



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PESCA
CURSO DE ENGENHARIA DE PESCA

ARTHUR BORGES TORRES

**ÁGUA SUPEROXIGENADA E PERCARBONATO DE SÓDIO COMO
ALTERNATIVAS AO PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO NA AQUICULTURA**

FORTALEZA

2021

ARTHUR BORGES TORRES

ÁGUA SUPEROXIGENADA E PERCARBONATO DE SÓDIO COMO ALTERNATIVAS
AO PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO NA AQUICULTURA

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Pesca do Departamento de Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Vinicius Carmo e Sá

Fortaleza

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- T643Á Torres, Arthur Borges.
Água superoxigenada e percarbonato de sódio como alternativas ao peróxido de hidrogênio na aquicultura / Arthur Borges Torres. – 2021.
42 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Marcelo Vinicius Carmo e Sá.
1. Aquicultura. 2. Carcinicultura. 3. Oxigenação emergencial. 4. Alcalinidade. 5. Piscicultura. I. Título.
CDD 630
-

ARTHUR BORGES TORRES

ÁGUA SUPEROXIGENADA E PERCARBONATO DE SÓDIO COMO ALTERNATIVAS
AO PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO NA AQUICULTURA.

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Pesca do Departamento de Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Pesca.

Aprovado em: __/__/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Vinicius Carmo e Sá (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.a Dr.a Elenise Gonçalves de Oliveira

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Aldeney Andrade Soares Filho

Universidade Federal do Ceará (UFC)

RESUMO

Na aquicultura, o oxigênio dissolvido é uma das moléculas mais importantes para os organismos cultivados, porém, a maior parte das tecnologias utilizam energia elétrica. Portanto, faz-se necessário buscar alternativas na ausência de tal fonte de energia. O presente trabalho teve por objetivo determinar os efeitos das aplicações de produtos alternativos para oxigenação emergencial da água, isto é, água superoxigenada quimicamente estabilizada e de produto comercial à base de percarbonato de sódio, sobre a físico-química de águas desoxigenadas. Foram constituídas duas fases. Na primeira fase, foram preenchidos 25 tanques com 100 L de água do sistema de abastecimento público. A água dos tanques foi inicialmente desoxigenada pela aplicação de 9 mg L^{-1} de sulfito de sódio p.a. e cerca de 2 g por tanques de cloreto de cobalto p.a. Quando a concentração de oxigênio dissolvido na água foi reduzida para $0,24 \pm 0,09 \text{ mg L}^{-1}$, aplicou-se os produtos de oxigenação emergencial. Cinco tratamentos, sendo dois controles e três experimentais, foram constituídos, a saber: 1 – tanques sem aplicação de nenhum produto de oxigenação emergencial; 2 – tanques com aplicação de 1,5 mL de peróxido de hidrogênio 35% p.a.; 3 – tanques com aplicação de 750 mL de água superoxigenada quimicamente estabilizada; 4 e 5 – tanques com aplicação de produto comercial à base de percarbonato de sódio, em duas dosagens. As seguintes determinações físico-químicas de qualidade de água foram realizadas a cada hora, durante 6 h de monitoramento: pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e alcalinidade total. Na segunda fase, foram preenchidos vinte e oito tanques com 100 L. Foram constituídos sete tratamentos, com quatro repetição cada, sendo, portanto: 1 – tanques sem aplicação de nenhum produto de oxigenação emergencial; 2 – tanques com aplicação de 3,0 mL de peróxido de hidrogênio 35% p.a.; 3 – um ponto de aeração mecânica; 4 – tanques com aplicação de 1,5 L de água superoxigenada quimicamente estabilizada; 4 e 5 – tanques com aplicação de produto comercial à base de percarbonato de sódio, em duas dosagens. A desoxigenação foi utilizada somente 5 mg L^{-1} de sulfito de sódio p.a. e a mesma quantidade de cloreto de cobalto p.a. Foram avaliados o pH, oxigênio dissolvido e alcalinidade total, a cada hora, durante 6 horas. O peróxido de hidrogênio e a água superoxigenada quimicamente estabilizada, na primeira fase, foram os produtos mais eficientes na incorporação de oxigênio dissolvido na água. O percarbonato de sódio, do produto comercial utilizado, demonstrou menor reatividade química quando comparado aos demais produtos testados. Na segunda fase o percarbonato de sódio com maior concentração demonstrou efeitos semelhantes à aeração mecânica e ambos foram superiores aos demais. Concluiu-se que a água superoxigenada quimicamente estabilizada é um produto para oxigenação emergencial da água.

tão eficiente quanto o peróxido de hidrogênio, mas que oferece menores riscos aos animais aquáticos e aos manipuladores e que o percarbonato de sódio em doses maiores apresentou eficiência semelhante à aeração mecânica, sendo um produto eficiente em emergências.

Palavras-chave: Aquicultura. Carcinicultura. Oxigenação Emergencial. Alcalinidade. Piscicultura.

ABSTRACT

In aquaculture, dissolved oxygen is one of the most important molecules for cultivated organisms, however, most technologies use electrical energy. Therefore, it is necessary to look for alternatives in the absence of such energy source. The present work aimed to determine the effects of the applications of alternative products for emergency oxygenation of water, that is, chemically stabilized superoxygenated water and a commercial product based on percarbonate of sodium, on the physicochemistry of deoxygenated waters. Two phases were created. In the first phase, 25 tanks were filled with 100 L of water from the public supply system. The water in the tanks was initially deoxygenated by applying 9 mg L^{-1} of sodium sulfite pa and about 2 g by cobalt chloride tanks pa When the concentration of dissolved oxygen in the water was reduced to $0.24 \pm 0.09 \text{ mg L}^{-1}$, emergency oxygenation products were applied. Five treatments, being two controls and three experimental, were constituted, namely: 1 – tanks without application of any emergency oxygenation product; 2 – tanks with application of 1.5 mL of 35% p.a. hydrogen peroxide; 3 – tanks with application of 750 mL of chemically stabilized super-oxygenated water; 4 and 5 – tanks with application of a commercial product based on sodium percarbonate, in two doses. The following physicochemical water quality determinations were carried out every hour, during 6 h of monitoring: pH, dissolved oxygen, electrical conductivity and total alkalinity. In the second phase, twenty-eight tanks with 100 L were filled. Seven treatments were constituted, with four repetitions each, therefore: 1 – tanks without application of any emergency oxygenation product; 2 – tanks with application of 3.0 mL of hydrogen peroxide 35% p.a.; 3 – a mechanical aeration point; 4 – tanks with application of 1.5 L of chemically stabilized super-oxygenated water; 4 and 5 – tanks with application of a commercial product based on sodium percarbonate, in two doses. Deoxygenation was used only 5 mg L^{-1} of sodium sulphite pa and the same amount of cobalt chloride pa. The pH, dissolved oxygen and total alkalinity were evaluated every hour for 6 hours Hydrogen peroxide and water Chemically stabilized superoxygenates, in the first phase, were the most efficient products in the incorporation of dissolved oxygen in water. Sodium percarbonate, from the commercial product used, showed less chemical reactivity when compared to the other products tested. In the second phase, sodium percarbonate with higher concentration showed similar effects to mechanical aeration and both were superior to the others. It was concluded that chemically stabilized superoxygenated water is a product for emergency oxygenation of water as efficient as hydrogen peroxide, but that it offers less risk to aquatic animals and handlers and that sodium percabonate in higher doses showed similar efficiency to aeration mechanical, being an efficient product in emergencies.

Keywords: Aquaculture. Shrimp farming. Emergency Oxygenation. Alkalinity. Pisciculture.

LISTA DE FIGURAS

<p>Figura 1 - pH ao longo do tempo na água com aplicação de nenhum produto (NAD), de 1,5 mL de peróxido de hidrogênio 35% (P35), de 750 mL de água superoxigenada quimicamente estabilizada (ASO) e de 0,02 e 0,05 g de percarbonato de sódio (OX2 e OX5) por tanque (fase 1; n = 5)</p> <p>Figura 2 – Oxigênio dissolvido, mg L⁻¹, ao longo do tempo na água com aplicação de nenhum produto (NAD), de 1,5 mL de peróxido de hidrogênio 35% (P35), de 750 mL de água superoxigenada quimicamente estabilizada (ASO) e de 0,02 e 0,05 g de percarbonato de sódio (OX2 e OX5) por tanque (fase 1; n = 5).....</p> <p>Figura 3 - Condutividade elétrica, μS cm⁻¹, ao longo do tempo na água com aplicação de nenhum produto (NAD), de 1,5 mL de peróxido de hidrogênio 35% (P35), de 750 mL de água superoxigenada quimicamente estabilizada (ASO) e de 0,02 e 0,05 g de percarbonato de sódio (OX2 e OX5) por tanque (fase 1; n = 5).....</p> <p>Figura 4 - Alcalinidade total, mg L⁻¹ de CaCO₃ eq., ao longo do tempo na água com aplicação de nenhum produto (NAD), de 1,5 mL de peróxido de hidrogênio 35% (P35), de 750 mL de água superoxigenada quimicamente estabilizada (ASO) e de 0,02 e 0,05 g de percarbonato de sódio (OX2 e OX5) por tanque (fase 1; n = 5)</p> <p>Figura 5 – pH ao longo do tempo na água com aplicação de nenhum produto (NAD), de 3,0 mL de peróxido de hidrogênio 35% (P35), de 1,5 L de água superoxigenada quimicamente estabilizada (ASO), aeração mecânica (AM) e de 0,05, 0,25 e 4,35 g de percarbonato de sódio (OX2 e OX5) por tanque (fase 2; n = 4).....</p> <p>Figura 6 – Oxigênio dissolvido da água de tanques experimentais, com aplicação de nenhum produto (NAD); 3,0 mL de peróxido de hidrogênio 35% (P35); aeração mecânica (AM); 1,5 L de água superoxigenada quimicamente estabilizada e 0,05, 0,25 e 4,35 g de percarbonato de sódio (OX5, OX25 e OX435) em cada tanque (fase 2; média ± d.p.; n = 4). Em um mesmo tempo, colunas com letras distintas representam médias significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).....</p> <p>Figura 7 – Oxigênio dissolvido, mg L⁻¹, ao longo do tempo na água com aplicação de nenhum produto (NAD), com aplicação de nenhum produto (NAD), de 3,0 mL de peróxido de hidrogênio 35% (P35), de 1,5 L de água superoxigenada quimicamente estabilizada (ASO), aeração mecânica (AM) e de 0,05, 0,25 e 4,35 g de percarbonato de sódio (OX5, OX25 e OX435) por tanque (fase 2; n = 4).....</p> <p>Figura 8 - Alcalinidade total, mg L⁻¹ de CaCO₃ eq., ao longo do tempo na água com aplicação de nenhum produto (NAD), com aplicação de nenhum produto (NAD), de 3,0 mL de peróxido</p>	<p>15</p> <p>18</p> <p>20</p> <p>22</p> <p>25</p> <p>30</p> <p>31</p>
---	---

de hidrogênio 35% (P35), de 1,5 L de água superoxigenada quimicamente estabilizada (ASO),
aeração mecânica (AM) e de 0,05, 0,25 e 4,35 g de percarbonato de sódio (OX5, OX25 e
OX435) por tanque (fase 2; n = 4).....34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Delineamento experimental da 1ª fase do trabalho	09
Tabela 2 - Delineamento experimental da 2ª fase do trabalho	11
Tabela 3 – pH da água após a aplicação de diferentes produtos para oxigenação emergencial (média ± d.p.; n = 5)	13
Tabela 4 – Concentração de oxigênio dissolvido na água, em mg L ⁻¹ , após a aplicação de diferentes produtos para oxigenação emergencial (média ± d.p.; n = 5)	15
Tabela 5 – Condutividade elétrica da água, em μS cm ⁻¹ , após a aplicação de diferentes	17
Tabela 6 – Alcalinidade total da água, em mg L ⁻¹ CaCO ₃ eq., após a aplicação de diferentes produtos para oxigenação emergencial (média ± d.p.; n = 5)	18
Tabela 7 - pH da água após a aplicação de diferentes produtos para oxigenação emergencial (média ± d.p.; n = 4)	20
Tabela 8 – Concentração de oxigênio dissolvido na água em mg L ⁻¹ da água após aplicação de diferentes produtos para oxigenação emergencial (média ± d.p.; n = 4)	23
Tabela 9 – Alcalinidade total da água, em mg L ⁻¹ CaCO ₃ eq., após a aplicação de diferentes produtos para oxigenação emergencial (média ± d.p.; n = 4)	26

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	9
2.1 1ª FASE	9
2.1.1 Delineamento experimental.....	9
2.1.2 Determinações físico-químicas.....	10
2.2 2ª FASE	10
2.2.1 Delineamento experimental.....	10
2.2.2 Determinações físico-químicas.....	12
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
3.1 1ª FASE	13
3.1.1 pH da água.....	13
3.1.2 Concentração de O ₂ dissolvido na água	15
3.1.3 Condutividade elétrica da água	18
3.1.4 Alcalinidade total da água	20
3.2 2ª FASE	22
3.2.1 pH da água.....	22
3.2.2 Concentração de O ₂ dissolvido na água	25
3.2.3 Alcalinidade total da água	31
4 CONCLUSÃO.....	34
REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

O peróxido de hidrogênio (H_2O_2) é utilizado comercialmente na aquicultura, de forma emergencial, para incorporar oxigênio dissolvido na água. Quando aplicado na água, o H_2O_2 se decompõe e libera O_2 para o meio, como pode ser visto na reação a seguir: $2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$ (ARVIN; PEDERSEN, 2015). Aplicações de peróxido de hidrogênio podem ser usadas de forma terapêutica contra parasitos de peixes, além de ter comprovada ação fungicida e bactericida (KIEMER; BLACK, 1997; BOWERS; SPEARE; BURKA, 2002; TORT *et al.*, 2008; AVENDAÑO-HERRERA *et al.*, 2006; PEDERSEN; PEDERSEN, 2012). Marathe, Huilgol e Patil (2011) demonstraram que o O_2 liberado do peróxido de hidrogênio pode ser usado na respiração de organismos aquáticos cultivados. Segundo Taylor e Ross (1988), o peróxido de hidrogênio pode ser utilizado no transporte de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, desde que seja utilizado na forma diluída. Lima *et al.* (2012) realizaram aplicações de peróxido de hidrogênio, em tanques de criação de camarão marinho (*Litopenaeus vannamei*), tendo concluído que o produto pode ser utilizado como fonte de oxigênio emergencial de O_2 , desde que sejam feitas novas aplicações a cada 2 a 3 horas.

