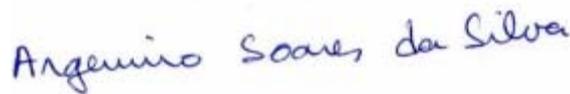


Dissertação apresentada à Pró-Reitoria de Pós-Graduação do Instituto Tecnológico de Aeronáutica, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências no Programa de Pós-Graduação em Física, Área de Física de Plasmas.

**Fabrizia Henriques Bonates**

**ESTUDO DOS EFEITOS DO GÁS OZÔNIO NO  
TRATAMENTO DE CORPOS D'ÁGUA BRUTA PARA USO  
EM HOSPITAL DE CAMPANHA**

Dissertação aprovada em sua versão final pelos abaixo assinados:



Prof. Dr. Argemiro Soares da Silva Sobrinho  
Orientador



Profa. Dra. Liana Kalczuk  
Coorientadora

Profa. Dra. Emília Villani  
Pró-Reitora de Pós-Graduação

Campo Montenegro  
São José dos Campos, SP – Brasil  
2023

## Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

### Divisão de Informação e Documentação

Bonates, Fabrizia Henriques

Estudo dos efeitos do gás ozônio no tratamento dos corpos d'água bruta para uso em hospital de campanha / Fabrizia Henriques Bonates.

São José dos Campos, 2023.

140 f.

Dissertação de mestrado – Programa de Pós-Graduação em Física, Área de Física de Plasmas – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2023. Orientador: Prof. Dr. Argemiro Soares da Silva Sobrinho; coorientadora: Profa. Dra. Liana Kalczuk.

1. Ozônio. 2. Tratamento de água. 3. Elementos de físico-químico. 4. Óxidos de alumínio. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Ciências Fundamentais. II. Título.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BONATES, Fabrizia Henriques. **Estudo dos efeitos do gás ozônio no tratamento dos corpos d'água bruta para uso em hospital de campanha**. 2023. 140 f. Dissertação (Mestrado em Física) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2023.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Fabrizia Henriques Bonates

TÍTULO DO TRABALHO: Estudo dos Efeitos do Gás Ozônio no Tratamento dos Corpos D'Água Bruta para Uso em Hospital de Campanha

TIPO DO TRABALHO/ANO: Dissertação / 2023

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias desta dissertação para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação ou tese pode ser reproduzida sem a sua autorização (do autor).

---

Fabrizia Henriques Bonates

Av. Rachel de Queiroz, S/Nº, Bloco 10, apto, 2023

CEP: 22793-100 – Rio de Janeiro – RJ

**ESTUDO DOS EFEITOS DO GÁS OZÔNIO NO  
TRATAMENTO DOS CORPOS D'ÁGUA BRUTA PARA USO  
EM HOSPITAL DE CAMPANHA**

**Fabrizia Henriques Bonates**

Composição da Banca Examinadora:

Prof. Dr.	André Luís de Jesus Pereira	Presidente	-	ITA
Prof. Dr.	Argemiro Soares da Silva Sobrinho	Orientador	-	ITA
Dra.	Liana Kalczuk	Coorientadora	-	ITA
Prof.	Douglas Marcel Gonçalves Leite	Membro Interno	-	ITA
Dr.	Anelise Cristina Osorio Cesar Doria	Membro Externo	-	UNIVAP

Dedico este trabalho ao meu marido Renato e às minhas  
filhas Luana e Renata, que sacrificaram seus próprios  
sonhos, para que eu pudesse viver os meus.

## **Agradecimentos**

O presente trabalho não poderia ter êxito sem o valoroso apoio de muitas pessoas.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, por ter permitido que eu tivesse saúde e determinação nos momentos difíceis, aos meus pais, Ana Lúcia e Asdrúbal, e aos meus irmãos, Lucyanna e Fábio, pelo apoio incessante que me deram ao longo desses anos e por terem sido o meu norte durante toda a minha vida.

Agradeço à Força Aérea Brasileira, pela oportunidade de desenvolver esse trabalho e ao Cel Av Luiz dos Alves Santos, à Cel Med Nathalie Hemmi Valente e ao Cel Av Ricardo Felzcky, por me julgarem capaz de fazê-lo.

Ao meu orientador, Professor Doutor Argemiro Soares da Silva Sobrinho, agradeço pela condução e orientações práticas, que me permitiram apresentar um melhor desempenho durante meu processo acadêmico e à minha coorientadora, Professora Doutora Cel Dent Liana Kalczuk, agradeço pelas correções e pela serenidade com a qual guiou o meu aprendizado.

Agradeço a todos os professores, funcionários, colegas e amigos do ITA, PPGA, LPP e LABBIO, pelo constante auxílio no desenvolvimento deste trabalho de pesquisa e pelo incentivo e impacto positivo em minha formação acadêmica e à Prof. Elisângela Ortiz pelo auxílio.

Ao Diretor do IMAE, Cel Med Carlos Novoa, ao Ten Cel Med Marcio Borsato e à TC Med Michelle, agradeço pelo apoio oportuno e pelo estímulo constante em meu desempenho profissional e acadêmico.

Por fim, porém não menos importante, agradeço ao meu marido Renato Bonates e às minhas filhas Luana e Renata, por serem meu alento e minha âncora, mantendo-me firme em direção aos meus objetivos.

*“Thousands have lived without love, not one without water”.*

W. H. Auden

## Resumo

A água para consumo humano é um bem considerado crítico em todo o mundo e uma das primeiras necessidades durante a mobilização das Forças Armadas e de Hospitais de Campanha (HCAMP) é a verificação da disponibilidade e qualidade da água no local de sua instalação, já que sua contaminação acidental ou intencional é fator crítico para manutenção de tropas militares. Para o aproveitamento humano, a água deve estar livre de contaminações biológicas, químicas e físicas. O objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos do gás ozônio no tratamento de amostras de água bruta distintas, oriundas de rios e lagoas, que podem exemplificar fontes de água de consumo para o HCAMP. Neste estudo, foram realizadas quatro etapas para analisar os efeitos do ozônio na água. Na primeira etapa, verificaram-se as mudanças físico-químicas na água de diferentes mananciais (DLK, JLK, VRV e PRP) após a aplicação de ozônio por 60 minutos. Foram feitas análises de pH, temperatura, EC, TDS, ORP, cor, turbidez, de absorvância por espectrofotometria UV-Vis. Na segunda etapa, avaliou-se a capacidade desinfetante do ozônio, acrescentando-se a análise da quantidade de *Escherichia coli* e Coliformes Totais antes e depois da ozonização. A terceira etapa tinha como objetivo determinar o tempo necessário para desinfecção das amostras, analisando-se microbiologicamente a água em tempos de ozonização variados. Na quarta etapa, foram analisadas as mudanças físico-químicas e microbiológicas ao submeter-se a água ao tratamento de ozônio em conjunto com a filtração lenta. Os resultados mostraram que o ozônio foi eficiente em desinfetar todas as amostras, eliminando Coliformes Totais e *Escherichia coli* após 45 minutos de ozonização no manancial VRV e após 60 minutos na amostra DLK. A ozonização sozinha mostrou-se eficaz na destruição de microrganismos presentes na água e foi capaz de melhorar os parâmetros analisados, mas em águas com alto grau de contaminação deve ser associada a outros processos, para que se obtenham os níveis de potabilidade exigidos para o consumo humano. Quanto mais limpo o corpo de água disponível para o HCAMP maior a chance de que a ozonização sozinha consiga elevar a água bruta aos níveis de potabilidade humana exigidos pela legislação.

## Abstract

Water for human consumption is considered a critical resource worldwide, and one of the key requirements of Mobilized Forces and Field Hospitals (HCAMP) is to assess water availability and quality at their deployment sites. Because accidental or intentional water pollution is a key factor in the livelihood of the military. For human consumption, water must be free from biological, chemical and physical pollutants. The aim of this study was to investigate the effect of ozone gas treatment on various raw water samples from rivers and lakes that could be used as drinking water sources for HCAMP. In this study, the effects of ozone on water were analyzed in four stages. In the first stage, the physicochemical changes of water from different sources (DLK, JLK, VRV, and PRP) were observed after ozone was applied for 60 min. Analysis using UV-Vis spectrophotometry includes pH, temperature, EC, TDS, ORP, color, turbidity, and absorbance. In the second stage, the disinfection ability of ozone was evaluated by analyzing the concentrations of *E. coli* and total coliforms before and after ozone treatment. The third stage aims to determine the required disinfection time of the samples through microbiological analysis of water with different ozone times. In a fourth step, the study examined the physicochemical and microbiological changes when water was subjected to ozone treatment combined with slow filtration. The results showed that after 45 min ozonation in the VRV source and 60 min ozonation in the DLK samples, ozone effectively disinfected all samples and eliminated total coliforms and *E. coli*. The study found that ozone treatment alone was effective in destroying microorganisms present in the water and improving analytical parameters. However, in waters with a high degree of pollution, it should be combined with other methods to achieve the drinking water quality required for human consumption. The cleaner the water source available to HCAMP, the greater the likelihood that the raw water will be enhanced to meet regulatory drinking water standards through ozone treatment alone.

## Lista de Figuras

Figura 2.1 – Características das Impurezas Presentes nas Águas (Adaptado de VON SPERLING, 1996).....	27
Figura 2.2 – Fluxograma Simplificado do Tratamento de Água Convencional.....	29
Figura 2.3 – Estrutura molecular do ozônio (BELTRÁN, 2003).....	35
Figura 2.4 – Desenho esquemático da geração de ozônio por descarga corona.....	37
Figura 2.5 – Reação do ozônio com o íon hidroxila (LIMA; FELIX; CARDOSO, 2021). ....	38
Figura 2.6 – Mecanismos de Reação do Ozônio em Solução Aquosa (Adaptado de GOTTSCHALK <i>et al.</i> , 2009). ....	38
Figura 2.7 – Mecanismo Criegee (Adaptado de LANGLAIS, 2019).....	39
Figura 2.8 – Reação Eletrolítica (LANGLAIS, 2019).....	40
Figura 2.9 – Pseudoequação Cinética de Primeira Ordem da Decomposição do Ozônio. (LANGLAIS, 2029). ....	40
Figura 2.10 – Estabilidade do ozônio (LANGLAIS, 2019). ....	41
Figura 2.11 – Mecanismo de Decomposição do Ozônio em Água (LANGLAIS, 2019).....	42
Figura 2.12 – Evolução do tratamento da Água do Lago Zurique entre 1950 e 2005 (Adaptado de VON SONNTAG; VON GUNTEN, 2015). ....	47
Figura 3.1 – HCAMP sobre balsa utilizado para atendimento no Amazonas. Foto: Agência Força Aérea.....	54
Figura 3.2 – Estatísticas de atendimentos realizados no HCAMP e nas UCS no Brasil, desde 2005. ....	55
Figura 3.3 – Atendimentos realizados no HCAMP e nas UCS por região do Brasil, desde 2005. ....	56
Figura 4.1 – Lagoa do DCTA (GOOGLE MAPS, 2022).....	60
Figura 4.2 – Lagoa Jabaquara (GOOGLE MAPS, 2022).....	61
Figura 4.3 – Rio Paraíba do Sul (GOOGLE MAPS, 2022).....	61
Figura 4.4 – Ponto de Coleta da Água Bruta da ETA do DCTA (GOOGLE MAPS, 2022). ..	61
Figura 4.5 – Gerador de ozônio. ....	62
Figura 4.6 – Aparato experimental utilizado para a ozonização da água. ....	63

Figura 4.7 – Torre ozonizadora. ....	64
Figura 4.8 – Torneira localizada na parte inferior da torre ozonizadora, utilizada para coletar as alíquotas de água, durante a ozonização. ....	65
Figura 4.9 – Ponto de coleta na Lagoa do DCTA. ....	67
Figura 4.10 – Ponto de coleta de água bruta da ETA do DCTA (torneira identificada com as letras AB, contornadas em cor vermelho). ....	67
Figura 4.11 – Kit utilizado para análise microbiológica da água (ALFAKIT, 2022). ....	69
Figura 4.12 – Cartela microbiológica utilizada para análise da água (a – antes do tratamento; b – após o tratamento). ....	69
Figura 4.13 – Desenho esquemático do filtro utilizado. ....	72
Figura 4.14 – Caracterização físico-química de uma amostra com medidor multiparamétrico de água. ....	75
Figura 5.1 – Gráfico dos resultados do potencial redox (ORP) da Etapa 1 dos Experimentos. ....	80
Figura 5.2 – Gráfico dos Resultados da Absorbância em 260 nm da Etapa 1 dos Experimentos. ....	81
Figura 5.3 – Análise Espectrofotométrica em DLK, na região UV do espectro. ....	83
Figura 5.4 – Gráfico dos Resultados de pH da Etapa 1 dos Experimentos. ....	84
Figura 5.5 – Gráfico dos resultados do total de sólidos dissolvidos (TDS) da Fase 1 dos experimentos. ....	86
Figura 5.6 – Gráfico dos resultados do total de condutividade elétrica (EC) da Fase 1 dos Experimentos. ....	87
Figura 5.7 – Resultado do teste microbiológico com amostra do Rio Vidoca antes da ozonização. ....	89
Figura 5.8 – Resultado do teste microbiológico com amostra do Rio Vidoca após a ozonização. ....	90

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Processos do Tratamento de Água (Adaptado de FRANCISCO, 2011; FUNASA, 2019).....	28
Tabela 2.2 – Classificação das águas naturais para abastecimento público e tipo de tratamento necessário (Adaptado da NBR 12216/1992). .....	30
Tabela 2.3 – Propriedades Físico-químicas do Ozônio (Adaptado de SILVA, 2006). .....	34
Tabela 2.4 – Potencial de Redução dos Principais Oxidantes Utilizados no Tratamento de Água (Adaptado de GEPPERT, 2018). .....	50
Tabela 4.1 – Mananciais utilizados nos experimentos. ....	60
Tabela 4.2 – Dados da etapa 1 do experimento. ....	66
Tabela 4.3 – Dados da etapa 2 do experimento. ....	68
Tabela 4.4 – Dados da etapa 3 do experimento. ....	70
Tabela 4.5 – Dados da etapa 4 do experimento. ....	73
Tabela 5.1 – Resultados da Etapa 1 dos Experimentos (Lagoa do DCTA).....	78
Tabela 5.2 – Resultados da Etapa 1 dos Experimentos (Lagoa do Jabaquara). ....	78
Tabela 5.3 – Resultados da Etapa 1 dos Experimentos (Rio Paraíba).....	79
Tabela 5.4 – Resultados da Etapa 1 dos Experimentos (Rio Vidoca). ....	79
Tabela 5.5 – Resultados de cor e turbidez da Etapa 1 dos Experimentos. ....	88
Tabela 5.6 – Resultados da Etapa 2 dos Experimentos (Rio Vidoca). ....	90
Tabela 5.7 – Resultados da Etapa 3 dos Experimentos (Lagoa do DCTA).....	92
Tabela 5.8 – Resultados da Etapa 3 dos Experimentos (Rio Vidoca). ....	93
Tabela 5.9 – Resultados da Etapa 4 dos experimentos (Lagoa do DCTA). ....	94
Tabela 5.10 – Resultados da Etapa 4 dos experimentos (Rio Vidoca).....	94
Tabela 5.11 – Resultados da Etapa 4 dos experimentos de filtração seguida de ozonização (Rio Vidoca). ....	94
Tabela 5.12 – Resultados da Etapa 4 dos Experimentos (Empresa QUIMBIOL). ....	95
Tabela 5.12 – Resultados da Etapa 4 dos Experimentos (Empresa QUIMBIOL). (continuação). .....	96
Tabela 5.13 – Parâmetros de Enquadramento nas Classes de Água Doce e Tratamento Necessário (Adaptado de PINTO <i>et al.</i> , 2008; Resolução n°. 357 do CONAMA (2005).....	97

## Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
AOC	Carbono Orgânico Assimilável
BDOC	Carbono Orgânico Dissolvido Biodegradável
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CIP	Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COT	Carbono Orgânico Total
COVID-19	Doença por Coronavírus
DBP	Subprodutos de Desinfecção
DCTA	Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial
DLK	Lagoa do DCTA
DOC	Carbono Orgânico Dissolvido
DOM	Matéria Orgânica Dissolvida
EC	Condutividade Elétrica
ETA	Estação de Tratamento de Água
FAB	Força Aérea Brasileira
FIME	Filtração em Múltiplas Etapas
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
GAC	Carvão Ativado
HCAMP	Hospital de Campanha
HAA	Ácidos Haloacéticos
HAN	Acetonitrilas Halogenadas

ID	Demanda Instantânea de Ozônio
ITA	Instituto Tecnológico de Aeronáutica
LABBIO	Laboratório de Bioengenharia
LPP	Laboratório de Plasmas e Processos
JLK	Lagoa Jabaquara
NOM	Matéria Orgânica Natural
ORP	Potencial de Oxirredução
pH	Potencial Hidrogeniônico
POA	Processo de Oxidação Avançada
PRP	Rio Paraíba
SI	Sistema Internacional de Unidades
SNIS	Saneamento do Instituto Trata Brasil
TDS	Sólidos Totais Dissolvidos
THM	Trihalometanos
UCS	Unidade Celular de Saúde
UV-Vis	Ultravioleta-Visível do Espectro Eletromagnético
VRV	Rio Vidoca

## Lista de Símbolos

$O_3$	ozônio
$k'$	pseudo-constante de velocidade de primeira ordem para um determinado valor de pH
pH	potencial hidrogeniônico
$kC$	pseudo-constante da taxa de primeira ordem de decaimento de ozônio
$T_{O_3}$	taxa de alimentação de ozônio
$c_{O_3}$	concentração da fase gasosa do ozônio
$q_{O_2}$	vazão de alimentação do oxigênio
$D_{O_3}$	dosagem de ozônio aplicado
$V$	volume da amostra

## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>1.1</b>	<b>Motivação e Contextualização.....</b>	<b>17</b>
<b>1.2</b>	<b>Problema de Pesquisa.....</b>	<b>20</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos do Trabalho.....</b>	<b>21</b>
1.3.1	Objetivo Geral .....	21
1.3.2	Objetivos Específicos .....	21
<b>1.4</b>	<b>Justificativa .....</b>	<b>21</b>
<b>1.5</b>	<b>Organização do Trabalho .....</b>	<b>22</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>24</b>
<b>2.1</b>	<b>Abastecimento de Água no Brasil e no Mundo.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2</b>	<b>Tratamento de Água .....</b>	<b>25</b>
2.2.1	Considerações Gerais .....	25
2.2.2	Cloro e Compostos Clorados no Tratamento de Água.....	31
2.2.3	Ozônio .....	33
2.2.3.1	Características do Ozônio.....	33
2.2.3.2	Geração de Ozônio .....	35
2.2.3.3	Descarga Corona.....	36
2.2.3.4	Decomposição do Ozônio em Água .....	37
2.2.4	Tratamento de Água com Ozônio.....	44
2.2.4.1	Subprodutos da Ozonização .....	50
<b>3</b>	<b>HOSPITAL DE CAMPANHA .....</b>	<b>53</b>
<b>3.1</b>	<b>Evolução Histórica e Considerações Gerais.....</b>	<b>53</b>
<b>3.2</b>	<b>Tratamento de Água em Campanha .....</b>	<b>56</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>59</b>
<b>4.1</b>	<b>Obtenção das Amostras de Água .....</b>	<b>59</b>
<b>4.2</b>	<b>Ozonização das Amostras de Água .....</b>	<b>62</b>
4.2.1	Etapas do Experimento.....	65
4.2.1.1	Etapa 1 .....	65
4.2.1.2	Etapa 2 .....	67
4.2.1.3	Etapa 3 .....	70
4.2.1.4	Etapa 4 .....	71

<b>4.3 Cálculo da Dosagem de Ozônio aplicada às amostras .....</b>	<b>73</b>
4.3.1 Taxa de Alimentação de Ozônio .....	73
4.3.2 Dosagem de Ozônio Aplicado .....	74
<b>4.4 Caracterização das amostras.....</b>	<b>74</b>
4.4.1 Potencial de Oxirredução (ORP) .....	75
4.4.2 Potencial Hidrogeniônico (pH).....	76
4.4.3 Total de Sólidos Dissolvidos (TDS).....	76
4.4.4 Condutividade Elétrica (EC) .....	76
4.4.5 Cor .....	77
4.4.6 Turbidez.....	77
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕESS .....</b>	<b>78</b>
<b>5.1 Resultados da Etapa 1.....</b>	<b>78</b>
<b>5.2 Resultados da Etapa 2.....</b>	<b>88</b>
<b>5.3 Resultados da Etapa 3.....</b>	<b>91</b>
<b>5.4 Resultados da Etapa 4.....</b>	<b>93</b>
5.4.1 Caracterização das Amostras no ITA .....	94
5.4.2 Caracterização das Amostras no Laboratório da QUIMBIOL .....	94
<b>6 DISPSIÇÕES FINAIS.....</b>	<b>99</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>102</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>109</b>
<b>A.1 Análise da Água Bruta da ETA.....</b>	<b>109</b>
<b>A.2 Análise da Água Tratada da ETA do DCTA .....</b>	<b>115</b>
<b>A.3 Análise da Água Tratada da ETA com Filtração .....</b>	<b>122</b>
<b>A.4 Análise da Água Bruta da Lagoa do DCTA.....</b>	<b>128</b>
<b>A5. Análise da Água Tratada da Lagoa do DCTA.....</b>	<b>134</b>

# 1 Introdução

Nesta seção do trabalho, será apresentada a motivação e breve histórico acerca do tema estudado, contemplando a evolução deste campo, os objetivos do trabalho e o avanço proporcionado por esta pesquisa. Ademais, segue uma breve descrição sobre a metodologia empregada e sobre os capítulos deste trabalho.

## 1.1 Motivação e Contextualização

Recentes situações de instabilidade mundial, tais como a pandemia de COVID-19 e o conflito armado entre a Rússia e a Ucrânia, ocasionaram a mobilização das Forças Armadas e propagaram a utilização de Hospitais de Campanha (PASQUIER *et al.*, 2021), estruturas destinadas inicialmente ao tratamento e evacuação de feridos em batalha, mas que foram aprimoradas no decorrer do tempo para serem empregadas no auxílio à população em situações de calamidade e desastres naturais (SANTOS, 2017; RAMBAUSKE, 2018).

De acordo com o Manual de Doutrina de Operações Conjuntas das Forças Armadas (BRASIL, 2020), uma das primeiras necessidades durante mobilização das Forças Armadas em caso de calamidade pública é a verificação da disponibilidade e qualidade da água no local. Para as atividades militares, a água, além de fonte de subsistência e manutenção da higidez da tropa e das atividades diárias, representa também um possível meio de contaminação acidental ou intencional de toda uma população e, portanto, é um bem que deve ser constantemente monitorizado. Para o aproveitamento humano, independentemente de o seu uso ser destinado para consumo, limpeza ou para recreação, a água deve estar livre de contaminação biológica, química e física (BRASIL, 2021; LI; WU, 2019).

A disponibilidade de água para consumo humano é crítica em todo o mundo. De acordo com dados do Ministério da Saúde, aproximadamente 17% da população do Brasil não dispõe de acesso a nenhum tipo de abastecimento de água potável e no mínimo sete milhões de brasileiros consomem água sem o tratamento mínimo apontado como necessário para obtenção do padrão de potabilidade (BRASIL, 2020).

O ranking de Saneamento do Instituto Trata Brasil 2022 (SNIS 2022) considera que existe tratamento de água em 95,03% dos municípios avaliados, o que representa uma pequena progressão em relação aos 94,25% observados em 2019. Os dados pesquisados, entretanto, referem-se a apenas 100 dos 5.568 municípios, Distrito Federal e Distrito

Estadual de Fernando de Noronha do Brasil, e a situação real do tratamento de água no Brasil continua desconhecida, sobretudo em áreas de maior dificuldade de acesso, como a região amazônica.

Em atividades de campanha, as possibilidades de tratamento são reduzidas e determinadas pela disponibilidade dos meios existentes no local e, dada a situação de constante movimento da tropa, muitas vezes precisam ser improvisadas e portáteis (STUDART, 2011).

O tratamento de água a ciclo completo realizado no Brasil consiste em diversas etapas que utilizam a adição de cloro (RICHTER, 2009), insumo capaz de produzir vários subprodutos de desinfecção, tais como trihalometanos (THM), ácidos halocéticos (HAA) e acetnitrilas halogenadas (HAN), que são compostos que prejudicam a qualidade da água, além de terem comprovado potencial cancerígeno (DELZELL *et al.*, 1994; LI; WU, 2019, MAZHAR *et al.*, 2020).

Existem limitações da ação do cloro na presença de alguns patógenos, tais como o *Cryptosporidium* (LONG; HULSEY; HOEHN, 1999), alguns vírus e bactérias e, além disso, muitos dos contaminantes hídricos presentes na atualidade não são passíveis de inativação ou destruição pelo cloro, citando-se como exemplo os agrotóxicos, os disruptores endócrinos, os anti-inflamatórios e antibióticos (HITZFELD; HÖGER; DIETRICH, 2000).

No tratamento de água de muitos países e cidades, a etapa inicial de cloração foi eliminada e substituída pela etapa de pré-oxidação da água bruta com o ozônio, com a finalidade de oxidar a matéria orgânica existente (KRENEK, 1987; LANGLAIS, 1991; RICE, 1995).

O ozônio também foi adicionado ao tratamento na etapa de desinfecção microbiológica (MORRISON *et al.*, 2022), porém, quando a desinfecção é realizada desta forma, ainda há necessidade de adição de cloro em pequena quantidade, para manter uma taxa residual do insumo durante a distribuição da água pela tubulação da rede pública. Esta quantidade aplicada é muito menor do que a que seria usada no método sem ozônio e é necessária pela pequena meia vida do ozônio, dada pela sua volatilidade e fácil dissipação na água tratada.

O ozônio é usado desde o século XIX no tratamento de água de várias cidades europeias e atualmente é utilizado em muitos países (RICE, 1995; SMITH; MOSS, 1993).

No Brasil, a Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021 prevê o uso de 0,16 mg.min/L de ozônio para a desinfecção de água (art. 32, parágrafo 2º). Tem potente ação bactericida, virucida e fungicida, oxida a matéria orgânica presente na água e consegue degradar muitos tipos de contaminantes presentes na atualidade, que não são degradados pela cloração (RICHTER, 2009).

O tratamento de água nos locais sem acesso à rede pública de abastecimento, quando disponível, baseia-se na desinfecção da água por compostos clorados, porém o cloro, ao reagir com a matéria orgânica, produz compostos potencialmente cancerígenos, como as cloraminas, que acabam por ser ingeridas pela população que faz uso da água clorada nestas condições (MAZHAR *et al.*, 2020; GUO *et al.*, 2021).

Em Hospitais de Campanha militares, que podem ser ativados para apoio em situações de calamidade e que, portanto, podem ser montados distantes dos centros urbanos, a disponibilidade de água tratada é uma das primeiras urgências a serem mitigadas pelos militares, pois seu consumo é necessário para a subsistência, preparo da alimentação, higiene pessoal e funcionamento do hospital (BARBOZA *et al.*, 2019; BRASIL, 2020). Via de regra, o tratamento é feito pela cloração simples da água disponível no local ou pelo abastecimento de água por meio de caminhões-pipa. Sabe-se que o racionamento de água em Hospitais de Campanha e em exercícios militares contribui grandemente para o aparecimento de patologias evitáveis, como dermatofitoses de pés (frieiras), ocasionada pelo reuso de meias, uso de botas militares e ambientes com alta temperatura e umidade. As dermatofitoses nos pés atingem até 70% dos militares em exercícios de campanha e respondem por até 30% das baixas. A disponibilidade de água para lavagem de roupas no HCAMP é fator fundamental para a manutenção da saúde da tropa. Além disso, patologias diarreicas ocasionadas por contaminação hídrica são responsáveis por muitas baixas em situações de conflito (CHARLES *et al.*, 2014).

