geral decorrente de práticas como a classificação de peixes em sistemas de tanques-rede (Albuquerque, 2022).

Outra patologia de grande relevância é a franciselose, provocada pela bactéria *Francisella noatunensis subsp. orientalis*. Esta doença, de alta prevalência e impacto financeiro, é caracterizada pela formação de granulomas multifocais em órgãos internos, provocando sinais clínicos severos nas tilápias afetadas, tais como natação errática, anorexia, anemia, exoftalmia e mortalidade elevada (Raghiante *et al.*, 2017; Albuquerque, 2022).

Por fim, a septicemia hemorrágica, ou septicemia móvel, é frequentemente desencadeada por bactérias do gênero *Aeromonas*, especialmente a *Aeromonas hydrophila*. Os surtos epidêmicos desta condição estão intimamente ligados à deterioração da qualidade ambiental, ao aumento da temperatura e ao manuseio excessivo dos animais. Suas manifestações clínicas típicas incluem lentidão na

natação, anorexia, anemia, necrose nas nadadeiras, lesões ulcerativas hemorrágicas e exoftalmia (Albuquerque, 2022)

3.2.2 Doenças infecciosas de origem viral

As doenças virais, à semelhança das enfermidades de origem bacteriana, constituem uma ameaça expressiva à piscicultura, pois são capazes de provocar surtos com elevadas taxas de mortalidade e consideráveis prejuízos econômicos. Dentro do cultivo da tilápia (*Oreochromis spp.*), amplamente disseminado no Brasil e em diversos países, destacam-se duas patologias virais de extrema gravidade.

O Vírus do Lago da Tilápia (TiLV) é um agente emergente reconhecido pelo seu impacto devastador, que causa mortalidade elevada em todas as fases de desenvolvimento. A transmissão ocorre predominantemente por via horizontal, o que facilita a rápida propagação entre diferentes corpos hídricos. Os sinais clínicos associados ao TiLV incluem anorexia, má condição corporal, anemia severa, natação errática, exoftalmia bilateral, erosão e congestão cutânea, além de distensão abdominal ligada ao levantamento de escamas (Tattiyapong *et al.*, 2017).

Outra enfermidade de importância epidemiológica é a Septicemia Hemorrágica Viral (VHS), causada pelo Viral Hemorrhagic Septicemia Virus (VHSV). Considerado um dos patógenos mais letais na aquicultura, o VHS frequentemente apresenta sintomatologia inespecífica, mas pode levar à mortalidade de 100% em alevinos devido à alta susceptibilidade nesta fase. Os sinais clínicos abrangem letargia, escurecimento da pele, anemia, exoftalmia, brânquias pálidas e a presença de hemorragias na base das nadadeiras, nas brânquias, nos olhos e na pele. Em alguns casos, observa-se também distensão abdominal por acúmulo de fluido e afetação do sistema nervoso central, manifestando-se como natação irregular, espasmos musculares e movimentos em espiral (Noga, 2010; Woah, 2023).

3.2.3 Causas ambientais

Ao contrário de organismos que possuem mecanismos inatos para lidar com estresses ambientais, os peixes apresentam respostas bioquímicas e fisiológicas adversas quando submetidos a variações extremas nas condições do meio aquático. Entre os principais fatores, a poluição é um destaque, seja ela resultante de atividades antrópicas ou da presença de compostos tóxicos naturais. No ambiente aquático, a

impossibilidade de fuga torna os peixes extremamente vulneráveis à exposição contínua a poluentes, que deteriora a eficácia de seus mecanismos de defesa internos e externos. O resultado é um estado de estresse crônico na tentativa de manter o equilíbrio fisiológico, o que favorece o desenvolvimento de patologias, disfunções fisiológicas e anomalias morfológicas. Tal cenário leva, por fim, a elevadas taxas de mortalidade, impactando diretamente os custos de produção e processamento (Cunha, 1994).

Outro elemento crítico reside nas oscilações térmicas, que interferem nos processos fisiológicos e comportamentais, dificultando a ingestão de alimento e aumentando a suscetibilidade a doenças (Rebouças, 2014). Essa vulnerabilidade é intensificada nas fases iniciais do ciclo de vida (ovos, larvas e alevinos), nas quais os organismos podem sofrer choque térmico e evoluir para o óbito (Brolio, 2023). A amplitude térmica abrupta é motivo de grande preocupação, mas os extremos contínuos de temperatura são igualmente letais. Temperaturas excessivamente elevadas, assim como as muito baixas, induzem estresse fisiológico agudo, reduzem a taxa alimentar e prejudicam a resposta imunológica. Enquanto a exposição prolongada ao frio eleva a vulnerabilidade a parasitoses e pode causar mortalidade súbita em espécies adaptadas a climas quentes (Agência Minas, 2024), o calor extremo pode desencadear eventos cardiovasculares fulminantes, como o infarto (Camargo, 2024).