O peróxido de hidrogênio, entretanto, tem sido utilizado de forma indiscriminada na aquicultura, trazendo, com isso, potenciais riscos para os organismos aquáticos, a saúde humana e o meio ambiente (MARTINS, 2004; SERRANO, 2005; MAXIMIANO *et al.*, 2005; WINKALER, 2008). Esse mau uso do produto promove alterações negativas na fisiologia de peixes, tais como a constrição de vasos sanguíneos, e lesiona a integridade celular (FARACI, 2006; SANABRIA; DIAMANT; ZILBERG, 2009). Roque *et al.* (2010), após exposição de juvenis de *seabass*, *Dicentrarchus labrax* a 50 mg L^{-1} de H_2O_2 , durante 1 hora, concluíram que o peróxido de hidrogênio provocou forte resposta ao estresse no organismo animal, com elevação dos níveis de cortisol plasmático, glicose, lactato, hidrominerais e proteínas do sangue. Nos sistemas baseados em bioflocos (BFT), em particular, a aplicação de H_2O_2 , mesmo em baixas dosagens, mas em longos períodos, pode oferecer riscos para a comunidade bacteriana e causar prejuízos ao equilíbrio do sistema (MØLLER; ARVIN; PEDERSEN, 2010). Em tanques BFT de aquicultura, a comunidade bacteriana é necessária para manter a qualidade de água, servindo, ainda, como fonte de alimento aos animais.

Existe, portanto, a necessidade de se buscar fontes emergenciais de O_2 , alternativas ao peróxido de hidrogênio. Com esse objetivo, Torres *et al.* (2020) produziram água superoxigenada, quimicamente estabilizada (ASO), pela aplicação de megadoses de H_2O_2 35%

p.a. em água doce e limpa. Esses autores concluíram que é possível a utilização da ASO em tanques de aquicultura, como fonte emergencial de O₂, pela aplicação de 2 mL de peróxido de hidrogênio 35%, por litro de água, e observação de um período de carência de três dias, antes do uso. O percarbonato de sódio é outra alternativa ao H₂O₂, com utilização crescente na aquicultura.

O percarbonato de sódio (2Na₂CO₃.3H₂O₂) é comercializado na forma granulada, apresenta fácil manuseio, sendo bastante utilizado em tratamentos contra parasitas de peixes. Buchmann e Kristensson (2003) avaliaram o uso do percarbonato de sódio no combate ao parasita *Gyrodactylus derjavini*, que infestavam trutas arco-íris, *Oncorhynchus mykiss*. Os peixes foram imersos em solução de percarbonato de sódio, tendo-se observado que a concentração de 80 mg L⁻¹ eliminou todos os parasitas. O percarbonato de sódio libera H₂O₂ por mais tempo e com maior persistência do que o próprio peróxido de hidrogênio puro (BUCHMANN; JENSEN; KRUSE, 2003). Além disso, o percarbonato de sódio possui menor risco de provocar acidentes. Heinecke e Buchmann (2009) concluíram que o percarbonato pode ser utilizado para prevenir infestações pelo parasita *Ichthyophthirius multifiliis*, em tanques de aquicultura. Forwood *et al.* (2014) aplicaram com sucesso o percarbonato de sódio em tanques *raceways* de trutas arco-íris infestadas por parasitas. Percebe-se, portanto, que os trabalhos realizados, até o momento, com o percarbonato de sódio em aquicultura visaram avaliar, principalmente, seu uso como desinfetante e parasiticida.

Por considerar que ainda são escassos os estudos sobre o uso da água superoxigenada e do percarbonato de sódio, em tanques de criação de peixes, na oxigenação química emergencial da água, realizou-se o presente trabalho com o objetivo de determinar os efeitos de aplicações de água superoxigenada, quimicamente estabilizada, e de produto comercial à base de percarbonato de sódio sobre a físico-química da água e de tanques de piscicultura submetidos a hipóxia artificial.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 1ª FASE

2.1.1 Delineamento experimental

A primeira fase do trabalho foi realizada no sistema *indoor* do Laboratório de Ciência e Tecnologia Aquícola – LCTA, unidade de pesquisa pertencente ao Departamento de Engenharia de Pesca, Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará (Campus do Pici, Fortaleza, Ceará). Vinte e cinco tanques circulares de polipropileno, com capacidade nominal de 100 litros, foram preenchidos com do sistema de abastecimento público. A água foi deixada em repouso por 24 horas, antes de ser desoxigenada. Para isso, foram aplicados 9 mg L⁻¹ de sulfito de sódio p.a. (Na₂SO₃) e cerca de 2 g de cloreto de cobalto p.a. (CoCl₂), em cada tanque (BOYD; TUCKER, 2012). Após 30 minutos, foi feita a leitura da concentração de O₂ dissolvido na água, tendo-se constatado que o manejo de desoxigenação havia sido bem-sucedido. A concentração inicial do O₂ na água dos tanques foi igual a 0,24 ± 0,09 mg L⁻¹. Em seguida, os diferentes produtos para oxigenação emergencial foram aplicados aos tanques.

Nesse experimento, foram constituídos dois grupos controles e três grupos experimentais, com cinco repetições cada (Tabela 1).

Tabela 1 - Delineamento experimental da 1ª fase do trabalho

Tratamento	Função	Produto para oxigenação emergencial aplicado na água	Quantidade aplicada por tanque 100 L
NAD ¹	Controle negativo	-	-
P35	Controle positivo	Peróxido de hidrogênio 35% p.a.	1,5 mL ²
ASO	Experimental	Água superoxigenada quimicamente estabilizada	750 mL ³
OX2	Experimental	OXIAQUA ⁴	0,02 g ⁵
OX5	Experimental	OXIAQUA	0,05 g ⁶

¹Aplicação de nenhum produto

²Dosagem recomendada por Lima *et al.* (2012) para uso em tanques de aquicultura (5 mL H₂O₂ m⁻³).

³ Dosagem equivalente à aplicação de 1,5 mL P35.

⁴ Escama Forte Ltda., Aracati, CE.

⁵ Dosagem mínima recomendada pelo fabricante (2 kg ha⁻¹).

⁶ Dosagem máxima recomendada pelo fabricante (5 kg ha⁻¹)

Em NAD, os tanques não receberam a aplicação de nenhum produto para oxigenação da água. Em P35, cada tanque recebeu uma aplicação de 1,5 mL de peróxido de hidrogênio 35% p.a. (Neon Comercial Ltda. Suzano, SP), que é uma solução aquosa contendo 35 mL de H₂O₂ por 100 mL. Em ASO, cada tanque recebeu 750 mL de água superoxigenada, quimicamente estabilizada. No preparo da água superoxigenada, foram aplicados 2 mL L⁻¹ de peróxido de hidrogênio 35% p.a., em água da torneira. Em seguida, foram respeitados três dias de carência, para estabilização química da água, antes do uso (TORRES *et al.*, 2020). Em OX2 e OX5, cada tanque recebeu a aplicação de 0,02 g e 0,05 g do produto comercial OXIAQUA (Escama Forte Ltda., Aracati, CE), respectivamente. O OXIAQUA contém o composto percarbonato de sódio (2Na₂CO₃.3H₂O₂) a 85%.

2.1.2 Determinações físico-químicas

O pH da água foi obtido com uso do medidor TecnoPON MPA210. A concentração de O₂ dissolvido na água foi mensurada com o auxílio do oxímetro Yellow Springs YSI55Y. A condutividade elétrica da água foi determinada com o condutímetro Instrutherm CD-850. A alcalinidade total da água foi obtida pela titulação da amostra com solução-padrão de H₂SO₄ (SÁ, 2015). As observações de qualidade de água foram realizadas antes das aplicações dos produtos e, posteriormente, a cada hora, durante 6 horas.

2.2 2ª FASE

2.2.1 Delineamento experimental

A segunda fase do trabalho também foi realizada no sistema *indoor* do Laboratório de Ciência e Tecnologia Aquícola – LCTA. Vinte e oito tanques foram preenchidos com água da torneira e a água foi deixada em repouso por 24 horas, antes de ser desoxigenada. Para isso, foram aplicados 5 mg L⁻¹ de Na₂SO₃ e cerca de 2 g de CoCl₂. Após 30 minutos, a concentração inicial do O₂ na água dos tanques havia sido reduzida para 2,41 ± 0,13 mg L⁻¹. Em seguida, aplicou-se os diferentes produtos para oxigenação emergencial da água. Nesse experimento, foram constituídos três grupos controles e quatro grupos experimentais, com quatro repetições cada (Tabela 2).

Tratamento	Função	Produto para oxigenação emergencial aplicado na água	Quantidade aplicada por tanque 100 L
¹ NAD	Controle negativo	-	-
P35	Controle positivo	Peróxido de hidrogênio 35% p.a.	3,0 mL
AM	Controle positivo	Aeração mecânica da água com difusores conectados a compressor de ar	-
ASO	Experimental	Água superoxigenada quimicamente estabilizada	1,5 L ²
OX5	Experimental	Oxiaqua ³	0,05 g
OX25	Experimental	Oxiaqua ³	0,25 g
OX435	Experimental	Oxiaqua ^{3,4}	4,35 g

¹ Aplicação de nenhum produto

² Dosagem de H₂O₂ equivalente à aplicação de 3,0 mL P35.

³ A água do tanque será misturada após a aplicação do produto. Para evitar a introdução de um fator experimental não-controlado, a água de todos os demais tanques também será misturada de igual forma.

⁴ Dosagem de H₂O₂ equivalente à aplicação de 3,0 mL P35.

Em NAD, os tanques não receberam nenhum produto para oxigenação da água. Em P35, cada tanque recebeu uma aplicação de 1,5 mL de peróxido de hidrogênio 35% p.a. (Neon Comercial Ltda., Suzano, SP), que é uma solução aquosa contendo 35 mL de H₂O₂ por 100 mL. Em AM, cada tanque recebeu uma pedra porosa e foi acionado um compressor de ar no mesmo momento em que os produtos de oxigenação emergencial foram aplicados. Em ASO, cada tanque recebeu 1,5 L de água superoxigenada quimicamente estabilizada. No preparo da água superoxigenada, foram aplicados 2 mL L⁻¹ de peróxido de hidrogênio 35% p.a., em água da torneira. Em seguida, foram respeitados três dias de carência, para estabilização química da água, antes do uso (TORRES *et al.*, 2020). Em OX5, OX25 e OX435, cada tanque recebeu a aplicação de 0,05; 0,25 g e 4,35 g do produto comercial OXIAQUA (Escama Forte Ltda., Aracati, CE), respectivamente. Ao final da terceira hora, os tratamentos que se encontrava com o oxigênio dissolvido de abaixo de 6 mg L⁻¹, receberam novas aplicações dos produtos nas mesmas quantidades iniciais, portanto, P35, ASO, OX5, e OX25 se encontravam nessa condição.

2.2.2 Determinações físico-químicas

Também foram obtidos o pH, a concentração de O₂ dissolvido na água e a alcalinidade total da água. As observações de qualidade de água foram realizadas antes das aplicações dos produtos, após 30 minutos e, posteriormente, a cada hora, durante 6 horas.

Para ambas as fases foram utilizados os seguintes testes estatísticos: para as concentrações de O₂ e alcalinidade, pH e condutividade elétrica foi aplicado análise de variância (ANOVA) unifatorial, para experimentos inteiramente casualizados, para comparar os efeitos dos diferentes produtos aplicados entre si, em um mesmo tempo. As alterações nos parâmetros físico-químico no mesmo tratamento, ao longo do tempo, foram comparadas por meio da ANOVA unifatorial para medidas repetidas. As médias foram comparadas quando apresentavam diferenças significativas pelo teste de Tukey. O nível de significância de 5% foi adotado para as duas fases. O software SigmaPlot 12.0 foi utilizado na análise estatística.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 1ª FASE

3.1.1 pH da água

Ao final das seis horas de monitoramento, o pH da água dos tanques NAD foi significativamente maior do que o observado nos demais tanques, isto é, P35, ASO, OX2 e OX5 ($p \leq 0,05$; Tabela 3). Os efeitos causados pelos diferentes produtos no pH da água não diferiram entre si ($p > 0,05$).

Tabela 3 – pH da água após a aplicação de diferentes produtos para oxigenação emergencial (média \pm d.p.; n = 5).