A intenção deste projeto foi iniciar o desenvolvimento de uma metodologia de tratamento de água para utilização em Hospital de Campanha, por meio do uso de geradores de ozônio. Idealmente, um dispositivo para tratamento de água para o HCAMP deve ser de fácil transporte e pequeno volume, uma vez que usualmente o hospital de campanha é transportado desmontado, em caixas, até o local onde será montado (área do teatro de operações). Para tanto, o sistema de tratamento de água por ozônio a ser desenvolvido a partir deste trabalho deve respeitar a cubagem máxima permitida no transporte pelas

aeronaves C-130 Hércules e KC-390 Millenium, que são empregados no deslocamento e transporte do HCAMP (BRASIL, 2016). Além disso, o dispositivo deve ser de baixo consumo de energia, ser capaz de produzir água potável em quantidade suficiente para o abastecimento do HCAMP, necessitar de pouca manutenção e ter fácil instalação.

A motivação para esta pesquisa ampara-se em necessidade mundial, o dispositivo poderá ser empregado tanto para tratamento de água em Hospitais de Campanha militares, como para populações sem acesso à rede de abastecimento público de água, com as vantagens do tratamento pelo ozônio, a facilidade de instalação, portabilidade (ser de fácil transporte, facilitando a logística do hospital de campanha), com mínima necessidade de insumos e alimentado por painéis solares.

As tecnologias apresentadas sucintamente nesta seção constituem o atual estado da arte do tratamento de água utilizado em Hospitais de Campanha e o desafio futuro é aplicar a metodologia desenvolvida para o tratamento de água em um equipamento de baixo custo, alta eficiência, facilmente transportável em situação de campanha, que possua fácil manutenção, instalação e transporte, e que seja capaz de fornecer água potável em quantidade suficiente para suprir a demanda dos Hospitais de Campanha militares, que é de aproximadamente 1000L por dia.

## **1.2 Problema de Pesquisa**

O Problema desta Pesquisa baseia-se na dificuldade de obtenção de água potável em acampamentos militares e Hospitais de Campanha montados fora de centros urbanos, ou em locais que estão enfrentando situações de calamidade pública. Normalmente a Logística Militar procura montar os HCAMP e alojamentos próximos a locais com disponibilidade de rede pública de abastecimento e fontes de água.

Entretanto, em alguns locais mais remotos e em situações de calamidade pública, os recursos hídricos não possuem tratamento adequado e faz-se necessária a utilização de cloro para desinfecção da água antes de sua utilização, porém esta metodologia apresenta diversos inconvenientes, tais como a geração de subprodutos sabidamente cancerígenos, além de limitações em seu espectro de ação, ao não eliminar alguns patógenos, antibióticos, hormônios, metais pesados e outros micropoluentes emergentes presentes na água.

## **1.3 Objetivos do Trabalho**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos do gás ozônio no tratamento de amostras de água bruta distintas, oriundas de rios e lagoas, que podem exemplificar fontes de água de consumo para o HCAMP.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Montar um aparato experimental equipado com gerador de ozônio, reservatório de água e sistema de circulação de água para a realização dos experimentos;
- Estudar o efeito da aplicação do ozônio para o tratamento de água bruta de várias origens (rios, lagoas) por meio de análises físico-químicas e microbiológicas;
- Avaliar a ozonização como método de tratamento de água a ser adotado em Hospitais de Campanha.

## **1.4 Justificativa**

A pesquisa busca estudar os efeitos do uso do gás ozônio no tratamento de água bruta de rios e lagoas que podem exemplificar o tipo de água que pode estar disponível para uso no HCAMP, uma vez que nele a necessidade de saneamento é fundamental para a manutenção e permanência da tropa em operação. A metodologia a ser desenvolvida deve ser capaz de realizar o tratamento de águas superficiais, promovendo a eliminação de microrganismos patogênicos e micropoluentes diversos, tornando a água própria para a utilização em Hospitais de Campanha (lavagem de roupas, cozinha, descargas de vaso sanitário, banho etc.).

O tratamento de água por geradores de ozônio movidos à energia fotovoltaica não produz impacto ambiental negativo, uma vez que usa energia limpa e não necessita de insumos de quaisquer espécies para o seu funcionamento, apenas de oxigênio, que pode obtido a partir de cilindros comercialmente disponíveis ou do próprio ar ambiente, por meio de um concentrador de oxigênio acoplado diretamente ao gerador de ozônio.

Os resultados deste estudo podem contribuir para o emprego do ozônio em comunidades que não dispõem de acesso à rede pública de abastecimento de água ou onde

não há tratamento adequado para a água de consumo, contribuindo para o desenvolvimento social e sustentável do país.

A contribuição dessa pesquisa será capaz de proporcionar um avanço importante para a FAB e Forças Armadas, do ponto de vista operacional, econômico, ambiental e social.

## **1.5 Organização do Trabalho**

Para abordar este tema, a Revisão Bibliográfica procurou demonstrar uma visão abrangente do abastecimento de água no Brasil e no mundo, considerando aspectos relacionados à crise hídrica mundial, ao acesso à água tratada e à ação do homem e do processo de urbanização para a perpetuação do problema.

Em seguida, foi abordado o tratamento de água, considerando seus aspectos gerais e a finalidade do mesmo em garantir a água potável, além de conceitos relacionados à desinfecção da água e alguns produtos que podem ser usados para esta etapa do tratamento, de acordo com o Ministério da Saúde. Foram analisados também fatores que influenciam diretamente a atividade do desinfetante e passou-se a discorrer sobre o cloro, que é o insumo utilizado no tratamento de água no Brasil e, posteriormente, sobre o ozônio. Nos dois casos, foram abordados aspectos físico-químicos, mecanismos de ação, com ênfase nos estudos referentes aos subprodutos de decomposição. Foi dado maior enfoque ao ozônio, que é o tema dessa pesquisa, com apresentação de dados sobre suas características, seu histórico de utilização e seu processo de formação por descarga corona, método usado para a realização dos experimentos do trabalho.

No Capítulo 3, foram abordados e discutidos fenômenos relacionados aos Hospitais de Campanha, mostrando uma breve evolução histórica e os métodos empregados ao longo do tempo para tratamento de água em situações de mobilização militar.

O Capítulo 4 destina-se à apresentação dos materiais e métodos empregados para o desenvolvimento deste trabalho, além de explicar a metodologia do trabalho proposto, a descrição dos experimentos e as características dos principais dispositivos utilizados. Este capítulo traz ainda dados sobre a obtenção das amostras de água e a caracterização dessas amostras, antes e após o tratamento com ozônio.

A análise e tratamento dos dados, bem como a discussão sobre o tema relacionando-os aos teóricos introduzidos no Capítulo 2, são demonstrados no Capítulo 5. Os resultados encontrados são apresentados sob a forma de tabelas e gráficos.

O Capítulo 6 é dedicado às conclusões do trabalho, mostrando as principais contribuições da pesquisa e sugestões para estudos futuros.

Os resultados encontrados pelo laboratório externo contratado são apresentados no Anexo A.

## 2 Revisão Bibliográfica

### 2.1 Abastecimento de Água no Brasil e no Mundo

A água é um recurso fundamental para o desenvolvimento e manutenção de todas as formas de vida no planeta. Porém, mesmo sabendo de sua importância, o ser humano vem alterando e degradando o meio ambiente e essas ações têm comprometido tanto a quantidade quanto a qualidade da água no Brasil (NÓBREGA, 2021).

Com o crescimento populacional e o desenvolvimento econômico, as reservas de água doce passaram a ser cada vez mais exploradas nos diversos processos industriais e comerciais e, mesmo com todas as narrativas utilizadas em torno da preservação dos recursos naturais, especialmente dos recursos hídricos, ainda há a necessidade de estabelecer medidas de controle e preservação, para que os cursos d'água não sejam afetados e tenham sua disponibilidade reduzida. A quantidade insuficiente de água doce vem sendo um problema de grande dimensão, que afeta as populações em vários aspectos, principalmente na qualidade de vida (UNICEF, 2021).

A água distribui-se de maneira irregular em nosso planeta e se encontra em diferentes lugares, inclusive naqueles mais remotos, distantes ou inacessíveis ao ser humano. Atualmente uma das maiores preocupações mundiais é a demanda hídrica, devido ao considerável crescimento populacional, visto que a quantidade de água doce disponível no planeta corresponde a uma pequena fração de toda a água existente no globo terrestre, visto que mais de 97,5% da água do planeta é salgada. Da parcela de água doce, 68,9% encontram-se nas geleiras e calotas polares ou em regiões montanhosas, 29,9% em águas subterrâneas e 0,9% compõem a umidade (MIRANDA, 2004).

No cenário mundial, o Brasil apresenta-se como privilegiado, graças a sua grande quantidade de recursos hídricos, dada por seu elevado índice pluviométrico. Entretanto, fatores como a má distribuição destes recursos e a distância geográfica destes em relação aos grandes centros urbanos, agravam a escassez hídrica do país (REBOUÇAS, 2004).

Aproximadamente 1.40 bilhões de pessoas residem em áreas de alta vulnerabilidade hídrica em todo o mundo. Menos de 3% das águas do mundo são consideradas frescas e há uma dicotomia entre o progressivo aumento da necessidade deste recurso e sua crescente escassez, causada, dentre outros fatores, por sua má utilização e gestão (UNICEF, 2021).

O Brasil possui 12% das reservas hídricas disponíveis no mundo, com 80% do volume de águas superficiais do país localizadas na região amazônica. Os 20% restantes são responsáveis por abastecer aproximadamente 95% da população brasileira (BRASIL, 2020). Dados do Instituto Trata Brasil (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS 2020) registraram quase 35 milhões de brasileiros sem acesso à água potável, que, somando-se ao baixo índice de residências sem coleta ou tratamento de esgoto, resultaram em contínuas internações motivadas por doenças de veiculação hídrica (UNICEF, 2021).

O acesso à água tratada é um elemento fundamental do IDH, pois a falta de saneamento básico afeta diretamente a dimensão básica saúde do índice. Em muitas regiões de nosso País, há uma baixa disponibilidade hídrica e a qualidade da água não está adequada ao consumo humano, de acordo com o Ministério da Saúde, devido à contaminação orgânica e microbiológica (BRASIL, 2020). Em algumas regiões do interior do Brasil e do mundo, a água é coletada de açudes, rios, cisternas, dentre outros, havendo pouco ou nenhum tratamento desta água antes da sua utilização doméstica (PALANSOORIYA *et al.*, 2020).

Assim como o crescimento demográfico, a urbanização, as mudanças climáticas, e diversas atividades humanas cotidianas impactam a qualidade da água, tais como a agricultura, indústria, mineração, a infraestrutura hídrica e o lançamento direto de efluentes domésticos sem tratamento diretamente em corpos d'água (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2013).

## **2.2 Tratamento de Água**

### **2.2.1 Considerações Gerais**

Em 1855, o médico inglês John Snow relacionou a transmissão de cólera à água consumida, porém as bases científicas para protocolos de controle da qualidade da água só foram estabelecidas décadas depois, após a descoberta da existência de microrganismos por Louis Pasteur, em 1863, e o isolamento do bacilo *Vibrio cholerae* por Robert Cook, em 1883. Após diversos surtos de cólera e febre tifoide na Europa, o tratamento da água em sistemas públicos de abastecimento foi implantado, visando evitar a disseminação de doenças causadas por contaminação microbiológica e transmitidas por via hídrica (VIEIRA; MORAIS, 2005; HOWE *et al.*, 2022).

O tratamento de água é o conjunto de processos físicos e químicos que tem por finalidade tornar a água potável, ou seja, torná-la própria para o consumo humano, adequando suas características originais em seu estado bruto ao padrão de potabilidade definido pela legislação em vigor (CONAMA, 2005), além de ter como objetivo principal proteger a saúde pública (HOWE *et al.*, 2022). De acordo com a Portaria de Consolidação n.º 05, o padrão de potabilidade da água é o “conjunto de valores permitidos como parâmetro da qualidade da água para consumo humano” (BRASIL, 2017, p. 2).

Um manancial superficial corresponde às águas acumuladas na superfície terrestre que serão usadas no sistema de abastecimento de água. Normalmente correspondem à água doce de rios, córregos, ribeirões, lagos e reservatórios artificiais, tais como açudes e lagos represados. Devido à escassez e dificuldade de obtenção de água doce no globo terrestre, alguns países do Oriente Médio, Austrália e Caribe, além de navios e submarinos, utilizam águas oceânicas dessalinizadas para esta finalidade, entretanto, esta é uma situação que envolve processos mais complexos e, conseqüentemente, mais caros (FUNASA, 2019).

Diversas variáveis podem ser empregadas para a caracterização de um curso d'água, envolvendo parâmetros físicos, químicos, microbiológicos, biológicos, toxicológicos e radiológicos e seus parâmetros são determinados pelo seu uso preponderante, considerando-o dentre as seguintes utilizações previstas: consumo humano, preservação da vida aquática, irrigação e dessedentação de animais, abastecimento industrial, recreação ou outros (CONAMA, 2005).

As águas superficiais dos mananciais normalmente arrastam em seu curso partículas inorgânicas, como barro, lodo e óxidos minerais, partículas orgânicas, como algas, vírus, bactérias, cistos de protozoários, oocistos de parasitas intestinais e detritos, e ainda colóides orgânicos dissolvidos, como ácidos húmicos e fúlvicos, que são resultado da lixiviação e degradação de detritos orgânicos. Desse modo, os constituintes da fonte de água que será utilizada para tratamento dependem das condições locais, representadas por seus aspectos geológicos, o clima e o tipo de atividade humana que existe no local (HOWE *et al.*, 2022).

A qualidade da água é o resultado de propriedades físicas, químicas e biológicas. As propriedades físicas compreendem a temperatura, a luz, o material em suspensão e o seu estado físico, enquanto as químicas relacionam-se às concentrações de oxigênio dissolvido, nutrientes, clorofila e pH. As variáveis biológicas da água são compostas pelos diversos tipos de microrganismos presentes, tais como bactérias, cianobactérias, leveduras, fungos,

microcrustáceos, moluscos, peixes e plantas aquáticas são as variáveis biológicas. Esta interação mantém a qualidade dos recursos hídricos e o equilíbrio dos ecossistemas.

De acordo com Von Sperling (1996), as impurezas presentes na água bruta podem ser classificadas de acordo com suas características físicas, químicas e biológicas, conforme demonstrado na Figura 2.1.

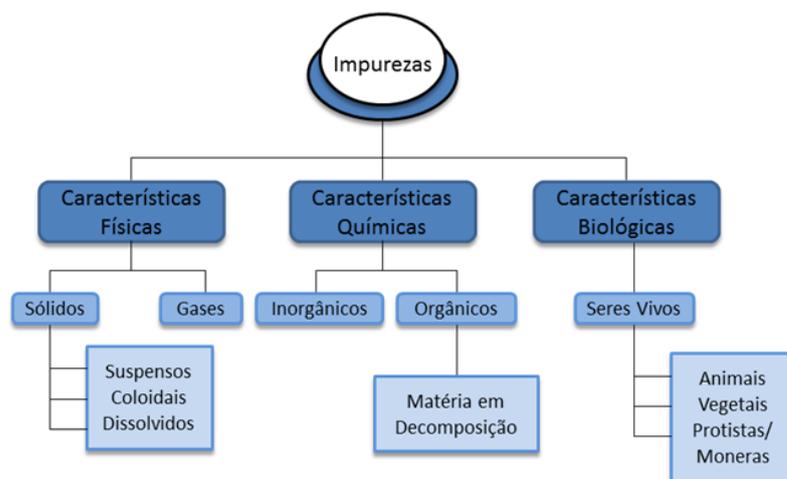


Figura 2.1 – Características das Impurezas Presentes nas Águas (Adaptado de VON SPERLING, 1996).

De acordo com a qualidade físico-química e microbiológica, ou seja, de acordo com o tipo de impurezas presentes no manancial, é estabelecido o tratamento necessário para que seja obtida a água potável. Segundo a Fundação Nacional de Saúde (2019), existem dois grandes grupos de tecnologias de tratamento de água: o primeiro corresponde aos processos que não utilizam coagulação química, enquanto o segundo grupo contempla o uso de coagulação química. A qualidade da água bruta é o fator que irá determinar qual tipo de tratamento será utilizado e ambos os grupos podem ou não necessitar de pré-tratamento ou complementações.

De modo geral, o tratamento de águas naturais baseia-se em dois fenômenos: a clarificação e a desinfecção (Tabela 2.1). A clarificação relaciona-se à remoção de sólidos, responsáveis por algumas características físicas da água, tais como a turbidez e a coloração, enquanto a desinfecção consiste na aplicação de meios físicos, químicos ou ambos para inativar microrganismos patogênicos (BRASIL, 2006). Depois dos processos principais são feitas a fluoretação e a correção do pH, para que água tratada possa ser distribuída na rede de abastecimento (FRANCISCO, 2011).

Tabela 2.1 – Processos do Tratamento de Água (Adaptado de FRANCISCO, 2011; FUNASA, 2019).

<b>Processo</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Etapa</b>	<b>Características</b>
Clarificação	Remoção de turbidez, Cor e, de forma secundária, Matéria Orgânica Natural.	Coagulação	Promove a alteração físico-química das partículas coloidais da água, por meio da aplicação de coagulantes químicos, que têm a finalidade de reduzir as forças que mantêm separadas as partículas em suspensão.
		Floculação	Por meio de uma mistura lenta, ocorre a colisão entre as partículas previamente desestabilizadas na coagulação, formando partículas de maior tamanho (flocos).
		Decantação	É um processo físico de separação de partículas sólidas suspensas, que ocorre pela sedimentação das partículas mais pesadas do que a água, que são depositadas em uma superfície ou zona de armazenamento.
Desinfecção	Eliminação de microrganismos patogênicos	Filtração	Promove a remoção de partículas em suspensão não retidas no decantador, por meio da passagem da água por um meio poroso.
		-	Consiste em uma etapa obrigatória do tratamento, responsável pela eliminação de organismo patogênicos e realizada por meio de agentes físicos ou químicos.
Fluoretação	Prevenção de cáries	-	Consiste na adição de flúor, em geral na forma de ácido fluossilícico, fluossilicato de sódio, fluoreto de sódio ou fluoreto de cálcio, com a finalidade de diminuir o risco à cárie na população local.
Correção de pH	Combate à incrustação e corrosão dos encanamentos	-	O pH da água no sistema de distribuição deve ser mantido entre 6 e 9,5. Caso haja necessidade, após o tratamento, deve ser usada uma substância como a cal hidratada, para a correção do pH da água antes de distribuí-la. pH elevado pode provocar incrustações na tubulação e o pH baixo pode provocar corrosão da tubulação.

A coagulação química não é utilizada em águas que apresentam uma melhor qualidade e baixos índices de turbidez e cor. Nesta situação, a água passa pelo processo de filtração lenta ou pela filtração em múltiplas etapas (FIME) para que haja a sua clarificação. A filtração lenta é feita por meio da passagem da água por um meio granular, geralmente areia, para melhorar suas características químicas, físicas e biológicas. É um método simples e barato, por não utilizar produtos químicos, nem equipamentos sofisticados nessa etapa, e é muito adotado em pequenas comunidades. Na FIME, a água passa por sucessivas estações de filtração, nas quais há uma remoção de matéria orgânica de forma progressiva, que buscam preparar o efluente adequadamente para entrar no tratamento seguinte. A sequência desse processo consiste em pré-filtração dinâmica, pré-filtração grosseira e filtração lenta. Após um dos métodos de filtração adotado, a água deve sofrer o tratamento de desinfecção, para que ela se torne livre de patógenos e própria para o consumo humano (FUNASA, 2019).

Durante os processos numa estação de tratamento de água (ETA) convencional, as etapas de sedimentação, coagulação e filtração removem parte dos organismos patogênicos e outros presentes na água (VON NEUTEGEM, 2018), entretanto a desinfecção é uma etapa obrigatória para o tratamento de qualquer tipo de água, por inativar os microrganismos existentes e prevenir a sua rebrota no sistema de distribuição (FUNASA, 2019; HOWE, 2022).

A desinfecção no tratamento de água acontece de duas maneiras: a desinfecção primária é a fase na qual os microrganismos são inativados, enquanto a desinfecção secundária corresponde a uma manutenção deste efeito de forma residual e ocorre na rede de distribuição de água, evitando a rebrota de patógenos (HOWE, 2022).

A tecnologia de tratamento convencional, denominada de ciclo completo, é a mais utilizada no Brasil e contempla as etapas de pré-tratamento, coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação (RODRIGUES, 2020).

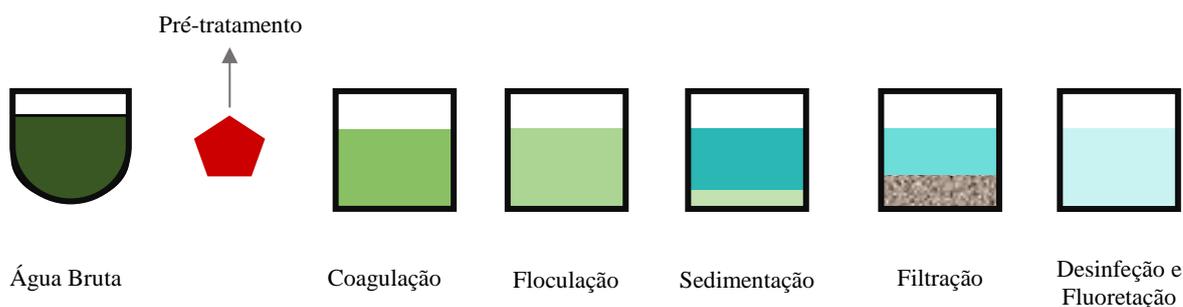


Figura 2.2 – Fluxograma Simplificado do Tratamento de Água Convencional.

Após a compreensão dos processos que ocorrem durante o tratamento de água, é possível observar que a legislação brasileira prevê a classificação das águas naturais para fins de abastecimento público e o tratamento mínimo necessário para cada tipo (Tabela 2.2) (ABNT, 1992). Observa-se que, o tratamento mínimo previsto para uma fonte de água do tipo A, que apresenta melhor qualidade físico-química e microbiológica, é a desinfecção e, se necessário, a correção de pH. Mais etapas de tratamento são acrescentadas à medida que diminui a qualidade do manancial adotado.

Tabela 2.2 – Classificação das águas naturais para abastecimento público e tipo de tratamento necessário (Adaptado da NBR 12216/1992).

<b>Tipos</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>DBO 5 dias (mg/L)</b>				
Média	Até 1,5	1,5 - 2,5	2,5 - 4,0	> 4,0
Máxima, em qualquer amostra	1 - 3	3 - 4	4 - 6	> 6
<b>Coliformes (NMP/100 mL)</b>				
Média mensal (qualquer mês)	50 - 100	100 - 5000	5000 - 20000	> 20000
Máximo	> 100 cm - menos de 5% das amostras	> 5000 cm menos de 20% das amostras	>20000 cm menos de 5% das amostras	
<b>pH</b>	5 - 9	5 - 9	5 - 9	3,8 - 10,3
<b>Cloretos</b>	< 50	50 - 250	250 - 600	> 600
<b>Fluoretos</b>	< 1,5	1,5 - 3,0	> 3,0	
<b>Tratamento</b>	Desinfecção e correção do pH	Desinfecção, correção do pH, decantação simples (águas contendo sólidos sedimentáveis que passem a se enquadrar no PP) ou filtração, precedida ou não de decantação, para águas de turbidez natural inferior a 40 UNT e cor inferior a 20 unidades	Coagulação, seguida ou não de decantação, filtração em filtros rápidos, desinfecção e correção do pH;	Tratamento mínimo do tipo C e tratamento complementar apropriado a cada caso.

## 2.2.2 Cloro e Compostos Clorados no Tratamento de Água

A água pode ser desinfetada por método físico, no qual é necessário aplicar diretamente luz ultravioleta, radiação gama ou calor no substrato, ou por método químico, no qual a água é submetida à ação de alguns produtos, em tempo e concentrações específicos (PACHECO, 2012). Segundo o Ministério da Saúde (2006), podem ser usados para a desinfecção da água: halogênios (dentre os quais se destacam o cloro, o iodo e o bromo), ozônio (O<sub>3</sub>), prata, cal e outros, porém as Estações de Tratamento de Água (ETA) do Brasil utilizam apenas o cloro para esta finalidade. Considerando os processos de tratamento de água que ocorrem em todo mundo, é usado como agentes de desinfecção o cloro livre, cloro combinado com amônia, dióxido de cloro, ozônio e luz ultravioleta (HOWE, 2022).

A eficiência da desinfecção da água é influenciada pelas características físicas, químicas e biológicas da fonte utilizada (RICHTER, 2009), pelo tipo, forma e concentração dos microrganismos presentes e pelo tipo, concentração, grau de dispersão e tempo de contato do desinfetante. Como a inativação dos microrganismos é dada por meio da oxidação, a presença de materiais em suspensão, que pode ser avaliada pela turbidez da água, e a presença de compostos orgânicos ou outros compostos oxidáveis, reduzem a eficiência da desinfecção (STAEHELLN; HOIGNÉ, 1982; BRASIL, 2006; WEI *et al.*, 2017). As características mais difíceis de serem removidas ou contornadas durante o tratamento da água, partindo da mais complexa a mais simples, são: algas, *Escherichia coli* (SZABO; MINAMYER, 2014b), cor verdadeira, turbidez, ferro e manganês, alcalinidade e pH, temperatura, condutividade elétrica e compostos orgânicos (BRASIL, 2006). Essas propriedades estão intrinsecamente relacionadas à qualidade do manancial adotado como fonte de captação de água (RICHTER, 2009).

Apesar de a desinfecção ser uma das etapas primordiais do tratamento de água, a partir de 1970 identificou-se a formação de 600 a 700 tipos de subprodutos de desinfecção (DBP), ocasionados pela interação de matéria orgânica com os halogênios utilizados no processo de desinfecção, sobretudo com os compostos clorados. A formação de DBP ocorre pela presença de matéria orgânica natural (NOM) e matéria orgânica dissolvida (DOM) no manancial (ZAINUDIN; HASAN; ABDULLAH, 2018). Em síntese, as NOM são uma mistura de componentes orgânicos gerados a partir da degradação de matérias orgânicas de origem vegetal e animal, enquanto as DOM são inúmeros compostos químicos, como carboidratos, substâncias húmicas, ácidos carboxílicos, ácidos hidrofílicos e aminoácidos

(HOOPER *et al.*, 2020). Os subprodutos de desinfecção são relacionados à mutação gênica, havendo diversos estudos epidemiológicos comprovando sua atividade carcinogênica, além de outros que correlacionam efeitos adversos no sistema reprodutor, ocasionados pela exposição prolongada a estes produtos (MAZHAR *et al.*, 2020).

No início do século XX, houve a disseminação da utilização do cloro e seus compostos para a desinfecção da água, devido às seguintes propriedades: tempo relativamente curto para a inativação de microrganismos conhecidos, baixa toxicidade aos seres humanos e ausência de odor e sabor na água nas doses recomendadas, custo relativamente baixo, dentre outras (VON NEUTEGEM, 2018), porém, conforme vimos anteriormente, a reação do cloro e seus compostos com as matérias orgânicas naturais (NOM) e matérias orgânicas dissolvidas (DOM) presentes na água bruta, sobretudo os ácido húmicos e fúlvicos, leva à formação de subprodutos de desinfecção (DBP), dentre os quais se destacam os Trihalometanos (THM), Haloacetnitrilas (HAN), Ácidos Halocéticos (HAA) e outros compostos (GUO *et al.*, 2021; SEDLAK; VON GUNTEN, 2011; SORLINI; COLLIVIGNARELLI, 2005).

