



APLICAÇÃO DE HIPOCLORITO DE SÓDIO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA CONTAMINADA: AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA E DE VÍRUS E BACTÉRIAS

Palavras-Chave: Matéria Orgânica, Água contaminada, Microorganismos

Autores/as:

Danilo Soares C. Magalhães, Rafaella Adorno B. Ferraz, Vitória Yumi U. Nicoleti (bolsistas PIBIC-EM), COTIL-UNICAMP, Dr.^{anda} Kelly A. Ribeiro Tagliaferro (monitora), FT-UNICAMP
Prof.^a Dr.^a Maria Aparecida Carvalho de Medeiros (orientadora), FT-UNICAMP

RESUMO:

As atividades antrópicas resultam em lançamentos de águas contaminadas ou tratadas com baixa eficiência ou até mesmo lançadas *in natura* nos mananciais superficiais utilizados para o abastecimento público, diminuindo a qualidade da água bruta na captação do processo de tratamento em Estações de Tratamento de Água (ETAs). Uma das partes mais importantes do tratamento de água é a oxidação da matéria orgânica e a eliminação de agentes patogênicos, como vírus e bactérias. Um dos oxidantes mais utilizado nesse processo é o cloro (Cl_2) em ETAs de grande porte e o hipoclorito de sódio (NaClO) nas de menor porte, devido à relação de custo-benefício. Neste contexto, os objetivos do presente trabalho foram: 1) avaliar a qualidade das águas brutas dos mananciais de captação para o município de Limeira: ribeirão Pinhal e rio Jaguari, através da análise do histórico de dados de propriedades físico-químicas (pH, Cor, Turbidez, Condutividade, DQO, incluindo os subprodutos de desinfecção (SPDs), assim como as propriedades microbiológicas (E. Coli e Coliformes Totais), obtidos na ETA do município de Limeira; 2) estudar as condições de formação e de controle de SPDs, nestes mananciais, variando-se a concentração de NaClO , nas etapas de oxidação das águas brutas e 3) tendo em vista a impossibilidade da realização das atividades em laboratório em função da pandemia de COVID-19, foram realizados levantamento de dados entre 2015 e 2020, para os mananciais estudados.

INTRODUÇÃO:

O tratamento de água é imprescindível para garantir a potabilidade da água consumida pela população, evitando seu contato com agentes patogênicos. Durante o tratamento, o processo de

oxidação de matéria orgânica e inativação de vírus e bactérias são etapas essenciais e, por isso, há uma constante busca por oxidantes eficazes na desinfecção de água para fins de consumo humano, de forma que sejam atingidos os parâmetros físico-químicos e microbiológicos estabelecidos na Portaria de Consolidação GM/MS nº888 (2021) do Ministério da Saúde. Comumente, é utilizado cloro (Cl_2) nas grandes estações de tratamento no Brasil, devido menor custo e resultados satisfatórios. Porém, esse tipo de tratamento forma resíduos e subprodutos de desinfecção (SPD's) halogenados, além de ser menos eficiente, comparado a outros oxidantes e tecnologias combinadas, como o ultrassom (FAUSTINO, 2016). Assim sendo, existe uma busca por alternativas para um tratamento mais satisfatório, como o NaClO usado nas ETA 's de menor porte.

O estudo revisita artigos científicos e pesquisas que dissertam sobre a qualidade analisada nos mananciais que abastecem Limeira, sobre a utilização de tecnologias combinadas e desinfetantes além do usualmente utilizado - cloro, (FAUSTINO, 2016), assim como no rio Atibaia (RODRIGUES, 2020) e parâmetros microbiológicos estabelecidos, como E. Coli e coliformes (FAUSTINO, 2016).

Portanto, o estudo do tratamento de água aplicando o hipoclorito de sódio é interessante, tendo em vista que é possível obter informações e resultados de como pode ser feito um melhor tratamento da água com maior remoção da matéria orgânica, avaliando a eficiência do NaClO e comparando com outras tecnologias.

OBJETIVOS:

Os objetivos do presente trabalho foram: 1) avaliar a qualidade das águas brutas dos mananciais de captação para o município de Limeira: ribeirão Pinhal e rio Jaguari, através da análise do histórico de dados de propriedades físico-químicas (pH, Cor, Turbidez, Condutividade, DQO, incluindo os subprodutos de desinfecção (SPDs), assim como as propriedades microbiológicas (E. Coli e Coliformes Totais), obtidos na ETA do município de Limeira; 2) estudar a variação da concentração de NaClO, nas etapas de oxidação das águas brutas e 3) tendo em vista a pandemia de COVID-19, foram realizados levantamento de dados entre 2015 e 2020, para os mananciais estudados.