Tempo (h)	Tratamento ¹					P-valor
	NAD	P35	ASO	OX2	OX5	
0	7,56 \pm 0,02 BC ²	7,56 \pm 0,02	7,56 \pm 0,02 AB	7,56 \pm 0,02 A	7,56 \pm 0,03 AB	ns ³
1	7,53 \pm 0,04 Ca	7,48 \pm 0,01 b	7,49 \pm 0,02 Cab	7,51 \pm 0,0 Bab	7,51 \pm 0,00 Cab	<0,05
2	7,53 \pm 0,04 C	7,53 \pm 0,14	7,46 \pm 0,01 C	7,52 \pm 0,01 B	7,52 \pm 0,01 BC	ns
3	7,52 \pm 0,03 Ca	7,47 \pm 0,00 b	7,46 \pm 0,01 Cb	7,53 \pm 0,01 Bb	7,52 \pm 0,02 BCa	<0,001
4	7,62 \pm 0,08 BCa	7,51 \pm 0,01 b	7,53 \pm 0,01 Bb	7,55 \pm 0,01 Ab	7,54 \pm 0,02 ABb	<0,01
5	7,74 \pm 0,15 Aa	7,55 \pm 0,01 b	7,59 \pm 0,02 Ab	7,55 \pm 0,02 Ab	7,56 \pm 0,01 ABb	<0,01
6	7,65 \pm 0,08 ABa	7,53 \pm 0,00 b	7,57 \pm 0,02 Ab	7,56 \pm 0,01 Ab	7,57 \pm 0,04 Ab	<0,01
P-valor	<0,001	ns	<0,001	<0,001	<0,001	

¹ NAD: nenhum produto foi aplicado à água; P35: peróxido de hidrogênio 35% p.a.; ASO: água superoxigenada quimicamente estabilizada; OX2: Oxiaqua® 200 mg m⁻³ (Escama Forte Ltda.); OX5: Oxiaqua® 500 mg m⁻³ (Escama Forte Ltda.); ² Em uma mesma linha, médias com diferentes letras minúsculas são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (ANOVA, $p \leq 0,05$); Em uma mesma coluna, médias com diferentes letras maiúsculas são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (ANOVA, $p \leq 0,05$); Ausência de letras indica que as diferenças existentes entre as médias não são significativas (ANOVA, $p > 0,05$). ³ Não significativo ($p > 0,05$).

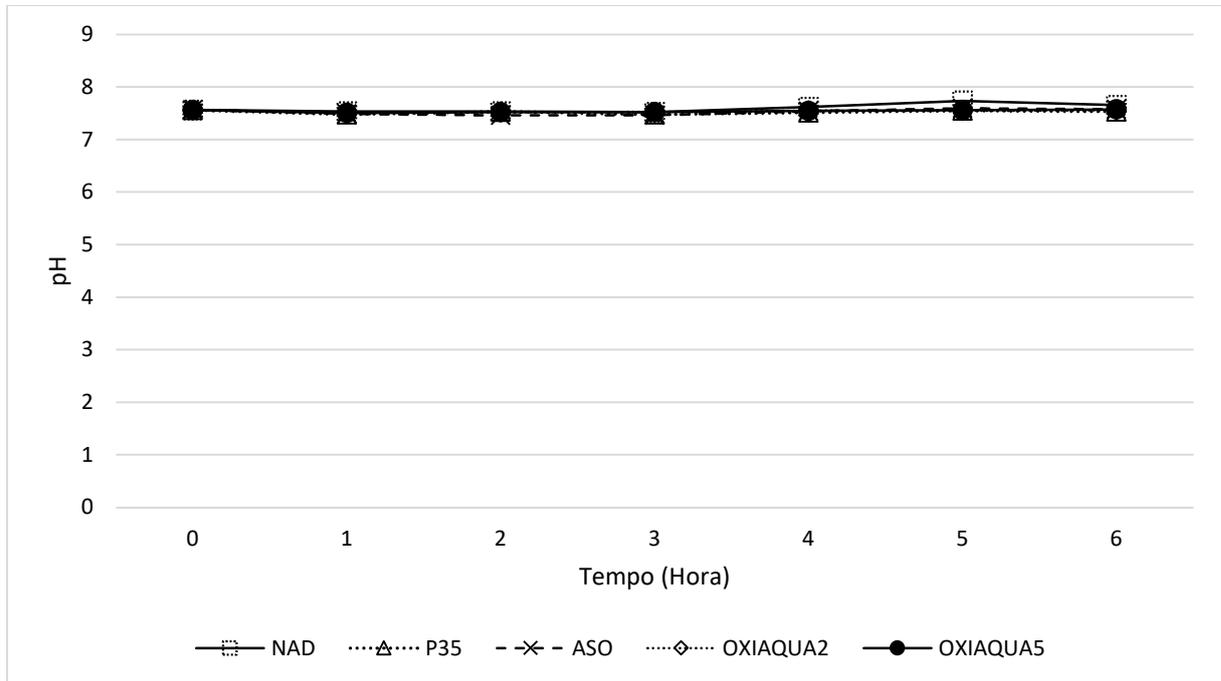
Antes da aplicação dos produtos, o pH da água se encontrava levemente alcalino, em torno de 7,5 (Tabela 3). Uma hora após a aplicação, o pH da água apresentou uma pequena, mas significativa redução, nos tanques ASO, OX2 e OX5. Nesse intervalo, o pH da água não foi afetado nos tanques NAD e P35. Na segunda hora após a aplicação, o pH da água

permaneceu sem alterações significativas nos tanques NAD, P35, ASO e OX2, mas se elevou levemente em OX5. Na terceira hora após a aplicação, o pH da água não sofreu alterações significativas em nenhum dos tanques. Na quarta hora após a aplicação, o pH da água se elevou ($p \leq 0,05$) em todos os tanques, exceto em P35, que permaneceu praticamente inalterado. Na quinta hora após a aplicação, o pH da água voltou a se elevar de modo significativo em NAD e ASO, permanecendo inalterado ou com alterações insignificantes nos demais tanques. Na sexta hora após a aplicação, o pH da água permaneceu estável em todos os tanques, tendo como referência a hora anterior.

A aplicação de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) causou leve, mas significativa, acidificação da água. O peróxido de hidrogênio quando não diluído é um produto fortemente ácido. König *et al.* (2020) aplicaram peróxido de hidrogênio, na concentração de $0,01 \text{ mL L}^{-1}$, e observaram seus efeitos após 12, 24 e 48 horas da aplicação. Esses autores verificaram uma redução inicial no pH da água, mas que logo retornou ao patamar inicial. Por outro lado, Lima *et al.* (2012), ao aplicarem H_2O_2 em tanques de cultivo de camarão, não observaram nenhuma alteração no pH da água. De igual forma, Furtado *et al.* (2014); Pedersen e Pedersen (2012) também não constataram modificações no pH da água, em diversas dosagens de aplicação de H_2O_2 . Torres *et al.* (2020) prepararam água superoxigenada quimicamente estabilizada (ASO), que utilizaram 2 e 4 mg L^{-1} de peróxido de hidrogênio. Esses autores, de modo semelhante ao encontrado no presente trabalho, observaram leve, mas evidente redução no pH da água, em comparação com o controle experimental.

Os tanques do presente trabalho que receberam aplicações de percarbonato de cálcio não apresentaram variações significativas no pH da água, que se manteve praticamente constante. Taylor *et al.* (2021) submeteram juvenis de salmão do atlântico ao percarbonato de sódio, em água doce, nas concentrações 100, 500 e 1000 mg L^{-1} . Esses autores observaram uma elevação rápida no pH da água durante todo o banho. Thoo, Siuda e Jasser (2020) também aplicaram o percarbonato de sódio, na concentração de 300 mg L^{-1} , tendo notado um aumento no pH da água de 8,1 para 9,7.

Figura 1 - pH ao longo do tempo na água com aplicação de nenhum produto (NAD), de 1,5 mL de peróxido de hidrogênio 35% (P35), de 750 mL de água superoxigenada quimicamente estabilizada (ASO) e de 0,02 e 0,05 g de percarbonato de sódio (OX2 e OX5) por tanque (fase 1; n = 5)



3.1.2 Concentração de O₂ dissolvido na água

Após as seis horas de monitoramento, as concentrações de O₂ nos tanques P35 e ASO eram estatisticamente maiores às que foram observadas nos demais tanques, isto é, NAD, OX2 e OX5, que não diferiram entre si ao final do tempo observado ($p \leq 0,05$; Tabela 4).

Tabela 4 – Concentração de oxigênio dissolvido na água, em mg L⁻¹, após a aplicação de diferentes produtos para oxigenação emergencial (média ± d.p.; n = 5).

Tempo (h)	Tratamento ¹					P-valor
	NAD	P35	ASO	OX2	OX5	
0	0,26 ± 0,05 F ²	0,25 ± 0,10 G	0,25 ± 0,12 G	0,27 ± 0,13 G	0,19 ± 0,07 G	ns ³
1	0,67 ± 0,17 Ebc	0,88 ± 01 Fab	0,98 ± 0,14 Fa	0,60 ± 0,11 Fc	0,52 ± 0,07 Fc	<0,001
2	0,86 ± 0,07 Db	1,19 ± 0,51 Ea	1,23 ± 0,44 Ea	0,89 ± 0,10 Eb	0,82 ± 0,11 Eb	<0,001
3	1,07 ± 0,11 Cb	1,75 ± 0,12 Da	1,78 ± 0,21 Da	1,09 ± 0,10 Db	1,04 ± 0,11 Db	<0,001
4	1,31 ± 0,12 Bb	2,10 ± 0,14 Ca	2,10 ± 0,20 Ca	1,34 ± 0,10 Cb	1,28 ± 0,11 Cb	<0,001
5	1,50 ± 0,12 Ab	2,40 ± 0,15 Ba	2,39 ± 0,19 Ba	1,52 ± 0,10 Bb	1,49 ± 0,10 Bb	<0,001

6	$1,70 \pm 0,09$ Ab	$2,45 \pm 0,46$ Aa	$2,41 \pm 0,55$ Aa	$1,66 \pm 0,14$ Ab	$1,95 \pm 0,51$ Ab	<0,001
P-valor	<0,001	<0,001	<0,05	<0,001	<0,05	

¹ NAD: nenhum produto foi aplicado à água; P35: peróxido de hidrogênio 35% p.a.; ASO: água superoxigenada quimicamente estabilizada; OX2: Oxiaqua® 200 mg m⁻³ (Escama Forte Ltda.); OX5: Oxiaqua® 500 mg m⁻³ (Escama Forte Ltda.); ² Em uma mesma linha, médias com diferentes letras minúsculas são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (ANOVA, $p \leq 0,05$) Em uma mesma coluna, médias com diferentes letras maiúsculas são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (ANOVA, $p \leq 0,05$) Ausência de letras indica que as diferenças existentes entre as médias não são significativas (ANOVA, $p > 0,05$). ³ Não significativo ($p > 0,05$).

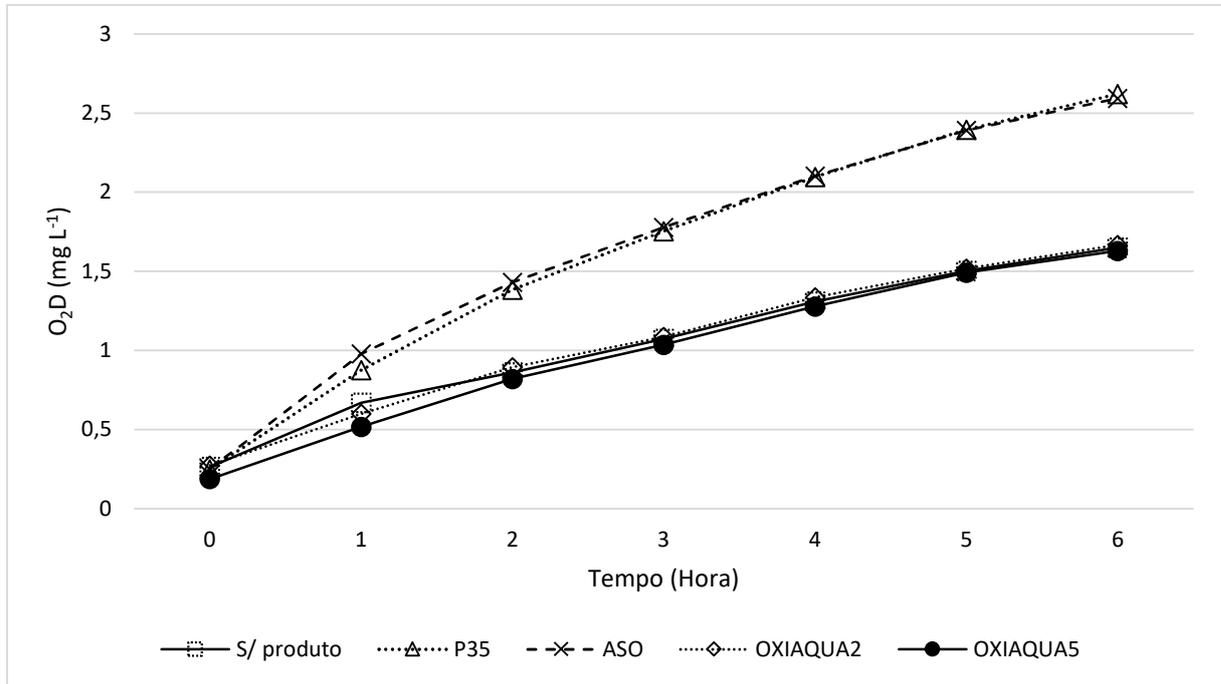
Antes da aplicação dos produtos, o oxigênio dissolvido se encontrava em torno de 0,24 mg/L (Tabela 4). Uma hora após a aplicação, o oxigênio dissolvido apresentou um aumento em todos os tratamentos, diferindo das suas respectivas horas anteriores, sendo os tanques ASO os maiores aumentos e diferindo dos tanques NAD, OX2 e OX5, mas semelhante ao P35, que foi diferente dos tratamentos OX2 e OX5 e semelhante ao tratamento NAD ($p \leq 0,05$). Na segunda hora após a aplicação, as concentrações de oxigênio dissolvido tiveram um aumento significativo em relação à respectiva hora anterior em todos os tratamentos, sendo o P35 e ASO as maiores médias, não diferindo entre si, porém diferentes do NAD, OX2 e OX5, esses entre si não foram diferentes estatisticamente ($p \leq 0,05$). Na terceira, quarta e quinta hora após a aplicação, as concentrações de oxigênio dissolvido apresentaram o mesmo comportamento, todos os tratamentos tiveram um aumento significativo em relação à sua respectiva hora anterior, tendo o P35 e ASO as maiores médias, diferindo dos outros tratamentos, que entre si, não tiveram diferença ($p \leq 0,05$). Na sexta hora após a aplicação, todos os tratamentos apresentaram diferença significativa em relação a hora anterior, com exceção ao NAD, que entre as horas cinco e seis não apresentou diferença significativa e P35 e ASO com maiores médias diferiram dos outros tratamentos ($p \leq 0,05$).