Os Trihalometanos são a classe mais comum de DBP relacionadas à cloração no tratamento de água para consumo humano. Eles apresentam em sua estrutura molecular um átomo de carbono, um de hidrogênio e três de halogênios, que podem ser cloro, bromo ou iodo (MEYER, 1994). De acordo com Von Neutegem (2018), os Trihalometanos que apresentam uma concentração mais frequente e significativa no tratamento da água são o clorofórmio ( $\text{CHCl}_3$ ), o diclorobromofórmio ( $\text{CHCl}_2\text{Br}$ ), o dibromoclorofórmio ( $\text{CHClBr}_2$ ) e o bromofórmio ( $\text{CHBr}_3$ ).

Muitos estudos sobre a reação entre o cloro e matérias orgânicas naturais encontradas em águas superficiais foram realizados para verificar a formação de subprodutos de desinfecção e isso possibilitou que fosse identificado que os ácidos fúlvicos e húmicos presentes na água como os principais precursores da formação de halofórmios. A partir dessa identificação, houve diversas proposições de alternativas de tratamento para minimizar esse risco, tais como a remoção dos precursores previamente à cloração, a remoção dos halofórmios da água após a cloração, feita pela adsorção em carvão ativado granular, e a utilização outros produtos desinfetantes, como o ozônio (TOSINE; ONUSKA; COMBA, 1980).

Outro fator negativo relacionado à cloração é a resistência à inativação de algumas espécies de microrganismos. Bactérias não esporuladas são menos resistentes que as formadoras de esporos, enquanto formas císticas e vírus podem ser bastante resistentes (ROSSIN, 1987). Esporos viáveis de bacilos aderidos na estrutura da estação de tratamento de água, sobretudo nos materiais das tubulações utilizadas na rede de abastecimento, tais como ferro ou argamassa de cimento usada para o revestimento dos canos, apresentam alta resistência à inativação pelo cloro (SZABO; MINAMYER, 2014).

Considerando a necessidade de realizar o tratamento de água, de uma forma que fosse capaz de minimizar a formação dos subprodutos de desinfecção gerados pelo uso dos compostos clorados, e os diversos compostos que foram desenvolvidos e aprimorados com a finalidade de garantir a potabilidade da água, sem agredir o meio ambiente, muitos países passaram a adotar o ozônio como agente desinfetante, por sua grande eficiência no processo. Seu mecanismo de ação, no qual ocorre a ruptura da membrana celular, torna o processo mais rápido. Além disso, não há formação de resíduos no processo de decomposição do ozônio em água, o que minimiza o risco à saúde e os danos ao meio ambiente (RODRIGUES, 2020).

### **2.2.3 Ozônio**

#### **2.2.3.1 Características do Ozônio**

Em 1785, Van Marun sentiu a presença de um odor desconhecido durante a geração de uma descarga elétrica. Somente em 1840, Schönbein percebeu que este odor era associado a um gás, ao qual ele nomeou de *Ozone*, oriundo do grego *Ozein*, e enquanto Soret estabeleceu a sua fórmula em 1867 (JOHNSON, 1975).

O ozônio é um gás presente na atmosfera terrestre em concentrações relativamente altas, resultante da ação da radiação UV emitida pelo sol nas moléculas de oxigênio (WATER, 2007). É formado por três átomos de Oxigênio e possui uma coloração azul pálida, que não é percebida nas concentrações comumente produzidas e usadas e, conforme percebido em 1785 por Van Marun, possui um odor característico, capaz de ser percebido no ar pelo olfato humano em concentrações inferiores a 1 ppm (GLASGOW, 1975; BLOUGH; ZEPP, 1995).

De forma geral, suas propriedades físico-químicas foram compiladas na tabela abaixo, adaptada de Silva (2006).

Tabela 2.3 – Propriedades Físico-químicas do Ozônio (Adaptado de SILVA, 2006).

Propriedade Físico-química	Valor
Comprimento de onda de máxima absorção	253,7 nm
Entalpia a partir de O <sub>2</sub>	142,12 kJ/mol O <sub>3</sub>
Massa molar	47,998 g.mol <sup>-1</sup>
Massa Volumétrica a 0°C e 1 atm	2,15 g.L <sup>-1</sup>
Ponto de ebulição	-111,9°C
Ponto de fusão	-192,5°C
Potencial de Oxidação a 25°C	2,076V
Pressão crítica	5,46 MPa
Temperatura crítica	-12,1°C

De acordo com Beltrán (2003), a estrutura molecular do ozônio é responsável pela sua reatividade. A molécula de ozônio consiste em três átomos de oxigênio e cada átomo possui como configuração eletrônica ao redor do núcleo 1s<sup>2</sup> 2s<sup>2</sup> 2p<sub>x</sub><sup>2</sup> 2p<sub>y</sub><sup>1</sup> 2p<sub>z</sub><sup>1</sup>, o que significa que existem dois elétrons xyz desemparelhados, cada um ocupando um orbital 2p em sua banda de valência.

Para que a molécula de ozônio seja produzida, o oxigênio central se rearranja em uma hibridação sp<sup>2</sup> plana dos orbitais atômicos 2s e 2p da banda de valência. Com isso, os três novos orbitais híbridos sp<sup>2</sup> formam um triângulo equilátero, que contém núcleo de oxigênio em seu centro e possui ângulo de 120° entre os orbitais. “Na molécula de ozônio esse ângulo é de 116° 49’”. O outro orbital 2p da banda de valência fica perpendicular ao plano sp<sup>2</sup>, com dois elétrons acoplados. Dois dos orbitais sp<sup>2</sup> do oxigênio central se combinam com um orbital 2p, cada um contendo um elétron, dos outros dois átomos de oxigênio adjacentes na molécula de ozônio, enquanto o terceiro orbital sp<sup>2</sup> tem um par de elétrons não compartilhados. Finalmente, o terceiro orbital 2p de cada átomo adjacente de oxigênio, que tem apenas um elétron, combina-se com o orbital 2p<sub>2</sub> restante do oxigênio central para produzir dois orbitais moleculares que se movem ao longo da molécula de ozônio. Como consequência, a molécula de ozônio representa um híbrido formado pelas quatro estruturas possíveis (Figura 2.3).

O comprimento da ligação entre os átomos de oxigênio na molécula de ozônio foi determinado experimentalmente como 1,278 Å, que é um valor intermediário entre o

comprimento de uma ligação dupla de oxigênio (1,21 Å) e  $\Delta$  de uma simples ligação oxigênio-hidrogênio na molécula de peróxido de hidrogênio (1,47 Å). Os comprimentos calculados mostram uma probabilidade de 50% de que a ligação entre os átomos de oxigênio na molécula de ozônio seja uma ligação dupla. Portanto, as estruturas de ressonância I e II representam basicamente a estrutura eletrônica do ozônio. Observa-se que as formas de ressonância III e IV também contribuem para a molécula de ozônio, pois o ângulo de ozônio inferior a 120° é causado pela atração de átomos de oxigênio adjacentes carregados positivamente e negativamente (BELTRÁN, 2003).

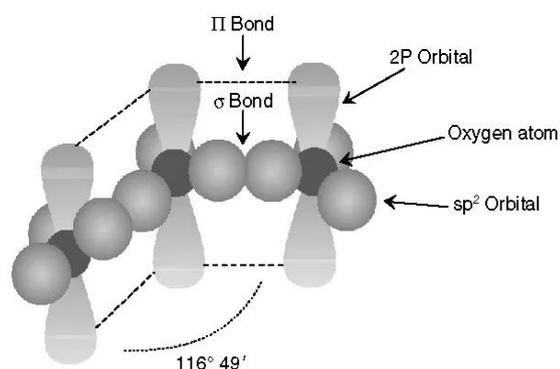


Figura 2.3 – Estrutura molecular do ozônio (BELTRÁN, 2003).

### 2.2.3.2 Geração de Ozônio

O Ozônio (O<sub>3</sub>) foi produzido pela primeira vez por Schönbein a partir da eletrólise de ácido sulfúrico diluído. Ele verificou que o O<sub>3</sub> também era formado na auto-oxidação do fósforo branco e este se tornou o primeiro método padrão para obtenção de ozônio em laboratório. Ao perceber que baixas concentrações dos elementos carbono, ferro, estanho, zinco e chumbo dificultavam a produção de ozônio, ele confirmou sua característica oxidante. Neste momento, ainda na década de 1840, não era possível derivar a estrutura deste gás e, graças ao seu odor característico, Schönbein, relacionou-o primeiramente aos compostos halógenos e, em um segundo momento, estabeleceu a hipótese de que o ozônio continha hidrogênio e oxigênio. Somente algum tempo depois, foi possível confirmar que o ozônio era um estado do oxigênio, como havia sido descrito em 1846, por Jacob Berzelius (VON SONNTAG; VON GUNTEN, 2015).

Após o desenvolvimento do gerador de ozônio por Werner Von Siemens em 1857, iniciou-se a sua produção e aplicação em escala industrial (WEI *et al.*, 2017). Em diversas técnicas existentes para a geração de ozônio, é necessária inicialmente a produção de um

átomo de oxigênio, a partir da excitação da molécula de oxigênio. Esta reação pode ocorrer por meio de plasma não térmico produzido por descarga de gás, raios ultravioletas e reação eletroquímica (PEKÁREK, 2003).

### 2.2.3.3 Descarga Corona

O método industrial mais utilizado para a produção de ozônio é a descarga corona, baseado na conversão de moléculas de oxigênio em ozônio, por meio da passagem do ar ou do oxigênio pressurizado entre dois eletrodos, entre os quais ocorre uma descarga elétrica (YANALLAH *et al.*, 2006). Este método é capaz de gerar uma quantidade maior de ozônio a um menor custo.

A descarga corona é gerada por um campo elétrico forte, com ao menos um dos eletrodos contendo uma curvatura acentuada, que é responsável pela ionização do gás. Dentre as vantagens deste método consideram-se a necessidade de uma descarga elétrica relativamente baixa, em temperatura ambiente ou muito próxima disso. Além disso, os parâmetros do plasma gerado podem ser controlados de forma relativamente simples pela alteração de características como voltagem, pressão e tipo do gás de entrada, geometria dos eletrodos e características do catodo (PEKÁREK, 2003).

Em condições ótimas de operação, a maior parte da energia dos elétrons obtida no campo elétrico leva à excitação do oxigênio atômico ou molecular e estes estados excitados ( $O_2^*$ ,  $A^3\Sigma_u^{++}$ ,  $B^3\Sigma_u^-$ ) dissociam-se de acordo com as seguintes reações, descritas de forma simplificada por Kogelschatz *et al.* em 1988 (2.1) e 2003 (2.2):



Dessa forma, não há diferenciação entre átomos de oxigênio em estado tripleto,  $O(3P)$  e em estado singleto,  $O(1D)$ . Considerando-se a regra de conservação de spin e o estado fundamental tripleto do  $O_2$ , a reação (2.3) prossegue apenas com  $O(3P)$ . A formação de ozônio é então facilitada por meio de uma reação de três corpos (reação 3), na qual M, que pode ser  $O_2$ ,  $O_3$  ou  $O$ , é um parceiro de colisão:



De acordo com Kogelschatz (2003), o  $O_3^*$  é o estado excitado transiente inicial do ozônio e ocorre uma competição na formação de ozônio que ocorre na reação 2.3 e com as reações 2.4 – 2.6, que também consomem átomos de oxigênio:



Di Bernardo e Dantas (2005) concluíram que, de forma resumida, o processo de produção do ozônio acontece por meio de moléculas de oxigênio convertidas em ozônio. Isto ocorre quando uma descarga elétrica é aplicada em um fluxo de ar ou oxigênio puro pressurizado entre dois eletrodos, nos quais se aplica uma tensão elétrica. Os elétrons gerados neste processo possuem uma grande energia interna que é capaz de promover a dissociação da molécula de  $O_2$  em dois átomos de oxigênio. Na sequência, um átomo de oxigênio se liga a uma molécula de  $O_2$ , formando o ozônio (Figura 2.4).

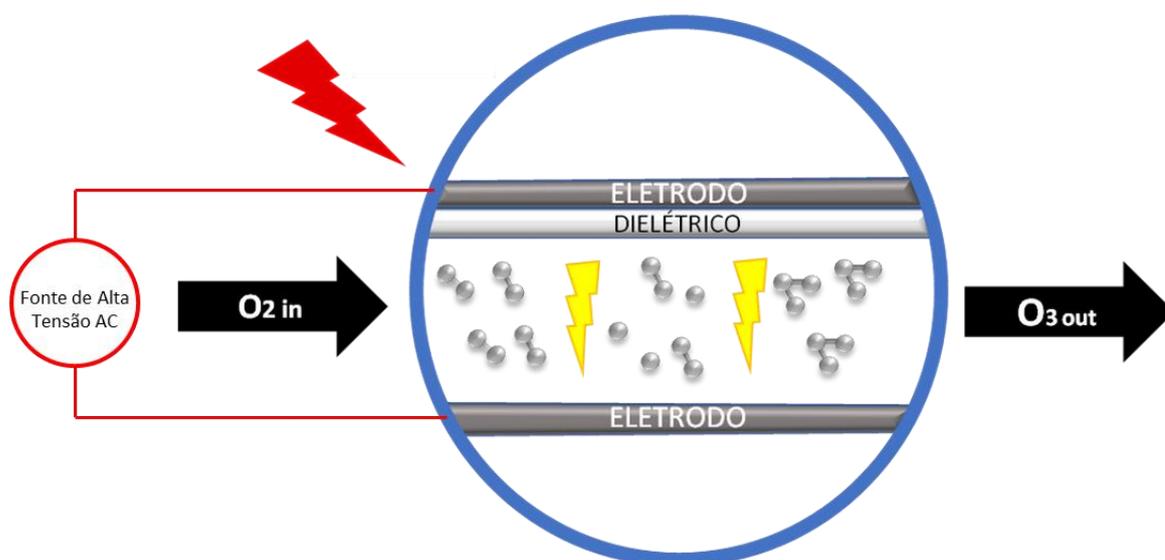


Figura 2.4 – Desenho esquemático da geração de ozônio por descarga corona.

#### 2.2.3.4 Decomposição do Ozônio em Água

O ozônio dissolvido em água forma uma solução pouco estável. Uma parte dele evapora, enquanto outra parte participa de reações em cadeia com as moléculas de água. Primeiramente, ocorre a reação do  $O_3$  com os íons hidroxila ( $OH^-$ ) da água, formando os radicais hidroperoxila ( $HO_2^*$ ) e superóxido ( $O_2^*$ ) que passam a participar de uma série de

reações radicalares em cadeia. A oxidação da matéria orgânica ocorre principalmente por causa do radical hidroxila ( $\text{HO}^\bullet$ ) e das moléculas de ozônio dissolvidas (LIMA; FELIX; CARDOSO, 2021).

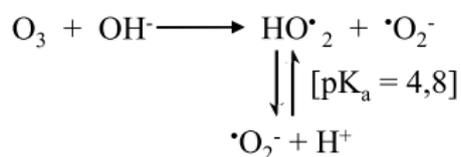


Figura 2.5 – Reação do ozônio com o íon hidroxila (LIMA; FELIX; CARDOSO, 2021).

Langlais (2019) relatou que o ozônio, ao se decompor em uma solução aquosa, atua sobre os compostos presentes nessa solução, por meio da reação direta desses compostos, identificados na Figura 2.6 pela letra “M”, com o ozônio molecular, ou por meio de reação indiretas, com os radicais hidroxila, formados pela decomposição do  $\text{O}_3$ , agindo sobre os compostos presentes na solução.

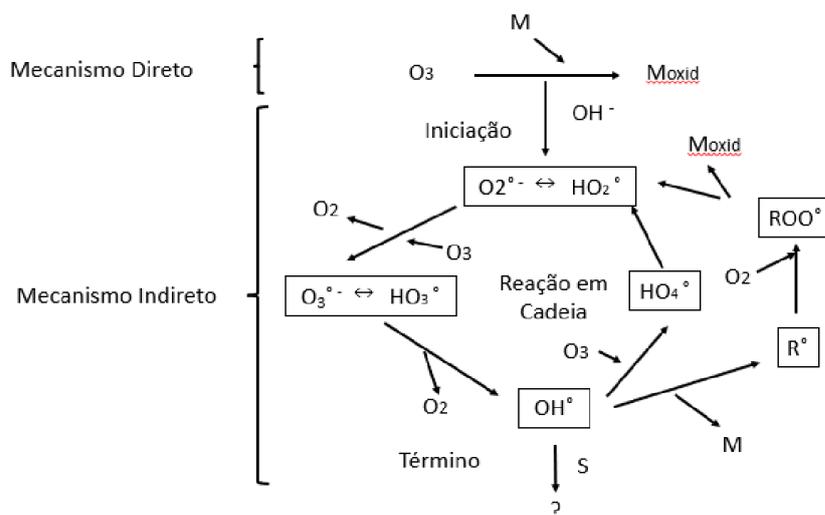


Figura 2.6 – Mecanismos de Reação do Ozônio em Solução Aquosa (Adaptado de GOTTSCHALK *et al.*, 2009).

Para que esses mecanismos ocorram, a molécula de ozônio age de três formas: age como um dipolo, como um agente eletrofílico e como um agente nucleofílico. Ao estudar esses mecanismos, observa-se que as reações moleculares do ozônio são extremamente seletivas e limitadas a compostos aromáticos e alifáticos insaturados e a grupos funcionais específicos, conforme descrito a seguir.

Adição de ciclo (Mecanismo Criegee): devido à sua estrutura dipolar, a molécula de ozônio pode levar à adição de 1-3 ciclos dipolares em ligações insaturadas, com a formação de ozonídeo primário. Como a água é um solvente protônico, este ozonídeo primário se decompõe em um composto de carbonila (aldeído ou cetona) e um zwitterion que leva rapidamente a um estágio de hidroxi-hidroperóxido, que se decompõe em um composto de carbonila e peróxido de hidrogênio (Figura 2.7).

Reação eletrofílica: essa forma de ação ocorre apenas em sítios moleculares que possuem uma forte densidade eletrônica, sobretudo em certos compostos aromáticos. Uma alta reação com o ozônio ocorre nos aromáticos substituídos por grupos doadores de elétrons (OH, NH<sub>2</sub> e compostos semelhantes), pois estes apresentam altas densidades eletrônicas nos carbonos localizados nas posições orto e para. Em contrapartida, os aromáticos substituídos por grupos retiradores de elétrons (—COOH, —NO<sub>2</sub>) apresentam fraca reação ao ozônio e o ataque inicial da molécula de ozônio ocorre principalmente na posição meta menos desativada.

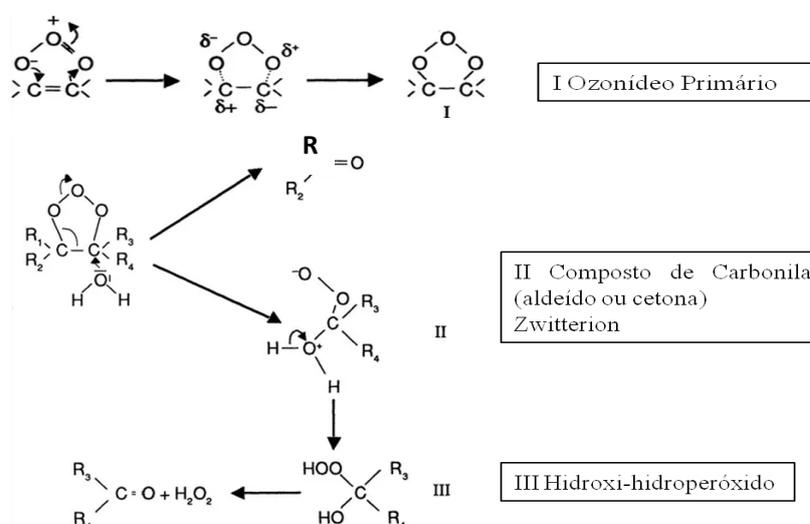


Figura 2.7 – Mecanismo Criegee (Adaptado de LANGLAIS, 2019).

Graças a essa reatividade, compostos aromáticos portadores dos grupos doadores de elétrons D, como por exemplo, o fenol e a anilina, reagem rapidamente com o ozônio. Por causa desta reação inicial da molécula de ozônio, ocorre uma formação de subprodutos orto e para-hidroxilados, que são altamente suscetíveis à oxidação adicional. Por sua vez, esses compostos levam à formação de quinoides e, devido à abertura do ciclo aromático, à formação de produtos alifáticos com funções carbonila e carboxila (Figura 2.8).

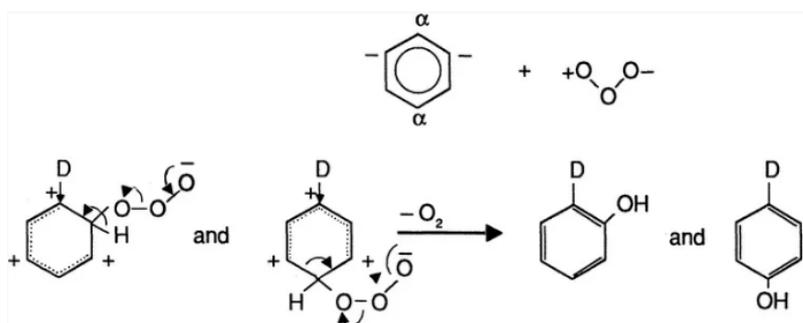


Figura 2.8 – Reação Eletrolítica (LANGLAIS, 2019).

Reação Nucleofílica: ocorre localmente em sítios moleculares que apresentam déficit de elétrons e, mais frequentemente, em carbonos portadores de grupos retiradores de elétrons.

O ozônio dissolvido apresenta baixa estabilidade e sua meia-vida é afetada pelo pH, pela ação da luz ultravioleta, pela concentração do ozônio e dos sequestradores de radicais. Langlais (2029) expressa a taxa de decomposição, medida na presença de removedores de radicais em excesso, que impedem reações secundárias, pela seguinte pseudoequação cinética de primeira ordem:

$$-\left(\frac{d[O_3]}{dt}\right)_{pH} = k' [O_3]^1$$

and

$$-\left(\ln \frac{[O_3]}{[O_3]_0}\right)_{pH} = k' t$$

Figura 2.9 – Pseudoequação Cinética de Primeira Ordem da Decomposição do Ozônio. (LANGLAIS, 2029).

Onde:

$k'$  = pseudo-constante de velocidade de primeira ordem para um determinado valor de pH.

Essa pseudo-constante de primeira ordem é uma função linear do pH e sua evolução demonstra o fato de que a taxa de decomposição do ozônio é de primeira ordem em relação aos íons de ozônio e hidróxido, resultando na seguinte equação geral:

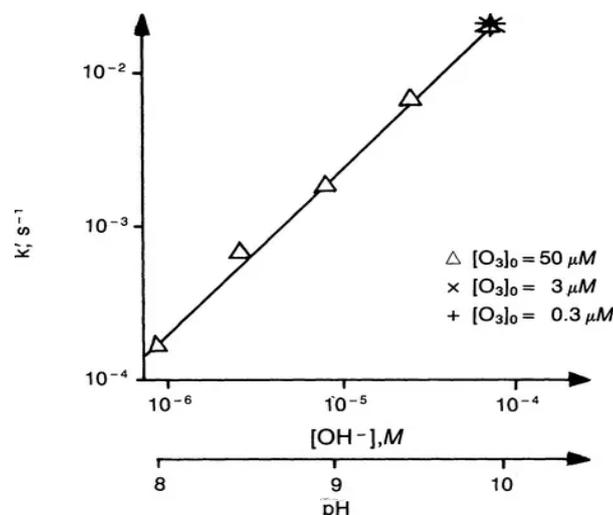


Figura 2.10 – Estabilidade do ozônio (LANGLAIS, 2019).

Explicados os dois mecanismos de atuação do ozônio sobre os compostos presentes em uma solução aquosa (reação direta ou indireta) e as três formas de ação da molécula de ozônio (Mecanismo Criegee, Reação eletrofílica e Reação Nucleofílica), passamos a tratar do mecanismo de decomposição do ozônio descrito por Langlais (2019).

Langlais (2019) cita que o mecanismo mais recente proposto envolve um processo de transferência de dois elétrons ou uma transferência de átomo de oxigênio do ozônio para o íon hidróxido, conforme descrito na Figura 2.11.

Diversos autores estudaram a cinética e a mecanística da decomposição do ozônio em água, e há alguns mecanismos propostos, como o de Hoigné, Staehelin e Bader (1987), o de Gordon, Tomiyasu e Fukutomi, dentre outros. Em todos eles, há um consenso de que ocorre um processo em cadeia, que é composto por três fases, a iniciação, a promoção e a inibição.

Independentemente do mecanismo adotado, a água possui diversos compostos que atuam como iniciadores, promotores e inibidores da reação em cadeia que ocorre na decomposição do ozônio.

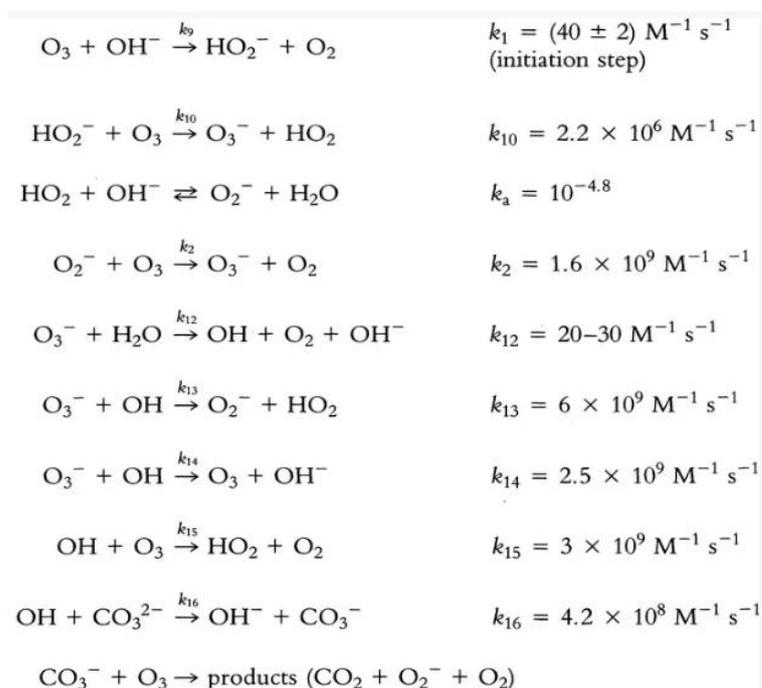


Figura 2.11 – Mecanismo de Decomposição do Ozônio em Água (LANGLAIS, 2019).

A primeira fase do mecanismo (Iniciação) é determinante na decomposição do ozônio, nesse momento, acontece a reação do ozônio, com um composto iniciador, formando o íon radical superóxido  $[O^{2-}]$ . Este íon reage com o ozônio, causando sua decomposição adicional. Como resultado, há a formação de radicais hidroxila, que são os subprodutos intermediários da decomposição do ozônio. A partir dessa etapa, entra-se na fase de promoção da reação, na qual as substâncias promotoras irão regenerar os íons superóxido a partir dos radicais hidroxila. A partir do momento em que ocorre o consumo de radicais hidroxila sem a regeneração de íons superóxido, chega-se à fase de inibição do processo.

Os iniciadores são os compostos que atuam na indução da formação de um íon superóxido  $[O^{2-}]$  a partir de uma molécula de ozônio. Podem ser compostos inorgânicos, como os íons hidroxila  $[OH^-]$ , os íons hidropéroxido  $[HO_2^-]$  e alguns cátions, e compostos orgânicos, tais como ácido glioxílico, ácido fórmico e substâncias húmicas. A radiação ultravioleta, na banda 253,7 nm, também atua como iniciador do processo.

