



IV-396 - AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE DIFERENTES OXIDANTES NO CONTROLE DE CIANOBACTÉRIAS DO GÊNERO *PSEUDANABAENA* E NA REDUÇÃO DO COMPOSTO ORGÂNICO MIB

Adilson Macedo⁽¹⁾

Graduado em Ciências Biológicas pela Universidade de Mogi das Cruzes – UMC. Especialista em Tecnologias Ambientais pela Faculdade de Tecnologia São Paulo – FATEC-SP. Biólogo do Laboratório de Limnologia da Divisão de Recursos Hídricos Leste da SABESP.

Priscila Roberta Barreto

Graduada em Ciências Biológicas pela Universidade Braz Cubas - UBC. Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP. Supervisora do Laboratório de Limnologia da Divisão de Recursos Hídricos Leste da SABESP.

Pércia Aparecida Patriarca do Nascimento

Bacharelado e Licenciatura em Química pela Universidade Federal do Paraná. Mestrado em Energia e Meio Ambiente pelo Prodetec, Mestrado Profissionalizante em Desenvolvimento e Tecnologia. Química do Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento na empresa Peróxidos do Brasil.

Andressa Burburema Guedes

Bacharelado e Licenciatura em Química pela Universidade Federal do Paraná. Química do Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento na empresa Peróxidos do Brasil.

Luiz Alberto Cesar Teixeira

Professor associado do Departamento de Engenharia Química e de Materiais da PUC-Rio. Consultor da empresa Peróxidos do Brasil em aplicação de peróxidos em tecnologias ambientais.

Endereço⁽¹⁾: Rua Waldemar Cusma, 701 – Jardim Aeródromo Internacional - Suzano - SP - CEP: 08616-510 - Brasil - Tel: (11) 4745-2754 - e-mail: admacedo@sabesp.com.br

RESUMO

Dentre os principais problemas de qualidade da água dos mananciais utilizados para abastecimento público, estão aqueles que podem trazer riscos à saúde humana, como por exemplo, o risco da floração de cianobactérias tóxicas, ou a produção de substâncias que podem atribuir gosto e odor na água, como a Geosmina e o Metilisoborneol.

Dependendo da condição dos mananciais utilizados para abastecimento público, se faz necessário o uso de algumas ações de manejo, como forma de minimizar as ocorrências de cianobactérias e preservar a qualidade da água produzida para abastecimento público, sendo a principal delas a aplicação de algicidas. Esta aplicação normalmente se dá em pontos dos mananciais que apresentam maior tendência de ocorrências de florações desses microrganismos. Em qualquer condição, a aplicação de algicidas nunca é realizada a menos de 500m da zona de captação.

Neste trabalho foram realizados testes com os oxidantes conhecidos: peróxido de hidrogênio ativado com sal de ferro II e III, ácido peracético, peroxicloração, hipoclorito de sódio, e permanganato de potássio para avaliação da eficácia da aplicação desses oxidantes sobre as cianobactérias-alvo do tratamento.

Baseado nos resultados obtidos para o controle de *Pseudanabaena* sp, nota-se que o ácido peracético e a peroxicloração apresentaram maiores eficiências de remoção.

Para o controle de MIB, em todos os ensaios, somente o processo com H₂O₂ ativado com Fe³⁺ mostrou bons resultados. Os demais não apresentaram efeito significativamente superior ao erro experimental. Não obstante, experimentos adicionais poderão ser conduzidos em condições de doses mais elevadas, para avaliação do melhor oxidante para a degradação de MIB.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade da água, recursos hídricos, cianobactérias.



INTRODUÇÃO

A gestão da qualidade da água potável enfrenta desafios crescentes devido ao processo de eutrofização dos mananciais utilizados para abastecimento público. O aumento dos nutrientes, como fósforo e nitrogênio, favorece o desenvolvimento de florações de cianobactérias, o que, por sua vez, aumenta a probabilidade de ocorrência de eventos relacionados a gosto e odor. Essa condição representa um cenário adverso para as empresas de saneamento básico.