Pedersen e Pedersen (2012) aplicaram H₂O₂ 35% em biofiltro, na concentração de 64 mg L⁻¹, tendo um pico de O₂ acima de 14 mg L⁻¹. Lima *et al.* (2012), após aplicação do H₂O₂ na água, relataram picos nas concentrações de O₂, uma hora após a aplicação, com incremento de 1,2 mg L⁻¹. Notaram também que às 6 h da manhã, duas horas após a aplicação do H₂O₂, o O₂ superava os tanques sem o produto em 2,2 mg L⁻¹. Bögner *et al.* (2021) aplicaram um fluxo contínuo de H₂O₂ de 200 mL h⁻¹, que correspondeu a 15,8 mg L⁻¹, tendo observado uma saturação de 101,7%, após 150 minutos. Furtado *et al.* (2014), após a aplicação do H₂O₂ na água, observaram concentrações de O₂ acima de 20 mg L⁻¹ e a formação de bolhas de gás em todas as paredes dos tanques. König *et al.* (2020) simularam o mal funcionamento de aeradores elétricos em tanques de aquicultura, tendo aplicado uma dose inicial de 0,01 mL H₂O₂ L⁻¹ e, em

seguida, sempre que necessário para manter o O_2 acima de $4,5 \text{ mg L}^{-1}$. Esses autores concluíram que o peróxido de hidrogênio pode ser utilizado como fonte emergencial de O_2 em tanques de camarão. Torres *et al.* (2020) aplicaram 2 mg L^{-1} de peróxido de hidrogênio em água doce, a fim de produzir água quimicamente estabilizada (ASO). Esses autores obtiveram concentrações de O_2 de $11,8 \text{ mg L}^{-1}$, em galões hermeticamente fechados, após 3 dias da aplicação, momento a partir do qual a ASO estava segura para o uso emergencial em aquicultura.

Os tanques que receberam as aplicações de ASO e de peróxido de hidrogênio não diferiram entre si para O_2 , mas apresentaram incrementos de O_2 superiores aos observados nos tanques com percarbonato de sódio. Isso se deveu, provavelmente, às baixas taxa de aplicação de percarbonato de sódio ($0,02$ e $0,05 \text{ g } 100\text{L}^{-1}$), que foram empregadas no presente trabalho. O produto comercial Oxiaqua® tem 85% de $2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_2$ na sua composição. Dessa concentração, somente 27,5% corresponde ao peróxido de hidrogênio. Logo, as dosagens de aplicação no presente trabalho foram iguais a apenas $0,004$ e $0,01 \text{ g } 100\text{L}^{-1}$ de H_2O_2 . Essas dosagens foram, portanto, muito baixas, sem eficácia na incorporação de O_2 na água. Forwood *et al.* (2014) obtiveram resultados bem mais expressivos com a aplicação do percarbonato de sódio, tendo obtido um pico de $26,5 \text{ mg} \cdot \text{O}_2 \text{ L}^{-1}$. Esses autores aplicaram $6,5 \text{ g } 100\text{L}^{-1}$ de percarbonato de sódio em tanques *raceways*, ou seja, 130 vezes mais que no presente trabalho. Forwood *et al.* atribuíram esse resultado à oxidação da matéria orgânica pelo H_2O_2 presente no percarbonato, que libera O_2 para água. Taylor *et al.* (2021), utilizando o percarbonato de sódio com 27% de H_2O_2 , obtiveram saturação de O_2 de 113%, após a aplicação do produto.

Figura 2 – Oxigênio dissolvido, mg L^{-1} , ao longo do tempo na água com aplicação de nenhum produto (NAD), de 1,5 mL de peróxido de hidrogênio 35% (P35), de 750 mL de água superoxigenada quimicamente estabilizada (ASO) e de 0,02 e 0,05 g de percarbonato de sódio (OX2 e OX5) por tanque (fase 1; $n = 5$)



3.1.3 Condutividade elétrica da água

Ao final das seis horas, a condutividade elétrica não foi significativamente diferente entre os tratamentos ($p > 0,05$). Os efeitos causados pelos diferentes produtos na condutividade elétrica da água não diferiram entre si ($p > 0,05$; Tabela 5).

Tabela 5 – Condutividade elétrica da água, em $\mu\text{S cm}^{-1}$, após a aplicação de diferentes produtos para oxigenação emergencial (média \pm d.p.; $n = 5$).

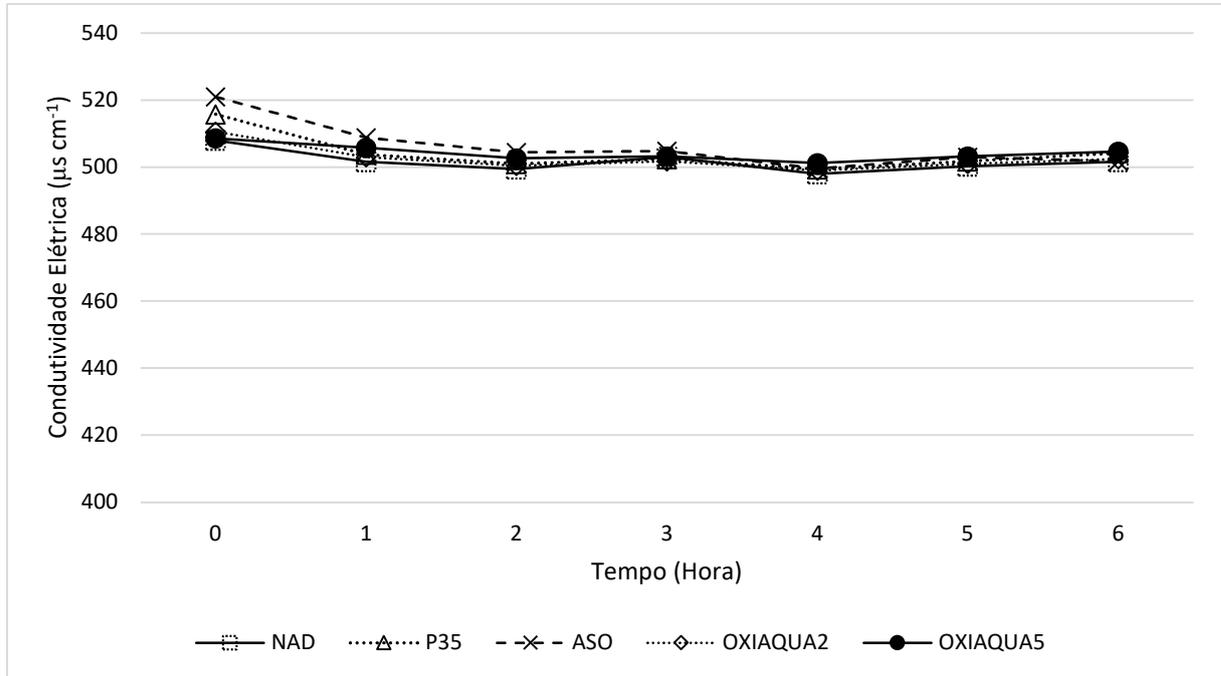
Tempo (h)	Tratamento ¹					P-valor
	NAD	P35	ASO	OX2	OX5	
0	501 \pm 5,4 AB ²	503 \pm 5,9	508 \pm 14,2 AB	503 \pm 5,4	505 \pm 9,0 AB	ns ³
1	499 \pm 3,4 AB	501 \pm 4,4	504 \pm 11,1 AB	500 \pm 3,5	502 \pm 6,2 AB	ns
2	503 \pm 2,1 A	502 \pm 3,9	504 \pm 5,5 AB	501 \pm 3,1	503 \pm 4,4 AB	ns
3	498 \pm 2,8 B	499 \pm 3,2	499 \pm 4,1 B	499 \pm 3,0	501 \pm 2,8 B	ns
4	500 \pm 2,8 AB	501 \pm 2,5	503 \pm 7,5 AB	501 \pm 3,6	503 \pm 3,7 AB	ns
5	501 \pm 3,1 AB	504 \pm 1,8	501 \pm 4,9 B	502 \pm 3,6	504 \pm 3,0 AB	ns
6	501 \pm 5,4 AB	503 \pm 5,9	508 \pm 14,2 AB	503 \pm 5,4	505 \pm 9,0 AB	ns
P-valor	<0,001	ns	<0,05	ns	<0,05	

¹ NAD: nenhum produto foi aplicado à água; P35: peróxido de hidrogênio 35% p.a.; ASO: água superoxigenada quimicamente estabilizada; OX2: Oxiaqua® 200 mg m⁻³ (Escama Forte Ltda.); OX5: Oxiaqua® 500 mg m⁻³ (Escama Forte Ltda.); ² Em uma mesma linha, médias com diferentes letras minúsculas são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (ANOVA, $p \leq 0,05$); Em uma mesma coluna, médias com diferentes letras maiúsculas são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (ANOVA, $p \leq 0,05$). Ausência de letras indica que as diferenças existentes entre as médias não são significativas (ANOVA, $p > 0,05$). ³ Não significativo ($p > 0,05$).

Antes da aplicação dos produtos, a condutividade elétrica se encontrava em torno de 504 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (Tabela 5). Após uma hora de aplicação, não houve alterações significativas em relação à hora anterior. Após duas horas de aplicação, os tanques permaneceram inalterados, com exceção dos tanques NAD, que teve um leve aumento, porém não significativo. Após três horas de aplicação, os tanques NAD apresentaram uma redução significativa e os tanques ASO e OX5 tiveram uma leve redução não significativa. Após quatro horas, os tratamentos NAD, ASO e OX5 apresentaram um aumento sutil, mas não diferiram da hora anterior. Cinco e seis horas após a aplicação, somente os tanques ASO apresentaram uma redução e um aumento, respectivamente.

A condutividade elétrica (CE) da água não foi influenciada pela aplicação dos diferentes produtos. Affonso *et al.* (2009) encontraram resultados de CE semelhantes aos do presente trabalho, após a aplicação de peróxido de hidrogênio. Torres *et al.* (2020) também não relataram diferenças relevante na CE da água, durante o processo de produção da ASO. Mesmo havendo a liberação de íons sódio Na^+ pela dissolução de percarbonato de sódio, a CE da água não se alterou ao longo do tempo. Isso sugere que a CE não é um bom indicador experimental para avaliar a eficiência de compostos químicos para oxigenação emergencial da água.

Figura 3 - Condutividade elétrica, $\mu\text{S cm}^{-1}$, ao longo do tempo na água com aplicação de nenhum produto (NAD), de 1,5 mL de peróxido de hidrogênio 35% (P35), de 750 mL de água superoxigenada quimicamente estabilizada (ASO) e de 0,02 e 0,05 g de percarbonato de sódio (OX2 e OX5) por tanque (fase I; n = 5)



3.1.4 Alcalinidade total da água

Ao final das seis horas, a alcalinidade total não diferiu entre os tratamentos. Os efeitos causados pelos diferentes produtos na alcalinidade total da água não diferiram entre si ($p > 0,05$; Tabela 6).

Tabela 6 – Alcalinidade total da água, em $\text{mg L}^{-1} \text{CaCO}_3 \text{ eq.}$, após a aplicação de diferentes produtos para oxigenação emergencial (média \pm d.p.; n = 5).