Os agentes promotores são todas as moléculas orgânicas e inorgânicas capazes de regenerar o ânion superóxido  $[O^{2-}]$  do radical hidroxila. O  $[O^{2-}]$  possui uma taxa de reação com o ozônio muito maior do que a taxa das reações do  $O_3$  com outros solutos presentes na

água, o que torna o ânion superóxido capaz de promover a decomposição do ozônio. Compostos orgânicos, como os grupos aril, ácido fórmico, ácido glioxílico, álcoois primários e ácidos húmicos, e inorgânicos, como as espécies de fosfato, podem atuar como promotores.

Os inibidores da reação são compostos capazes de consumir os radicais OH sem regenerar o ânion superóxido  $O_2^-$ . Alguns dos inibidores mais prevalentes são íons bicarbonato e carbonato, grupos alquila, álcoois terciários e substâncias húmicas.

A presença de bicarbonatos na água pode, portanto, realmente inibir a cadeia de reação em cadeia, retardando assim a decomposição do ozônio na água, deixando mais ozônio disponível para reação direta e mais seletiva e propiciando uma menor oxidação induzida por radicais OH. Por sua vez, substâncias húmicas parecem ser capazes, por suas diversas funções, de desempenhar o papel de iniciador, promotor ou mesmo de sequestrador de radical. Essas duas situações afetam a decomposição do ozônio em água (LANGLAIS, 2019).

Nos estudos realizados por OH (2001) em água natural, observou-se uma tendência típica de decomposição de ozônio, na qual há um consumo instantâneo do ozônio, expressa por ID (demanda instantânea de ozônio), e, sem seguida, uma fase mais lenta de decaimento de ozônio, expressa por kC (pseudo-constante da taxa de primeira ordem de decaimento de ozônio). Na maioria dos sistemas hídricos naturais, os valores da demanda instantânea de ozônio e kC foram maiores em águas que apresentavam um alto teor de carbono orgânico total (COT). O radical hidroxila é produzido substancialmente durante a fase ID e está presente em maior concentração em águas que contém compostos que demandam ozônio, gerando, conseqüentemente, um maior valor de ID. A alta demanda de ozônio acontecia em águas que possuíam uma maior quantidade de matéria orgânica natural (NOM), pois elas atuam como agentes promotores da reação do ozônio com a água, aumentando a concentração de radicais hidroxila na água, que, por sua vez, aumentam a decomposição do ozônio.

Quando a água natural apresenta alto valor de carbono orgânico total, o valor de ID tende a aumentar, enquanto o valor de kC diminui à medida que o ozônio é aplicado em maior dosagem. Isso pode ser resultado das reações entre as diferentes matérias orgânicas naturais com o ozônio e com os radicais hidroxila. (OH, 2001).

O ozônio solúvel na água reage com compostos aromáticos e alifáticos insaturados, polissacarídeos, álcoois, ácidos graxos insaturados, nucleobases e diversos compostos, por

isso, é imprescindível analisar a qualidade da água a ser tratada, verificando a presença de íons metálicos e de substâncias orgânicas, além de realizar um rigoroso controle do pH, para que ocorra formação de produtos indesejáveis (LIMA; FELIX; CARDOSO, 2021).

Durante o processo de decomposição do ozônio em água, a formação de radicais hidroxila ( $\bullet\text{OH}$ ) pode ser acelerada na presença de peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Este fato propiciou o desenvolvimento de processos de oxidação avançada (POA) baseados em ozônio, a partir da combinação da oxidação de ozônio e  $\bullet\text{OH}$ , aplicáveis para redução de micropoluentes resistentes a oxidantes (MANASFI, 2021).

#### **2.2.4 Tratamento de Água com Ozônio**

A fábrica alemã Siemens & Halske construiu um aparato para a produção de ozônio ( $\text{O}_3$ ) por descargas elétricas, em 1857, com a intenção de testar a aplicação de ozônio para desinfecção de água. A planta piloto foi construída em Martinikenfelde, na Alemanha (PACHECO, 2012).

De Meritens desinfetou água poluída com ozônio pela primeira vez em 1866 e os primeiros registros da utilização do ozônio de maneira contínua no tratamento de água datam de 1893, na cidade holandesa de Oudshoorn. Em 1903, houve a primeira instalação ozonizadora nos Estados Unidos, na cidade de Nova York. No ano de 1906, o ozônio foi utilizado como desinfetante em Nice, na França. A partir desse momento, a ozonização passou a ser difundida e utilizada mundialmente e, na década de 1970, já havia mais de 1000 instalações em 20 diferentes países incluindo Suíça, Noruega, Holanda, Rússia, Canadá e México (JOHNSON, 1975).

No início do século XX, houve o declínio na utilização do ozônio, após o desenvolvimento do cloro em pesquisa realizada sobre gases venenosos durante a Primeira Guerra Mundial e, por este ser mais barato, seu uso como desinfetante foi estimulado, reduzindo a propagação do ozônio. Após a Segunda Guerra Mundial, a taxa de construção de novas instalações de ozônio retornou ao nível anterior.

O primeiro teste de desinfecção de água com ozônio foi realizado em 1886 e, a partir de 1906, a ozonização foi incorporada ao tratamento de água na cidade de Nice, na França, precedida por filtração lenta com areia. Neste momento, o ozônio foi utilizado apenas como substituto do cloro no processo de desinfecção e aplicado em tratamento de águas subterrâneas, por apresentarem baixo índice de carbono orgânico dissolvido (DOC) e alta

alcalinidade (VON SONNTAG; VON GUNTEN, 2015).

Simultaneamente, iniciou-se a utilização de ozônio em águas subterrâneas e superficiais na Alemanha, entretanto, pouco tempo depois, diversas estações encerraram as atividades e passaram a usar o cloro, devido ao seu menor custo (BÖHME, 1999).

Ainda no início de 1900, o ozônio era também utilizado também nas estações de tratamento de água dos Estados Unidos, com a finalidade de remoção de odor e cor da água, porém, apenas em meados de 1980, a ozonização passou a ser instalada de forma significativa (RICE, 1999). Em baixas dosagens, o ozônio era utilizado para o controle de sabor e odor da água, além de ser capaz de reduzir sua cor pela quebra das ligações duplas carbono-carbono de compostos orgânicos de cadeia longa. Nesse momento, também se reconhecia sua instabilidade em água, meio no qual se decompunha em oxigênio diatômico e possuía uma meia vida menor que uma hora (SIMCOE, 1983).

No período compreendido entre 1997 e 2011, havia cerca 1.290 estações de tratamento de água utilizando ozônio na Europa, América do Norte e Japão (VON SONNTAG; VON GUNTEN, 2015).

De acordo com Rice *et al.*, (1981), muitas estações de tratamento de água utilizavam o ozônio para desinfecção, entretanto, o tratamento passou a englobar também a oxidação de materiais orgânicos e inorgânicos, a remoção de sólidos em suspensão ou turbidez, por meio da floculação, além da promoção de processos biológicos aeróbicos, conduzidos por meio de filtração e adsorção.

A efetividade da ação desinfetante do ozônio tem sido comprovada desde o início de sua utilização. Ao ser aplicado em água bruta, demonstrou a capacidade de inativar e destruir a maioria das bactérias patogênicas, vírus e protozoários encontrados em mananciais superficiais, tanto em suas formas livre ou císticas. O ozônio mostra-se superior ao cloro como desinfetante primário, necessitando de menor tempo de ação e menor concentração, além de ser superior na capacidade de solubilizar ou precipitar alguns contaminantes inorgânicos, como o ferro e o permanganato (REYNOLDS *et al.*, 1989).

Essa superioridade ao cloro em relação à capacidade de destruição de microrganismos que o cloro, é dada pela ação do ozônio diretamente na parede celular, por meio da oxidação de glicolipídeos, glicoproteínas e aminoácidos, o que leva à ruptura da parede e conseqüente morte celular. Além disso, o ozônio ataca também grupos sulfidril de

enzimas, levando ao colapso da atividade enzimática celular, e atua sobre o material nuclear dos microrganismos, destruindo o seu RNA (SILVEIRA, 2004; HUNT; MARIÑAS, 1999). O cloro, por sua vez, difunde-se na parede celular e age sobre enzimas, proteínas, DNA e RNA (MORRISON *et al.*, 2022).

Xi *et al.*, (2017) também comprovaram que a ozonização é capaz de efetivamente inativar a maioria das bactérias, esporos, vírus, protozoários e proteínas priônicas na água. Além disso, destacam que a ozonização produz baixa concentração de subprodutos de desinfecção durante o tratamento de água. O ozônio também pode romper a superfície celular de vários tipos de algas, o que gera a liberação de biopolímeros, tais como ácidos nucleicos, proteínas e polissacarídeos, que atuam como agentes coagulantes orgânicos naturais (LANGLAIS, 1991).

A presença de pesticidas em água potável e um surto de doenças de veiculação hídrica, como giardíase e criptosporidiose nos Estados Unidos e Holanda, motivaram a instalação de três estações de tratamento que utilizavam ozônio na Holanda, que passaram a utilizar um sistema baseado na aplicação de Fe (III) na água bruta, coagulação filtração rápida em filtro de areia, seguida de ozonização, *pellet softening*, filtração por carvão ativado (GAC) e filtração lenta com areia (KRUTHOF; MASSCHELEIN, 1999).

Este processo tinha como objetivos principais a desinfecção adequada contra bactérias, vírus, cistos de giárdia e oocistos de *Cryptosporidium*, remoção de substâncias orgânicas por oxidação parcial e por filtração biológica de carvão ativado e evitar a pós-cloração para a desinfecção (KRUTHOF; MASSCHELEIN, 1999).

Para que haja a remoção de carbono orgânico assimilável (AOC) e carbono orgânico dissolvido biodegradável (BDOC) no tratamento de águas superficiais, é necessário que a aplicação de ozônio seja combinada pelo menos com uma etapa de tratamento biológico. A figura 2.7 demonstra a evolução do tratamento de água do Lago Zurique, na Suíça, no período compreendido entre 1950 e 2005 (VON SONNTAG; VON GUNTEN, 2015).

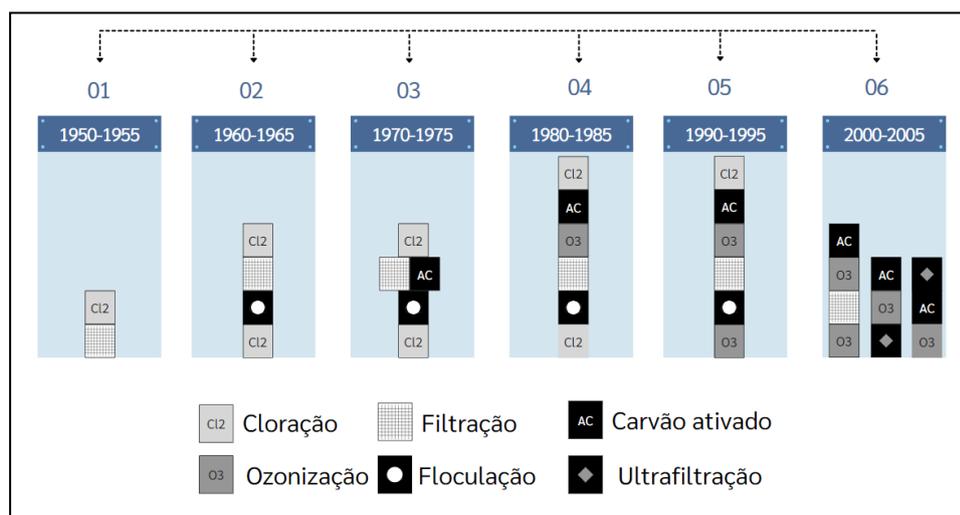


Figura 2.12 – Evolução do tratamento da Água do Lago Zurique entre 1950 e 2005 (Adaptado de VON SONNTAG; VON GUNTEN, 2015).

A modificação do tratamento desenvolvido inicialmente, por meio da inclusão de etapas adicionais, foi necessária para tratar efeitos advindos da eutrofização, tais como alterações na turbidez, sabor, odor, altas concentrações de carbono orgânico dissolvido (DOC), dentre outros. Ao tratamento convencional, baseado na utilização de filtro de areia e cloração, adicionaram-se as etapas de pré-cloração e flocculação. Em 1970, houve adição de carvão ativado, responsável por melhorar sabor e odor, além de agir como barreira na proteção contra os micropoluentes (VON SONNTAG; VON GUNTEN, 2015).

Em um momento inicial, a desinfecção buscava garantir a integridade microbiológica da água tratada, porém, com a falta de confiança no cloro, após a associação da formação de trihalometanos e bromofenóis com a cloração, os compostos clorados passaram a ser substituídos pelo ozônio (MAZHAR *et al.*, 2020; SORLINI; COLLIVIGNARELLI, 2005; KRUIHOF; MASSCHELEIN, 1999), inicialmente pela introdução de ozonização intermediária seguida de filtração biológica com carvão ativado, no tratamento realizado em Rotterdam Kralingen (Holanda) e, posteriormente, pela utilização ozônio como substituto da pré-cloração. As principais finalidades para a associação do ozônio com filtração biológica por carvão ativado foram aumentar a capacidade de desinfecção, remover sabor, odor e compostos tóxicos e preparar uma água biologicamente estável (KRUIHOF; MASSCHELEIN, 1999).

Esta combinação de ozônio com filtração biológica de carvão ativado é conhecida como Processo de Mülheim, que foi desenvolvido em 1974 (VON SONNTAG; VON

GUNTEN, 2015). Este processo baseia-se na adição de ozônio, em substituição ao cloro, na câmara de mistura rápida, que constitui a etapa de coagulação do tratamento de água. A quantidade média de ozônio utilizada era de 1 a 1,5 mg/L, dosada a partir do grau de turbidez da água bruta. Para a coagulação e posterior floculação dos coloides, era acrescentado cloreto de polialumínio e, após a sedimentação dos coloides formados, ocorria novamente a adição do ozônio na água, que seguia para a filtração rápida com areia (HEILKER, 1987).

Von Sonntag e Von Gunten (2015) citam que a primeira etapa do Processo de Mülheim é a passagem da água por um filtro de areia lento para a retenção de partículas suspensas e consumo de parte da matéria orgânica por processos microbiológicos. A ozonização é responsável pela oxidação dos micropoluentes e transformação de uma parte da matéria orgânica dissolvida que ultrapassou o filtro em carbono orgânico assimilável e carbono orgânico dissolvido biodegradável, ocasionando a diminuição de carbono orgânico dissolvido na biofiltração por carvão ativado. Após a ozonização, a água passa por um processo de desinfecção por radiação ultravioleta. Altos teores de carbono orgânico assimilável podem propiciar a rebrota de micro-organismo, porém as etapas de filtração diminuem essa possibilidade (KRUITHOF; MASSCHELEIN, 1999).

As reações de oxidação que ocorrem pela ozonização da água beneficiam o tratamento de água, como a redução de cor, melhora de condições organolépticas e oxidação de micropoluentes. A oxidação ocorre pelo próprio ozônio, por meio do mecanismo direto e indiretamente pelos radicais hidroxila. O ozônio é mais seletivo e reage rapidamente com ligações duplas, compostos aromáticos ativados e aminas desprotonadas, enquanto os radicais hidroxila reagem com um maior número de compostos. Os dois processos são responsáveis pelos processos químicos existentes (VON GUNTEN, 2003).

O ozônio aplicado no tratamento de água também é capaz realizar a oxidação de ferro e manganês, saturar o efluente com oxigênio dissolvido, aumentar a eficiência dos processos de coagulação e floculação, controlar a turbidez e o crescimento de algas e ainda controlar os subprodutos de desinfecção com compostos clorados, devido à sua natureza extremamente oxidante (LANGLAIS, 1991; JOHNSON 1975).

Apresenta ainda resultados promissores quanto à remoção de um amplo espectro de micropoluentes emergentes, como disruptores endócrinos (EDC), antibióticos e produtos farmacêuticos (BILA *et al.*, 2007; PADHYE *et al.*, 2014; ALSAGER *et al.*, 2018), além de reduzir as propriedades de absorção de luz, no espectro UV e visível, aumentar a

biodegradabilidade das matérias orgânicas naturais, e pode aumentar ou diminuir a concentração de precursores de subprodutos de cloração nas NOM (LANGLAIS *et al.*, 1991).

Uma das preocupações em relação ao tratamento de água com ozônio foi a possibilidade de rebrota de microrganismos, ocasionada pela meia vida curta do ozônio aquoso, que é de cerca de 20 minutos em pH 7 e temperatura de 20°C (HULING; PIVETZ, 2006), e pela persistência de carbono orgânico assimilável (AOC) e carbono orgânico biodegradável (BDOC) na água, formados a partir da reação do ozônio com a matéria orgânica dissolvida (VON SONNTAG; VON GUNTEN, 2015). A curta meia vida do ozônio ocorre por causa da sua alta reatividade, que proporciona concentrações transitórias baixas dos radicais hidroxila no estado estacionário e, portanto, uma baixa capacidade de oxidação remanescente (VON GUNTEN, 2003).

Esta rebrota poderia ser restringida pela filtração biológica com carvão ativado (KRUITHOF; MASSCHELEIN, 1999) ou pela desinfecção com compostos clorados ao fim do tratamento (VON SONNTAG; VON GUNTEN, 2015), mantendo a água livre de patógenos por todo o sistema de distribuição (RICE, 1987). Na década de 2000, a fim de evitar a adição de desinfetantes residuais ao final do tratamento, foi adicionada a filtração por membranas (ultrafiltração) após a filtração biológica por carvão ativado, garantindo a remoção eficaz de microrganismos (SEDLAK; VON GUNTEN, 2011).

Em 2008, Hammes *et al.* (2008) descreveram que o tratamento de água com ozônio poderia ser feito de três formas:

- a) Pré-ozonização, filtração rápida, ozonização intermediária, filtração por carvão ativado e filtração lenta em filtro de areia;
- b) Pré-filtração, ozonização, filtração por carvão ativado e membrana filtrante (ultrafiltração);
- c) Floculação, filtração por membrana, ozonização e filtração por carvão ativado e desinfecção por radiação UV.

Como visto anteriormente, o ozônio pode ser utilizado em diversas etapas do tratamento de água, de acordo com a sua aplicação e o local. Com a finalidade de desinfecção primária, o O<sub>3</sub> é usado no início do tratamento nos Estados Unidos, enquanto na Europa é aplicado somente ao final. Vários locais têm utilizado ozônio nas etapas de pré-ozonização,

ozonização intermediária e pós-ozonização (LANGLAIS, B., 2019). Além de seu potencial desinfetante, amplamente reconhecido desde o século XIX, seu alto potencial oxidante (Tabela 2.4) faz com que ele tenha a capacidade de remover compostos persistentes, como compostos farmacêuticos (HEIM; GLAS, 2011).

Tabela 2.4 – Potencial de Redução dos Principais Oxidantes Utilizados no Tratamento de Água (Adaptado de GEPPERT, 2018).

Espécie Oxidante	Potencial de Oxidação ou Redox (V)
O <sub>2</sub> (Oxigênio diatômico)	1,23
Cl <sub>2</sub> (Cloro)	1,36
HClO (Hipoclorito)	1,49
Dióxido de Cloro	1,50
Íon Permanganato	1,68
HO <sub>2</sub> <sup>•</sup> (Radical Hidroperóxido)	1,70
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (Peróxido de Hidrogênio)	1,78
O <sub>3</sub> (Ozônio)	2,07
O( <sup>1</sup> D) (Oxigênio Atômico ou Singlete)	2,42
•OH (Radical Hidroxila)	2,80
F <sub>2</sub> (Flúor)	3,08

O tratamento adequado depende das características iniciais do manancial adotado e a ação do ozônio depende dos compostos presentes na fonte de água e a qualidade das águas varia inclusive nas diferentes estações do ano. Para definir o tratamento adequado, é importante ter as informações sobre as características químicas da água utilizada e suas possíveis variações (HOIGNÉ, 1994).

#### 2.2.4.1 Subprodutos da Ozonização

Com o avanço das pesquisas em relação à química analítica e ao tratamento de água com o ozônio nas últimas décadas, houve a identificação de subprodutos advindos da reação do O<sub>3</sub> com diversos compostos presentes na água bruta (MANASFI, 2021). Além disso, o constante crescimento populacional e desenvolvimento industrial propiciam a eutrofização das fontes de água e a contaminação por micropoluentes emergentes, algumas vezes refratários à oxidação. Devido ao seu alto poder oxidativo, o ozônio se decompõe rapidamente na água, além de reagir com compostos orgânicos e inorgânicos presentes no meio. Os produtos formados a partir dessas reações são preocupantes, devido ao seu potencial de toxicidade crônica (GOTTSCHALK, 2010).

O tipo de subproduto formado depende dos precursores orgânicos existentes na água da fonte utilizada e, portanto, é imprescindível a caracterização do manancial a ser utilizado (RICE, 1987; LANGLAIS *et al.*, 1991; GOTTSCHALK, 2010). Para o adequado tratamento e remoção desses compostos, torna-se necessário utilizar uma abordagem que integre processos físicos e químicos (MANASFI, 2021). Diversos subprodutos da ozonização de interesse toxicológico foram identificados, tais como formaldeído, acetaldeído, glioxal, ácido fórmico, ácido acético, ácido glioxílico, ácido oxálico, fenol, hidroquinona, ftalatos e outros hidrocarbonetos não substituídos (DELZELL; DOULL; GIESY; MACKAY; MUNRO, 1994).

A partir da identificação desses subprodutos, passou a existir um constante monitoramento quanto à sua formação e houve a necessidade de estabelecer possíveis soluções. Normalmente, a ozonização resulta na formação de subprodutos orgânicos, uma vez que raramente ocorre mineralização completa dos compostos precursores com a aplicação de ozônio. De uma maneira geral são formados compostos orgânicos como ácidos orgânicos, aldeídos e cetonas (GOTTSCHALK, 2010) e existe a possibilidade de formação de tricloronitrometano durante a etapa de pós-cloração de águas ozonizadas, porém esses produtos são passíveis de serem removidos por pós-filtragem biológica (LIM *et al.*, 2022).

Como citado anteriormente, os tipos de subprodutos formados dependem dos precursores presentes na água bruta (GOTTSCHALK, 2010). Observa-se que uma água contendo íons brometo, ao ser ozonizada, leva à formação de compostos químicos bromados, como bromato, bromofórmio, ácido dibromoacético, trihalometanos bromados, ácidos acéticos bromados, acetonitrilos bromados e dibromoacetona (DELZELL E, DOULL J, GIESY J, MACKAY D, MUNRO I, 1994; MANASFI, 2021; MAZHAR *et al.*, 2020). Quando existe a presença de matéria orgânica natural e brometo no manancial, pode haver formação de compostos organo-halogenados bromados (VON GUNTEN, 2003).

Esta tem sido uma grande preocupação em se tratando de tratamento de água com ozônio (RICE, 1987) e o teor de brometo presente no manancial deve ser considerado, pois o bromato é classificado como possível carcinógeno humano e, por isso, tem um limite máximo estabelecido pelos órgãos de regulação da qualidade da água. Fatores como o pH e o tempo de contato do ozônio favorecem a formação de bromato e, portanto, existem estratégias que podem ser usadas para a mitigação deste problema, tais como a adição de amônia, a redução do pH, o processo de peroxona e o processo cloro-amônia, além da

utilização de manancial adequado (MANASFI, 2021; MAZHAR *et al.*, 2020). Quando a desinfecção não é o objetivo principal da ozonização, pode-se adicionar peróxido de hidrogênio para diminuir a formação de bromatos (MAZHAR *et al.*, 2020).

Outra preocupação concernente à saúde é a formação de nitrosaminas como subprodutos da ozonização, pois alguns desses compostos são classificados como prováveis ou possíveis carcinógenos humanos. As nitrosaminas também podem ser formadas pela utilização de cloro durante o tratamento de água e, nestes casos, pode-se utilizar o ozônio na etapa de pré-tratamento (pré-ozonização) como forma de reduzir eficientemente os precursores de nitrosaminas, minimizando a formação de subprodutos na pós-cloração. Entretanto, caso haja uma quantidade muito grande de precursores na água, pode ocorrer a formação de nitrosaminas ainda na etapa de pré-ozonização. A presença de nitrito na água e valores de pH na faixa de 6 a 8 podem aumentar a formação de nitrosaminas pela ozonização (MANASFI, 2021; OYA *et al.*, 2008).

Os principais fatores que influenciam no potencial mutagênico da água tratada com ozônio parecem ser a concentração e o tipo de carbono orgânico presente na água bruta, o pH inicial e a concentração de ozônio utilizada (LANGLAIS *et al.*, 1991). Caso ocorra associação de mais de um tipo de desinfetante no tratamento, deve ser considerada a interação entre os efeitos de cada um deles (GOTTSCHALK, 2010)

Geralmente o segundo capítulo é dedicado à revisão dos trabalhos que embasam o trabalho apresentado, assim como outros trabalhos já realizados no mesmo assunto. "Revisão Bibliográfica" é apenas uma sugestão, porém o título deste capítulo pode ser diferente.

No caso deste trabalho, sete normas da ABNT servem de base para a editoração de dissertações e teses. Algumas trazem uma apresentação do assunto, enquanto outras tratam de tópicos específicos: Referências (ABNT, 2018), Citação em documentos (ABNT, 2002), Trabalhos Acadêmicos (ABNT, 2011), Numeração progressiva das seções de um documento (ABNT, 2012a), Sumário (ABNT, 2012b), Resumo (ABNT, 2003) e Índice (ABNT, 2004). Em relação à formatação das figuras (ilustrações), este trabalho mantém a recomendação anterior da ABNT para Trabalhos Acadêmicos (ABNT, 2005).

## **3 Hospital de Campanha**

### **3.1 Evolução Histórica e Considerações Gerais**

Dominique Jean Larrey é conhecido como o precursor das atividades de saúde de campanha, por ter atuado como cirurgião-Mor dos Exércitos de Napoleão Bonaparte, desde a Itália, em 1797, até Waterloo, em 1815. Ainda carecendo de infraestrutura adequada, sua atuação baseava-se em cirurgias realizadas no teatro de operações. Além disso, contava com as “Ambulâncias Voadoras de Larrey”, utilizadas para o transporte de feridos, e com equipes especializadas de transportes e atendimento (SANTOS, 2017).

No ano de 1854, Florence Nightingale reuniu outras 38 mulheres e voluntariou-se ao tratamento dos soldados feridos na guerra da Crimeia. Ela foi responsável por organizar um hospital e reduzir a mortalidade de 40% para 2% no local, com a utilização de métodos considerados revolucionários. Suas ações basearam-se na adoção da organização dos cuidados, garantindo qualidade assistencial e lutando por um ambiente saudável como fator determinante da cura. Foi incansável na busca pelo conforto do paciente e melhoria da infraestrutura, tendo conseguido materiais específicos para o atendimento, alimentos, leitos e material de higiene pessoal, além de assegurar a boa limpeza no ambiente e adoção de medidas de saneamento local, que foram responsáveis pela redução do número de mortes.

Em uma época na qual o conhecimento não era facilmente difundido, algum tempo depois, vemos uma situação oposta na guerra do Paraguai, que durou de 1864 a 1870, onde existiram os chamados “Hospitais de Sangue”, instalações precárias e improvisadas em ranchos cobertos de palha, sem nenhuma condição de organização e saúde, que se encontravam sempre cheios de feridos e com doentes dispostos prioritariamente no chão. Esses locais não dispunham de materiais e equipamentos imprescindíveis para o atendimento dos feridos, os militares precisavam improvisar e utilizar insumos disponíveis na natureza, como varas e cipós, para a confecção dos itens necessários, tais como macas e padiolas. Além das condições precárias das instalações, o corpo de saúde designado para o combate era composto por profissionais sem preparo e muitas vezes sem a devida formação científica (DOURADO, 2010), em número insuficiente para a dimensão do problema existente. A quantidade de feridos era imensamente superior à capacidade de atendimento do corpo de saúde, chegando a haver cerca de 4500 feridos para serem atendidos por 12 médicos, distribuídos em diversos edifícios e navios transformados em locais de atendimento.