Embora tais incidentes não acarretem riscos à saúde humana, faz-se necessário controlar essas substâncias, uma vez que a detecção desses compostos pelos consumidores pode ocorrer em concentrações baixas, resultando numa possível rejeição por parte dos consumidores (Watson et al., 2016; Zhang et al., 2016).

Os eventos de gosto e odor da água potável são atribuídos a compostos orgânicos produzidos predominantemente pelas cianobactérias, como a geosmina e o 2-metilisoborneol (MIB), os quais resultam em sabor e odor de terra ou mofo (Olsen; Chislock; Wilson, 2016). O gênero de cianobactéria *Pseudanabaena* (PSA) é um dos principais gêneros produtores de MIB (Zhang et al., 2016), possui uma notável capacidade de adaptação a diversas condições ambientais, o que pode explicar sua distribuição e seu status de dominância em diversos corpos d'água (Pang et al., 2021).

A remoção de compostos orgânicos na produção de água potável é predominantemente realizada por meio de processos de oxidação, que envolvem substâncias como permanganato de potássio, cloro e ozônio, e peróxido de hidrogênio, além da adsorção utilizando carvão ativado. Contudo, o tratamento baseado na adsorção com carvão ativado apresenta um custo significativamente elevado (Olsen; Chislock; Wilson, 2016). Diante desse cenário, torna-se importante a realização de testes que explorem a combinação de oxidantes, visando avaliar a capacidade algicida e a eficácia na remoção de compostos orgânicos, afim de otimizar o processo de produção de água potável, considerando não apenas a eficiência, mas também a viabilidade econômica do tratamento.

Neste trabalho foram realizados testes com os oxidantes conhecidos: peróxido de hidrogênio ativado com sal de ferro II e III, ácido peracético, peróxicloração, hipoclorito de sódio, e permanganato de potássio para avaliação da eficácia da aplicação desses oxidantes sobre as cianobactérias-alvo do tratamento.

OBJETIVO

O objetivo deste estudo consistiu em avaliar a eficácia de diferentes oxidantes, sendo eles ($H_2O_2 + Fe^{+2}$), ($H_2O_2 + Fe^{+3}$), (PAA), ($H_2O_2 + NaOCl$) e ($KMnO_4$), no controle de cianobactérias pertencentes ao gênero *Pseudanabaena* sp. e simultaneamente investigar a possível redução do composto orgânico MIB, presentes na represa de Taiapuêba.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado em Jartest contendo 7 jarros, em 5 etapas, considerando o tempo de contato dos oxidantes de 15 e 60 minutos. Para avaliar o efeito dos oxidantes, foi realizada a análise quantitativa da cianobactéria *Pseudanabaena* sp. em microscópio ótico seguindo a metodologia de Sedgwick-Rafter (10200F – SMEWW – 24 – 2023) e a determinação da concentração do MIB por meio da microextração em fase sólida (6040 D – SMEWW – 21 – 2005). Para efeito de comparação, o jarro 1 sempre foi mantido com uma amostra sem adição dos oxidantes, considerada como o branco. Ademais foi realizado o teste do residual de peróxido por espectrofotometria.

As soluções foram preparadas conforme a descrição a seguir.

Preparo das soluções:

- Peróxido de hidrogênio a 1000 mg/L: pesar 2 g ou 1,67 mL ($d = 1,19$) do peróxido de hidrogênio a 50% e transferir para um balão de 1000 mL e completar com água desmineralizada;
- Ácido Peracético a 1000 mg/L: pesar 6,67 g ou 6,00 mL ($d = 1,11$) do ácido peracético a 15% e transferir para um balão de 1000 mL e completar com água desmineralizada;
- Solução de Fe^{+2} a 1000 mg/L (0,1%), partindo do $FeSO_4 \cdot 7H_2O$: pesar 5 g do sal, dissolver em 50 mL de água e transferir a solução para um balão volumétrico de 1000 mL e completar o volume.
- Solução de Fe^{+3} a 1000 mg/L (0,1%), partindo do $FeCl_3 \cdot 6H_2O$: pesar 5 g do sal, dissolver em 50 mL de água e transferir a solução para um balão volumétrico de 1000 mL e completar o volume.