Tempo (h)	Tratamento ¹					P-valor
	NAD	P35	ASO	OX2	OX5	
0	68,3 \pm 5,2 AB ²	70,3 \pm 1,5 A	68,4 \pm 2,0	67,5 \pm 5,5 AB	69,6 \pm 2,2	ns ³
1	63,6 \pm 3,4 B	64,4 \pm 3,6 B	66,8 \pm 0,8	63,8 \pm 3,6 B	65,7 \pm 2,2	ns
2	68,3 \pm 2,6 AB	69,4 \pm 2,4 A	68,4 \pm 2,7	69,2 \pm 2,6 AB	67,9 \pm 2,5	ns
3	67,2 \pm 2,7 AB	68,3 \pm 2,0 AB	69,2 \pm 2,0	66,6 \pm 2,4 AB	67,7 \pm 2,0	ns
4	67,3 \pm 2,4 AB	67,5 \pm 2,3 AB	67,0 \pm 1,7	67,5 \pm 2,4 AB	66,4 \pm 1,9	ns
5	70,3 \pm 1,1 A	69,4 \pm 1,8 A	69,2 \pm 1,8	70,7 \pm 1,4 A	69,2 \pm 1,8	ns
6	67,0 \pm 1,4 AB	67,2 \pm 1,4 AB	68,3 \pm 1,2	67,2 \pm 1,4 AB	67,9 \pm 1,4	ns

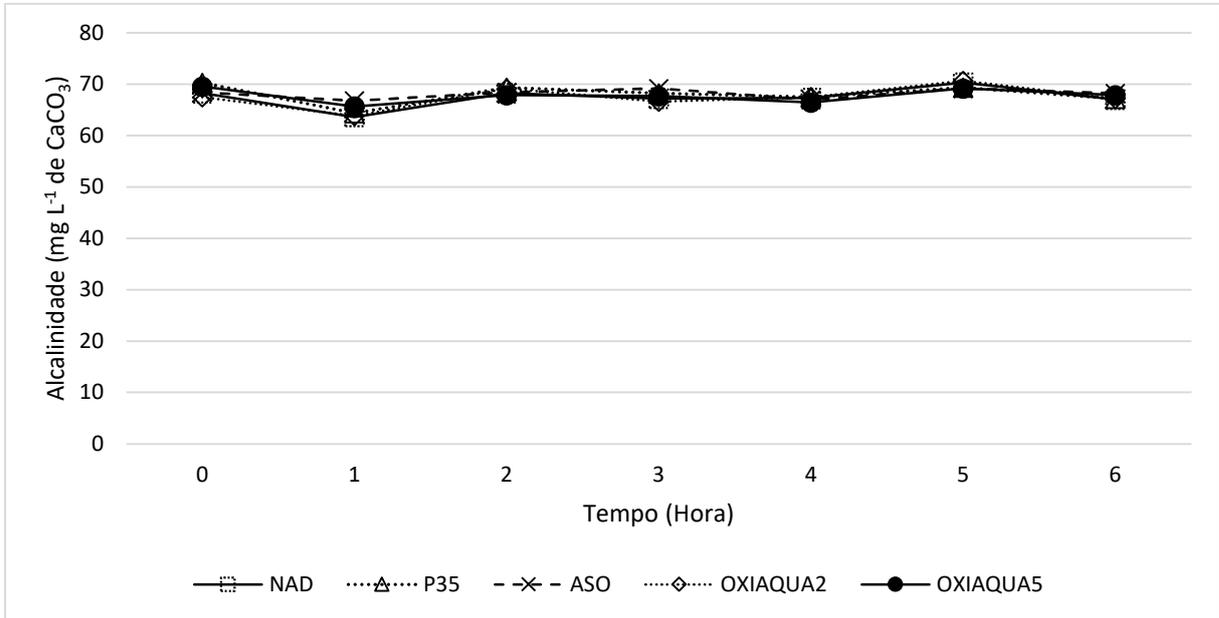
P-valor	<0,001	<0,001	ns	<0,001	ns
---------	--------	--------	----	--------	----

¹ NAD: nenhum produto foi aplicado à água; P35: peróxido de hidrogênio 35% p.a.; ASO: água superoxigenada quimicamente estabilizada; OX2: Oxiaqua® 200 mg m⁻³ (Escama Forte Ltda.); OX5: Oxiaqua® 500 mg m⁻³ (Escama Forte Ltda.); ² Em uma mesma linha, médias com diferentes letras minúsculas são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (ANOVA, $p \leq 0,05$); Em uma mesma coluna, médias com diferentes letras maiúsculas são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (ANOVA, $p \leq 0,05$). Ausência de letras indica que as diferenças existentes entre as médias não são significativas (ANOVA, $p > 0,05$). ³ Não significativo ($p > 0,05$).

Antes da aplicação dos produtos, a alcalinidade total se encontrava em torno de 68,82 mg L⁻¹ CaCO₃ eq. (Tabela 6). Após uma hora de aplicação, a alcalinidade total permaneceu sem alterações significativas, com exceção os tanques P35, que apresentou uma redução significativa ($p < 0,05$). Depois de duas horas, permaneceu sem mudanças na alcalinidade, com exceção dos tanques P35, que apresentou um aumento significativo em relação a hora anterior, porém, não foi diferente estatisticamente em relação à hora zero. Nas horas três e quatro após a aplicação, os tanques permaneceram com as mesmas alcalinidades da hora anterior. Com cinco horas de aplicação, a alcalinidade apresentou um aumento sutil e não significativo nos tanques NAD, P35 e OX2 e nos demais, não houve nenhuma diferença com as horas anteriores. Seis horas após a aplicação, a alcalinidade não apresentou mudanças relevantes em relação à hora cinco.

Dos produtos testados, o peróxido de hidrogênio foi o único que reduziu de modo significativo a alcalinidade da água logo após a sua aplicação. Como a alcalinidade confere poder tampão à água, águas de baixa alcalinidade sofrem maiores alterações de pH ao longo do dia. Peixes submetidos a frequentes mudanças de pH da água podem ter seu crescimento prejudicado (NTENGWE; EDEMA, 2008) por distúrbios causados no seu equilíbrio ácido-base (BOYD; TUCKER; SOMRIDHIVEJ, 2016). O percarbonato de sódio, ao ser aplicado na água, decompõe-se da seguinte forma: $2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 3\text{H}_2\text{O}_2 + 4\text{Na}^+ + 2\text{CO}_3^{2-}$ (SINHA; EGGLETON; LOCHMANN, 2018). Os carbonatos produzidos elevam a alcalinidade da água, podendo ou não aumentar o pH, a depender da capacidade tampão do meio (MASSACHUSETTS DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION, 2010). Thoo, Siuda e Jasser (2020) encontraram esse aumento no pH da água após a aplicação do percarbonato de sódio. Taylor *et al.* (2021) constataram que quanto maiores as aplicações de percarbonato de sódio na água, maiores serão as concentrações de alcalinidade.

Figura 4 - Alcalinidade total, mg L^{-1} de CaCO_3 eq., ao longo do tempo na água com aplicação de nenhum produto (NAD), de 1,5 mL de peróxido de hidrogênio 35% (P35), de 750 mL de água superoxigenada quimicamente estabilizada (ASO) e de 0,02 e 0,05 g de percarbonato de sódio (OX2 e OX5) por tanque (fase 1; $n = 5$)



3.2 2ª FASE

3.2.1 pH da água

Após a sexta hora de monitoramento, o pH da água estava maior em OX435 do que nos demais tratamentos ($p \leq 0,05$; Tabela 7). A aeração mecânica (AM) e a aplicação do produto Oxiaqua®, na concentração 2500 mg/m^3 (OX25), resultaram na segunda e terceira maiores médias de pH da água, respectivamente, tendo diferido entre si e dos demais. Os tratamentos NAD, P35, ASO e OX5 não diferiram entre si para pH da água, após 6 h das aplicações dos produtos.

Tabela 7 - pH da água após a aplicação de diferentes produtos para oxigenação emergencial (média ± d.p.; n = 4).

Tempo	Tratamento ¹							P-valor
	NAD	P35	AM	ASO	OX5	OX25	OX435	
0h	7,17 ± 0,08 C ²	7,25 ± 0,02 C	7,26 ± 0,03 Db	7,25 ± 0,04 E	7,25 ± 0,01 E	7,26 ± 0,03 E	7,23 ± 0,05 B	ns ³
0,5h	7,23 ± 0,06 BCd	7,28 ± 0,01 Ccd	7,79 ± 0,03 Cb	7,30 ± 0,03 CDcd	7,31 ± 0,03 Dc	7,35 ± 0,04 CDc	8,94 ± 0,04 Aa	<0,001
1h	7,33 ± 0,05 Bc	7,28 ± 0,01 Cc	7,81 ± 0,07 BCb	7,29 ± 0,02 DEc	7,28 ± 0,02 Ec	7,33 ± 0,02 BCc	8,93 ± 0,03 Aa	<0,001
2h	7,50 ± 0,08 Ac	7,38 ± 0,03 Ad	7,95 ± 0,04 ABb	7,35 ± 0,04 Bd	7,36 ± 0,01 BCd	7,40 ± 0,01 Ad	8,93 ± 0,01 Aa	<0,001
3h	7,56 ± 0,08 Abc	7,43 ± 0,04 Ac	7,96 ± 0,07 Ab	7,40 ± 0,02 Ac	7,39 ± 0,01 Ac	7,43 ± 0,01 Ac	8,93 ± 0,02 Aa	<0,001
4h	7,31 ± 0,03 BCd	7,30 ± 0,01 Cd	8,04 ± 0,03 Ab	7,33 ± 0,02 BCd	7,39 ± 0,01 ABCc	7,45 ± 0,02 Ac	8,90 ± 0,04 Aa	<0,001
5h	7,35 ± 0,02 Bd	7,36 ± 0,07 Ad	7,97 ± 0,06 Ab	7,37 ± 0,02 Ad	7,38 ± 0,02 ABcd	7,46 ± 0,03 Ac	8,90 ± 0,02 Aa	<0,001
6h	7,29 ± 0,01 BCd	7,31 ± 0,03 Bd	7,95 ± 0,03 ABb	7,33 ± 0,03 BCd	7,34 ± 0,02 Cd	7,44 ± 0,03 Ac	8,92 ± 0,01 Aa	<0,001
P-valor	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	

¹ NAD: nenhum produto foi aplicado à água; P35: peróxido de hidrogênio 35% p.a.; AM: aeração mecânica; ASO: água superoxigenada quimicamente estabilizada; OX5: Oxiaqua® 500 mg m⁻³ (Escama Forte Ltda.); OX25: Oxiaqua® 2500 mg m⁻³ (Escama Forte Ltda.); OX435: Oxiaqua® 43500 mg m⁻³ (Escama Forte Ltda.); ² Em uma mesma linha, médias com diferentes letras minúsculas são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (ANOVA, $p \leq 0,05$); Em uma mesma coluna, médias com diferentes letras maiúsculas são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (ANOVA, $p \leq 0,05$). Ausência de letras indica que as diferenças existentes entre as médias não são significativas (ANOVA, $p > 0,05$). ³ Não significativo ($p > 0,05$).

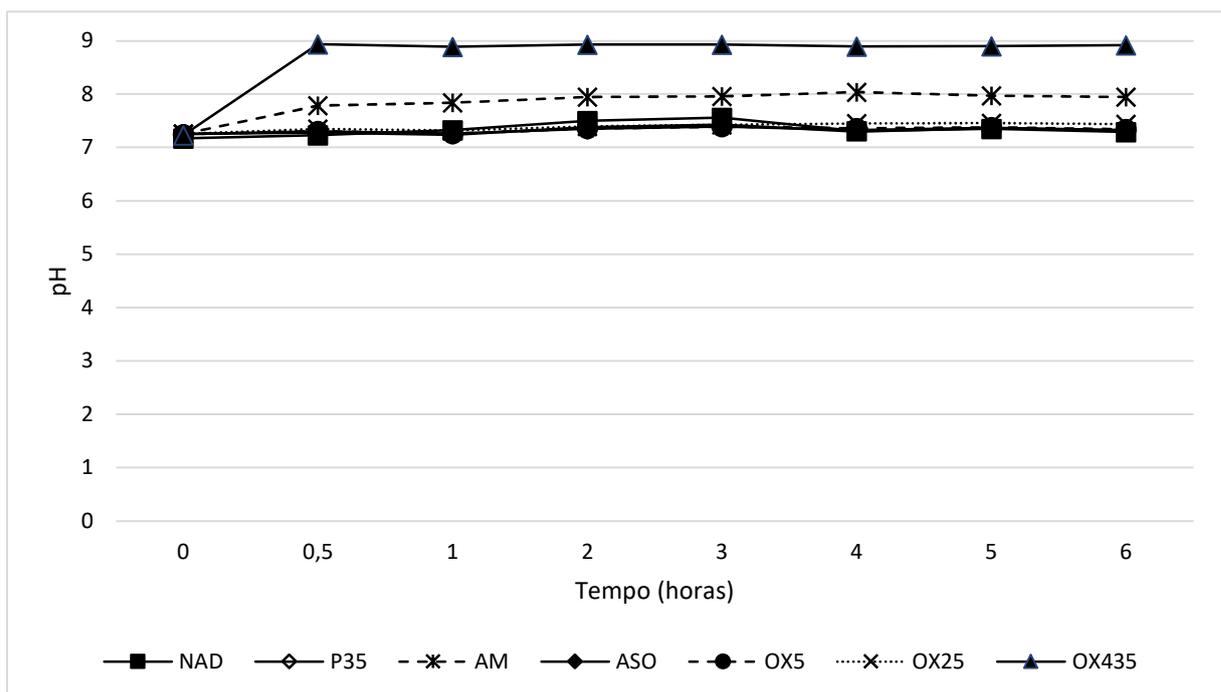
Antes da aplicação dos produtos, o pH da água se encontrava levemente alcalino, em torno de 7,23 (Tabela 7). Trinta minutos após a aplicação, os tratamentos AM, ASO, OX5, OX25 e OX435 apresentaram um aumento significativo no pH da água. Os tanques NAD apresentaram um aumento de pH, mas não significativo. Em P35, o pH da água permaneceu inalterado nesse mesmo intervalo de tempo. Os tanques NAD, P35 e ASO não diferiram entre si para pH da água. P35 e ASO também não apresentaram diferenças para pH da água, em relação a OX5 e OX25. A partir desse período, até o final das seis horas, OX435 não apresentou mais variação no pH da água, tornando-se estável e diferindo de todos os outros tratamentos. Os tanques AM apresentaram a segunda maior média, tendo diferido de todos os outros ($p \leq 0,05$).