METODOLOGIA:

A Portaria nº 888 do Ministério da Saúde (2021) e a Resolução 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) são duas das mais importantes legislações que dispõem, respectivamente, sobre os padrões de potabilidade nos quais a água deve ser encaixada após o tratamento nas ETAs e sobre a divisão dos mananciais em diferentes classes, consequentemente estabelecendo a utilização de suas águas. Os mananciais que abastecem Limeira, o Rio Jaguari e Ribeirão Pinhal, pertencem à classe 2, destinada, por exemplo, ao abastecimento doméstico e à irrigação. Os

principais parâmetros físico-químicos (e suas respectivas metodologias) utilizados no presente trabalho para avaliação do oxidante foram:

pH - A escala de potencial hidrogeniônico determina a acidez ou alcalinidade de uma solução. A determinação desse parâmetro pode indicar a toxicidade da amostra e poluição atmosférica na área de coleta, por exemplo. A faixa adequada de pH para a água de consumo, de acordo com a Portaria de Consolidação Nº 888 do Ministério da Saúde, é entre 6,0 e 9,0. O pH é determinado através de métodos eletrométricos (eletrodo de pH ou pHmetro – Figura 1) ou por métodos comparativos (papel indicador universal ou indicadores colorimétricos).



Figura 1. Medição do pH do hidróxido de sódio, através do pHmetro.

Fonte: Carvalho de Medeiros *et. al.* (2020).

Acidez - Determina a capacidade da água de neutralizar uma base até o pH 7, sendo conferida pela presença de gases dissolvidos não combinados, ácidos fortes, fracos e sais de caráter ácido. Seu controle é importante para evitar corrosão das instalações de tratamento e distribuição.

Alcalinidade - Parâmetro que determina a eficácia da água ao neutralizar um ácido. Conferida pela presença de bases fortes, fracas e de sais ácidos, apesar de não apresentar risco à saúde, provoca alteração no paladar. **Turbidez** - Causada pela presença de partículas suspensas na água como argila e lama, é mais intensa em áreas com maior erosão do solo. É utilizada como meio de monitoramento na filtração da água.

Trihalometanos: São subprodutos tóxicos e potencialmente cancerígenos formados na presença de matéria orgânica e cloro. Estes podem ser detectados através da cromatografia gasosa (técnica utilizada para a identificação, separação e quantificação de substâncias orgânicas – Figura 2).

Condutividade - É a capacidade de conduzir correntes elétricas. É dependente da presença, concentração, temperatura e valência de íons. Aponta a quantidade de sais na amostra e indica poluição.

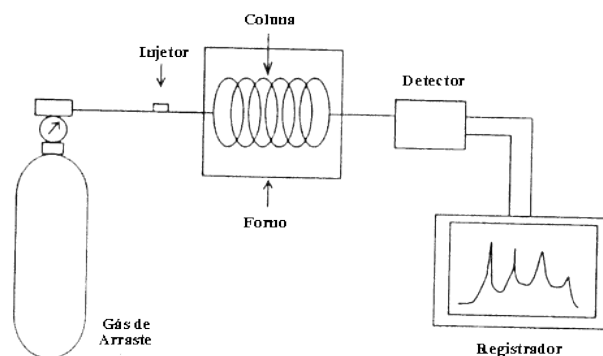


Figura 2. Esquema de um Sistema Cromatográfico Gasoso.

Fonte: COLLINS *et al.*, 2006.

Dureza - É conferida principalmente pela erosão de rocha calcária e é maior em águas subterrâneas. A dureza é medida em mg/LCaCO_3 , sendo determinada pelo método espectrofotométrico. **E. Coli**: É indicadora de contaminação fecal. Os métodos mais eficazes para sua determinação são os testes rápidos Colilert e Colitag. O teste Colilert foi aprovado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (U.S. Environmental Protection Agency, EPA) como método para detecção de coliformes totais e E. coli em água potável e para detecção de E. coli nos seguintes tipos de águas: águas do meio ambiente, águas superficiais, águas subterrâneas e águas residuais (Standard Methods, APHA 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Inicialmente, é importante ser feita uma observação que, por conta da pandemia de Covid-19, não foi possível fazer as atividades no laboratório, conforme havia sido planejado. Desse modo, a pesquisa ocorreu de forma totalmente on-line e, portanto, todos os dados e informações presentes neste trabalho foram coletados por meio de levantamento bibliográfico. As principais fontes foram as dissertações de mestrado de Nilto Cândido Faustino (2016) e Eric Augusto de Medeiros Rodrigues (2020).