A incapacidade de se adaptar rapidamente a essas variações citadas compromete funções vitais, resultando em estresse intenso, falhas metabólicas e, frequentemente, em mortalidade massiva nos plantéis (Cunha, 1994).

3.3 Efeitos do oxigênio no ambiente aquícola

A manutenção dos níveis adequados de gases dissolvidos é um dos pilares fundamentais para o sucesso da produção aquícola. Nesse contexto, a oscilação fora dos limites de conforto podem expor os organismos a duas condições críticas e distintas: a hipóxia, caracterizada pela oferta insuficiente de oxigênio para suprir as demandas metabólicas, e a supersaturação gasosa, que ocorre quando a pressão total dos gases dissolvidos excede o equilíbrio com a pressão atmosférica. Ambas as situações desencadeiam desequilíbrios fisiológicos severos que comprometem o desempenho zootécnico e a sobrevivência dos espécimes.

3.3.1 Hipóxia

A redução nas concentrações de oxigênio dissolvido (OD) no ambiente aquático figura entre as causas primárias de mortalidade em peixes. De maneira geral, valores superiores a 5,0 mg/L são considerados apropriados para a manutenção das funções fisiológicas da maioria das espécies, embora as exigências ideais variem conforme a espécie e o estágio de desenvolvimento.

Espécies como as carpas (*Cyprinus carpio*) demonstram maior resiliência, conseguindo sobreviver em concentrações próximas a 3,0 mg/L e suportar a anóxia (ausência de OD) em águas mais frias por períodos estendidos. Em contraste, peixes mais sensíveis, como as trutas (*Oncorhynchus mykiss*), demandam níveis próximos a 8,0 mg/L e exibem uma rápida diminuição de desempenho quando o OD declina. A tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*), amplamente cultivada no Brasil, tolera teores entre 2,0 e 3,0 mg/L, embora seu crescimento ideal ocorra acima de 5,0 mg/L; ressalta-se que suas larvas, assim como as de outras espécies, são notoriamente menos resistentes a baixas concentrações (Martins; Catroxo; Hipólito, 2015).

Concentrações inferiores a 2,0 mg/L configuram o quadro de hipóxia, condição que compromete rapidamente as funções vitais. A disponibilidade de OD no meio é influenciada por fatores físico-químicos, como temperatura (águas frias dissolvem mais oxigênio) e pressão atmosférica (maior altitude reduz a solubilidade). Os sinais clínicos de deficiência incluem o “boquejamento” na superfície, nado acelerado e, em estágios avançados, perda de coloração seguida pelo óbito. Entre os principais contribuintes para a queda do oxigênio estão a aeração insuficiente, o acúmulo de matéria orgânica, temperaturas elevadas e a proliferação excessiva de plantas aquáticas, sendo o manejo corretivo baseado na renovação parcial da água, intensificação da aeração, redução da densidade de estocagem e remoção de vegetação em decomposição (Martins; Catroxo; Hipólito, 2015).

3.3.2 Supersaturação e seus impactos nos peixes

A supersaturação de Gases Totais Dissolvidos (GTD) é um problema físico comum em instalações hidrelétricas e sistemas de cultivo intensivo. Gases como o oxigênio ou o nitrogênio (N₂), sendo este último o principal responsável pelos efeitos letais, podem desencadear a Doença das Bolhas Gasosas (*Gas Bubble Disease*), um distúrbio fisiológico semelhante à doença descompressiva em humanos. Esse

processo é facilitado pela combinação de alta pressão em profundidade, aeração e tempo para a dissolução das bolhas, tendo como mecanismo chave o arraste de ar atmosférico e sua dissolução sob pressão (Sado, 2009; Lu Qu *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2022).

Este distúrbio induz à manifestação de sinais clínicos variados decorrentes da embolia gasosa. As bolhas formam-se sob a epiderme (tecido subcutâneo), causando lesões que comprometem a função de barreira da pele e aumentam o risco de infecções secundárias. Internamente, a presença de bolhas na corrente circulatória pode criar coágulos gasosos (trombos), resultando em obstruções vasculares severas. Tais bolhas são observáveis em diversas superfícies mucosas e epiteliais, incluindo o revestimento da boca, as brânquias e o globo ocular, onde o acúmulo frequentemente provoca o inchaço conhecido como exoftalmia (Lutz, 1995; Urbinati; Carneiro, 2004; Sado, 2009; Pleizier *et al.*, 2022).