Uma hora após a aplicação, NAD, AM, ASO e OX25 apresentaram uma leve e insignificante queda no pH da água; P35 permaneceu com pH inalterado. OX435 apresentou as maiores médias de pH, seguido por AM, ambos tratamentos diferindo entre si e dos demais ($p \leq 0,05$). Na segunda hora após a aplicação, somente OX435 manteve os mesmos valores de pH da água. Os demais tratamentos exibiram aumentos significativos de pH. AM apresentou a segunda maior média de pH, que diferiu dos demais. Os outros tratamentos não apresentaram diferenças entre si para pH da água ($p > 0,05$). Após três horas de aplicação dos produtos, ASO e OX5 foram os únicos tratamentos que evidenciaram diferenças de pH da água em relação ao período anterior. AM e NAD não diferiram estatisticamente entre si para pH da água. NAD não diferiu de P35, ASO, OX5 e OX25, que apresentaram as menores médias de pH ($p < 0,05$). Após quatro horas das aplicações, NAD, P35 e ASO apresentaram reduções significativas no pH da água, mas não diferiram entre si. OX435, AM e OX25 exibiram as maiores médias de pH da água, respectivamente, tendo diferido entre si ($p \leq 0,05$). Após cinco horas de aplicação, somente P35 e ASO apresentaram uma diferença significativa para o pH da água, em comparação com o período anterior. Esses tratamentos exibiram aumento no pH da água após a aplicação. OX435 e AM se comportaram de modo semelhante ao descrito na fase anterior ($p \leq 0,05$). Na sexta hora após a aplicação, P35, ASO e OX5 apresentaram uma redução significativa no pH da água. P35 e ASO, juntamente com NAD e OX5, não diferiram entre si, apresentando os menores valores médios de pH. Já OX435, AM e OX25 exibiram as maiores médias de pH, em ordem decrescente, tendo diferido entre si ($p \leq 0,05$).

A aplicação de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) causou uma leve alcalinização da água. Este resultado difere do encontrado por König *et al.* (2020) que relataram acidificação, seguida de retorno ao patamar inicial. Entretanto, Lima *et al.* (2012), Pedersen e Pedersen (2012) e Furtado *et al.* (2014) não encontraram os efeitos da aplicação do peróxido de

hidrogênio no pH. A aplicação de ASO levou à alcalinização da água, efeito diverso do relatado na primeira fase deste estudo e do observado por Torres *et al.* (2020). Nesses casos, a aplicação de ASO levou à acidificação da água. Os tanques que receberam percarbonato de sódio exibiram alcalinização significativa da água, pouco tempo após a aplicação. Da mesma forma, Taylor *et al.* (2021) observaram aumento rápido no pH da água após as aplicações do percarbonato de sódio. Maiores taxas de aplicação levam a maiores alcalinizações da água (THOO; SIUDA; JASSER, 2020), efeito também observado no presente estudo. Todos os valores de pH, inclusive o maior registrado (8,92), estavam dentro da faixa ideal para crescimento da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), que vai de 5,5 a 9,0 (REBOUÇAS *et al.*, 2017), mas acima do limite superior de pH o camarão marinho (*Litopenaeus vannamei*), que vai de 7,5 – 8,5 (BOYD, 2002).

Figura 5 – pH ao longo do tempo na água com aplicação de nenhum produto (NAD), de 3,0 mL de peróxido de hidrogênio 35% (P35), de 1,5 L de água superoxigenada quimicamente estabilizada (ASO), aeração mecânica (AM) e de 0,05, 0,25 e 4,35 g de percarbonato de sódio (OX2 e OX5) por tanque (fase 2; n = 4)



3.2.2 Concentração de O₂ dissolvido na água

Ao final da sexta hora de monitoramento, AM e OX435 diferiram significativamente dos demais tratamentos para O₂ dissolvido, e tendo alcançado as maiores concentrações ($p \leq 0,05$; Tabela 8). Os tanques que receberam produtos à base de peróxido de hidrogênio (ASO e P35) não diferiram entre si para O₂. ASO e P35, entretanto, apresentaram

maiores concentrações finais de O_2 do que NAD, OX5 e OX25, os quais não apresentaram diferenças significativas entre si.

Tabela 8 – Concentração de oxigênio dissolvido na água em mg L⁻¹ da água após aplicação de diferentes produtos para oxigenação emergencial (média ± d.p.; n = 4).

Tempo	Tratamento ¹							P-valor
	NAD	P35	AM	ASO	OX5	OX25	OX435	
0h	2,47 ± 0,10 H ²	2,43 ± 0,19 F	2,35 ± 0,12 C	2,38 ± 0,22 E	2,39 ± 0,15 H	2,44 ± 0,08 G	2,41 ± 0,12 E	ns ³
0,5h	2,80 ± 0,09 Gb	3,07 ± 0,24 Eb	6,70 ± 0,57 Ba	3,22 ± 0,32 Db	2,77 ± 0,15 Gb	2,88 ± 0,08 Fb	5,84 ± 0,82 Da	<0,001
1h	2,92 ± 0,11 Fc	3,13 ± 0,31 DEc	6,78 ± 0,66 Aa	3,28 ± 0,42 CDc	2,80 ± 0,17 Fc	2,90 ± 0,10 EFc	5,77 ± 0,70 Db	<0,001
2h	3,09 ± 0,11 Ec	3,76 ± 0,24 CDb	7,46 ± 0,03 Aa	3,82 ± 0,29 Cb	3,05 ± 0,14 Ec	3,17 ± 0,05 Dc	7,15 ± 0,24 Ca	<0,001
3h	3,22 ± 0,10 Dd	4,24 ± 0,11 Cb	7,47 ± 0,06 Aa	4,30 ± 0,16 Cbc	3,22 ± 0,14 Dd	3,33 ± 0,05 Ccd	7,51 ± 0,30 BCa	<0,001
4h	3,35 ± 0,15Cc	4,58 ± 0,22 Bb	7,49 ± 0,03 Aa	4,75 ± 0,20 Bb	3,22 ± 0,14 Cc	3,62 ± 0,06 Bc	7,68 ± 0,19 Aa	<0,001
5h	3,45 ± 0,14 Bc	5,38 ± 0,27 Ab	7,55 ± 0,13 Aa	5,44 ± 0,30 ABb	3,54 ± 0,16 Bc	9,80 ± 0,05 Ac	7,90 ± 0,22 Aa	<0,001
6h	3,57 ± 0,13 Ac	5,75 ± 0,45 Ab	7,50 ± 0,03 Aa	5,52 ± 0,19 Ab	3,68 ± 0,17 Ac	3,89 ± 0,15 Ac	8,16 ± 0,40 Aa	<0,001
P-valor	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	

¹ NAD: nenhum produto foi aplicado à água; P35: peróxido de hidrogênio 35% p.a.; AM: aeração mecânica; ASO: água superoxigenada quimicamente estabilizada; OX5: Oxiaqua® 500 mg m⁻³ (Escama Forte Ltda.); OX25: Oxiaqua® 2500 mg m⁻³ (Escama Forte Ltda.); OX435: Oxiaqua® 43500 mg m⁻³ (Escama Forte Ltda.); ² Em uma mesma linha, médias com diferentes letras minúsculas são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (ANOVA, $p \leq 0,05$); Em uma mesma coluna, médias com diferentes letras maiúsculas são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (ANOVA, $p \leq 0,05$). Ausência de letras indica que as diferenças existentes entre as médias não são significativas (ANOVA, $p > 0,05$). ³ Não significativo ($p > 0,05$).

Antes da aplicação dos produtos, o O₂ dissolvido se encontrava em torno de 2,41 mg/L (Tabela 8). Trinta minutos após as aplicações, todos os tanques apresentaram aumento significativo no O₂, destacando-se os tanques AM e OX435 dos demais, que exibiram um maior incremento de O₂ ($p \leq 0,05$).

Na primeira hora pós aplicação, os tanques P35, ASO, OX25 e OX435 apresentaram aumento nas concentrações de O₂, mas sem significância em relação às leituras anteriores. Já nos demais tratamentos, observou-se aumentos significativos nas concentrações de O₂ da água. AM e ASO apresentaram as maiores concentrações de O₂, as quais diferiram do observado nos demais tratamentos. OX435 exibiu a segunda maior concentração de O₂, que diferiu dos tratamentos NAD, P35, OX5 e OX25, os quais foram semelhantes entre si para O₂ ($p \leq 0,05$). Com duas horas de aplicação, NAD, OX5, OX25 e OX435 apresentaram aumento significativo na concentração de O₂, quando comparado à hora anterior. Nesse mesmo intervalo, os tratamentos P35, AM e ASO permaneceram sem alterações no O₂; mas OX435 e AM apresentaram maiores concentrações, às quais diferiram das demais. P35 e ASO não diferiram entre si para O₂, mas apresentam maiores concentrações de O₂ que NAD, OX5 e OX25 ($p \leq 0,05$). Na terceira hora pós aplicação, NAD, OX5, OX25 e OX435 apresentaram aumentos significativos nas concentrações de O₂ na água. De modo semelhante, AM e OX435 exibiram as maiores concentrações de O₂, não havendo diferenças entre esses dois tratamentos. AM e OX435 apresentaram concentrações de O₂ que diferiram dos demais tratamentos. Com quatro horas de aplicação, somente em AM o O₂ permaneceu inalterado. Os demais tratamentos apresentaram aumento significativo nas concentrações de O₂, em relação à hora anterior. AM e OX435 não diferiram entre si para O₂, mas foram distintos dos demais tratamentos. Na quinta hora após aplicação, NAD, P35, OX5 e OX25 apresentaram diferenças significativas nas concentrações de O₂, em relação à hora anterior. Nesse intervalo, as diferenças observadas entre os tratamentos para O₂ seguiram o mesmo padrão da hora anterior ($p < 0,05$). Após seis horas, somente NAD e OX5 apresentaram diferenças nas concentrações de O₂, em relação a hora anterior. Os demais tratamentos exibiram o mesmo padrão anterior, observado a partir da quarta hora após aplicação ($p \leq 0,05$).

Aplicação de peróxido de hidrogênio incrementou quantidades significativas de O₂ na água. Lima *et al.* (2012) observaram incremento de 1,2 mg O₂ L⁻¹, após 1h da aplicação. Esse resultado se assemelha ao obtido no presente trabalho, em que se observou um incremento de 0,7 mg O₂ L⁻¹, no mesmo período. Pedersen e Pedersen (2012) aplicaram concentrações bem maiores de peróxido de hidrogênio (≈ 64 mg L⁻¹), tendo observado maiores incrementos de oxigênio dissolvido, com pico de 14 mg L⁻¹. Portanto, o peróxido de hidrogênio é um produto

eficiente para uso emergencial em tanques desprovidos, ou com baixas concentrações, de oxigênio dissolvido na água. Além disso, quanto maiores as taxas de aplicação do peróxido de hidrogênio, maiores serão os incrementos nas concentrações de oxigênio dissolvido (FURTADO *et al.*, 2014; KÖNIG *et al.*, 2020; BÖGNER *et al.*, 2021).

Ao fim da sexta hora, a água quimicamente estabilizada (ASO), à base de peróxido de hidrogênio, produziu concentrações semelhantes de O₂ às observadas pela aplicação do peróxido de hidrogênio diretamente na água. Entretanto, a aplicação da ASO foi feita de maneira mais segura, pois se respeitou um tempo de estabilização química de 3 dias, antes da aplicada do produto tanques (TORRES *et al.*, 2020).

Após 30 minutos das aplicações, os tanques que receberam OX435 e AM atingiram concentrações satisfatórias de O₂ para a criação de peixes tropicais (BOYD, 1998). Com uma maior taxa de aplicação de percarbonato de sódio (4,35g 100L⁻¹), observou-se um maior incremento nas concentrações de O₂ dissolvido. Tornou-se evidente a relação existente entre a quantidade aplicada e o aumento nas concentrações de O₂ dissolvido na água. Forwood *et al.* (2014) também utilizaram grandes quantidades de percarbonato de sódio, obtendo resultados semelhantes. Da mesma forma Taylor *et al.* (2021) observaram aumentos significativos nas concentrações de O₂ dissolvido na água, após as aplicações de percarbonato de sódio, assemelhando-se ao obtido no presente estudo. Logo, maiores taxas de aplicação de percarbonato de sódio resultam em maiores liberações de oxigênio dissolvido para o meio.