- Solução de hipoclorito de sódio: pesar 8,33 g ou 7,5 mL do hipoclorito de sódio a 12% e completar o volume para 1000 mL.
- Solução de permanganato de potássio: pesar 1 g do sal, dissolver em 50 mL e transferir para um balão de 1000 mL e completar o volume.

RESULTADOS

Nas tabelas a seguir estão contidos os resultados obtidos após as dosagens dos oxidantes avaliados.

Tabela 01: Doses e Resultados obtidos no experimento de Jartest utilizando $[H_2O_2 + Fe^{+2}]$ e $[H_2O_2 + Fe^{+3}]$ em 15 min

Jarro	H ₂ O ₂ (mg/L)	Fe ²⁺ (mg/L)	Fe ³⁺ (mg/L)	Residual H ₂ O ₂ (mg/L) (15 min)	PSA	Redução (%)	MIB	Redução (%)
Branco	-	-	-	-	5831	-	75	-
1	1,00	1,00	-	0,30	4201	28%	74	1%
2	5,00	1,00	-	4,19	6137	-5%	74	1%
3	5,00	5,00	-	1,87	3820	34%	65	13%
4	0,85	3,50	-	0,00	6238	-7%	72	4%
5	1,00	-	1,00	0,61	3183	45%	71	5%
6	5,00	-	5,00	4,12	3845	34%	56	25%

Tabela 02: Doses e Resultados obtidos no experimento de Jartest utilizando $[H_2O_2 + Fe^{+2}]$ e $[H_2O_2 + Fe^{+3}]$ em 60 min

Jarro	H ₂ O ₂ (mg/L)	Fe ²⁺ (mg/L)	Fe ³⁺ (mg/L)	Residual H ₂ O ₂ (mg/L) (60 min)	PSA	Redução (%)	MIB	Redução (%)	pH 60 (min)
Branco	-	-	-	-	5934	-	76	-	7,2
1	1,00	1,00	-	*	-	-	-	-	-
2	5,00	1,00	-	3,88	4595	23	73	4%	5,2
3	5,00	5,00	-	1,82	4065	32	68	11%	3,6
4	0,85	3,5	-	*	-	-	-	-	-
5	1,00	-	1,00	0,50	3535	41	41	46%	5,4
6	5,00	-	5,00	3,90	4999	16	16	79%	

* não coletou devido à baixa concentração apresentada em 15 minutos

Tabela 03: Doses e Resultados obtidos no experimento de Jartest utilizando $[PAA]$, $[NaOCl]$ e $[KMnO_4]$ em 15 min

Jarro	PAA (mg/L)	NaClO (mg/L)	KMnO ₄ (mg/L)	Residual PAA (mg/L) (15 min)	PSA	Redução %	MIB	Redução %
Branco	-	-	-	-	4850	-	81	-
1	1,00	-	-	0,80	1050	78%	80	1%
2	5,00	-	-	3,80	500	90%	79	2%
3	-	1,00	-	0,10	2625	46%	80	1%
4	-	5,00	-	1,30	4350	10%	74	9%
5	-	-	1,00	-	6200	-28%	76	6%
6	-	-	5,00	-	2075	57%	78	4%

Tabela 04: Doses e Resultados obtidos no experimento de Jartest utilizando [PAA], [NaOCl] e [KMnO₄] em 60 min

Jarro	PAA (mg/L)	NaClO (mg/L)	KMnO ₄ (mg/L)	Residual PAA (mg/L) (60 min)	PSA	Redução %	MIB	Redução %
Branco	-	-	-	-	6975	-	69	-
1	1,00	-	-	0,80	1075	85	79	-14
2	5,00	-	-	2,60	800	89	78	-13
3	-	1,00	-	-	4575	34	76	-10
4	-	5,00	-	1,00	7000	0	76	-10
5	-	-	1,00	-	6175	11	83	-20
6	-	-	5,00	-	1425	80	77	-12