Durante a Segunda Guerra, em 1943, foi criado o 1º Batalhão de Saúde do Exército, considerado o marco histórico para o surgimento dos Hospitais de Campanha, que realizava atendimento dos feridos mais graves, que poderiam não suportar a evacuação para regiões mais distantes.

Esta estrutura de saúde, inicialmente concebida para atuação em campanha ou campo de batalha, foi aprimorada e passou a ser mobilizada também em situações de catástrofes, acidentes graves e, mais recentemente, em pandemias.

Atualmente as Organizações de Saúde Móveis da Aeronáutica são divididas em Hospital de Campanha (HCAMP) e Unidade Celular de Saúde (UCS), diferenciadas entre si por seu tamanho, composição e complexidade de atendimento. O HCAMP e duas UCS encontram-se na cidade do Rio de Janeiro RJ, enquanto seis UCS estão distribuídas no território nacional da seguinte forma: uma em Brasília, uma em São Paulo-SP, uma em Manaus-AM, uma em Belém-PA, uma em Recife-PE e a uma em Canoas-RS.



Figura 3.1 – HCAMP sobre balsa utilizado para atendimento no Amazonas. Foto: Agência Força Aérea.

Em caso de acionamento, o peso e a cubagem da carga são definidos de acordo com a necessidade operacional, levando-se em consideração o meio de transporte utilizado na missão (aeronave ou caminhão baú).

No Brasil, os Hospitais de Campanha atuam frequentemente no atendimento à população, em situações de desastres naturais ou calamidades públicas, catástrofes,

epidemias, campanhas de saúde de diferentes níveis governamentais e ações cívico-sociais (ACISO), podendo haver atividades programadas ou demandas inesperadas (CUNHA, 2017; SANTOS, 2017).

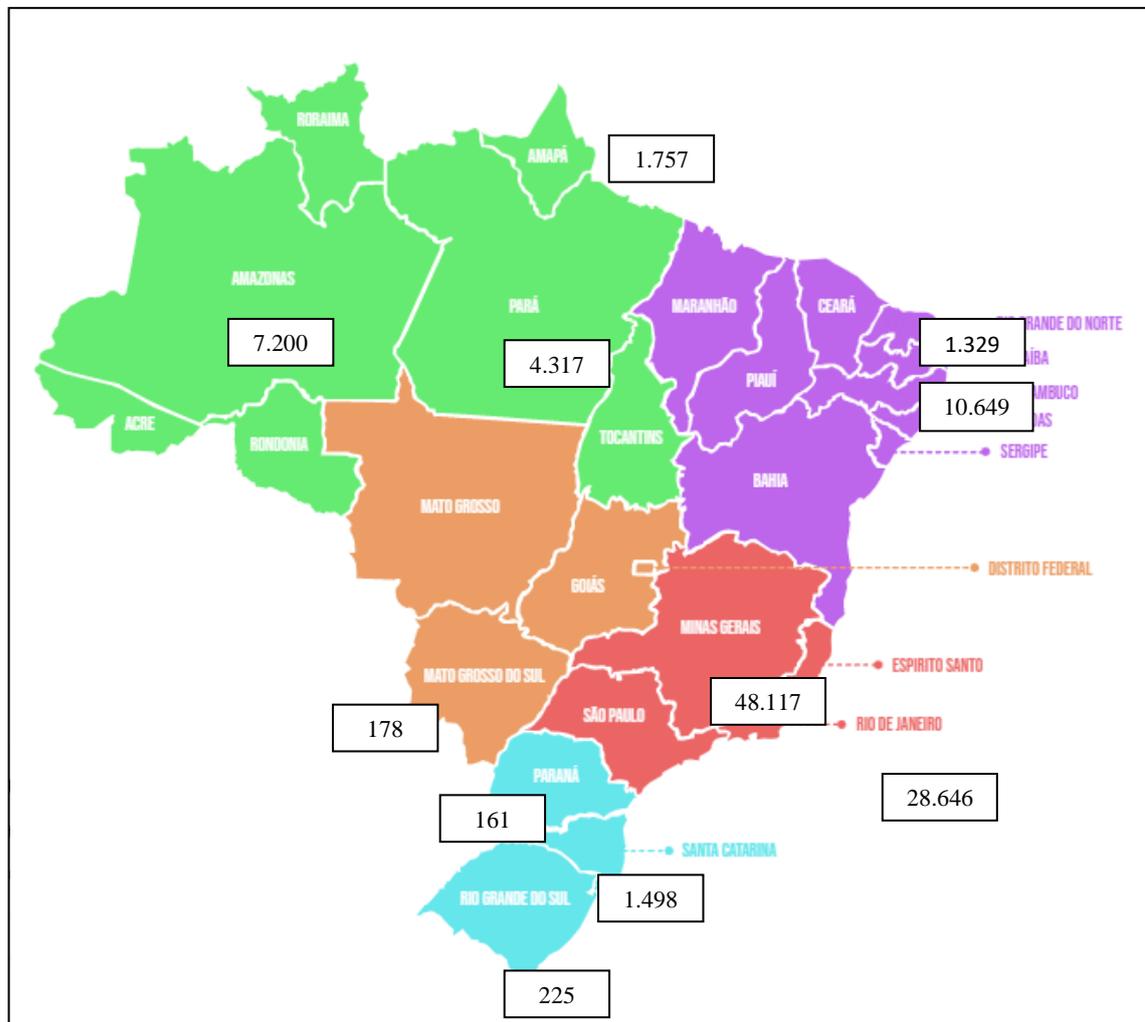


Figura 3.2 – Estatísticas de Atendimentos realizados no HCAMP e nas UCS no Brasil, desde 2005.

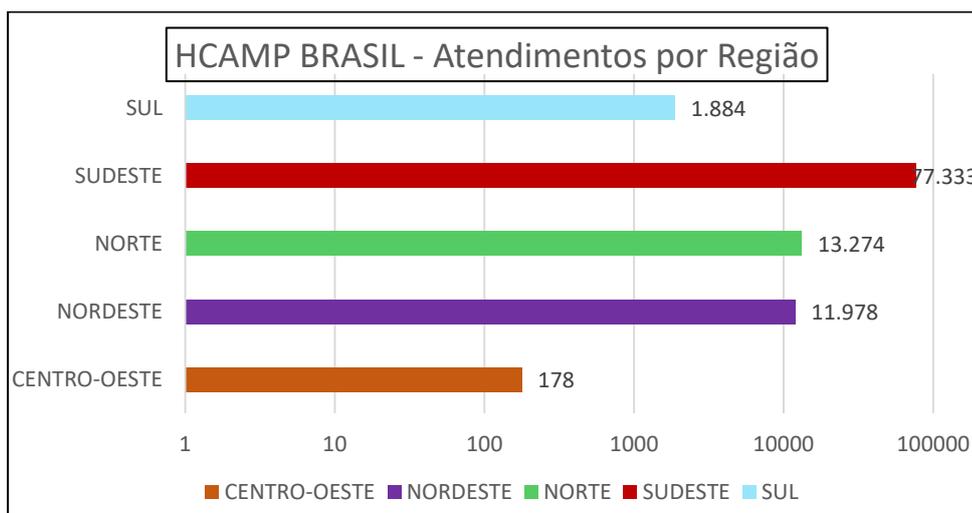


Figura 3.3 – Atendimentos realizados no HCAMP e nas UCS por região do Brasil, desde 2005.

### 3.2 Tratamento de Água em Campanha

Uma das prioridades em caso de mobilização do Hospital de Campanha é a verificação da disponibilidade e qualidade da água no local. Em operações militares, o tratamento da água representa fonte de subsistência, manutenção da higidez da tropa e das atividades diárias da operação e do HCAMP, além de ser considerada como possível meio de contaminação acidental ou intencional da população (BRASIL, 2020).

Segundo Dourado (2010), dados frequentes em ambientes de combate, relatam muitas vezes que a guerra a ser vencida não é prioritariamente contra o inimigo, mas sim contra as situações ambientais desfavoráveis, causadas pelas condições higiênicas e sanitárias, utilização de água poluída. A diarreia e disenteria ocasionaram muitas mortes e baixa de milhares de combatentes durante a guerra do Paraguai e da Secessão, tanto pelo desconhecimento dos causadores de doenças, tais como cólera, tifo, parasitoses e outras doenças de veiculação hídrica, quanto pelas baixas medidas de saneamento adotadas.

Historiadores relatam que, na guerra do Paraguai, mais gente morreu como consequência das enfermidades e fome do que pelas ações bélicas propriamente ditas. A tropa enfrentou constantemente a falta de água potável, precisando abastecer-se com água de pântanos contaminados e da chuva, além de permanecer em áreas repletas de animais mortos, cadáveres, moscas e parasitas e em péssimas condições de higiene (DOURADO, 2010).

Situações extremas de calamidade pública e desastres ambientais podem dificultar ou cessar o funcionamento dos sistemas de abastecimento públicos locais, incluindo redes de eletricidade, água, esgoto e sistemas de comunicação. Em agosto de 1999, a região de Marmara, na Turquia, foi atingida por um terremoto de magnitude de 7,4 pontos na Escala Richter que causou comprometimento da infraestrutura da cidade, levando ao colapso do sistema de saúde, que teve que realizar atendimentos ao ar livre, sem provisão de abastecimento de água encanada e esgotamento sanitário, ocasionando o risco de um surto de infecções gastrointestinais (BAR-DAYAN *et al.*, 2000).

#### A água destinada ao uso militar:

Deve ser livre de germes patogênicos e de substâncias tóxicas bem como de quantidades excessivas de matéria orgânica e minerais, podendo nessas condições ser destinada ao consumo humano. Além disso, quando o tempo e o aparelhamento permitem, a água deve ser límpida, sem odor ou sabor acentuado e fresca. As missões táticas não podem ser bem executadas, se as tropas não dispuserem de água de boa qualidade em quantidade suficiente. A água é ainda mais importante do que a alimentação. Nas épocas de muito calor, ou quando submetido a trabalho físico intenso o soldado pode ser posto fora de ação em 24hs, se houver falta de água. A saúde de toda a tropa está nas mãos dos operadores de equipamentos de purificação d'água. Eles devem conhecer suas funções e executá-las bem. (BRASIL, 2013, p.1).

Durante a atividade de campanha, é possível considerar a obtenção de água do sistema de abastecimento municipal, de águas subterrâneas, superficiais, pelo aquecimento do gelo ou neve, chuva, vegetação ou excepcionalmente do mar. Para evitar a contaminação das tropas, em caso de utilização de rios para a obtenção da água, deve-se seguir o sentido da jusante do curso d'água, para o estabelecimento das atividades, sendo o primeiro ponto destinado à coleta de água para abastecimento e o último, às atividades de limpeza. A construção de latrinas deve ser feita longe da água, evitando que haja contaminação e transmissão de doenças (BRASIL, 2013).

Até 2010, o Exército Brasileiro utilizava o método químico-físico para o tratamento de água em atividades operacionais, com a utilização de uma a estação de tratamento à vela, no qual as águas passavam pelas etapas de floculação, filtração com diato-filtro de membrana impregnada com sílica diatomácea e cloração final da água. Com o conhecimento obtido na operação de apoio às tropas brasileiras no Haiti, o Exército estabeleceu como necessidade a substituição desse sistema, utilizado desde a década de 1960, pelo método de tratamento físico, com ultrafiltração e osmose reversa (SOUZA, 2014).

Em 12 de janeiro de 2010, com a ocorrência do sismo no Haiti, o Hospital de Campanha da Força Aérea Brasileira foi acionado para realizar ações de saúde em campanha.

No planejamento inicial, houve uma projeção de possíveis cenários, divididos em situações esperadas em duas fases: na fase inicial, haveria ações de assistência à saúde em critérios de urgência e emergência, com preponderância de atendimentos cirúrgico, devido aos traumas causados pelo terremoto e desmoronamento de estruturas; e, na fase seguinte, os problemas estariam relacionados ao saneamento local, à presença de epidemias causadas pelo comprometimento do local, desabastecimento de água potável e contaminação dos mananciais. As projeções se confirmaram e, devido ao tempo prolongado da missão, houve escassez hídrica, comprometendo severamente o abastecimento de água para uso nos lavatórios, lavanderia e limpeza geral. Somente existia água potável em embalagens comerciais de 20 litros, transportada pela Força Aérea Brasileira. Com isso, houve casos esporádicos de “disenteria coletiva” (CUNHA, 2013, p. 211).

O abastecimento de energia elétrica também ficou comprometido e os geradores do HCAMP por vezes eram os responsáveis pelo fornecimento de energia a toda a missão, não sendo suficientes para o suprimento dessas demandas (CUNHA, 2013).

Ao observar as dificuldades inerentes ao tratamento de água para utilização em Hospitais de Campanha, é premente a necessidade de desenvolvimento de uma metodologia capaz de fornecer água potável, na quantidade necessária para o funcionamento do HCAMP.

## 4 Materiais e Métodos

Este capítulo destina-se a apresentar a metodologia do trabalho, a qual compreende a descrição do aparato experimental, do método de tratamento de água e utilizado, além de apresentar dados sobre a obtenção das amostras de água e a caracterização dessas amostras, antes e após o tratamento com ozônio.

### 4.1 Obtenção das Amostras de Água

Os corpos de água superficiais apresentam variações na concentração de seus constituintes tanto de forma espacial quanto temporal. Isso significa que um mesmo manancial apresenta qualidades diferentes se for coletado em pontos distintos, tanto no sentido longitudinal quanto vertical, e ao longo do tempo, haja vista as condições meteorológicas do local e os efluentes que ali ocorrem. Buscando abranger uma maior variedade de condições, as amostras foram coletadas em diferentes mananciais e em diferentes datas.

Para a coleta de água, foram utilizados galões de plástico estéreis lavados abundantemente com água deionizada. Para a obtenção das amostras de água de rios e lagoas, os frascos foram introduzidos no manancial, lavados internamente com a água deste e inseridos cerca de 30 cm abaixo da superfície da água, para que fossem preenchidos em sua capacidade. Para a obtenção das amostras diretamente de Água Bruta da Estação de Tratamento de Água (ETA) do DCTA, a torneira foi higienizada com álcool a 70% por três vezes, aguardando-se a secagem entre as 3 fricções, e, antes da coleta, permitiu-se que a água escoasse continuamente por cinco minutos.

Para a realização das coletas, foram seguidas as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (WHO, 2019) e do Manual Prático para Coleta de Água (BRASIL, 2006). Nenhuma substância foi utilizada nos frascos das amostras analisadas no ITA, além da água dos mananciais. A empresa QUIMBIOL utilizou substâncias para a preservação das amostras, de acordo com a metodologia prevista nas Normas Técnicas citadas pela empresa no Anexo A.

Na fase inicial dos experimentos, a água utilizada foi coletada de quatro diferentes mananciais (Figuras 4.1 - 4.4), com a finalidade de abranger maior diversidade física, química e microbiológica na água utilizada e entender os mecanismos de ação do ozônio

frente a essas variáveis. Os mananciais superficiais utilizados nos experimentos, as respectivas legendas e as coordenadas geográficas dos pontos de coleta das amostras de água estão descritas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Mananciais utilizados nos experimentos.

Legenda	Manancial	Coordenadas Geográficas
DLK	Lagoa do DCTA	23°12'26.2"S
		45°52'29.8"W
JLK	Lagoa Jabaquara – Parque Interlagos	23°16'23.3"S
		45°51'50.9"W
PRV	Rio Paraíba do Sul	23°16'40.1"S
		45°58'42.0"W
VRV	Rio Vidoca – Água Bruta da ETA* do DCTA	23°13'41.8"S
		45°52'17.2"W

\*ETA: Estação de Tratamento de Água

Na fase seguinte, após a análise dos resultados preliminares, as amostras foram coletadas da Lagoa do DCTA e do Rio Vidoca – Água Bruta da Estação de Tratamento de Água (ETA) do DCTA.

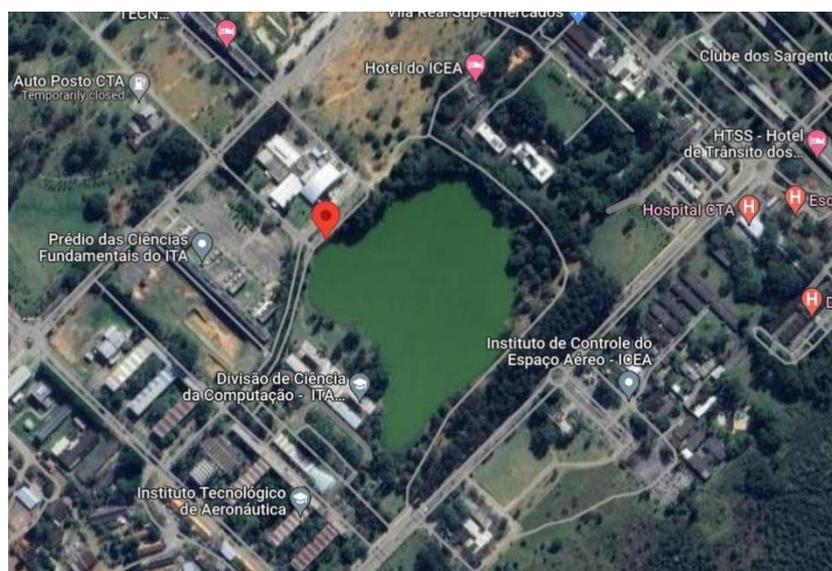


Figura 4.1 – Lagoa do DCTA (GOOGLE MAPS, 2022).

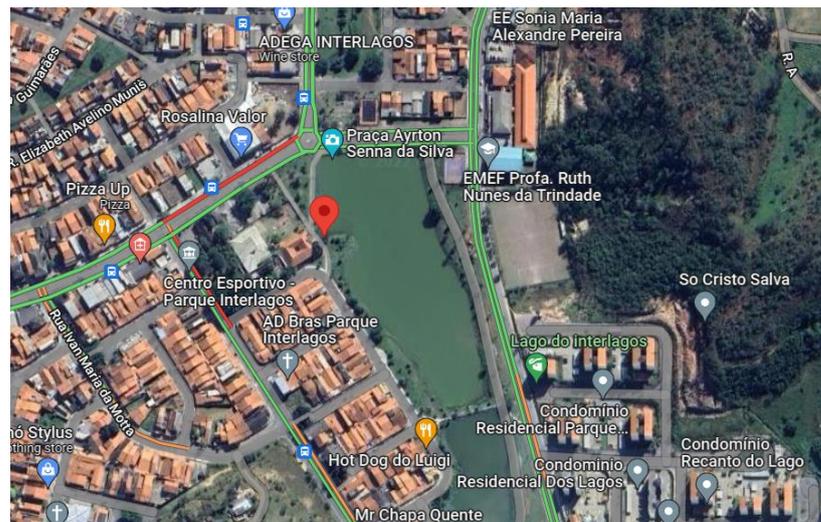


Figura 4.2 – Lagoa Jabaquara (GOOGLE MAPS, 2022).



Figura 4.3 – Rio Paraíba do Sul (GOOGLE MAPS, 2022).

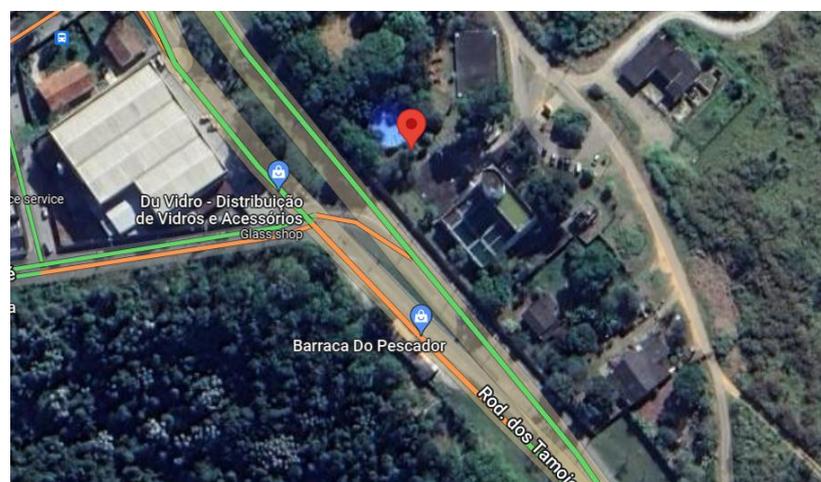


Figura 4.4 – Ponto de Coleta da Água Bruta da ETA do DCTA (GOOGLE MAPS, 2022).

## 4.2 Ozonização das Amostras de Água

Para o tratamento das amostras de água com ozônio, foi utilizado um gerador “homemade” (Figura 4.5), constituído por dois ozonizadores interligados, um comercial (marca OZONE SOLUTIONS, modelo O<sub>3</sub> GENERATOR) e outro fabricado no Laboratório de Plasma e Processos do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (LPP-ITA).

Para gerar ozônio, é necessária a utilização de uma fonte de gás (ar ou oxigênio), que deve passar pela região da descarga elétrica. Nessa pesquisa, o gás utilizado foi o oxigênio, por apresentar um maior rendimento na reação de ozônio e não criar espécies relacionadas ao nitrogênio presente no ar (OH *et al.*, 2016). O gerador de ozônio, baseado em descarga corona, foi alimentado por oxigênio com pureza de aproximadamente 95% e fluxo de 2 L/min, produzido por um gerador de oxigênio medicinal (marca RESPITRONICS, modelo MILLENIUM M10).



Figura 4.5 – Gerador de ozônio.

O ozônio gerado, antes do tratamento de água foi ligado a um medidor de ozônio (marca OZONE SOLUTIONS, modelo OZONE MONITOR 106-H), para que fosse estabelecida a dose do ozônio, que foi de 70 mg/L nos experimentos da primeira, segunda e terceira fases e de 60 mg/L nos experimentos da quarta fase (valores máximos obtidos durante os experimentos, aplicando-se um fluxo de oxigênio de 2 L/min). O cálculo da Dosagem Aplicada de Ozônio, feita por meio da metodologia de Van Leeuwen (2015), está detalhado no item 4.3 deste Capítulo.

Após a fixação da dose de tratamento, a mangueira de saída do gerador, por meio da qual o ozônio gerado fluía, foi acoplada a uma torre ozonizadora de líquidos (marca OZONE & LIFE). Nesta torre, o ozônio entrava pela extremidade superior e passava inicialmente por um cilindro de vidro que possuía uma pedra porosa em sua extremidade inferior, responsável por formar as microbolhas de ozônio, que eram dispersas no volume de água. Após atingir a superfície da água, o gás foi coletado na mangueira localizada na extremidade superior da torre e seguiu para o filtro destruidor de ozônio (Figura 4.5).

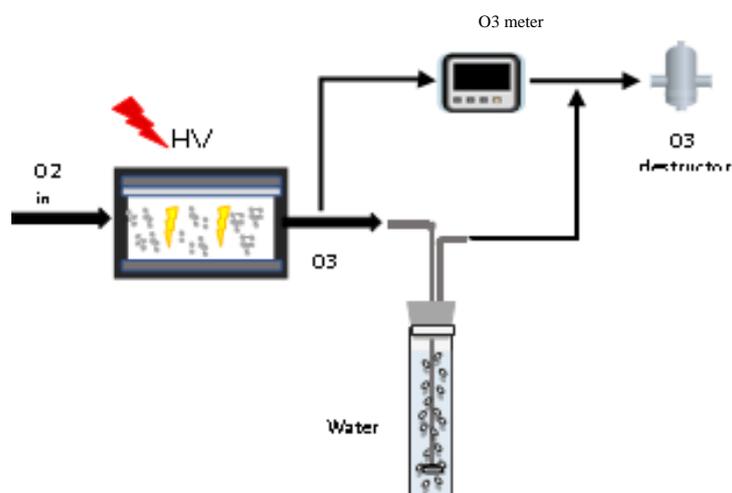


Figura 4.6 – Aparato experimental utilizado para a ozonização da água.

Em um tratamento de água por ozonização, a ação do ozônio acontece em bacias de contato grandes e profundas e a entrada do gás nesses locais acontece por meio de difusores porosos. Em escala laboratorial, são utilizadas colunas altas (Figura 4.7), nas quais ocorre a difusão de bolhas para simular as bacias de contato (FILHO, 2010).

Em todas as etapas do experimento, o ozônio foi borbulhado na torre ozonizadora, contendo um volume de aproximadamente 700mL de água de um dos mananciais utilizados. Para a introdução deste volume de água na torre, foi utilizado um bécker de vidro, de aproximadamente 250 mL. A torre utilizada é um cilindro de vidro, com 60 cm de diâmetro e com 105cm de altura e a pedra porosa utilizada para a formação de microbolhas apresenta dimensões de 3x1, 8 cm.

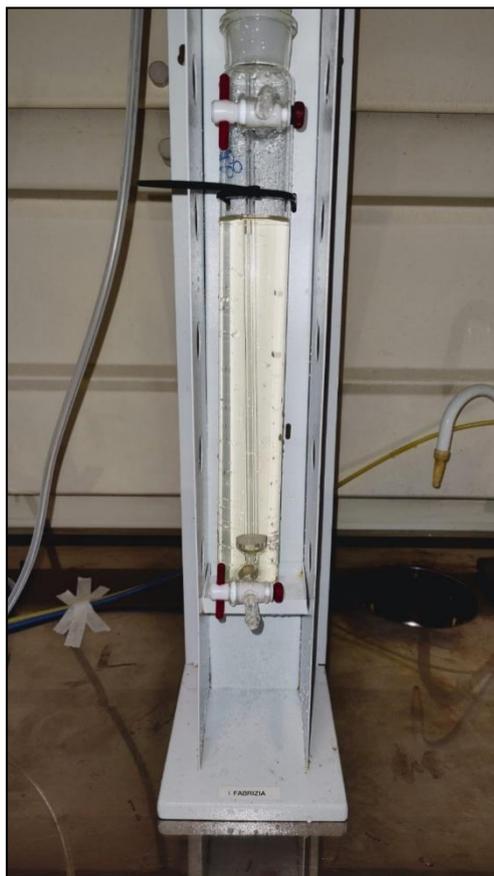


Figura 4.7 – Torre ozonizadora.

O gás produzido pelo gerador de ozônio foi borbulhado no interior da torre por um tempo de 60 minutos e, durante o tratamento, alíquotas de água de aproximadamente 50 mL foram retiradas do volume do total da água que estava sendo tratada, por meio da torneira existente na parte inferior da torre (Figura 4.8), em diferentes intervalos de tempo. Os experimentos foram conduzidos à temperatura ambiente de 20 °C.

Para que não houvesse contaminação cruzada entre as amostras submetidas ao tratamento com ozônio, foi realizado o seguinte protocolo de limpeza da torre: esvaziamento completo da torre após o tratamento, seguido por lavagem abundante com água da torneira, limpeza com detergente neutro e escova, enxágue abundante com água deionizada e finalmente secagem da torre com secador para vidrarias.



Figura 4.8 – Torneira localizada na parte inferior da torre ozonizadora, utilizada para coletar as alíquotas de água, durante a ozonização.

#### 4.2.1 Etapas do Experimento

A fase experimental foi dividida em quatro etapas, que serão descritas a seguir.

##### 4.2.1.1 Etapa 1

Na primeira etapa, a concentração de  $O_3$  foi fixada em 70 mg/L e o ozônio foi aplicado por 60 minutos em aproximadamente 700mL de cada uma das amostras de água, coletadas de quatro mananciais diferentes (Tabela 4.2). Uma alíquota de 50mL foi coletada antes da ozonização (amostra controle no tempo zero) e outras cinco alíquotas foram retiradas nos tempos de 05, 15, 30, 45 e 60 minutos de tratamento com ozônio. A temperatura de cada amostra foi medida imediatamente após a remoção da alíquota da torre de ozonização, tendo variado entre 16°C e 19,5°C.