Figura 6 – Oxigênio dissolvido da água de tanques experimentais, com aplicação de nenhum produto (NAD); 3,0 mL de peróxido de hidrogênio 35% (P35); aeração mecânica (AM); 1,5 L de água superoxigenada quimicamente estabilizada e 0,05, 0,25 e 4,35 g de percarbonato de sódio (OX5, OX25 e OX435) em cada tanque (fase 2; média \pm d.p.; n = 4). Em um mesmo tempo, colunas com letras distintas representam médias significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

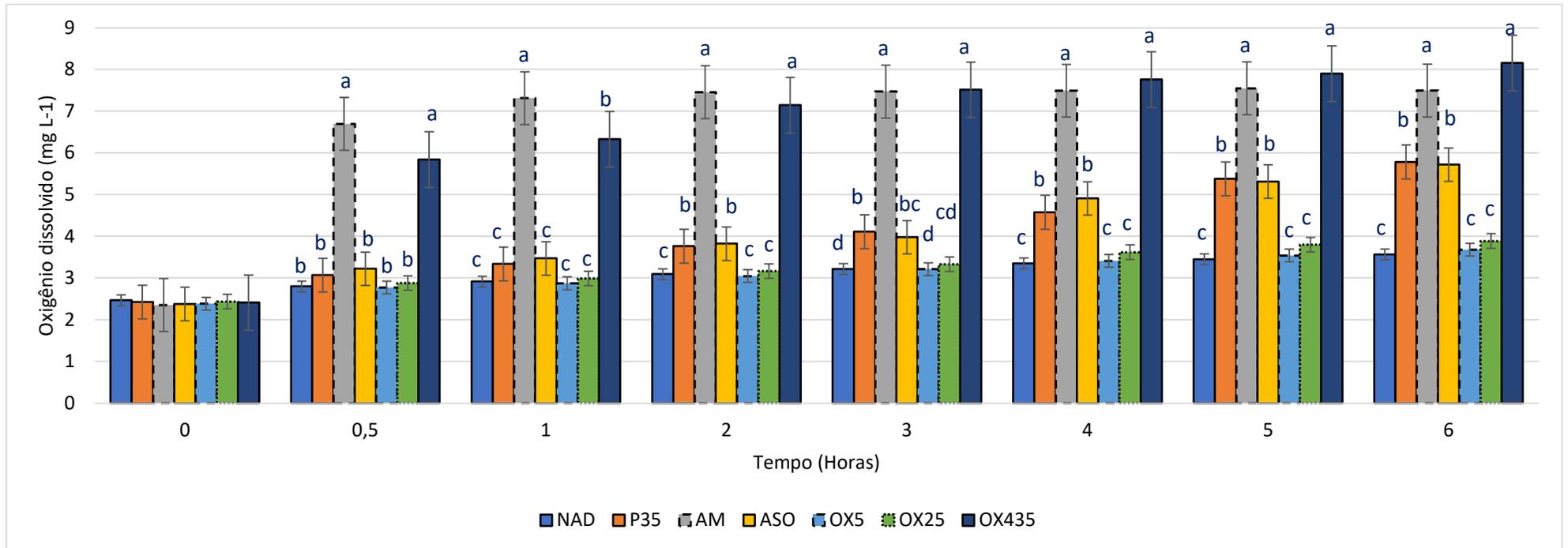
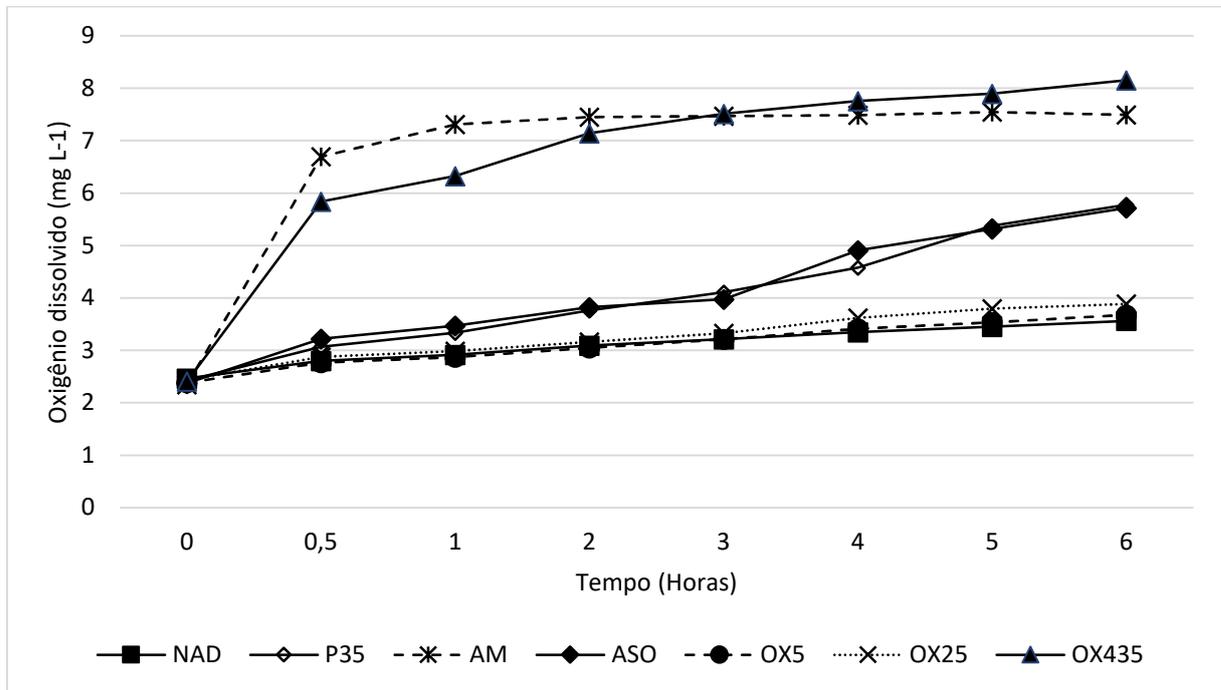


Figura 7 – Oxigênio dissolvido, mg L^{-1} , ao longo do tempo na água com aplicação de nenhum produto (NAD), com aplicação de nenhum produto (NAD), de 3,0 mL de peróxido de hidrogênio 35% (P35), de 1,5 L de água superoxigenada quimicamente estabilizada (ASO), aeração mecânica (AM) e de 0,05, 0,25 e 4,35 g de percarbonato de sódio (OX5, OX25 e OX435) por tanque (fase 2; $n = 4$).



3.2.3 Alcalinidade total da água

Ao final de 6 horas de monitoramento, a alcalinidade dos tanques OX435 foi significativamente maior do que nos demais tanques, isto é, NAD, P35, AM, ASO, OX5, OX25 e OX435 ($p \leq 0,05$; Tabela 9).

Tabela 9 – Alcalinidade total da água, em mg L⁻¹ CaCO₃ eq., após a aplicação de diferentes produtos para oxigenação emergencial (média ± d.p.; n = 4).

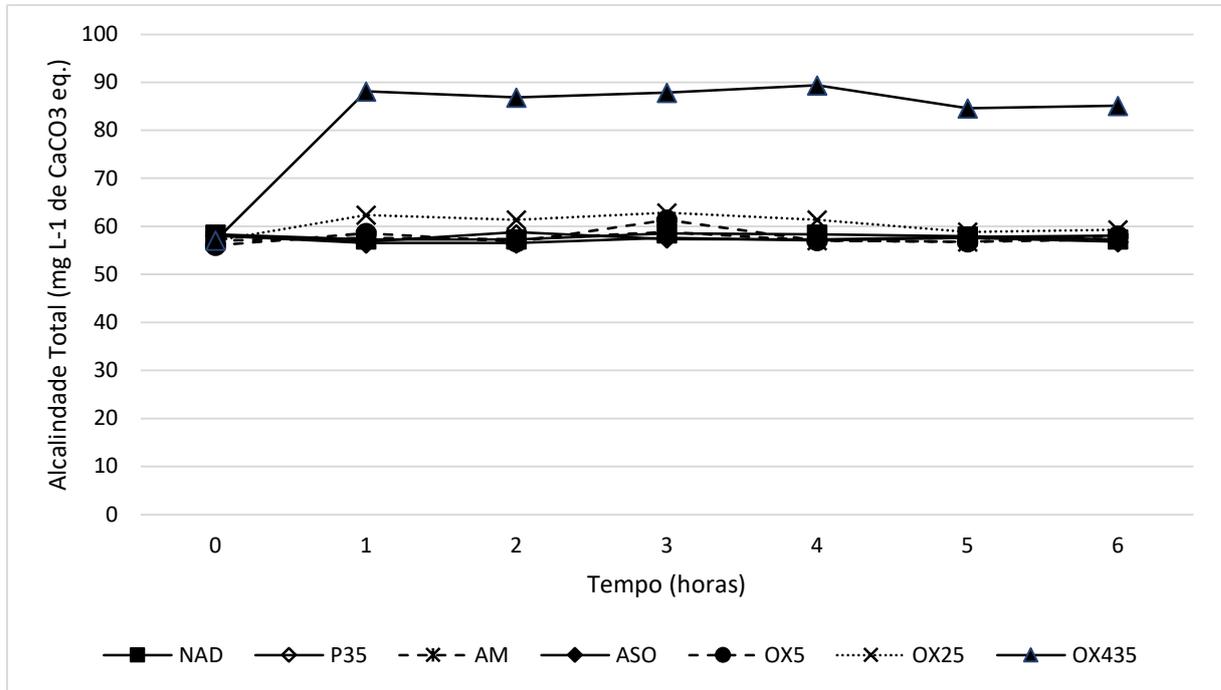
Tempo (h)	Tratamento ¹							P-valor
	NAD	P35	AM	ASO	OX5	OX25	OX435	
0	58,33 ± 0,97	58,58 ± 0,82	57,07 ± 0,58	58,58 ± 0,0	56,69 ± 0,86 B	57,07 ± 0,58 D ²	57,07 ± 0,58 B	ns ³
1	57,32 ± 0,51 c	56,81 ± 0,97 c	57,57 ± 0,82 c	56,06 ± 0,58 c	57,32 ± 1,52 ABc	62,37 ± 1,72 ABb	88,12 ± 0,97 Aa	<0,001
2	57,32 ± 0,97 c	58,83 ± 0,97 bc	57,32 ± 1,27 c	56,56 ± 0,82 c	56,81 ± 1,72 Bc	62,36 ± 2,08 ABCb	86,86 ± 0,82 Aa	<0,001
3	58,58 ± 0,82 de	57,32 ± 0,51 e	57,91 ± 1,26 cde	57,57 ± 1,43 e	61,36 ± 2,24 Abcd	62,87 ± 1,72 Ab	87,87 ± 1,43 Aa	<0,001
4	58,33 ± 0,97 b	57,82 ± 1,52 b	57,07 ± 1,30 b	57,07 ± 1,75 b	62,28 ± 1,26 Bb	61,36 ± 0,97 ABCb	93,43 ± 1,24 Aa	<0,001
5	57,32 ± 1,27 b	57,82 ± 0,97 b	56,81 ± 0,97 b	57,57 ± 0,82 b	56,1 ± 0,97 Bb	58,83 ± 0,97 CDb	84,59 ± 1,91 Aa	<0,001
6	27,32 ± 1,52 b	58,08 ± 0,58 b	57,32 ± 0,97 b	56,81 ± 0,97 b	58,08 ± 0,58 ABb	59,34 ± 1,72 BCDb	85,09 ± 1,72 Aa	<0,001
P-valor	ns	ns	ns	ns	<0,001	<0,001	<0,001	

¹ NAD: nenhum produto foi aplicado à água; P35: peróxido de hidrogênio 35% p.a.; AM: aeração mecânica; ASO: água superoxigenada quimicamente estabilizada; OX5: Oxiaqua® 500 mg m⁻³ (Escama Forte Ltda.); OX25: Oxiaqua® 2500 mg m⁻³ (Escama Forte Ltda.); OX435: Oxiaqua® 43500 mg m⁻³ (Escama Forte Ltda.); ² Em uma mesma linha, médias com diferentes letras minúsculas são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (ANOVA P≤0,05); Em uma mesma coluna, médias com diferentes letras maiúsculas são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (ANOVA P≤0,05). Ausência de letras indica que as diferenças existentes entre as médias não são significativas (ANOVA P>0,05). ³ Não significativo (P>0,05).

Antes da aplicação dos produtos, a alcalinidade encontrava-se em torno de 57,7 mg L⁻¹ CaCO₃ eq. (Tabela 9). Com seis horas após a aplicação, os tanques NAD, P35, AM e ASO permaneceram com os valores de alcalinidade praticamente inalterados. Após 1 hora das aplicações, a alcalinidade total aumentou de modo significativo nos tanques OX25 e OX435, os quais apresentaram as maiores concentrações de alcalinidade, até o final. A alcalinidade em OX25 e OX435 diferiu dos demais tratamentos, isto é, NAD, P35, AM e ASO, os quais não diferiram entre si ($p \leq 0,05$). Depois de duas horas da aplicação, não houve alterações significativas na alcalinidade da água em relação à hora anterior. Decorrido três horas da aplicação, também não se verificou alterações em relação às medições anteriores, exceto OX5. Esse último tratamento apresentou um aumento significativo na alcalinidade da água. OX25 exibiu um leve, mas não significativo aumento na alcalinidade, apresentando diferenças significativas em relação aos demais tratamentos, exceto de OX5. Com quatro horas de aplicações, OX5 apresentou uma redução significativa na alcalinidade e OX25 uma leve, mas não significativa queda. Desse momento em diante, a alcalinidade total dos tanques, excetuando em OX435, não diferiu entre si ($p > 0,05$). Na quinta hora após a aplicação, somente OX25 apresentou queda na alcalinidade da água, mas de modo não significativo. Na sexta hora após as aplicações, OX5 e OX25 foram os únicos tratamentos que apresentaram diferenças para alcalinidade, em relação ao período anterior. Ambos tratamentos apresentaram um leve aumento na alcalinidade, mas que não foi significativo. Não foram observados efeitos da aplicação de peróxido de hidrogênio sobre a alcalinidade da água. Esse resultado difere de König *et al.* (2020) que observaram uma redução significativa alcalinidade da água, após diversas aplicações de peróxido de hidrogênio, em baixas concentrações (10 µL).