Para se chegar aos resultados, foram estudados: os parâmetros de análises físico-químicas e microbiológicas com as respectivas metodologias, assim como os métodos de separação e análises cromatográficas dos subprodutos de desinfecção; os mananciais de captação da cidade de Limeira – Rio Jaguari e Ribeirão Pinhal; as etapas do tratamento de água nas ETAs; os dados contidos na Portaria de Potabilidade nº 888(2021); a NBR ISO/IEC 17025 (2017); as classes dos mananciais de acordo com o CONAMA 357 (2005); e um levantamento de qualidade do Rio Jaguari e do Ribeirão Pinhal, utilizando os dados do site da CETESB (2015 - 2020).

Nesse contexto, em relação aos mananciais de estudo, obteve-se que ambos pertencem à Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Piracicaba, Capivari e Jundiá (UGRHI-05, Águas Interiores – CETESB (2015 - 2020)), além de que são classificados como CLASSE 2, segundo CONAMA 357(2005). Ademais, pode-se analisar que o Rio Jaguari possui vazão suficiente para atender todo o município de Limeira, entretanto, em épocas de estiagem, o curso d'água possui sua qualidade reduzida, o que torna o tratamento mais complexo. Por outro lado, o Ribeirão Pinhal possui uma vazão menor, mas parâmetros qualitativos melhores que Rio Jaguari (FAUSTINO, 2016).

Desse modo, com esses dois corpos d'água disponíveis para a captação, o município consegue atender a demanda (FAUSTINO, 2016). Com isso, a Estação de Captação é estrategicamente localizada na confluência dos dois cursos d'águas, possibilitando ao município a escolha do manancial que apresentar melhores parâmetros de qualidade da água para ser realizada a captação. A fim de se analisar essa qualidade dos mananciais e o efeito sazonal, foi realizado um levantamento de qualidade dos mananciais em questão (Tabela 1), por meio do site CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Retirou-se dados sobre o Rio Jaguari (ponto JAGR02800) e o Ribeirão Pinhal (ponto PIAL02900), referindo-se ao ano de 2019 e de 2014-2018.

	Ribeirão Pinhal		Rio Jaguari		Unidades
	2019	2014-2018	2019	2014-2018	
Condutividade	57	57	144	156	µS/cm
Turbidez	23	33	105	39	UNT
Nitrogênio-nitrato	0,46	0,55	1,9	1,9	mg/L
Nitrogênio amoniacal	0,43	0,39	0,79	0,99	mg/L
Oxigênio dissolvido	6,7	6	5,3	4,8	mg/L
DBO (5 dias, 20° C)	2,3	2,2	3,8	2,8	mg/L
Fósforo total	0,37	0,05	0,29	0,24	mg/L
Echerichia coli	100	110	1,90E+03	1,90E+03	UFC/100mL
Clorofila-a	2,1	1,8	1,4	2,3	µg/L

Tabela 1 - Levantamento dos dados de qualidade da água do Ribeirão Pinhal e Rio Jaguari – Observações: µS/cm: micro-Siemens por centímetro, UNT: Unidade de Turbidez Nefelométrica, mg/L: miligrama por litro, UFC: unidade formadora de colônias, µg/L: micrograma por litro- fonte: Elaborada pelos autores.

Além disso, dos mesmo pontos, retirou-se dados como: Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público - IAP; Índice do Estado Trófico – IET; Índice de Qualidade das Águas – IQA; e Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas, sendo apresentados nas Tabelas 2 e 3.

	2014	2015	2016	2017	2018	2019
IAP	35	39	36	42	38	33
IET	59	59	55	55	57	57
IQA	49	52	55	55	55	53
IVA	5,8	5,5	3,8	3,8	4,1	3,8

Tabela 2 - Índices de Qualidade (2014-2019) do Rio Jaguari (ponto JAGR02800) – fonte: Adaptada da CETESB.