O aparecimento dessas manifestações pode ocorrer mesmo quando a saturação de gases excede o ponto ideal em apenas uma pequena margem, sendo que níveis acima de 125% são amplamente reconhecidos como letais para a fauna aquática. As principais causas incluem falhas mecânicas em sistemas de recirculação que injetam ar sob pressão, a descarga de água em alta energia em vertedouros de barragens e florações intensas de fitoplâncton, que elevam a produção de oxigênio durante o pico da fotossíntese (Sado, 2009; Agostinho *et al.*, 2021).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para a elaboração deste estudo de caso, inicialmente foram realizadas pesquisas em artigos científicos, trabalhos acadêmicos e publicações técnicas, com o objetivo de compreender o funcionamento do ambiente aquático e identificar possíveis causas de mortalidade massiva. Posteriormente, utilizaram-se os materiais e registros disponíveis sobre o episódio analisado, permitindo a avaliação dos fatores envolvidos e a identificação dos sinais clínicos apresentados pelos peixes.

4.1 Estudo de caso

A metodologia adotada consistiu na análise e discussão de dados retrospectivos obtidos de laudos técnicos e de informações veiculadas em canais de divulgação oficiais, permitindo uma investigação detalhada das condições ambientais e sanitárias que precederam e culminaram no evento.

4.2 Pesquisa documental

A pesquisa documental constitui uma etapa essencial da metodologia, sendo definida pela coleta e análise de dados provenientes das mais variadas fontes documentais capazes de fornecer informações qualitativas e quantitativas pertinentes ao objeto de estudo (Nascimento, Sousa, 2016).

No contexto desta análise de mortalidade massiva, a pesquisa documental foi empregada para a reconstrução detalhada do evento, baseando-se em duas categorias principais de fontes. A primeira inclui os laudos e relatórios técnicos que forneceram dados primários. A segunda categoria abrange os canais de divulgação e reportagens da mídia, utilizados como fontes secundárias para contextualizar o evento publicamente, cruzar dados com as condições climáticas predominantes e verificar as informações de manejo reportadas na época.

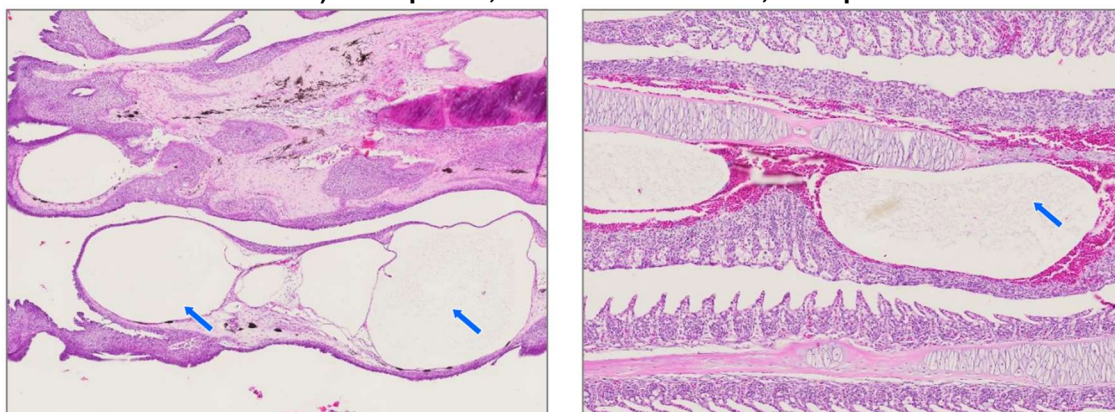
4.3 Dados Coletados

O cenário analisado envolve uma Usina Hidrelétrica de grande porte (1.078 MW) localizada no Rio Iguaçu, Paraná operando em um reservatório a fio d'água desde 1975 e certificada pelas normas ISO e OHSAS de gestão. Neste ambiente, uma piscicultura comercial de tilápias (*Oreochromis niloticus*), que iniciou suas atividades em tanques-rede em fevereiro de 2022, passou a registrar sucessivas ocorrências de

mortalidade a partir de outubro do mesmo ano. O evento de maior impacto sob análise ocorreu em outubro de 2023, resultando na perda de aproximadamente 120.516 tilápias, o que totalizou cerca de 52,8 toneladas de biomassa. Segundo canais de divulgação, foram retiradas 400 toneladas de peixes mortos ao decorrer de 10 dias após o início do ocorrido.