Dos produtos utilizados, somente o percarbonato de sódio, em suas diferentes concentrações, alterou as concentrações de alcalinidade da água. O presente estudo corrobora os resultados observados por Thoo, Siuda e Jasser (2020) que encontraram o aumento na alcalinidade da água após a aplicação do percarbonato. Taylor *et al.* (2021) demonstraram que maiores aplicações de percarbonato de sódio produzem maiores concentrações de bases tituláveis na água. Esse comportamento também foi observado nesse estudo, pois ao se aumentar as taxas de aplicação de percarbonato de sódio, as diferenças entre os valores finais de alcalinidade foram maiores. Isso pode ser explicado pela reação de decomposição do percarbonato de sódio, como segue: $2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 3\text{H}_2\text{O}_2 + 4\text{Na}^+ + 2\text{CO}_3^{2-}$ (SINHA; EGGLETON; LOCHMANN, 2018). Portanto, a liberação de carbonatos no meio eleva a alcalinidade da água (MASSACHUSTTS DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION, 2010).

Figura 8 - Alcalinidade total, mg L^{-1} de CaCO_3 eq., ao longo do tempo na água com aplicação de nenhum produto (NAD), com aplicação de nenhum produto (NAD), de 3,0 mL de peróxido de hidrogênio 35% (P35), de 1,5 L de água superoxigenada quimicamente estabilizada (ASO), aeração mecânica (AM) e de 0,05, 0,25 e 4,35 g de percarbonato de sódio (OX5, OX25 e OX435) por tanque (fase 2; n = 4).



4 CONCLUSÃO

O peróxido de hidrogênio e a água superoxigenada, quimicamente estabilizada, foram os produtos mais eficientes na incorporação de oxigênio dissolvido na água. O percarbonato de sódio comercial demonstrou menor reatividade química, quando comparado aos demais produtos testados. Enquanto o pH e alcalinidade da água foram reduzidos pela aplicação de peróxido de hidrogênio, a aplicação da água superoxigenada não afetou essas variáveis. Logo, a água superoxigenada, quimicamente estabilizada, mostrou-se tão eficiente quanto o peróxido de hidrogênio para oxigenação emergencial da água, sendo provavelmente mais segura aos animais aquáticos e aos manipuladores.

O percarbonato de sódio comercial, quando aplicado em $43,5 \text{ g m}^{-3}$, mostrou-se mais eficaz no provimento emergencial de oxigênio dissolvido, no período de 30 minutos após sua aplicação, assemelhando-se aos efeitos da aeração mecânica. Por outro lado, o percarbonato de sódio se apresentou ineficiente nas menores quantidades testadas.

Os produtos “peróxido de hidrogênio 35% p.a.” e água oxigenada quimicamente estabilizada se comportaram de maneira semelhante entre si na incorporação de oxigênio dissolvido.

O pH da água se elevou após as aplicações de percarbonato de sódio, de maneira diretamente proporcional às diferentes dosagens aplicadas. De igual modo, a alcalinidade da água se elevou de forma diretamente proporcional às aplicações de percarbonato de sódio. Já o peróxido de hidrogênio, água quimicamente estabilizada e aeração mecânica não tiveram efeito sobre a alcalinidade da água. Portanto, a aplicação de percarbonato de sódio comercial, na concentração $43,5 \text{ g m}^{-3}$, mostrou-se eficiente na incorporação de O_2 dissolvido para o meio, mantendo o pH e a alcalinidade da água dentro das faixas aceitáveis para aquicultura.

REFERÊNCIAS

- AFFONSO, E.; BARROS, F. P.; BRASIL, E. M.; TAVARES-DIAS, M.; ONO, E. A. Indicadores fisiológicos de estresse em peixes expostos ao peróxido de hidrogênio (H₂O₂), *In: Manejo e sanidade de peixes de cultivo*. Macapá, Embrapa Amapá, 2009. Cap. 14, p. 346-360.
- ARVIN, E.; PEDERSEN, L. F. Hydrogen peroxide decomposition kinetics in aquaculture water. **Aquacultural Engineering**, v. 64, p. 1-7, jan. 2015.
- AVENDAÑO-HERRERA, R.; MAGARIÑOS, B.; IRGANG, R.; TORANZO, A. E. Use of hydrogen peroxide against the fish pathogen *Tenacibaculum maritimum* and its effect on infected turbot (*Scophthalmus maximus*). **Aquaculture**, Amsterdã, v. 257, n. 1-4, p. 104-110, jun. 2006.
- BÖGNER, D.; BÖGNER, M., SCHMACHTL, F. BILL, N. HALFER, J. SLATER, M. J. Hydrogen peroxide oxygenation and disinfection capacity in recirculating aquaculture systems. **Aquacultural Engineering**, v. 92, fev. 2021.
- BOWERS, J. M.; SPEARE, D. J.; BURKA, J. F. The effects of hydrogen peroxide on the stress response of Atlantic Salmon (*Salmo salar*). **Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics**, v. 25, n. 4, p. 311-313, set. 2002.
- BOYD, C. E. Pond water aeration system. **Aquacultural Engineering**, v.18, p. 29-40, 1998.
- BOYD, C. E., pH, *In: Manejo da qualidade da água na aquicultura e no cultivo do camarão marinho*. Associação Brasileira de Criadores de Camarão, pag. 10, 2002.
- BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. Aeration, *In: Pond aquaculture water quality management*, Springer Science & Business Media, 2012, p. 324-330.
- BOYD, C. E.; TUCKER, C. S.; SOMRIDHIVEJ, B. Alkalinity and hardness: Critical but elusive concepts in aquaculture. **Journal of The World Aquaculture Society**, v. 47, n. 1, pag. 6-41, fev. 2016.
- BUCHMANN, K.; JENSEN, P. B.; KRUSE. Effects of sodium percarbonate and garlic extract on *Ichthyophthirius multifiliis* theronts and tomocysts: In vitro experiments. **North American Journal of Aquaculture**, v. 65, p. 21-24, 2003.
- BUCHMANN, K.; KRISTENSSON, R. T. Efficacy of sodium percarbonate and formaldehyde bath treatments Against *Gyrodactylus derjavini* infestations of Rainbow trout. **North American Journal of Aquaculture**, v. 65, p. 25-27, jun. 2003.
- REBOUÇAS, V. T.; LIMA, F. R. S.; CAVALCANTE, D. H.; SÁ, M. V. C. Reassessment of the suitable range of water pH for culture of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. in eutrophic water. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 38, n. 4, p. 361-368, out-dez, 2017.
- FARACI, F. M. Hydrogen peroxide: Watery fuel for change in vascular biology. **Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology**, v. 26, n. 9, p. 1931-1933, set. 2006.

FORWOOD, J. M.; HARRIS, J. O.; LANDOS, M.; DEVENEY, M. R. Evaluation of treatment methods using sodium percarbonate and formalina on Australian Rainbow trout farms. **Aquacultural Engineering**, v. 63, p. 9-15, set. 2014.

FURTADO, P. S.; SERRA, F. P.; POERSCH, L. H.; WASIELESKY JR, W. Short communication: Acute toxicity of hydrogen peroxide in juvenile White shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in biofloc technology systems. **Aquaculture International**, v. 22, p. 653-659, abril 2014.

HEINECKE, R. D.; BUCHMANN, K. Control of *Ichthyophthirius multifiliis* using a combination of water filtration and sodium percarbonate: Dose-response studies. **Aquaculture**, Amsterdã, v. 288, p. 32-35, mar. 2009.

KIEMER, M. C. B.; BLACK, K. The effects of hydrogen peroxide on the gill tissues of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. **Aquaculture**, Amsterdã, v. 153, n. 3-4, p. 9, 1997.

KÖNIG, R. B.; FURTADO, P. S.; WASIELESKY, W.; ABREU, P. C. Effect of hydrogen peroxide on the microbial Community presente in biofloc production systems of the shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, Amsterdã, v. 533, 2020.

LIMA, J. P. V.; BRITO, L. O.; COSTA, W. M.; COSTA, W. M.; GÁLVEZ, A. O. Utilização de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) no incremento de oxigênio dissolvido em cultivo de *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, Recife, v. 17, n. 1, p. 73-77, out. 2012.

MARATHE, V. B.; HUILGOL, N. V.; PATIL, S. G. Hydrogen Peroxide as a Source of Oxygen Supply in the Transport of Fish Fry. **The Progressive Fish-Culturist**, v. 37, n. 2, p. 117, jan. 2011.

MARTINS, M. L. Cuidados básicos e alternativos no tratamento de enfermidades de peixes na aquicultura. In: **Sanidade de Organismos Aquáticos**. São Paulo, SP: Livraria Varela, 2004. p. 357-370.

MASSACHUSETTS. Department of Environmental Protection. **Hydrogen peroxide, peracetic acid and sodium percarbonate**. 2010. Disponível em: <https://www.mass.gov/doc/sodium-carbonate-peroxyhydrate-and-hydrogen-peroxide/download>. Acesso: 09 fevereiro 2021.

MAXIMIANO, A. A.; FERNANDES, R. O.; NUNES, F. P.; ASSIS, M. P.; MATOS, R. V.; BARBOSA, C. G. S.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. Utilização de drogas veterinárias, agrotóxicos e afins em ambientes hídricos: demandas, regulamentação e considerações sobre riscos à saúde humana e ambiental. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, abr-jun. 2005.

MØLLER, M. S.; ARVIN, E.; PEDERSEN, L-F. Degradation and effect of hydrogen peroxide in small-scale recirculation aquaculture system biofilters. **Aquaculture Research**, v. 41, n. 8, p. 1113-1122, jul. 2010.

NTENGWE, F. W.; EDEMA, M. O. Physico-chemical and microbiological characteristics of water for fish production using small ponds. **Physics and Chemistry on the Earth**, v. 33, n. 8-13, p. 701-707, 2008.

PEDERSEN, L-F., PEDERSEN, P. B. Hydrogen peroxide application to a comercial recirculating aquaculture system. **Aquacultural Engineering**, v. 46, p. 40-46, jan. 2012.

ROQUE, A.; YILDIZ, H. Y.; CARAZO, I.; DUNCAN, N. Physiological stress responses of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) to hydrogen peroxide (H₂O₂) exposure. **Aquaculture**, Amsterdã, v. 304, p. 104-107, jun. 2010.

SÁ, M. V. C. Alcalinidade da água. *In: Manual de práticas laboratoriais em limnocultura (Água e Solo)*. Fortaleza, CE: Expressão Gráfica e Editora, 2015. p.11-16.

SANABRIA, C.; DIAMANT, A.; ZILBERG, D. Effects of commonly used disinfectants and temperature on swim bladder non-inflation in freshwater angelfish, *Pterophyllum scalare* (Lichtenstein). **Aquaculture**, Amsterdã, v. 292, n. 3-4, p. 158-165, jul. 2009.

SERRANO, P. H. Responsible use of probiotics in aquaculture. **Food & Agriculture Organization**, v. 469, p. 110, 2005.

SINHA, K. A.; EGGLETON, M. A.; LOCHMANN, R. T. An environmentally friendly approach for mitigating cyanobacterial bloom and their toxins in hypereutrophic ponds: Potentiality of a newly developed granular hydrogen peroxide-based compound. **Science of The Total Environment**, v. 637-638, n. 1, p. 524-537, out. 2018.

TAYLOR, N. I.; ROSS, L. G. The use of Hydrogen peroxide as a source of oxygen for the transportation of live fish. **Aquaculture**, Amsterdã, v.70, p. 183-192, jan, 1988.

TAYLOR, R. S.; SLINGER, J.; LIMA, P. C.; ENGLISH, C. J.; MAYNARD, B. T.; SAMSING, F.; MCCULLOCH, R.; QUEZADA-RODRIGUEZ, P. R.; WYNNE, J. W. Evaluation of sodium percarbonate as a bath treatment for amoebic gill disease in Atlantic salmon. **Aquaculture Research**, v. 52, n. 1, p. 117-129, jan. 2021.

THOO, R.; SIUDA, W.; JASSER, I. The effects of sodium percarbonate generated free oxygen on *Daphnia* – Implications for the management of harmful algal blooms. **Water**, v. 12, n. 5, maio, 2020.

TORRES, A. B.; RAULINO, A. E. S.; LIMA, F. R. S.; APOLIANO, M. L. S.; CAVALCANTE, D. H.; SÁ, M. V. C. Preparo de água superoxigenada com peróxido de hidrogênio para uso emergencial em tanques de aquicultura. **Ciência Animal**, Fortaleza, v. 30, n. 3, p. 13-22, 2020.

TORT, M. J.; FLETCHER, C.; WOOSTER, G. A.; BOWSER, P. R. Stability of hydrogen peroxide in aquaria as a fish disease treatment. **Journal of Applied Aquaculture**, v. 14, n. 3-4, p.37-45, set. 2008.

WINKALER, E. U. Aspectos ecotoxicológicos dos inseticidas *diflubenzuron* e *teflebenzuron* para o Pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Programa de Pós-Graduação em Aquicultura**, Jaboticabal, 2008.