Para a caracterização físico-química das amostras, foram utilizados um medidor multiparamétrico de água (marca MULTIFUNCTION, modelo EZ-9909SP), que permitiu a realização das medidas de pH, temperatura, condutividade elétrica (EC) e sólidos totais dissolvidos em água (TDS), e um pHmetro de bancada (marca KASVI, modelo K39-2014B), utilizado para medir o potencial de oxirredução (ORP).

As amostras de água controle e tratadas também foram analisadas em espectrofotômetro UV-Vis (marca THERMO SCIENTIFIC, modelo EVOLUTION 220), visando investigar a presença de modificações químicas na água, logo após seu tratamento e, para isto, 2 mL de água de cada amostra foram colocados em uma cubeta de quartzo e analisados em um range de comprimento de onda de 190 nm a 1100 nm.

Além disso, as amostras tiveram suas medidas de cor e turbidez aferidas na Estação de Tratamento de Água (ETA) do DCTA, tendo sido utilizados um turbidímetro (marca HACH, modelo 2100 Q) e um colorímetro (marca LA MOTTE, modelo SMART 3).

Tabela 4.2 – Dados da etapa 1 do experimento.

<b>Manancial</b>	<b>Coordenadas Geográficas</b>	<b>Alíquotas Coletadas</b>	<b>Análises Realizadas</b>
Lagoa do DCTA	23°12'2 6.2"S 45°52'29.8"W	02 (início e fim do tratamento com ozônio).	pH, temperatura, EC, TDS, ORP, UV-vis, cor e turbidez.
Lagoa Jabaquara – Parque Interlagos	23°16'2 3.3"S 45°51'50.9"W	02 (início e fim do tratamento com ozônio).	pH, temperatura, EC, TDS, ORP, UV-vis, cor e turbidez
Rio Paraíba do Sul	23°16'4 0.1"S 45°58'42.0"W	02 (início e fim do tratamento com ozônio).	pH, temperatura, EC, TDS, ORP, UV-vis, cor e turbidez
Rio Vidoca – Água Bruta da ETA* do DCTA	23°13'4 1.8"S 45°52'17.2"W	02 (início e fim do tratamento com ozônio).	pH, temperatura, EC, TDS, ORP, UV-vis, cor e turbidez

De acordo com os respectivos manuais, os equipamentos apresentam as seguintes variações de precisão na leitura: TDS ( $\pm 2\%$ ), pH ( $\pm 0,5$  pH), EC ( $\pm 2\%$ ), ORP (1 mV), UV-vis ( $\pm 0,8$  nm), Turbidez ( $\pm 2\%$ ) e Cor ( $\pm 2\%$ ).



Figura 4.9 – Ponto de coleta na Lagoa do DCTA.

#### 4.2.1.2 Etapa 2

Na segunda etapa do tratamento, foi utilizada apenas a amostra de água bruta coletada na ETA do DCTA, que foi captada no Rio Vidoca (Figura 4.10), pois esse manancial apresentou a pior qualidade de tratamento, de acordo com os resultados obtidos na Etapa 1. A água foi retirada diretamente da torneira de água bruta existente na ETA (Figura 4.10), torneira esta que foi descontaminada a cada coleta, de acordo com protocolo descrito anteriormente. As outras torneiras correspondem à água que pode ser coletada em outras etapas do ciclo de tratamento realizado na estação.

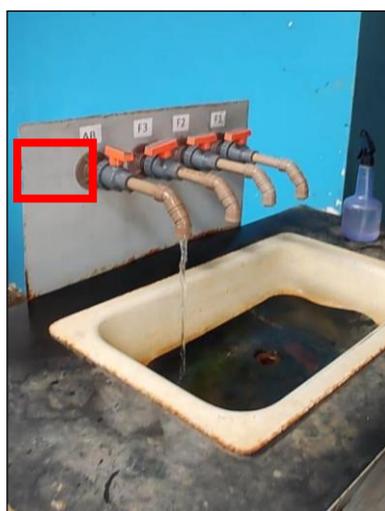


Figura 4.10 – Ponto de coleta de água bruta da ETA do DCTA (torneira identificada com as letras AB, contornadas em cor vermelho).

A concentração de  $O_3$  foi fixada em 70 mg/L e o ozônio foi aplicado por 60 minutos na torre ozonizadora contendo aproximadamente 700mL de água bruta. Foram retiradas duas

alíquotas de aproximadamente 50mL, uma coletada antes da ozonização (amostra controle) e outra, ao final do tratamento (Tabela 4.3). A temperatura de cada amostra foi medida, imediatamente após a remoção da alíquota da torre ozonizadora e a temperatura das duas estava em 18,4 °C.

Nesta etapa, foi acrescentada a análise microbiológica da água, antes e após o tratamento com ozônio.

Tabela 4.3 – Dados da etapa 2 do experimento.

<b>Manancial</b>	<b>Coordenadas Geográficas</b>	<b>Alíquotas Coletadas</b>	<b>Análises Realizadas</b>
Rio Vidoca – Água Bruta da ETA* do DCTA	23°13'41.8"S 45°52'17.2"W	02 (início e fim do tratamento)	pH, temperatura, EC, TDS, ORP, UV-vis, cor, turbidez e análise microbiológica

Para caracterização das amostras, foram realizadas as medidas de pH, temperatura, condutividade elétrica (EC), sólidos totais dissolvidos em água (TDS), potencial de oxirredução (ORP), espectrofotometria UV-Vis no range de comprimento de onda de 190 nm a 1100 nm, cor e turbidez, com os mesmos equipamentos utilizados na etapa anterior. Neste momento, foi também realizada a análise microbiológica quantitativa da água antes e após a ozonização, utilizando-se o kit microbiológico Colipaper® (marca ALFAKIT), que consiste em *dipslides* de papel, contendo meio de cultura em forma de gel desidratado, para determinação simultânea de *Escherichia coli* e Coliformes Totais (Figura 4.11).

A análise microbiológica foi realizada no Laboratório de Bioengenharia do ITA (LABBIO) e foram seguidas as recomendações do fabricante para a execução dos testes. As cartelas microbiológicas (Figura 4.12) foram retiradas do invólucro plástico e imersas até a região do picote nas amostras de água, até ficarem úmidas.



Figura 4.11 – Kit utilizado para análise microbiológica da água (ALFAKIT, 2022).

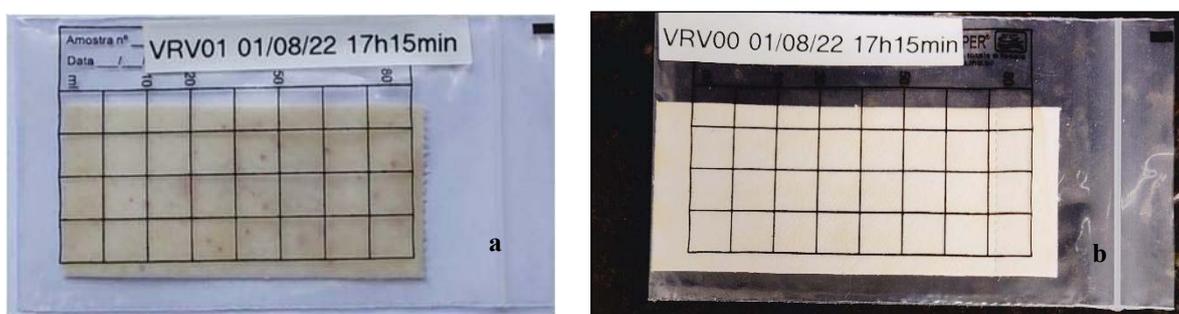


Figura 4.12 – Cartela microbiológica utilizada para análise da água (a – antes do tratamento; b- após o tratamento).

O excesso de água foi retirado dos testes por meio de movimentos bruscos e, em seguida, as cartelas foram reinsertadas nos respectivos invólucros, tendo sido removidas a parte anterior ao picote, pois, esta região foi utilizada para segurar a cartela durante a imersão em água e recolocação da mesma no invólucro plástico. As cartelas (Figura 4.12 a, b) foram incubadas em estufa (Marca NOVA INSTRUMENTS Modelo Estufa Bacteriológica) por quinze horas, em uma temperatura de 37° C.

Depois do período de incubação, foi realizada a contagem das colônias considerando os dois lados das cartelas, a multiplicação do número de colônias identificadas pelo fator de correção 80, conforme a recomendação do fabricante dos testes e procedida a interpretação dos resultados. As colônias de *E. coli* apresentam-se nos testes como pontos de coloração violeta a azul, enquanto as de Coliformes Totais aparecem como pontos de coloração róseos

avermelhados.

#### 4.2.1.3 Etapa 3

A terceira etapa consistiu em realizar apenas a análise microbiológica das amostras da Lagoa do DCTA e do Rio Vidoca (ETA do DCTA), com a finalidade de verificar a possibilidade de reduzir o tempo do tratamento. Para isto, foi utilizado o kit microbiológico Colipaper® (marca ALFAKIT), para determinação simultânea de *Escherichia coli* e Coliformes Totais (Figura 4.11).

Optou-se por se fazer a análise microbiológica destes dois mananciais pelo fato deles terem apresentado resultados divergentes na primeira Etapa dos experimentos, estarem localizados em ambientes mais controlados e possuírem acesso mais facilitado para a coleta. Pela diversidade físico-química dos dois mananciais, sua utilização proporcionou a variedade necessária para simular diferentes situações observadas durante as atividades do Hospital de Campanha.

Tabela 4.4 – Dados da etapa 3 do experimento.

Manancial	Coordenadas Geográficas	Alíquotas Coletadas	Análises Realizadas
Lagoa do DCTA	23°12'26.2"S 45°52'29.8"W	06 (início do tratamento e após 05, 15, 30, 45 e 60 min de tratamento com ozônio)	Análise microbiológica ( <i>E. coli</i> e C. Totais)
Rio Vidoca – Água Bruta da ETA* do DCTA	23°13'41.8"S 45°52'17.2"W	06 (início do tratamento e após 05, 15, 30, 45 e 60 min de tratamento com ozônio)	Análise microbiológica ( <i>E. coli</i> e C. Totais)

Para a caracterização das amostras, foi realizada a análise microbiológica quantitativa da água antes do tratamento e após 05, 15, 30, 45 e 60 minutos de ozonização, utilizando-se o kit microbiológico Colipaper® (marca ALFAKIT), que contém meio de cultura em forma de gel desidratado e possibilita a determinação simultânea de *Escherichia coli* e Coliformes Totais (Figura 4.11).

A análise microbiológica foi realizada de acordo com os procedimentos descritos no item 4.2.1.2.

#### 4.2.1.4 Etapa 4

Na quarta etapa do experimento, foi realizado o tratamento apenas em amostras de água coletadas na Lagoa do DCTA (DLK) e no Rio Vidoca (VRV). Neste momento, as amostras foram obtidas juntamente à equipe do laboratório QUIMBIOL (CNPJ 10.542.119/0001-40), que é uma empresa de prestação de serviços ambientais, com laboratório próprio para análises em água.

A empresa coletou aproximadamente 5L de água de cada um dos mananciais e, ainda no ponto de coleta, realizou as medidas de pH das amostras. Essas amostras de água bruta foram preservadas e levadas ao laboratório localizado em Taubaté, para fazer as análises pré-tratamento, com a finalidade de realizar o monitoramento da qualidade da água e identificar a presença de substâncias químicas ou biológicas que possam causar danos à saúde, quando ingeridas sem tratamento adequado, conforme o preconizado no Anexo XX da PRC n°. 5/2017, alterada pela Portaria GM/MS n°. 888/202.

Simultaneamente à coleta realizada pela empresa, foram retiradas mais 5L de água da Lagoa do DCTA e 10L de água bruta da ETA do DCTA (Rio Vidoca), conforme descrito nos procedimentos detalhados no item 4.1 (Obtenção das amostras de água).

Essas amostras foram fracionadas e passaram a receber tratamento no Laboratório de Plasmas e Processos do ITA. O fracionamento das amostras foi necessário, pois a torre ozonizadora (Figura 4.7) comporta aproximadamente 700mL de líquido e o tratamento precisou ser dividido em alíquotas com essa medida. A água coletada na ETA do DCTA (10L) foi dividida em duas frações de 5L e uma delas passou por um processo de filtração lenta em um filtro construído no LPP (Figura 4.13) e composto por 05 camadas, descritas a seguir, antes de ser submetida ao tratamento de ozonização:

Primeira camada de manta filtro para aquário (MARCA Peixe Vivo), constituída de 100% poliéster e colocada na parte inferior do filtro, em quantidade suficiente para minimizar os riscos de que qualquer um dos outros elementos filtrantes chegasse até a torneira de saída do filtro, deixando-a livre para saída de água filtrada.

Segunda camada com altura de 4cm, contendo cascalho do rio n°. 4 (MARCA Aqua Pedras), composto de substrato de quartzo natural rolado, de bordas arredondadas, com granulometria de 10 a 20mm.

Terceira e quinta camadas com altura de 10cm, composta de areia natural nº.00 (MARCA Lotus).

Quarta camada com carvão ativado (MARCA Xinyou), com uma altura de 5cm, compondo uma camada sanduíche entre duas camadas de areia.

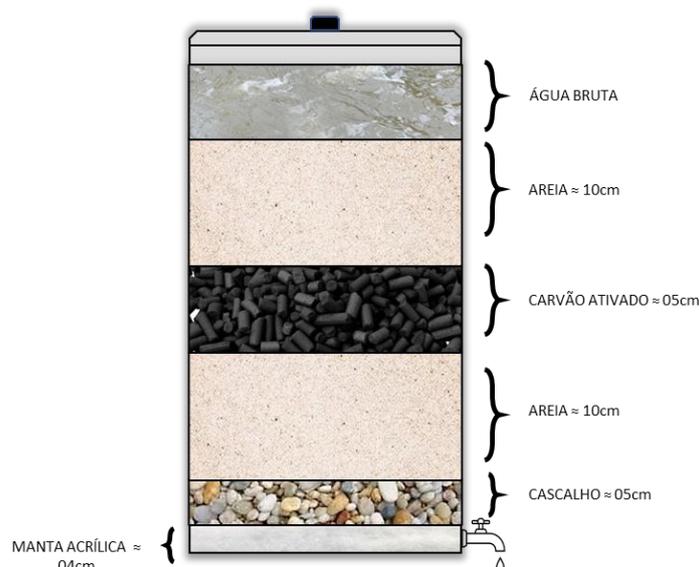


Figura 4.13 – Desenho esquemático do filtro utilizado.

Nesta etapa, foram coletadas amostras dos mananciais DLK e VRV, que foram submetidas ao tratamento com  $O_3$  a uma concentração fixada em 60 mg/L, aplicada por 60 minutos. A amostra VRV foi dividida em duas frações e uma delas passou por filtro composto por 05 camadas, antes de ser submetida à ozonização. Nesta etapa, foram coletadas uma amostra controle e uma amostra após 60 minutos de tratamento nas três situações descritas (ozonização da DLK, ozonização do VRV e filtração mais ozonização do VRV). A seleção somente do manancial Rio Vidoca para a realização de tratamento composto por ozonização mais filtração ocorreu pela limitação do número de análises que poderiam ser realizadas pelo laboratório externo. Além disso, esse manancial apresentou os piores resultados nos experimentos realizados.

A temperatura de cada amostra foi medida imediatamente após a remoção da alíquota da torre de ozonização, tendo variado entre 18°C e 23°C. A temperatura ambiente durante os experimentos foi mantida em 20°C.

Tabela 4.5 – Dados da etapa 4 do experimento.

<b>Manancial</b>	<b>Coordenadas Geográficas</b>	<b>Alíquotas Coletadas</b>	<b>Tratamento Realizado</b>
Lagoa do DCTA	23°12'2 6.2"S 45°52'29.8"W	02 (início e fim do tratamento)	Ozonização
Rio Vidoca – Água Bruta da ETA do DCTA	23°13'41.8"S 45°52'17.2"W	02 (início e fim do tratamento)	Ozonização
Rio Vidoca – Água Bruta da ETA do DCTA	23°13'41.8"S 45°52'17.2"W	02 (início e fim do tratamento)	Filtração e Ozonização

No LPP-ITA, foram realizadas as medidas de pH, temperatura, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos em água (TDS). As amostras de água controle e tratadas também foram analisadas em espectrofotômetro UV-Vis, e, para isto, 2 mL de água de cada amostra foram colocados em uma cubeta de quartzo e analisados em um range de comprimento de onda de 190 nm a 1100 nm.

As amostras tiveram suas medidas de cor e turbidez aferidas na Estação de Tratamento de Água (ETA) do DCTA, tendo sido utilizados para isso um turbidímetro (marca HACH, modelo 2100 Q) e um colorímetro (marca LA MOTTE, modelo SMART 3), respectivamente.

Além disso, na medida em que as amostras de água eram tratadas, os frascos deixados pela QUIMBIOL foram preenchidos e enviados para a empresa, para que fossem realizadas as análises previstas pelo anexo XX da Portaria GM/MS nº. 888, de 04 de maio de 2022.

### **4.3 Cálculo da Dosagem de Ozônio aplicada às amostras**

#### **4.3.1 Taxa de Alimentação de Ozônio**

De acordo com Van Leeuwen (2015), a taxa de alimentação de ozônio pode ser medida pela concentração da fase gasosa, multiplicada pela vazão do gás de alimentação (Equação 4.1).

$$T_{O_3} = c_{O_3} \cdot q_{O_2} \quad (4.1)$$

Os parâmetros operacionais do tratamento de ozônio foram fixados em uma taxa de fluxo de alimentação de  $2 \text{ L min}^{-1}$  e concentrações de fase gasosa de  $0,07 \text{ g/L}$ ,  $0,06 \text{ mg/L}$ . A concentração de ozônio da fase gasosa na entrada e na saída foi medida usando um analisador de gás ozônio (marca OZONE SOLUTIONS, modelo OZONE MONITOR 106-H).

O cálculo da dosagem foi realizado por meio da metodologia descrita por Van Leeuwen (2015). A taxa de a alimentação de ozônio foi calculada multiplicando-se a concentração da fase gasosa e a alimentação taxa de fluxo, resultando em taxas de alimentação de  $0,14 \text{ g/min}$  (primeira, segunda e terceira etapas) e  $0,12 \text{ g/min}$  (quarta etapa).

#### **4.3.2 Dosagem de Ozônio Aplicado**

Foi calculada por meio da multiplicação do período de ozonização pela taxa de aplicação e dividida pelo volume da amostra e expressa em  $\text{mg/L}$  (VAN LEEUWEN, 2015).

$$D_{O_3} = (t_{O_3} \cdot q_{O_2}) / V \quad (4.2)$$

Aplicando-se essa metodologia, temos que a dosagem de ozônio aplicada nas três primeiras etapas foi de  $12 \text{ g O}_3/\text{L}$  e na quarta etapa, de  $10,28 \text{ g O}_3/\text{L}$ .

#### **4.4 Caracterização das amostras**

A caracterização físico-química das amostras foi realizada de acordo com o descrito no item 4.2.1.1. Para realizar essas medidas, cerca de  $30 \text{ mL}$  de cada amostra foi colocada em um bécker com capacidade para  $50 \text{ mL}$  e os sensores dos respectivos equipamentos foram inseridos na amostra (Figura 4.14). Para a leitura dos resultados, aguardou-se a estabilização dos números no visor dos equipamentos.



Figura 4.14 – Caracterização físico-química de uma amostra com medidor multiparamétrico de água.

As amostras de água controle e tratada foram analisadas em espectrofotômetro UV-Vis (marca THERMO SCIENTIFIC, modelo EVOLUTION 220), visando investigar a presença de modificações químicas na água, logo após seu tratamento e, para isto, 2 mL de água de cada amostra foram colocados em uma cubeta de quartzo e esta foi analisada em um range de comprimento de onda de 190 nm a 1100 nm.

De acordo com os seus respectivos manuais, os equipamentos apresentam as seguintes variações de precisão na leitura: TDS ( $\pm 2\%$ ), pH ( $\pm 0,5$  pH), EC ( $\pm 2\%$ ), ORP (1 mV), e UV-vis ( $\pm 0,8$  nm).

Para facilitar a compreensão, serão apresentados a seguir alguns dados sobre os parâmetros utilizados para a caracterização das amostras no ITA:

#### **4.4.1 Potencial de Oxirredução (ORP)**

Os resultados do potencial de oxirredução ou potencial redox (ORP) demonstram alterações microbiológicas e químicas da água e estão relacionados com a transferência de elétrons entre as espécies químicas presentes. A medição do ORP é indicada pela Organização Mundial de Saúde (OMS), como um método de monitoramento da eficácia do

processo de desinfecção da água. Para isso, valores mínimos devem ser determinados individualmente, não sendo recomendada a adoção de valores universais. Essa medida indica a capacidade de uma solução de oxidar ou reduzir substâncias, portanto, um valor positivo de ORP indica que a solução tem uma tendência maior de oxidar outras substâncias, enquanto um valor negativo indica uma maior tendência em reduzir substâncias.

#### **4.4.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)**

O pH afeta o metabolismo de várias espécies aquáticas (CORCOVIA; CELLIGOI, 2012; ANA, 2022) e valores de pH entre 6,0 e 9,5 estão condizentes com os parâmetros estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 05 do Ministério da Saúde para água (BRASIL, 2017). Os principais valores determinantes do pH da água são o gás carbônico dissolvido e a alcalinidade.

#### **4.4.3 Total de Sólidos Dissolvidos (TDS)**

O Total de Sólidos Dissolvidos TDS compreende a quantidade de material dissolvido na água, podendo incluir carbonatos, bicarbonatos, cloretos, sulfatos, fosfatos, nitratos, cálcio, magnésio, sódio, íons orgânicos e outros. Estes compostos podem chegar à água por meio de lixiviação, descarte de esgoto não tratado e efluente industriais, além de escoamento urbano e agrícola, ou seja, quanto maior o grau de eutrofização (ação do ser humano) do corpo de água, maior será a quantidade de TDS encontrada.

#### **4.4.4 Condutividade Elétrica (EC)**

A condutividade elétrica está relacionada com a concentração de íons na água, encontrados principalmente por causa dos sais dissolvidos e materiais inorgânicos. A condutividade depende da quantidade de matéria ionizável presente na água e é aproximadamente proporcional à quantidade de sólidos dissolvidos totais, de acordo com a seguinte equação:

$$\text{TDS (mg/L)} \approx K \cdot \text{CE } (\mu\text{S/cm}) \quad (4.3)$$

Com K entre 0,55 e 0,75 (valor típico = 0,65).

#### **4.4.5 Cor**

Os valores constantes na legislação vigente no Brasil como adequados para Cor são de até 15 Unidades Hazen (mg Pt-Co/L) e de até 05 Unidades de Turbidez (BRASIL, 2021).

A cor da água é a capacidade dada por absorver certas radiações do espectro visível, devido à presença de vários compostos solúveis, no estado coloidal ou em suspensão, dentre os quais podemos destacar a presença de ácido húmico e ferro e sua redução é importante tanto por aspectos estéticos, quanto pela possibilidade de reação com o cloro residual necessário para a manutenção de desinfecção no sistema de distribuição de água.

A cor aparente é dada pela matéria em suspensão e a cor verdadeira está presente quando esta matéria é retirada, por meio de filtração. De acordo com a sua origem, a cor pode ser removida por coagulação e filtração, ou por oxidação.

#### **4.4.6 Turbidez**

A turbidez da água indica o grau de atenuação sofrido pelo feixe de luz ao atravessar a água e é causada por coloides em suspensão, tais como partículas de areia, argila, detritos orgânicos, plâncton, organismos microscópicos, dentre outros. Ela expressa uma propriedade óptica, na qual a luz é espalhada e absorvida, sem mudança de direção através da amostra (BAIRD; EATON; RICE, 2019). Normalmente, está associada a partículas ou coloides em suspensão de origem muito variada, que são adicionados à água por meio da lixiviação, ocasionada pela chuva, entretanto, atividades de mineração, lançamento de esgotos e efluentes industriais também aumentam a turbidez da água (DI BERNARDO; DANTAS, 2006; LANGLAIS, 2019). A turbidez pode ser interpretada como uma medida indireta da quantidade de sólidos em suspensão.

## 5 Resultados e Discussões

### 5.1 Resultados da Etapa 1

Na Etapa 1 dos experimentos, foram verificadas as alterações físico-químicas presentes na água de quatro diferentes mananciais. Foram realizadas medidas de pH, potencial de oxirredução (ORP), condutividade elétrica (EC), total de sólidos dissolvidos (TDS), temperatura, absorvância no espectro UV e visível, cor e turbidez antes do tratamento com ozônio e as mesmas medidas foram repetidas nos tempos após a aplicação de ozônio após decorridos os tempos de 05, 15, 30, 45 e 60 minutos de ozônio.

Os resultados das medidas realizadas em cada manancial estão dispostos nas Tabelas 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4. Eles apresentam as propriedades físico-químicas da água bruta (tempo zero) e as mudanças que foram acontecendo a partir da reação do ozônio com os compostos presentes na água e por sua decomposição.

Tabela 5.1 – Resultados da Etapa 1 dos Experimentos (Lagoa do DCTA).

Amostra	Tempo (min)	pH	ORP (mV)	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	TDS (ppm)	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Cor	Turbidez (NTU)
0	0	6,64	14	170	86	18	30,3	4,84
1	5	6,48	15	26	13	18,5	16,4	6,17
2	15	6,17	18	22	11	18,5	13,2	5,27
3	30	5,72	69	28	14	18,1	8,6	3,68
4	45	5,17	106	28	14	18,1	13,5	4,11
5	60	4,82	122	30	15	18,1	13,9	4,6

Tabela 5.2 – Resultados da Etapa 1 dos Experimentos (Lagoa do Jabaquara).

Amostra	Tempo (min)	pH	ORP (mV)	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	TDS (ppm)	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Cor	Turbidez (NTU)
0	0	6,92	-1	56	34	17,4	20,2	7,33
1	5	6,96	-4	52	26	17	20,1	8,2
2	15	7,11	-14	68	13	16,7	29,9	9,41
3	30	7,32	-26	46	23	16,7	22,2	8,47
4	45	7,52	-38	44	22	16,6	18	6,24
5	60	7,65	-44	58	36	16	9,6	3,5

Tabela 5.3 – Resultados da Etapa 1 dos Experimentos (Rio Paraíba).

<b>Amostr a</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>pH</b>	<b>ORP (mV)</b>	<b>CE (<math>\mu</math>S/cm)</b>	<b>TDS (ppm)</b>	<b>Tempe ratura (<math>^{\circ}</math>C)</b>	<b>Cor</b>	<b>Turbide z (NTU)</b>
0	0	6,26	41	170	86	19,5	25,2	2,29
1	5	7,22	-17	174	78	19	20	6,85
2	15	7,47	-32	164	77	18,8	18,6	6,29
3	30	7,73	-47	162	79	18,2	17,8	5,88
4	45	8,11	-70	144	73	18,8	11	4,64
5	60	8,81	-111	139	69	18,8	11,8	4,16

Tabela 5.4 – Resultados da Etapa 1 dos Experimentos (Rio Vidoca).