A inspeção clínica e as necropsias realizadas evidenciaram embolia gasosa, observada principalmente nas nadadeiras dorsal, caudal e peitoral, além de regiões adjacentes (Figura 01 e Figura 02). Cabe ressaltar que todos os registros fotográficos e cortes histológicos apresentados correspondem diretamente aos animais do evento em estudo, sendo integrantes dos laudos técnicos e das análises laboratoriais oficiais do caso (Viesba, 2023; Pathovet Labs SpA, 2023).

Figura 01 – Cortes histológicos evidenciando a presença de bolhas gasosas (espaços em branco). À esquerda, nadadeira e à direita, brânquias



Fonte: Adaptado de Viesba, 2023

Figura 02 – Sinais clínicos macroscópicos de embolia gasosa em tilápia-do-nilo. À esquerda, presença de bolhas nas nadadeiras; à direita, bolhas na língua



Fonte: Adaptado de Pathovet Labs SpA, 2023

No período que antecedeu o início da mortalidade, houve elevação do índice pluviométrico. Dados do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-PARANÁ, 2023) confirmam que o mês de outubro de 2023 foi marcado por um volume histórico de chuvas na região Sudoeste do estado, acumulando 518,8 mm. Durante esse intervalo de chuvas intensas, foi relatada a abertura de três comportas da represa sem aviso prévio à piscicultura (G1, 2023).

No dia seguinte à abertura das comportas, verificou-se alteração nos parâmetros da água, sendo registrada, em 10/10/2023, uma saturação de oxigênio de aproximadamente 132%, concomitante ao início da mortalidade tanto nos tanques-rede quanto em peixes de vida livre, incluindo espécies nativas e exóticas, localizados a cerca de 1000 metros da área de cultivo. Também foi observada variação de 1 °C na temperatura da água.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Relação entre parâmetros da água e a mortalidade

A análise dos dados do estudo de caso revela relação entre as alterações hidrológicas na represa e o subsequente desequilíbrio gasoso, culminando na mortalidade em massa. A supersaturação de gases dissolvidos constitui um fator crítico, visto que a literatura técnica estabelece que concentrações superiores a 100% de saturação podem provocar a formação de bolhas nos tecidos, comprometendo a circulação, as brânquias e a integridade cutânea dos peixes (Sado, 2009; Agostinho *et al.*, 2021).

No evento analisado, a saturação de 132% de oxigênio registrada no dia 10/10/2023, logo após a abertura das comportas, configura um nível ambientalmente perigoso, capaz de induzir o quadro de embolia gasosa observado nas necropsias. O aumento repentino da vazão hidráulica e a subsequente turbulência, causados pela abertura das comportas em um contexto de elevado índice pluviométrico, favoreceram a incorporação violenta e excessiva de gases na massa d'água. Este processo, que pode ser amplificado pela mistura abrupta de estratos térmicos (compatível com a variação de 1 °C detectada), é um mecanismo conhecido por causar a supersaturação transitória (Boyd, Tucker, 2014).

A associação entre as chuvas intensas (com acumulados que ultrapassaram 400 mm em outubro de 2023), a abertura das comportas e a supersaturação de oxigênio estabelece um nexos causal robusto para o episódio. Além disso, a mortalidade ter afetado simultaneamente os peixes dos tanques-rede e as espécies nativas localizadas a mil metros de distância reforça a hipótese de que a causa foi de natureza ambiental e não restrita a um fator de manejo intrínseco à piscicultura, tal como o excesso de matéria orgânica.

Adicionalmente, a dinâmica geográfica e o arranjo em cascata das Usinas Hidrelétricas (UHE) no Rio Iguaçu desempenharam um papel crucial na severidade deste evento. Conforme ilustra o mapeamento do percurso hídrico (Figura 03), a UHE Salto Santiago está localizada a montante (rio acima) da área de cultivo da piscicultura. A magnitude dessa estrutura, que apresenta uma barragem de 80 metros de altitude, aliada à geografia acidentada da região, potencializou o impacto das descargas hídricas.

Figura 03 – Mapeamento do percurso hídrico no reservatório de Salto Osório

Fonte: Adaptado de Google Earth, 2026

O vertedouro de Salto Santiago possui uma configuração geográfica de elevada queda bruta, com um desnível de aproximadamente 106 metros, com dissipação direta no leito do rio. Segundo a literatura científica, quedas dessa magnitude em grandes barragens geram uma injeção profunda de ar atmosférico que eleva a supersaturação de Gases Totais Dissolvidos (TDG) a valores médios de 120% a 140% (Weitkamp *et al.*, 2003; Li *et al.*, 2014). Esses índices atuam como o fator gerador da mortalidade, injetando ar atmosférico sob alta pressão nas massas de água profunda durante a abertura das comportas.