	2014	2015	2016	2017	2018	2019
IAP	71	44	66	59	61	40
IET	51	55	53	53	52	57
IQA	78	66	72	69	73	70
IVA	2,8	4,1	3,1	3,0	3,0	4,1

Tabela 3 - Índices de Qualidade (2014-2019) do Ribeirão Pinhal (ponto PIAL02900) – fonte: adaptada CETESB.

Observações: As cores representadas nas Tabelas 2 e 3 estão de acordo com a classificação desses índices segundo a CETESB (2019). Sendo, em ordem crescente de qualidade: roxo<vermelho<(laranja, se conter)<amarelo<verde<azul.

Considerando a aplicação de NaClO no tratamento de água contaminada, obteve-se que o hipoclorito de sódio apresenta resultados satisfatórios e positivos em maior parte dos parâmetros, como: a turbidez, coloração, pH, coliformes totais. E, se for feito seu uso juntamente com ultrassom (US), o resultado é ainda melhor (FAUSTINO, 2016), como pode ser observado na Tabela 4.

Ensaio	Turbidez (NTU)		pH	Cond. $\mu\text{S cm}^{-1}$	Alc mg L^{-1} CaCO_3	Cor mg L^{-1} PtCo	Abs 254 nm T2	TOC mg L^{-1}	Col. Totais (UFC)	SPDs ($\mu\text{g L}^{-1}$)	
	Dec	Filt								THMs	HAAs
VMP	0,5 - 95% e 1,0 - restante		6 a 9			15			0 em 100 mL	100	80
NaClO	8,86	0,62	6,3	69,84	17	4	0,0478	2,91	0	19,6	74,1
US+NaClO	5,91	0,58	6,4	69,55	20	4	0,0426	2,98	0	20,5	77,9
NaClO	2	0,58	6,3	94,69	12	4	0,0526	3,24	0	22,5	91,3
US+NaClO	2,09	0,59	6,3	96,04	17	5	0,0554	3,12	0	23,7	107,4

Tabela 4 - Valores obtidos dos parâmetros com o uso de NaClO nos mananciais de Limeira - Observações: Azul – Valores Máximos Permitidos, de acordo com a Portaria de Potabilidade nº 888; Verde – Ribeirão Pinhal; Laranja – Rio Jaguari – fonte: Elaborada pelos autores.

Em uma oportunidade de reunião on-line com o MSc. Nilto C. Faustino, discutiu-se sobre estes estudos e tópicos envolvidos na aplicação de NaClO e no tratamento de água nas ETAs.

CONCLUSÕES:

A partir dos estudos realizados, tem-se que o oxidante hipoclorito de sódio é muito eficiente na remoção da matéria orgânica, cor e turbidez, além de inativar patógenos e proteger contra recontaminação. Os estudos de qualidade da água dos mananciais rio Jaguari e ribeirão Pinhal revelaram qualidade e disponibilidade para atender a demanda do município de Limeira.

BIBLIOGRAFIA:

- ABNT NBR ISO/IEC 17025: 2017.
- APHA; AWWA; WPCF – “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” – 22th Edition – 2012.
- Brasil, MINISTÉRIO DA SAÚDE – “Portaria de Potabilidade nº 888 – Do Controle e da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano” - 2021.
- BRASIL. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional de Meio Ambiente.
- CARVALHO DE MEDEIROS, M. A., et al., Apostila da disciplina EB202-Química Geral do Curso Engenharia Ambiental, Faculdade de Tecnologia-FT, UNICAMP, 2020.
- CETESB, Apêndice D Índices de Qualidade das Águas, 2019.
- COLLINS, C. H., BRAGA, G. L., BONATO, P. S., "Fundamentos de cromatografia". Fundamentos de cromatografia, [S.l.], Unicamp, 2006.
- FAUSTINO, N. C. Alternativas de pré-oxidação ClO₂/H₂O₂/NaClO combinadas com ultrassom para minimização de subprodutos em águas superficiais. Universidade Estadual de Campinas, 2016.
- RODRIGUES, E. A. M., ESTUDO DE DIFERENTES OXIDANTES EM TRATAMENTO DE ÁGUA SUPERFICIAL APLICANDO ULTRASSOM: DETERMINAÇÃO DE SUBPRODUTOS VIA CROMATOGRÁFIA GASOSA. Universidade Estadual de Campinas, 2020.