<b>Amos tra</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>pH</b>	<b>ORP (mV)</b>	<b>CE (<math>\mu</math>S/cm)</b>	<b>TDS (ppm)</b>	<b>Tempe ratura (<math>^{\circ}</math>C)</b>	<b>Cor</b>	<b>Turbide z (NTU)</b>
0	0	6,3	5	90	48	18	40,9	10,8
1	5	6,88	-13	50	25	18	53,8	15,4
2	15	6,95	-20	54	24	18,5	44,7	15,1
3	30	7,21	-44	48	24	18,5	45,7	16,3
4	45	7,26	-57	54	27	18,5	44,6	18,4
5	60	7,57	-87	72	36	18	46,2	15,5

Os resultados referentes a cada parâmetro serão apresentados em forma de gráfico e discutidos a seguir. Os gráficos foram construídos inicialmente com barras de erro, entretanto, não houve mudanças visuais significativas nos parâmetros analisados. Foram utilizadas as variações de precisão de leitura, conforme descrito nos manuais equipamentos (TDS ( $\pm 2\%$ ), pH ( $\pm 0,5$  pH), EC ( $\pm 2\%$ ), ORP (1 mV), UV-vis ( $\pm 0,8$  nm), Turbidez ( $\pm 2\%$ ) e Cor ( $\pm 2\%$ )).

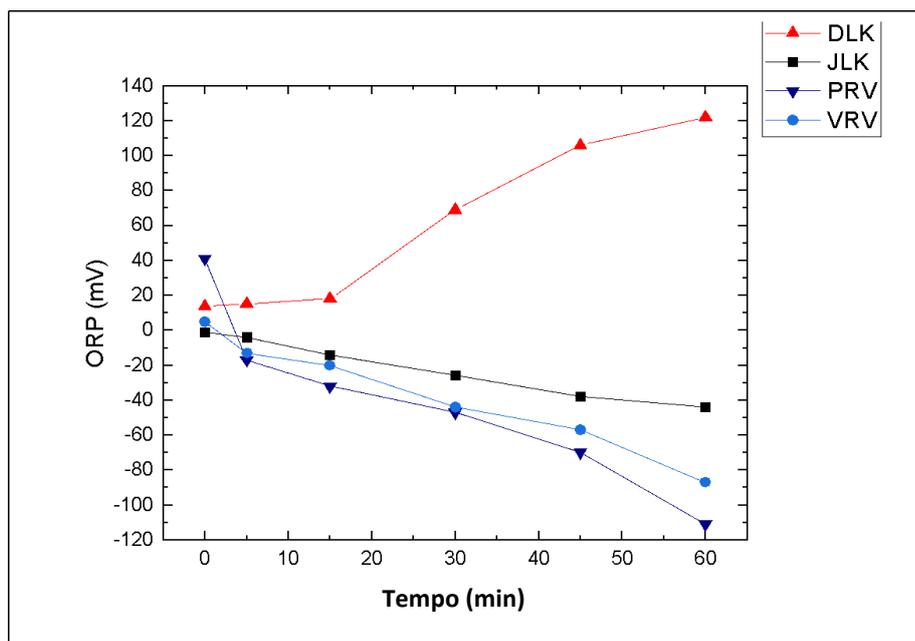


Figura 5.1 – Gráfico dos resultados do potencial redox (ORP) da Etapa 1 dos Experimentos.

Segundo Melnik *et al.*, (2021), as alterações que ocorrem no potencial redox (ORP) da água tratada com ozônio estão relacionadas à presença de ácido húmico. Quando ocorre desinfecção da água por ozônio, esses autores acreditam que ocorre um aumento do ORP em até 440 a 550 mV em águas brutas com baixo teor de ácido húmico, enquanto uma fonte de água que apresente maior teor de ácido húmico tem seu potencial redox reduzido em 30 a 40 mV.

Nessa pesquisa, observou-se que as amostras referentes à Lagoa do DCTA (DLK) apresentaram um aumento progressivo em seus valores (de 14 mV na amostra controle até 122 mV, na amostra com tempo de aplicação de 60 minutos), enquanto as demais amostras (JLK, PRV e VRV) apresentaram uma redução nos valores de seus resultados, à medida que se aplicava o ozônio, sugerindo que há um menor teor de ácido húmico na amostra da Lagoa do DCTA.

O aumento progressivo dos valores de ORP encontrados nas amostras referentes ao tratamento da água da Lagoa do DCTA indicam a presença de mais substâncias oxidantes no processo e que a aplicação de ozônio está promovendo a oxidação de substâncias presentes na água. Já os valores de ORP encontrados nas demais amostras sugerem a maior presença de compostos redutores e a redução nas substâncias oxidáveis presentes na água, pela atividade oxidante do ozônio.

A presença de ácido húmico e substâncias orgânicas na água também causam a diminuição do rendimento da reação pelo maior consumo do ozônio (LANGLAIS, 2019), o que foi evidenciado no gráfico que representa a análise de absorbância na faixa de 260 nm (Figura 5.2), no qual podemos observar uma maior concentração de ozônio dissolvido na amostra da Lagoa do DCTA (DLK), que, de acordo com os resultados de ORP, realmente parece conter uma menor quantidade de matéria orgânica, e uma menor concentração de ozônio dissolvido nas demais amostras, ocasionada pelo maior consumo de ozônio causado pela sua reação com estas substâncias. Neste caso, o ácido húmico atua como iniciador e promotor da reação em cadeia.

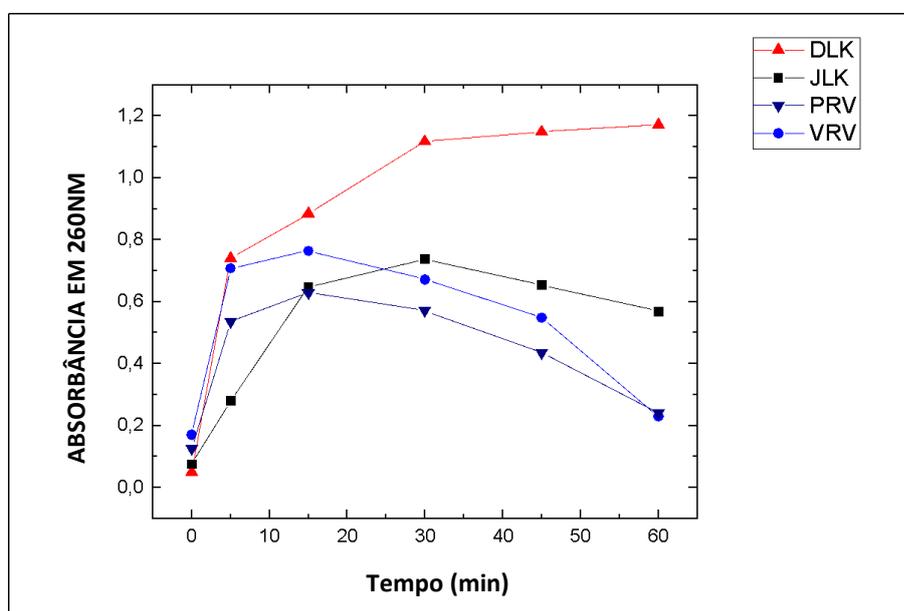


Figura 5.2 – Gráfico dos Resultados da Absorbância em 260 nm da Etapa 1 dos Experimentos.

Maiores valores de ORP, como os encontrados nas amostras referentes ao tratamento da água da Lagoa do DCTA, indicam a presença de mais substâncias oxidantes no processo, enquanto os valores de ORP encontrados nas demais amostras sugerem a maior presença de compostos redutores (PRASAD *et al.*, 2016). Isto corrobora também os maiores picos de absorbância no comprimento de onda de 260 nm (Figura 5.2) encontrados na ozonização da água da Lagoa do DCTA, haja vista que este resultado demonstra o aumento da concentração de ozônio na água, que pode ser avaliada quantitativamente por espectrofotometria no comprimento de onda de 260nm (MANASFI, 2021).

Como discutido por Langlais (2019), a presença de bicarbonatos na água pode inibir a cadeia de reação dos radicais livres, retardando a decomposição do ozônio na água. Isso explicaria a maior quantidade de ozônio dissolvido presente na água da Lagoa do DCTA (Figura 5.2). Este processo resultaria na maior quantidade de ozônio disponível para reação direta e mais seletiva e uma menor oxidação induzida por radicais hidroxila.

De acordo com OH (2001), ocorre uma alta demanda de ozônio em águas que possuam uma maior quantidade de matéria orgânica natural (NOM), pois elas atuam como agentes promotores da reação do ozônio com a água e aumentam a concentração de radicais hidroxila. Estes radicais, por sua vez, aumentam a decomposição do ozônio, corroborando com os resultados que encontramos ao analisar a absorvância em 260 nm (Figura 6.2), ou seja, menor concentração de ozônio dissolvido nas amostras JLK, VRV e PRV.

O ozônio é caracterizado por intensa absorção na banda UV Hartley (200-310 nm) e, ao analisar o gráfico referente à absorvância, medida por espectrofotometria UV-Vis no range de comprimento de onda entre 190 nm a 400 nm (região ultravioleta), observou-se que, na banda centrada, em aproximadamente 260 nm, há evidência da acomodação da molécula de  $O_3$  na água tratada com ozônio (Figura 5.2). Para bandas de menores comprimentos de onda, ocorre um aumento das bandas relativas às espécies  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$  e  $H_2O_2$ , fato que demonstra a formação de uma água contendo espécies RONS, corroborando com os resultados de ORP apresentados nas amostras JLK, PRV e VRV, ficaram mais negativos.

Quando avaliamos os resultados de ORP (Figura 5.1), é possível observar também que a amostra DLK apresenta uma mudança de valor muito sutil nos minutos iniciais de aplicação do tratamento, o que evidencia a ausência de ozônio dissolvido neste momento, ocasionada pela alta taxa de interações com os microrganismos presentes na água.

O aumento constante do pico em 260 nm pode ser causado também pela ação do ozônio sobre as cadeias alifáticas dos ácidos húmicos (MIAO; TAO, 2008), pela presença de carbono orgânico dissolvido (BIRKMANN *et al.*, 2018; GUO *et al.*, 2020), por compostos orgânicos aromáticos e ânions inorgânicos (LE; TAO, 2021), enquanto o vale e a cauda são gerados pela produção de peróxido de hidrogênio e hidrogênio, dióxido de carbono e água, que são os produtos gerados a partir da decomposição da matéria orgânica pelo ozônio (DE SOUZA CORDEIRO; MARCONDES SILVA, 2018).

A presença de bicarbonatos na água pode, portanto, realmente inibir a cadeia de reação em cadeia, retardando assim a decomposição do ozônio na água, deixando mais ozônio disponível para reação direta e mais seletiva e propiciando uma menor oxidação induzida por radicais OH (LANGLAIS, 2019).

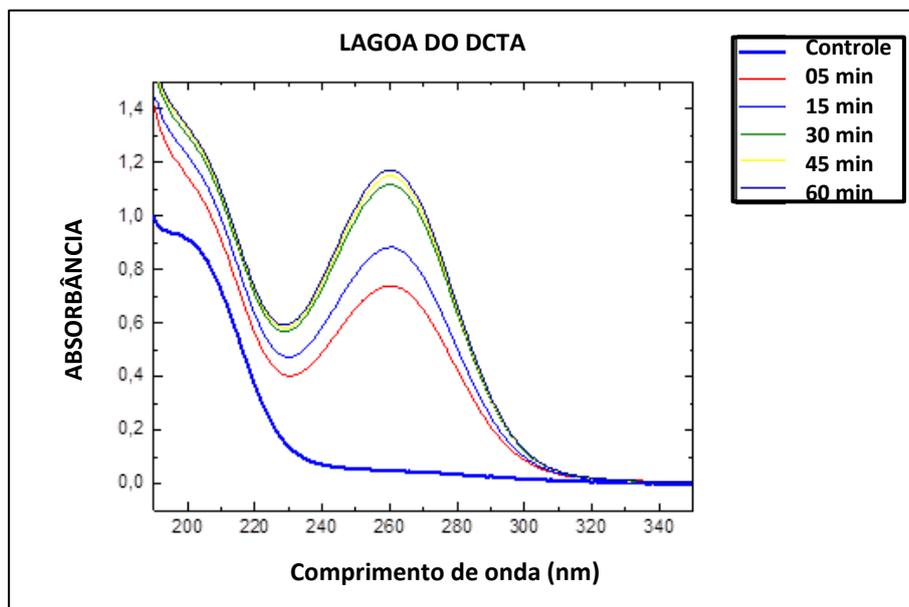


Figura 5.3 – Análise Espectrofotométrica em DLK, na região UV do espectro.

Segundo Birkheuer *et al.*, (2017) e Ustaoglu e Tepe (2019), ORP e o pH estão muito relacionados, encontrando-se valores de ORP positivos quando o pH é ácido, conforme demonstrado pelos resultados apresentados na Figuras 5.1 e 5.4. A alteração do PH afeta a concentração de radicais hidroxila e de ozônio na água.

A presença de valores alterados de pH ou ORP podem ser um indicativo de que a fonte utilizada pode estar contaminada por agentes poluentes e não deve ser utilizada. De forma prática, esses dados podem ser utilizados para monitoramento da qualidade da água em atividades de campanha.

Experimentos conduzidos por Önbay *et al.*, (2018), mostraram uma forte dependência do pH nas reações que ocorrem entre o ozônio e as DOM que possuem grupos funcionais fenólicos. Observou-se a diminuição das taxas de destruição do ozônio com a diminuição do pH, em consequência da menor reatividade das moléculas orgânicas protonadas com o ozônio. Para que haja o tratamento de água com ozônio, o pH deve ser monitorado, para não haver perda de rendimento da reação. A solubilidade do ozônio em condições operacionais é baixa e diminui com o aumento da temperatura, enquanto sua estabilidade é facilmente

afetada pelo pH e concentração (LANGLAIS, 1991), porém, a desinfecção de água por ozônio é eficaz no range de pH de normalmente encontrado em água potável, que varia de 6,5 a 8,5 (JACANGELO *et al.*, 1989; REYNOLDS *et al.*, 1989).

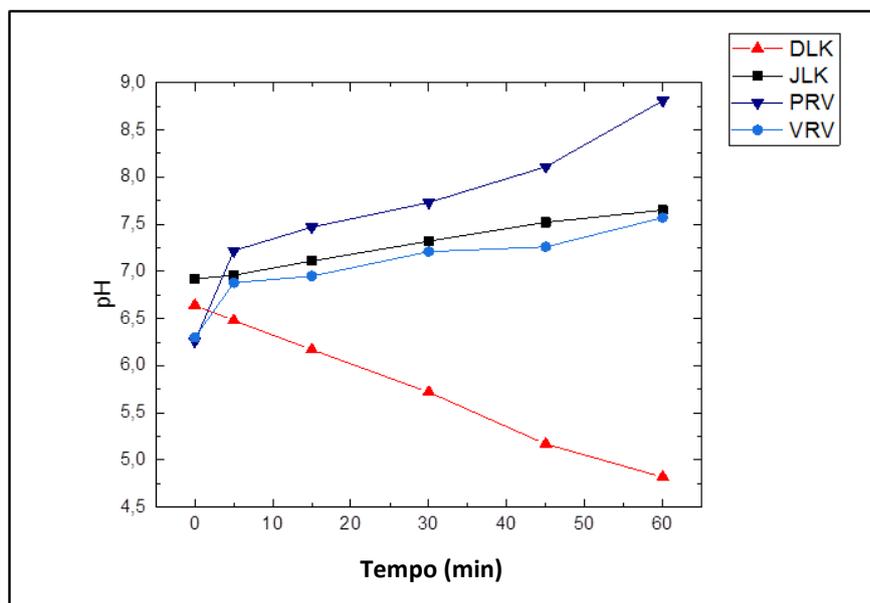


Figura 5.4 – Gráfico dos Resultados de pH da Etapa 1 dos Experimentos.

Valores alterados de pH também podem interferir nos processos de coagulação e precipitação química do tratamento de água convencional do tipo ciclo completo, e no crescimento microbiano dos sistemas biológicos de tratamento. Como nesta etapa, o tratamento foi realizado apenas pela aplicação de ozônio, considera-se que ele foi responsável pela desinfecção da água, porém contribuiu no processo de pré-tratamento, atuando como coagulante.

De acordo com Langlais *et al.*, (1991), Di Bernardo e Dantas (2005), valores de pH mais alto são responsáveis pelo aumento do consumo de ozônio e favorecem a reação com a matéria orgânica dissolvida. Em faixas mais altas, o mecanismo de reação dominante passa a ser a reação indireta do ozônio, ou seja, aquela que acontece por meio do radical hidroxila e favorece os processos oxidativos avançados, que apresentam melhores resultados quando comparados à atuação somente do ozônio. Nos resultados encontrados, vemos que esta situação nas amostras JLK, PRV e VRV e a decomposição do ozônio e de outras espécies oxidantes é facilitada pelos radicais OH, aumentando o pH da amostra.

A redução no valor de pH que ocorreu na amostra da Lagoa do DCTA sugere a presença de carbono orgânico dissolvido e um mecanismo de oxidação que ocorre pela ação

direta da molécula de ozônio sobre os micropoluentes, além de valores de potencial redox positivo.

O aumento dos valores de ORP e redução do pH nessa amostra podem estar relacionados pela reação do ozônio com as substâncias orgânicas presentes na água, pois a decomposição desses compostos pode levar à formação de ácidos orgânicos. Da mesma forma, a presença de íons Cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) leva à formação de ácido clorídrico pela reação com o ozônio.

Por sua vez, a redução dos valores de ORP e o aumento do pH nas demais amostras (JLK, PRV e VRV), após o tratamento com ozônio, podem ser atribuídos ao consumo de substâncias orgânicas mais facilmente oxidáveis, tais como o ácido húmico, levando ao consumo mais rápido do ozônio e à diminuição dos valores de ORP (ÖNBY *et al.*, 2018). Além disso, a reação do íon nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) com o ozônio pode levar a sua redução para nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e a reação entre  $\text{O}_3$  com os íons hidroxila ( $\text{OH}^-$ ) pode levar à formação de produtos mais básicos com o conseqüente aumento do pH, mesmo com valores de ORP reduzidos (BIRKHEUER *et al.*, 2017; USTAOĞLU E TEPE, 2019).

Isso também é demonstrado quando observamos os resultados dos valores de sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica, nos quais somente a amostra do DCTA apresentou uma redução de valores significativa com a aplicação do ozônio (Figura 5.5), possivelmente pela quantidade de substâncias orgânicas e de ácido húmico presente nas demais amostras que diminuíram o rendimento da reação.

As análises de sólidos podem ser utilizadas para a caracterização preliminar da amostra de água, associando sólidos dissolvidos à cor real (sem sólidos em suspensão) e sólidos em suspensão à turbidez.

Após o tratamento, a redução significativa dos valores de TDS na amostra DLK pode ser relacionada aos resultados de ORO e pH observados e à oxidação de compostos orgânicos presentes na água, sobretudo a Matéria Orgânica Dissolvida (ÖNBY *et al.*, 2018), que é decomposta em compostos mais simples. Essa redução também pode estar relacionada à precipitação de compostos, como o Ferro, que, ao ser oxidado, torna-se insolúvel e precipita-se.

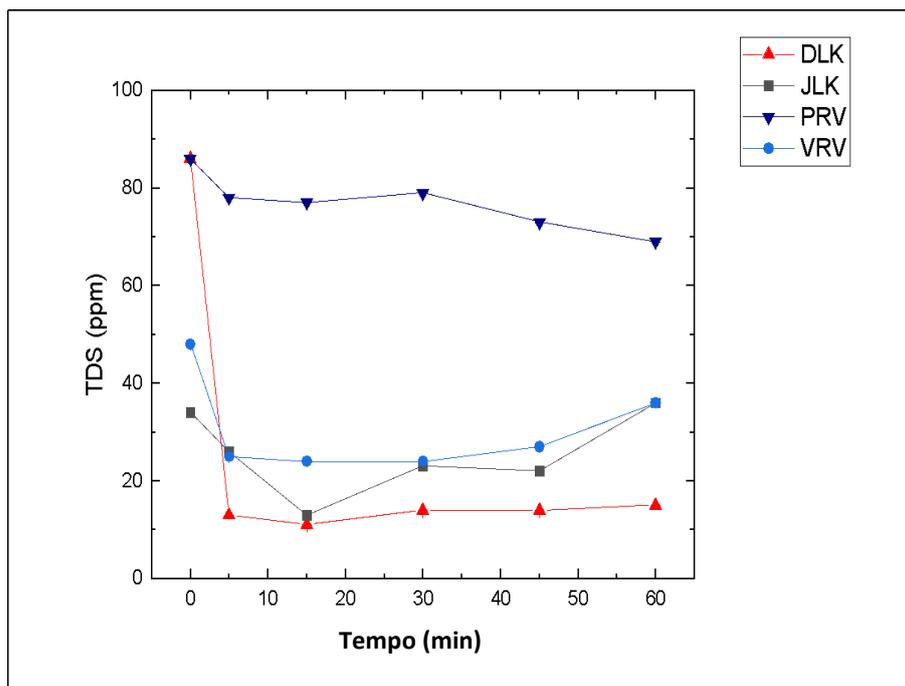


Figura 5.5 – Gráfico dos resultados do total de sólidos dissolvidos (TDS) da Fase 1 dos experimentos.

Conforme observado nas Figuras 5.5 e 5.6, os resultados encontrados corroboram a dependência da condutividade elétrica com a quantidade de matéria ionizável presente na água, de forma proporcional à quantidade de sólidos dissolvidos totais, havendo um padrão similar relacionado à condutividade elétrica e ao total de sólidos dissolvidos nas diferentes amostras.

Foi observado um maior efeito do ozônio na amostra da Lagoa do DCTA, enquanto as demais amostras tiveram pouca alteração em seus valores após a ozonização.

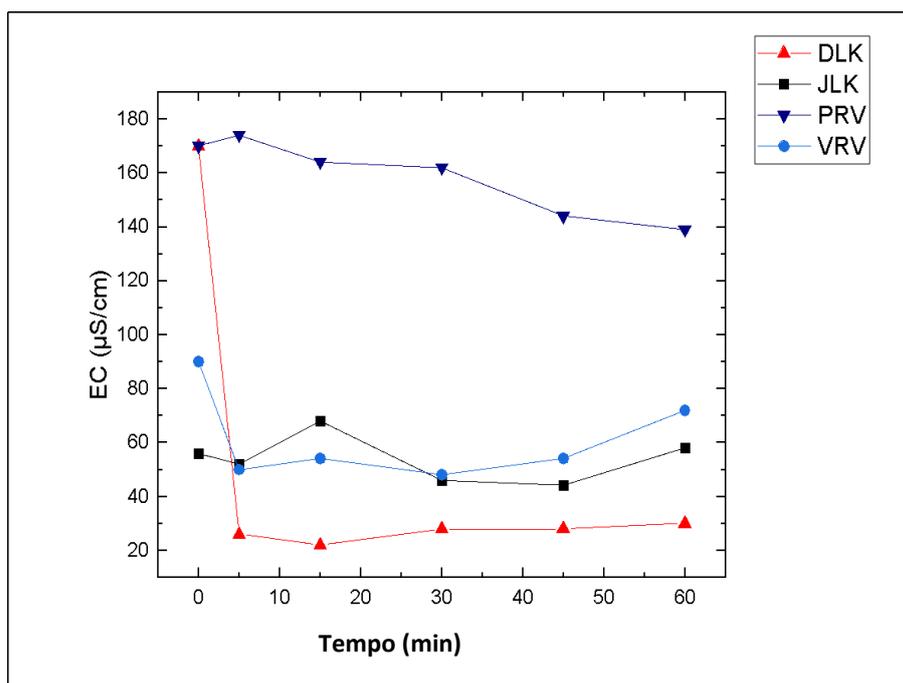


Figura 5.6 – Gráfico dos resultados do total de condutividade elétrica (EC) da Fase 1 dos Experimentos.

A eficiência da capacidade de desinfecção do ozônio pode ser reduzida em águas com alta turbidez, pois a ação oxidante do ozônio irá atuar seletivamente nos materiais que apresentem uma cinética química mais favorável (LANGLAIS *et al.*, 2011). As amostras da Lagoa do DCTA, Lagoa Jabaquara e Rio Paraíba apresentaram valores adequados de cor e turbidez após a ozonização, porém a amostra da ETA do DCTA apresentou aumento dos valores de cor e turbidez após a ozonização e já apresentavam valores iniciais elevados.

Langlais (2019) sugere que, para a remoção de cor elevada, é necessária uma combinação de técnicas e ele indica três possibilidades de tratamento:

- a) Aplicação de ozônio em alta dose com filtração por carvão ativado;
- b) Ozonização seguida de filtração lenta;
- c) Dupla ozonização, constituída por uma pré-ozonização, seguida de filtração e nova ozonização, com a finalidade de desinfecção. A pré-ozonização, é responsável dos flocos em coloides maiores, que possibilitem a sedimentação e filtração.

Quando o ozônio é aplicado como pré-oxidante no tratamento de água, ele pode reagir rapidamente com a matéria orgânica natural (NOM) presente na água bruta. Essa

reação altera a natureza do NOM, que por sua vez afeta a remoção da turbidez e do carbono orgânico dissolvido (COD) durante a coagulação, fator que pode explicar o aumento da turbidez na amostra VRV.

Tabela 5.5 – Resultados de cor e turbidez da Etapa 1 dos Experimentos.

Local	Amostra	Cor	Turbidez (NTU)
DLK	Inicial	30,3	4,84
DLK	Final	13,9	4,6
JLK	Inicial	20,2	7,33
JLK	Final	9,6	3,5
PRV	Inicial	25,2	2,29
PRV	Final	11,8	4,16
VRV	Inicial	40,9	10,8
VRV	Final	46,2	15,5

## 5.2 Resultados da Etapa 2

A Etapa 2 dos experimentos consistiu na avaliação da ação desinfetante do ozônio, por meio determinação da quantidade de *Escherichia coli* e Coliformes Totais presentes nas amostras de água bruta da ETA do DCTA (Rio Vidoca), antes e após a ozonização.

Foi verificada ainda a relação da remoção dos microrganismos analisados e sua relação com as mudanças físico-químicas presentes durante o tratamento, verificadas pelas medidas de pH, temperatura, condutividade elétrica (EC), sólidos totais dissolvidos em água (TDS), potencial de oxirredução (ORP), espectrofotometria UV-Vis no range de comprimento de onda de 190 nm a 1100 nm, cor e turbidez.

Quando a água é contaminada por patógenos provenientes de excretas de origem humana ou animal, ela pode se tornar vetor de agentes causadores de doenças infecciosas, tais como cólera, diarreia causada por *Escherichia coli*, amebíase, esquistossomose, entre outras (VITOR *et al.*, 2021).

É necessário o constante monitoramento da qualidade da água em relação às suas características biológicas, entretanto análises específicas de microrganismos causadores de doenças de veiculação hídrica são mais complexas, demoradas e dispendiosas e, portanto, empregadas apenas em situações de surtos ou epidemias. Para caracterizações rotineiras e

mais rápidas, usam-se as análises de microrganismos indicadores de poluição fecal, que fornecem informações importantes sobre a presença de contaminação fecal e sobre a eficácia dos métodos de tratamento utilizados (ANA, 2012).

As bactérias coliformes termotolerantes estão presentes no trato intestinal de animais e não são patogênicas, porém sua presença na água é um indicativo da presença de organismos patogênicos e a presença de esgoto não tratado no local. Por esse motivo, as mais de 30 espécies de coliformes são usadas como indicadores da qualidade da água, pois as bactérias coliformes sobrevivem mais tempo na água que as bactérias patogênicas e sua técnica de execução é bastante simples.

As colônias de *Escherichia coli* são identificadas nos testes pelos pontos de coloração circundados em azul, enquanto as colônias de Coliformes Totais são identificadas nos testes pelos pontos de coloração circundados de vermelhos, conforme visualizado na Figura 5.7.

Nesta etapa do tratamento, observou-se que houve a completa desinfecção das amostras de água, por meio da aplicação do ozônio, não havendo crescimento de Coliformes Totais ou *Escherichia coli* após a ozonização (Tabela 5.6).