Como o processo natural de liberação desses gases em excesso para a atmosfera (desgaseificação) é altamente dinâmico e depende de fatores como turbulência, profundidade e tempo de deslocamento da água, a literatura não estabelece uma "distância ideal" absoluta para a recuperação ambiental. A distância suficiente para o restabelecimento do equilíbrio gasoso é aquela que permite um longo tempo de retenção hidráulica e uma ampla superfície de contato da água com a atmosfera (Boyd, 2015; Weitkamp *et al.*, 2003).

Neste evento, a distância de aproximadamente 61,7 km entre a descarga de Salto Santiago e os tanques-rede revelou-se insuficiente justamente pelas características morfológicas do reservatório: a presença de águas profundas e cânions estreitos atuou canalizando o fluxo e impedindo a aeração natural. Aliado à velocidade torrencial decorrente das cheias, esse cenário fez com que a pluma de água mantivesse seus níveis letais de saturação até atingir diretamente a piscicultura, muito antes que a dissipação pudesse ocorrer.

5.2 Observações registradas na literatura científica

Os achados deste estudo de caso demonstram total coerência com o que é descrito na literatura sobre os efeitos da supersaturação de gases em ambientes aquícolas. A mortalidade massiva de peixes, embora possua um impacto visual extraordinário, é um evento complexo e por vezes efêmero, que pode levar a um diagnóstico inicial incorreto, exigindo uma investigação que vá além da anóxia e inclua o excesso de gases dissolvidos (Agostinho *et al.*, 2021).

A Doença das Bolhas Gasosas é uma patologia bem documentada, frequentemente associada a distúrbios ambientais ou a falhas mecânicas que causam turbulência e injeção de ar sob pressão (Pilar *et al.*, 2017; Lutz, 1995; Pleizier *et al.*, 2022).

A manifestação clínica observada no presente caso, trauma de bolha gasosa (GBT) evidente nas nadadeiras, lesões subcutâneas e, possivelmente, obstrução vascular, é idêntica aos sinais clínicos descritos para a condição (Lutz, 1995). O acúmulo de bolhas sob a epiderme, por exemplo, compromete a função de barreira da pele, aumentando o risco de infecções secundárias (Urbinati; Carneiro, 2004).

O nível de 132% de saturação de oxigênio registrado está dentro da faixa que a literatura indica como clinicamente relevante, sendo o limite máximo de saturação de GTD estabelecido pela agência ambiental dos EUA (EPA) (Agostinho *et al.*, 2021). Boyd e Tucker (2014) destacaram que alterações abruptas na concentração de oxigênio dissolvido e na temperatura podem levar a desequilíbrios fisiológicos severos, afetando os sistemas respiratório, circulatório e osmótico dos peixes, o que é agravado pela baixa tolerância a variações térmicas abruptas, conforme destacado pela Agência Minas (2024).

A dinâmica hidráulica que resultou na supersaturação, aumento de vazão e turbulência devido à abertura das comportas, está em total consonância com os mecanismos físicos de geração de GTD supersaturado citados por Sado (2009), Politano *et al.* (2012) e Li *et al.* (2022) como responsáveis por eventos de *Gas Bubble Disease* em larga escala. A incapacidade de adaptação rápida dos peixes a essa súbita variação ambiental, conforme discutido por Cunha (1994), desencadeia um estresse fisiológico agudo, resultando na mortalidade observada.

Um ponto crucial para a compreensão da magnitude deste evento é a análise comparativa entre a mortalidade da fauna confinada e a da fauna local. Relatos de

campo e inspeções locais apontaram que a mortalidade de peixes de vida livre foi visualmente menos expressiva e pontual. Essa discrepância é explicada pela restrição espacial imposta pelos tanques-rede. Os peixes confinados não possuíam rotas de fuga para procurar águas com menores índices de saturação. Em contrapartida, os peixes de vida livre puderam adotar estratégias comportamentais de evasão, tais como a migração para a foz de rios tributários, afastando-se do canal principal e mais saturado do reservatório, ou o deslocamento para zonas mais profundas. A fuga para a profundidade atua como uma defesa física essencial: o aumento da pressão hidrostática mantém os gases dissolvidos nos tecidos, impedindo fisicamente a formação das bolhas características da doença, o que garantiu a sobrevivência da maioria desses animais (Agostinho *et al.*, 2021).