Tabela 05: Doses e Resultados obtidos no experimento de Jartest utilizando [H₂O₂], [NaOCl], [Fe²⁺] e [Fe³⁺]

Jarro	H ₂ O ₂ (mg/L)	NaClO (mg/L)	Fe ²⁺ (mg/L)	Fe ³⁺ (mg/L)	Residual H ₂ O ₂ (mg/L) (15 min)	PSA	Redução %	MIB	Red%	pH
Bco						6640	-	72	-	
1	2	4,26	-	-	0,93	1262	81%	82	-14	7,6
2	5	10,7	-	-	2,19	859	87%	84	-17	7,5
3	5	-	8,65	-	0,3	2096	68%	65	10	6,1
4	5	-	-	8,65	3,14	3737	44%	-		4,5
5	5	-	1	-	4,17	4292	35%	74	-3	7,1
6	1	-	-	1	0,6	5226	21%	70	3	7,1

CONCLUSÕES

Quanto à redução de *Pseudanabaena* sp., por meio dos diferentes processos avaliados:

I. Os processos [H₂O₂ + Fe²⁺] e [H₂O₂ + Fe³⁺] apresentaram reduções inferiores a 50% em todos os experimentos, mesmo após 15 e 60 minutos de tempo de contato.

II. O ácido peracético (PAA) demonstrou eficácia notável:

- Reduções de 78% e 90% foram alcançadas com doses de 1,0 e 5,0 mg/L de PAA após 15 minutos.
- Resultados de 85% e 89% de redução foram observados com doses de 1,0 e 5,0 mg/L de PAA após 60 minutos.

III. O hipoclorito de sódio (NaClO) apresentou resultados variados:

- Reduções de 46% e 10% foram obtidas com doses de 1,0 e 5,0 mg/L após 15 minutos.
- Já as reduções foram de 34% e 0% nas doses de 1,0 e 5,0 mg/L após 60 minutos.

IV. O permanganato de potássio (KMnO₄) mostrou eficácia:

- Reduções de -28% e 57% foram registradas com doses de 1,0 e 5,0 mg/L após 15 minutos.
- Resultados de 11% e 80% foram obtidos nas doses de 1,0 e 5,0 mg/L após 60 minutos.

V. Na peroxicloração:

- Reduções de 81% e 87% foram obtidas nas proporções (mg/L) de [2:4,26] de H₂O₂:Cl e [5:10,7] de H₂O₂:Cl, respectivamente, baseando-se na estequiometria de peróxido e hipoclorito de sódio.



Baseando-se nos resultados, constatou-se que o ácido peracético e a peroxicloração demonstraram maior eficiência na remoção de *Pseudanabaena* sp.

Em relação ao controle de MIB, observou-se que apenas o processo utilizando H₂O₂ ativado com Fe³⁺ apresentou resultados satisfatórios. Contudo, sugere-se a realização de experimentos adicionais com doses mais elevadas para determinar o melhor oxidante para a degradação de MIB.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PANG, Yi-ming et al. Research progress on *Pseudanabaena* sp. and its metabolite 2-methylisoborneol (2-MIB). *Chinese Journal of Ecology*, v. 40, n. 5, p. 1530, 2021.
2. OLSEN, Brianna K.; CHISLOCK, Michael F.; WILSON, Alan E. Eutrophication mediates a common off-flavor compound, 2-methylisoborneol, in a drinking water reservoir. *Water Research*, v. 92, p. 228-234, 2016
3. WATSON, S. B. et al. Biochemistry and genetics of taste- and odor-producing cyanobacteria. *Harmful Algae*, v. 54, p. 112–127, 2016.
4. ZHANG, Ting et al. 2-Methylisoborneol production characteristics of *Pseudanabaena* sp. FACHB 1277 isolated from Xionghe Reservoir, China. *Journal of Applied Phycology*, v. 28, p. 3353-3362, 2016.