Além do impacto direto na produção dos tanques-rede, é muito importante lembrar dos peixes de vida livre no Rio Iguaçu. Essas espécies nativas são essenciais para manter o rio saudável e equilibrado. Mesmo que a mortalidade desses animais soltos tenha sido menor porque eles conseguiram fugir para o fundo, o contato com a água cheia de gases gerou um grande estresse neles. Esse estresse pode prejudicar a saúde e a reprodução desses peixes no futuro, mostrando que o dano ambiental foi muito além das perdas da piscicultura.

Dessa forma, o conjunto de evidências reforça a conclusão de que o evento analisado foi causado pela supersaturação de gases dissolvidos decorrente da operação da represa, sendo o risco diretamente proporcional à pressão total de gases (P_{TG}) na coluna d'água (Agostinho *et al.*, 2021).

5.3 Proposta de manejo preventivo

Com base na análise dos dados apresentados e na confirmação da supersaturação gasosa como causa da mortalidade, torna-se imperativa a adoção de um conjunto de medidas de manejo voltadas à mitigação do risco, alinhadas às boas práticas de aquicultura (Barcellos, 2022; Urbinati; Carneiro, 2004).

É crucial que o manejo preventivo da supersaturação seja considerado desde o projeto estrutural da usina hidrelétrica, priorizando designs de vertedouros, como o tipo *sky-jump*, que minimizam a aeração profunda e promovem a dissipação de energia, reduzindo o GTD a jusante (Politano *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2022).

Destaca-se a necessidade de monitoramento tecnológico e contínuo da qualidade da água. É fundamental o investimento na instalação de sensores de

Oxigênio Dissolvido (OD) com leitura em tempo real e de um acompanhamento multiparamétrico, que inclua a temperatura e o pH. Mais do que isso, o monitoramento deve ser aprimorado para incluir a medição da Pressão Total de Gases (P_{TG}) em campo e estendido a múltiplos pontos a jusante da barragem, registrando dados na superfície e no fundo (Agostinho *et al.*, 2021).

O OD é o parâmetro mais crítico neste caso e a implementação de um sistema de automação com alarmes e notificação automática deve ser priorizada para alertar a equipe quando a saturação ultrapassar 100%, permitindo a execução imediata de protocolos de emergência (Boyd; Tucker, 2014; Senar, 2018).

Outro ponto fundamental reside na criação de um Protocolo de Comunicação e Operação Hidrológica. Deve ser estabelecido um sistema de alerta e comunicação obrigatório e eficaz entre os piscicultores e a concessionária detentora da operação da hidrelétrica, garantindo aviso prévio antes da abertura das comportas. É crucial que essa operação ocorra de forma gradual, prevenindo a turbulência excessiva e a mistura abrupta de massas d'água que induzem a supersaturação. Alternativamente, estratégias de mitigação operacional, como a descarga da água supersaturada para áreas rasas a jusante ou a utilização de tubulações de baixa pressão (*negative pressure pipelines*), podem ser adotadas para promover a desgaseificação rápida (Lu Qu *et al.*, 2011).

Além disso, recomenda-se a realização de um planejamento hidrológico adequado que inclua análises de risco em períodos de maior precipitação e o zoneamento estratégico da área de cultivo, evitando a instalação de tanques-rede próximos a pontos de descarga hídrica (Pilar *et al.*, 2017).

Para proteção adicional, a estratégia de manejo poderia incorporar a relocação ou, se viável, o abaixamento dos tanques-rede para áreas mais profundas e distantes dos pontos de descarga. Esta ação tem potencial crucial, visto que a pressão hidrostática alivia a supersaturação e oferece refúgio à ictiofauna durante períodos de alto risco (Agostinho *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2022).

Por fim, a capacitação técnica da equipe é igualmente essencial para permitir a identificação precoce de sinais compatíveis com embolia gasosa e a execução de protocolos de resposta rápida. O uso de mapas hidrológicos, modelagens ambientais e o registro contínuo de dados históricos de OD e temperatura complementam as ações preventivas, contribuindo significativamente para a redução de novos episódios

de mortalidade e para o fortalecimento da segurança ambiental e produtiva da piscicultura.

6 CONCLUSÃO

A mortalidade massiva no estudo de caso foi causada por embolia gasosa, um distúrbio resultante da supersaturação de oxigênio. As evidências apontam para um desequilíbrio ambiental agudo provocado pela associação entre eventos climáticos e a operação da represa. A prevenção requer a implementação de monitoramento contínuo e o estabelecimento de protocolos de comunicação rigorosos, visando aumentar a segurança produtiva e a sustentabilidade do sistema de cultivo.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA MINAS. Variações climáticas podem gerar impactos na piscicultura mineira. **Agropecuária, Meio Ambiente**. Belo Horizonte: Agência Minas, 26 mar. 2024. Disponível em: <https://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticia/variacoes-climaticas-podem-gerar-impactos-na-piscicultura-mineira>. Acesso em: 20 set. 2025.
- AGOSTINHO, A. A. et al. Fish die-off in river and reservoir: A review on anoxia and gas supersaturation. **Neotrop Ichthyol**, v. 19, n. 3, e210037, 2021.
- ALBUQUERQUE, M. B. **Doenças de peixes cultivados em água doce: uma revisão**. 2022. 45 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Pesca) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA (PEIXE BR). **Anuário Peixe BR da Piscicultura 2025**. São Paulo: Peixe BR, 2025. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario-2025>. Acesso em: 07 de maio de 2026.
- AYROZA, L. M. S. **Criação de tilápia-do-nilo, *Oreochromis niloticus*, em tanques-rede, na usina hidrelétrica de Chavantes, rio Paranapanema, SP/PR**. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Centro de Aquicultura, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.
- BARCELLOS, L. J. G. **Manual de boas práticas na criação de peixes de cultivo**. 1. ed. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), 2022.
- BARROSO, M. L. G. et al. A piscicultura como fonte de proteína para atender às demandas nacionais e globais: uma revisão narrativa. **Zootecnia: Tópicos Especiais em Pesquisa**, p. 26-45, 2024.
- BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. **Water Quality for Pond Aquaculture**. Alabama: Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, 2014.
- BRITO JUNIOR, R. D. O. de. **Automação no monitoramento e controle do oxigênio dissolvido na água de um sistema de recirculação para cultivo de tilápia do Nilo**. 2023.
- BROLIO, M. P. et al. (Org.). **Práticas em Medicina Veterinária**. v. 1. 1. ed. Belo Horizonte: Poisson, 2023.
- CAMARGO, M. R. Excesso de calor causa morte de peixes no Paraná. **Pecuária: Peixe. Globo Rural**, 10 abr. 2024. Disponível em: <https://globorural.globo.com/pecuaria/peixe/noticia/2024/04/excesso-de-calor-causa-morte-de-peixes-no-parana.ghtml>. Acesso em: 20 set. 2025.
- CAVALCANTE, D. de H. **Relação dureza/alcalinidade da água e seus efeitos sobre a qualidade da água, do solo e desempenho zootécnico de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, mantidos em condições laboratoriais**. 2012.
- CODEVASF. **Manual de Criação de Peixes em Tanques-Rede**. Brasília, DF: Codevasf, 2019.

COSTA NETO, J. P. **Bases limnológicas para o manejo de tanques de cultivo de peixes**. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1990.

CUNHA, L. P. R. Efeitos da poluição em peixes. **Revista do Ministério Público**. Porto Alegre, v. 32, p. 218-229, 1994.

G1. Chuvas obrigam abertura de vertedouros de todas as usinas no Rio Iguaçu, e vazão das Cataratas aumenta 5 vezes. **G1 PR**, Foz do Iguaçu, 10 out. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/pr/oeste-sudoeste/noticia/2023/10/10/chuvas-obrigam-abertura-de-vertedouros-de-usinas-no-rio-iguacu-e-vazao-das-cataratas-aumenta-5-vezes.ghtml>. Acesso em: 10 jun. 2026.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Produção de Tilápia no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 202-?. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/tilapia/br>. Acesso em: 15 ago. 2025.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO RURAL DO PARANÁ (IDR-PARANÁ). **Boletim Agrometeorológico 34 - Outubro de 2023**. Curitiba: IDR-Paraná, 2023. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br>. Acesso em: 10 jun. 2026.

LEIRA, M. H. et al. Principais infecções bacterianas na criação de peixes de água doce do Brasil – Uma revisão. **Revista de Ciência Veterinária e Saúde Pública**, Umuarama, v. 3, n. 1, p. 44-59, set. 2016.

LI, P. et al. Production of total dissolved gas supersaturation at hydropower facilities and its transport: A review. **Water Research**, v. 223, 119012, 2022.

LIMA, F. G.; COSTA, H. C. S. da; SANTOS, J. B. dos. Parâmetros físico-químicos da água no cultivo de peixes. **Revista Agronegócio em Foco**, v. 6, n. 2, p. 76-85, 2017.

LU QU et al. Experimental study on total dissolved gas supersaturation in water. **Water Science and Engineering**, v. 4, n. 4, p. 396-404, 2011.

LUTZ, D. S. Gas Supersaturation and Gas Bubble Trauma in Fish Downstream from a Midwestern Reservoir. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 124, n. 3, p. 423-436, 1995.

MARTINS, A. M. C.; CATROXO, M. H. B.; HIPÓLITO, M. **Estresses ambientais na piscicultura**. São Paulo: Instituto Biológico, 2015.

MASTELINI, V.; NETO, M. M. Indicadores de qualidade da água para criação de tilápias-do-nilo em tanque-rede: uma revisão das práticas de análises de criação (2010–2021). **Revista Científica Multidisciplinar**, v. 3, n. 12, 2022.

NASCIMENTO, F. P. d.; SOUSA, F. L. Classificação da Pesquisa. Natureza, método ou abordagem metodológica, objetivos e procedimentos. **Metodologia da Pesquisa Científica: teoria e prática – como elaborar TCC**. Brasília: Thesaurus, 2016.

NOGA, E. J. **Fish Disease: Diagnosis and Treatment**. 2. ed. Ames: Blackwell Publishing, 2010.

PATHOVET LABS SPA. **Laudo de Anatomia Patológica nº 1422 (BR-AP-1422)**. São Jorge d'Oeste, PR. Pathovet, 2023. Documento técnico laboratorial. 2023.

PILAR, J. C. A. et al. Falhas de manejo na piscicultura intensiva: um relato de caso no Rio Grande do Sul. **Acta Veterinária Brasília**, v. 11, n. 1, p. 1-6, 2017.

PLEIZIER, N. K. et al. Does swimming activity influence gas bubble trauma in fish? **River Research and Applications**, v. 38, n. 10, p. 1774-1785, 2022.

POLITANO, M. S. et al. Evaluation of operational strategies to minimize gas supersaturation downstream of a dam. **Computers & Fluids**, v. 68, p. 168-185, 2012.

RAGHIANTE, F. et al. *Francisella* spp. em tilápias no Brasil: Uma revisão. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, Fortaleza, v. 11, n. 1, p. 119-130, 2017.

REBOUÇAS, P. M. et al. Influência da oscilação térmica na água da piscicultura. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 2, n. 2, p. 35-42, 2014.

SADO, R. Y. Aspectos sanitários em piscicultura intensiva: qualidade da água e principais enfermidades. In: UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. **Sistemas de Produção Agropecuária**. Dois Vizinhos, p. 12, 2009.

SARAIVA, K. A. **Avaliação de densidades de estocagem de alevinos da tilápia *Oreochromis niloticus* (linhagem chitralada) cultivados em gaiolas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Pesca) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2016.

SENAR. **Piscicultura: criação de tilápias em tanques-rede**. Brasília: Serviço Nacional de Aprendizagem Rural, 2018.

STIZ, E. P. de O. et al. Vantagens da produção de peixes em tanques-rede. In: **COLÓQUIO ESTADUAL DE PESQUISA MULTIDISCIPLINAR**. 2019.

STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G. **Gerenciamento da qualidade da água de represas**. v. 9. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

TATTIYAPONG, P.; DACHAVICHITLEAD, W.; SURACHETPONG, W. Experimental infection of Tilapia Lake Virus (TiLV) in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and red tilapia (*Oreochromis* spp.). **Veterinary Microbiology**, v. 207, p. 170-177, 2017.

UMMUS, M. E. et al. **Tendências da aquicultura no Brasil: um levantamento participativo**. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2025.

URBINATI, E. C.; CARNEIRO, P. C. F. Práticas de manejo e estresse dos peixes em piscicultura intensiva. In: CYRINO, J. E. P. et al. (Org.). **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**. São Paulo: TecArt, 2004. p. 171-215.

VIESBA, G. A. R. **Laudo Médico Veterinário nº 07**. São Jorge d'Oeste, PR, 25 out. 2023. Documento técnico não publicado. 2023.

WEITKAMP, D. E. et al. Gas bubble disease in resident fish of the lower Clark Fork River. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 132, n. 5, p. 865-876, 2003.

WOAH - WORLD ORGANISATION FOR ANIMAL HEALTH. Viral haemorrhagic septicaemia (VHS). Cap. 2.3.10. In: **Manual of Diagnostic Tests for Aquatic Animals 2023**.