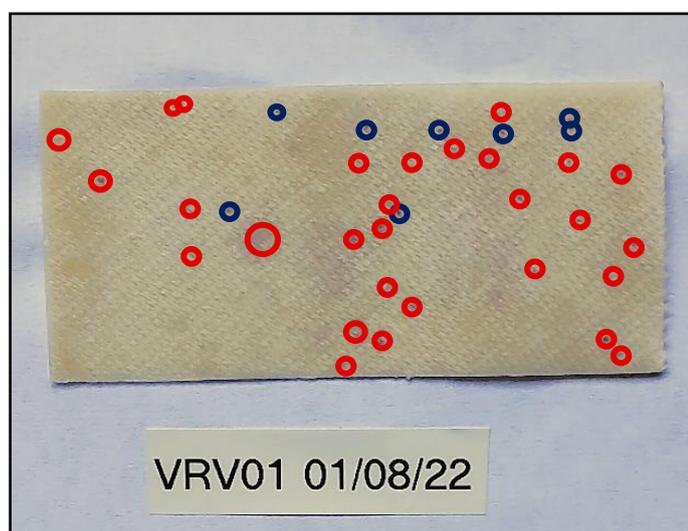


Figura 5.7 – Resultado do teste microbiológico com amostra do Rio Vidoca antes da ozonização.

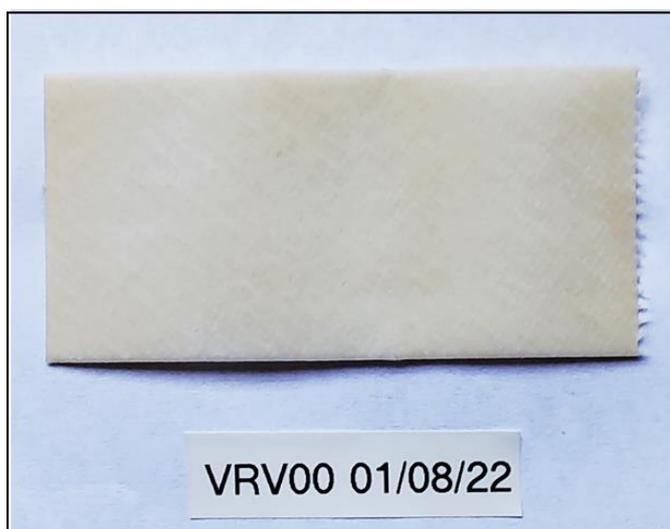


Figura 5.8 – Resultado do teste microbiológico com amostra do Rio Vidoca após a ozonização.

Tabela 5.6 – Resultados da Etapa 2 dos Experimentos (Rio Vidoca).

Amostra	Tempo (min)	pH	ORP (mV)	CE ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	TDS (ppm)	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Cor (UH)	Turbidez (NTU)	C. Totais (UFC/mL)	<i>E. coli</i> (UFC/mL)
0	0	6,83	9	890	445	18,4	57,8	12,7	3.520	2.480
1	60	7,82	12	76	39	18,4	57,5	15,6	0	0

Os resultados dos parâmetros físico-químicos demonstram a diminuição de aproximadamente 91% dos valores de condutividade elétrica e TDS e a completa desinfecção da amostra de água.

Os parâmetros de cor e turbidez, entretanto, não apresentaram um resultado satisfatório. De acordo com a Portaria GM/MS n.º 888, de 04 de maio de 2021, os valores adequados para Cor são de até 15 Unidades Hazen (mg Pt-Co/L) e de até 05 Unidades de Turbidez.

A Organização Mundial da Saúde (2004) determina que os níveis de turbidez da água desinfetada devam ser menores que 1,0 NTU, pois valores altos de turbidez podem proteger os microrganismos da ação do desinfetante, fato que não foi evidenciado neste estudo. Além disso, a alta turbidez também pode indicar a presença de *Cryptosporidium*, que é um protozoário intestinal associado a surtos de diarreia, porém esse patógeno específico não é um parâmetro analisado pela legislação brasileira e não foi objeto desse estudo.

Por sua vez, a legislação de outros países tende a ser um pouco mais rígida. De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA, 2020), embora os sólidos suspensos deixem a água mais turva, há uma diferença entre as duas medidas, pois, a medida de TDS determina a quantidade de sólidos dissolvidos em uma amostra, enquanto a medida da turbidez mostra a dispersão da luz causada pelos sólidos suspensos, portanto, quando há a mudança na composição de partículas da amostra, também pode haver a alteração na dispersão da luz na amostra.

Isto posto, verifica-se que o aumento da turbidez nessa fase do experimento pode ser causada pela presença de ferro que, por ser levado a um estado mais alto de oxidação após a ozonização, torna-se menos solúvel no meio aquoso (Equações 6.1 e 6.2).



Langlais *et al.*, (1998) também consideram que o grau de oxidação do ferro complexado pelo ozônio, é provavelmente dependente da natureza e concentração da matéria orgânica e do pH. Baixas concentrações de substâncias húmicas podem impedir a oxidação do Fe(II) pelo oxigênio, e há uma melhor oxidação do ferro pela reação direta, causada pelo ozônio molecular. Uma alta dose de ozônio, como a aplicada nos experimentos, causa a oxidação da maior parte do ferro e resulta na formação de alguns complexos muito estáveis, que devem ser removidos posteriormente por filtração.

A diminuição do TDS nas amostras é explicada por haver a oxidação do ferro, que anteriormente, encontrava-se em uma forma mais solúvel e, após a oxidação, tornou-se mais insolúvel e passou a fazer parte dos sólidos suspensos, sem, contudo, diminuir a turbidez da água.

### 5.3 Resultados da Etapa 3

Nesta terceira etapa, o objetivo foi verificar o tempo necessário para a desinfecção das amostras, por isso, foram realizadas análises microbiológicas das amostras da Lagoa do DCTA e do Rio Vidoca (ETA do DCTA), para verificar a possibilidade de reduzir o tempo do tratamento.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 6.7, é possível verificar a ausência de Coliformes Totais e *Escherichia coli* apenas após 45 minutos de aplicação do ozônio na amostra DLK (Lagoa do DCTA).

Essa fonte de água apresentou uma tendência nos experimentos de seguir uma predisposição ao caminho oxidativo direto, pela ação direta do ozônio molecular sobre os compostos presentes, fato corroborado pela redução do valor de pH. Esse mecanismo predispõe à desinfecção, porém essa reação é mais seletiva e mais lenta que a ação direta dos radicais hidroxila.

A amostra do Rio Vidoca, por sua vez, apresentou ausência de *E. coli* rapidamente, após apenas 15 minutos de tratamento, e ausência de Coliformes Totais após 60 minutos de tratamento (Tabela 5.7). A maior velocidade na ação sobre a *E. coli* e o aumento do pH sugere que o mecanismo mais prevalente na reação é o indireto, com a ação do radical hidroxila sobre as espécies presentes na água.

Essa amostra também pode conter uma maior quantidade de carbono orgânico total (COT) e a ação do ozônio sobre ele, causa uma maior acidez na amostra. Estudos realizados por OH (2001) demonstram que há um maior valor de demanda instantânea de ozônio e kC em águas que apresentavam um alto teor de COT, com isso, há uma maior concentração de radical hidroxila que, por sua vez, aumenta a decomposição do ozônio.

Tabela 5.7 – Resultados da Etapa 3 dos Experimentos (Lagoa do DCTA).

Amostra	Tempo (min)	pH	ORP (mV)	CE ( $\mu\text{s/cm}$ )	TDS (ppm)	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Cor (UH)	Turbidez (NTU)	C. Totais (UFC/mL)	<i>E. coli</i> (UFC/mL)
0	0	6,57	36	283	98	19,7	20,1	4,7	240	240
1	05	6,54	23	32	16	19	14,3	4,2	160	160
2	15	6,32	41	146	73	18,4	10,9	4,1	160	160
3	30	5,98	61	24	12	18,8	7,3	4,13	160	80
4	45	5,69	80	30	15	19,2	6,9	4,11	160	80
5	60	4,43	92	30	15	18,9	4,5	3,93	0	0

Tabela 5.8 – Resultados da Etapa 3 dos Experimentos (Rio Vidoca).

A mostra	Tempo (min)	pH	ORP (mV)	CE ( $\mu\text{s/cm}$ )	TDS (ppm)	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Cor (UH)	Turbidez (NTU)	C. Totais (UFC/mL)	<i>E. coli</i> (UFC/mL)
0	0	6,52	42	76	38	19,4	30,6	8,4	160	160
1	05	7,02	-1	66	33	19,4	33,2	11,6	80	80
2	15	7,29	-16	66	33	19	34,5	12,8	80	0
3	30	7,59	-35	64	32	19	34,8	13,4	80	0
4	45	8,05	-61	66	33	19	35,3	13,6	0	0
5	60	8,8	-106	70	35	18	35,9	13,7	0	0

A cor e a turbidez da amostra do Rio Vidoca também apresentaram resultados ruins. Von Guten (2003) cita que a oxidação de micropoluentes inorgânicos, tais como o Fe(II), pelo ozônio é geralmente rápida e muito eficiente. Entretanto, como visto anteriormente, a oxidação do Ferro implica em levá-lo a Fe(III), predominantemente Fe(OH)<sub>3</sub>, tornando-o mais insolúvel, sem, contudo, eliminá-lo da solução. Por isso, é necessário que haja a remoção desse composto, para que possa haver o tratamento completo da água.

Em águas superficiais, o ferro encontra-se associado à matéria orgânica e sua remoção é realizada por coagulação, o que gera também a diminuição da cor e da turbidez.

O Valor de *E. coli* decresceu abruptamente durante o período inicial da ozonização, no mesmo tempo em que passam a existir valores negativos de ORP da solução, mesmo resultado encontrado por OH (2001).

A determinação de ORP é particularmente útil em água que contém uma concentração relativamente alta de espécies redox-ativas, por exemplo, sais de muitos metais (Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>) e agentes oxidantes fortes (cloro) e redutores (íon sulfito).

#### 5.4 Resultados da Etapa 4

Na quarta etapa do experimento, os resultados encontrados demonstram a diferença entre o tratamento realizado em dois mananciais (Lagoa do DCTA e Rio Vidoca), com a aplicação de ozônio, comparativamente às modificações físico-químicas e microbiológicas existentes quando a água coletada é submetida à filtração lenta (Rio Vidoca). A caracterização das amostras foi realizada no LPP-ITA, LABBIO-ITA e na ETA do DCTA.

As mesmas amostras foram também enviadas para o laboratório da empresa QUIMBIOL. Não foram realizadas as medidas de ORP das amostras, pois o sensor apresentou problemas durante esta etapa dos experimentos.

#### 5.4.1 Caracterização das Amostras no ITA

Durante a caracterização das amostras no ITA, observou-se que as amostras do tratamento realizado apenas pela aplicação do ozônio, seguiram o mesmo padrão encontrado nas etapas anteriores exceto pela diminuição da cor e turbidez, mesmo sem a filtração.

Tabela 5.9 – Resultados da Etapa 4 dos experimentos (Lagoa do DCTA).

Amostra	Tempo (min)	pH	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	TDS (ppm)	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Cor (UH)	Turbidez (NTU)
0	0	8,36	30	15	21	58,8	15,1
1	60	4,23	132	66	20	5,2	1,9

Tabela 5.10 – Resultados da Etapa 4 dos experimentos (Rio Vidoca).

Amostra	Tempo (min)	pH	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	TDS (ppm)	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Cor (UH)	Turbidez (NTU)
0	0	6,78	209	110	18	60	12,7
1	60	8,8	255	54	19,3	10	3,7

Tabela 5.11 – Resultados da Etapa 4 dos experimentos de filtração seguida de ozonização (Rio Vidoca).

Amostra	Tempo (min)	pH	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	TDS (ppm)	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Cor (UH)	Turbidez (NTU)
0	0	6,69	209	110	22,6	60	12,7
1	60	7,57	68	127	23	5	2,8

#### 5.4.2 Caracterização das Amostras no Laboratório da QUIMBIOL

De acordo com os resultados das análises feitas pela empresa QUIMBIOL, a água bruta das amostras DLK e VRV apresentavam valores de turbidez maiores do que o limite da legislação.

Tabela 5.12 – Resultados da Etapa 4 dos Experimentos (Empresa QUIMBIOL).

Parâmetro	Unidade	Água Bruta DLK	Água Tratada DLK	VR <sup>1</sup>	Água Bruta VRV	Água Tratada VRV (O <sub>3</sub> )	Água Tratada VRV (Filtração + O <sub>3</sub> )	VR <sup>1</sup>
Ametrina	µg/L	0,44	<0,01	60	0,07	<0,01	<0,01	60
pH		8,27			6,76			
Alumínio Total	mg/L		0,307	0,2		0,229	<0,1	0,2
Amônia (como N)	mg/L		0,17	1,2		0,03	<0,2	1,2
Antimônio Total	mg/L	< 0,005	< 0,005	0,006	<0,005	<0,005	0,027	0,006
Arsênio Total	mg/L	0,008	< 0,005	0,01	<0,005	<0,005	0,04	0,01
Bário Total	mg/L		<0,2	0,7		<0,2	<0,2	0,7
Cádmio Total	mg/L	< 0,001	< 0,001	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	0,003
Chumbo Total	mg/L	< 0,01	< 0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Cloreto Total	mg/L		<4	250		7,4	14,3	250
Cobre Total	mg/L		<0,004	2		< 0,004	<0,004	2
Cobre Dissolvido	mg/L	< 0,004			<0,004			
Cromo Total	mg/L	< 0,02	<0,02	0,05	< 0,02	<0,02	<0,02	0,05
DBO	mg/L O <sub>2</sub>	8			<2			
DQO	mg/L O <sub>3</sub>	<26			<26			
Dureza Total	mg/L						100	300
Ferro Total	mg/L		<0,2	0,3		0,7	<0,2	0,3
Fluoreto Total	mg/L	<0,1	1,2	1,5	0,1	0,4	0,9	1,5
Fósforo Total	mg/L	0,042			0,039			
Manganês Total	mg/L		<0,01	0,1		<0,01	<0,01	0,1
Mercúrio Total	mg/L	0,0003	<0,0002	0,001	0,0003	0,0003	0,0004	0,001
Níquel Total	mg/L	<0,02	<0,02	0,07	<0,02	<0,02	<0,02	0,07

Tabela 5.13 – Resultados da Etapa 4 dos Experimentos (Empresa QUIMBIOL).  
(continuação).

Parâmetro	Unidade	Água Bruta DLK	Água Tratada da DLK	VR <sup>1</sup>	Água Bruta VRV	Água Tratada a VRV (O <sub>3</sub> )	Água Tratada VRV (Filtração + O <sub>3</sub> )	VR <sup>1</sup>
Nitrato como N	mg/L	0,5	0,7	10	0,6	0,4	0,4	10
Nitrito como N	mg/L	< 0,01	1	1	<0,01	<0,01	<0,01	1
Nitrogênio Amoniacal Total	mg/L	0,071			<0,020			
Oxigênio Dissolvido	mg/L	5,63			3,96			
Selênio Total	mg/L	<0,01	0,02	0,04	<0,01	0,02	0,19	0,04
Sódio Total	mg/L					11,12	8,72	200
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L		64	500		54	141,5	500
Sulfato Total	mg/L		<10	250		<10	23	250
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L		<0,05	0,05		<0,05	<0,05	0,05
Zinco Total	mg/L		<0,01	5		<0,01	<0,0	5

VR<sup>1</sup>: Valor de Referência – Anexo XX, da Portaria de Consolidação nº 5/2017.

Pinto *et al.*, (2008) fizeram uma adaptação da Resolução nº. 357 do CONAMA de 17/03/2005, na qual foram determinados os limites de alguns parâmetros para a classificação do corpo de água. De forma similar ao disposto pela NBR 12216/1992, cada classe tem um tratamento pré-definido, conforme disposto a seguir. Baseado nesta adaptação e na Resolução citada acima, seguem os limites de alguns parâmetros utilizados nesse trabalho e o tratamento indicado pela legislação brasileira vigente.

Tabela 5.14 – Parâmetros de Enquadramento nas Classes de Água Doce e Tratamento Necessário (Adaptado de PINTO *et al.*, 2008; Resolução n°. 357 do CONAMA (2005)).

Classes	Parâmetros	Limites para o Enquadramento	Tratamento Indicado
Especial	OD	> 6 mg/L O <sub>2</sub>	Desinfecção.
	pH	6,0 a 9,0	
	Turbidez	Até 40 NTU	
	Condutividade Elétrica	Até 50 µS/cm	
	TDS	500mg/L	
I	OD	10 a 6 mg/L O <sub>2</sub>	Tratamento simplificado: filtração e desinfecção. Se necessário, correção de pH.
	pH	6,0 a 9,0	
	Turbidez	Até 40 NTU	
	Condutividade Elétrica	50 a 75 µS/cm	
	TDS	500mg/L	
II	OD	6 a 5 mg/L O <sub>2</sub>	Tratamento convencional: Coagulação, floculação, desinfecção e correção de pH.
	pH	6,0 a 9,0	
	Turbidez	40 a 100 NTU	
	Condutividade Elétrica	75 a 100 µS/cm	
	TDS	500mg/L	
III	OD	> 4 mg/L O <sub>2</sub>	Tratamento convencional ou avançado.
	pH	6,0 a 9,0	
	Turbidez	Até 100 NTU	
	Condutividade Elétrica	100 a 150 µS/cm	
	TDS	500mg/L	
IV	OD	> 2 mg/L O <sub>2</sub>	Tratamento avançado: remoção e/ou inativação de constituintes refratários aos processos convencionais de tratamento.
	pH	6,0 a 9,0	
	Turbidez	Acima de 100 NTU	
	Condutividade Elétrica	> 150 µS/cm	
	TDS	500mg/L	

Ao compararmos os resultados às análises realizadas no ITA e pela empresa QUIMBIOL com a Tabela 6.13, verificamos que, baseado nesses parâmetros, a água bruta DLK poderia ser classificada como Classe Especial e a água bruta VRV poderia ser classificada como Classe 1, requerendo do tratamento apenas Desinfecção e Desinfecção e filtração, respectivamente. Entretanto, os resultados da amostra DLK pela empresa QUIMBIOL, demonstram a persistência de alumínio total após a aplicação do ozônio. Observa-se, portanto, que a adoção de parâmetros restritos para a caracterização da água bruta pode levar a uma seleção de tratamento insuficiente. O local de coleta de água da amostra DLK não recebe efluentes, entretanto, está localizado em um local habitado.

A amostra VRV, que recebeu tratamento apenas com ozônio, apresentou valores alterados de ferro Total e Alumínio Total, enquanto a amostra que recebeu tratamento com

filtração e ozônio apresentou resultados que atendiam os limites da legislação de referência nesses padrões, porém mostrando valores alterados de Antimônio Total, Arsênio Total e Selênio Total. Estes componentes estão presentes no carvão ativado e, possivelmente, houve a contaminação da água durante a filtração, tendo em vista que essas substâncias não se encontravam presentes na água bruta.

Quando o tratamento da água é realizado sem a presença de um coagulante químico, a filtração lenta e a desinfecção são os principais processos capazes de assegurar a produção de água com qualidade adequada ao consumo humano.

Observamos ainda valores de TDS aumentaram na amostra VRV (água bruta da ETA do DCTA) que recebeu tratamento de filtração seguida de ozonização (Tabela 6.11), entretanto, foi observado nas amostras, após descansarem por 30 minutos, um material decantado no fundo, semelhante ao carvão ativado empregado no filtro utilizado. Não foi possível realizar a análise do material, entretanto, devido aos resultados anteriores, há a possibilidade de ter ocorrido a passagem de finas partículas do material pelo filtro.

## 6 Disposições Finais

A definição do método de tratamento de água é baseada na qualidade da água bruta utilizada, a qual é determinada por suas propriedades físicas, químicas e microbiológicas. Quanto maior o grau de eutrofização do corpo de água, dada pela ação do homem no local, pior a qualidade da água e maior a quantidade de processos que devem ser envolvidos no tratamento. Águas menos contaminadas, por sua vez, necessitam de um tratamento mais simples, com menor quantidade de etapas.

Em locais de difícil acesso e menos habitados, as fontes de águas tendem a ser mais limpas, pela ausência de subprodutos da ação humana. Águas com melhor qualidade em seus aspectos físicos, químicos e microbiológicos, que podem ser classificadas como Fontes de Água de Classe Especial, podem ser submetidas somente ao processo de desinfecção com ozônio, enquanto corpos d'água classificados como Classe 1 devem ser também submetidos aos processos de filtração e desinfecção para que sejam consideradas potáveis.

A análise de parâmetros simples, como valores de pH ou ORP, pode configurar um método seguro para indicar que a fonte utilizada pode estar contaminada por agentes poluentes e esses parâmetros podem ser facilmente avaliados em campanha, por meio de dispositivos portáteis.

No presente estudo, em que foram estudadas águas brutas dentro de aglomerações urbanas, e nas quais se verificaram mais parâmetros de análise, as águas utilizadas apresentavam características físico-químicas mais complexas e, por isso, somente a ozonização não foi suficiente para remover todos os poluentes presentes, apesar de ter havido desinfecção completa das amostras, o que foi comprovado pela ausência de Coliformes Totais e *E. coli* em todos os tratamentos realizados.

Caso o corpo de água apresente muita contaminação, verificado por meio de análises físico-químicas e microbiológicas, há necessidade de se incorporar outros processos ao tratamento, tais como a coagulação, a floculação, a decantação e a filtração, de acordo com os valores encontrados.

Como a água do VRV mostrou-se mais contaminada, foi utilizado um processo complementar ao uso do ozônio, a utilização de um filtro constituído por uma camada sanduíche de carvão ativado entre duas camadas de areia, previamente à ozonização da água.

Esta ação foi capaz de melhorar os resultados, entretanto, alguns compostos presentes no carvão ativado que não estavam presentes na água bruta foram encontrados nas amostras de água tratada, tornando-as fora dos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação.

Mesmo na situação acima e, considerando a ação desinfetante do ozônio comprovada no presente estudo, a água Classe 1 submetida somente à ozonização pode também ser empregada em atividades menos nobres dentro do HCAMP, como limpeza dos materiais, roupas e instalações, lavagem de mãos, banhos e descargas de vasos sanitários, que são atividades que consomem muita água e são de vital importância para a manutenção da saúde da tropa.

Para responder ao Problema desta Pesquisa, os resultados dos experimentos demonstraram que a ozonização foi capaz de promover a total descontaminação da água bruta, destruindo os microrganismos nela encontrados anteriormente ao tratamento. Durante os experimentos, foi possível comprovar a ação desinfetante do ozônio em todas as análises realizadas.

A partir dos resultados encontrados nos experimentos, observou-se que o uso de outros processos de tratamento de água em conjunto com a ozonização pode ser necessário para tornar a água potável, a depender do grau de poluição da água bruta. A ozonização como tratamento único não foi capaz de tornar potáveis todas as amostras de água dos experimentos realizados, haja vista o grau de poluição das fontes de água utilizadas. O processo de ozonização acrescido de filtração mostrou resultados satisfatórios e promissores.

Como trabalhos futuros, sugere-se o desenvolvimento de um mecanismo de filtração e ozonização capaz de atuar em amostras maiores de água, com capacidade de tratar mil litros de água por dia, volume hídrico considerado suficiente para suprir por 24h a menor unidade de funcionamento de saúde militar da FAB.

Há ainda a necessidade de investigação do tratamento de água avançado, composto por diversos processos somados à aplicação de ozônio, utilizando-se os contaminantes mais prevalentes em casos de calamidades públicas ou em casos de contaminação intencional da água em uma situação de conflito armado.

Quando acampamentos militares e Hospitais de Campanha forem montados fora de centros urbanos, em locais mais remotos que possuam fontes de águas de maior qualidade e menor grau de contaminação, a ozonização atua de forma eficaz, pois essas fontes de água

necessitam somente de desinfecção e de melhora de características físico-químicas de pequena monta. Quando o HCAMP for necessário em locais onde haja apenas águas brutas contaminadas e poluídas, há a necessidade de se aliar o tratamento com ozônio a outros métodos.

Para que haja a implantação de um sistema de tratamento de água com ozônio em Hospital de Campanha, é necessária a avaliação da qualidade da água do manancial a ser utilizado, para que, com base nas suas características físicas, químicas e microbiológicas, seja estabelecido o melhor protocolo a ser utilizado.

## Referências

- ALSAGER, O. A. *et al.* Removal of antibiotics from water and waste milk by ozonation: kinetics, byproducts, and antimicrobial activity. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 158, Mar., p.114–122, 2018.
- APHA AWWA, W. P. C. F. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20<sup>th</sup> ed. Washington, DC: APHA, AWWA, WPCF, 1998.
- BAR-DAYAN, Y. *et al.* An earthquake disaster in Turkey: An overview of the experience of the Israeli Defense Forces field hospital in Adapazari. **Disasters**, v. 24, n. 3, p. 262–270, 2000.
- BARBOZA, C. G. T. C.; TAVARES FILHO, L. S.; DE MOURA, I. R. **Serviço de saúde do exército brasileiro nas missões de paz da ONU**. 2020.
- BELTRÁN, Fernando J. **Ozone reaction kinetics for water and wastewater systems**. Boca Raton: CRC Press, 2003. 384p.
- CRITTENDEN, J. C. *et al.* **MWH's water treatment: principles and design**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012.
- BILA, D. *et al.* Estrogenic activity removal of 17 $\beta$ -estradiol by ozonation and identification of by-products. **Chemosphere**, v. 69, n. 5, p. 736–746, 2007.
- BIRKHEUER, C. D. F. *et al.* Qualidade físico-química e microbiológica da água de consumo humano e animal do Brasil: análise sistemática. **Revista Caderno Pedagógico**, v. 14, n. 1, p. 134–145, 2017.
- BOSE, P.; BEZBARUA, B. K.; RECKHOW, D. A. Effect of ozonation on some physical and chemical properties of aquatic natural organic matter. **Ozone: Science & Engineering**, v. 16, n. 2, p. 89–112, 1994.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Estado-Maior das Forças Armadas. **Doutrina de operações conjuntas**. Brasília, DF: MD, 2020. (MD30-M-01, v.1 e 2).
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Diagnóstico do abastecimento de água para consumo humano em 2019**. 13. ed. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2020. (Boletim Epidemiológico). Disponível em: <http://sisagua.saude.gov.br/sisagua/paginaExterna.jsf>. Acesso em: 13 jul. 2022.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria Nacional de Vigilância Sanitária. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2006.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. **Cuidando das águas soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos**. 2. ed. Brasília, DF: ANA, 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Brasília, DF: ANA, 2011.

BUFFLE, M.-O.; SCHUMACHER, J.; SALHI, E.; VON GUNTEN, U. Measurement of the initial phase of ozone decomposition in water and wastewater by means of a continuous quench flow system: Application to disinfection and pharmaceutical oxidation. **Water Research**, v. 40, n. 9, p. 1884-1894, May 2006.

CHARLES, M. *et al.* Importance of cholera and other etiologies of acute diarrhea in post-earthquake Port-au-Prince, Haiti. **American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 90, n. 3, p. 511–517, 2014.

CIMINELLI, V. S. T. *et al.* Recursos minerais, água e biodiversidade. **Cadernos temáticos de Química Nova na Escola**, p. 39–45, 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). **Resolução CONAMA N° 357**, de 17 de Março de 2005. Brasília, DF: CONAMA, 2005.

CORCÓVIA, J.; CELLIGOI, A. Avaliação preliminar da qualidade da água subterrânea no município de Ibiporã-PR. **REA - Revista de Estudos Ambientais**, v.14, n. 2, p. 39-48, set. 2012.

CUNHA, R. F. da. **Atenção ao inesperado: um estudo de caso no hospital de campanha da aeronáutica**. 2013. 250f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2013.

DELZELL, E. *et al.* Drinking water and wastewaters. *In: DELZELL, E. et al. (ed.). Regulatory toxicology and pharmacology*, v. 20, n. 1, part 2, p. S416-S539, 1994.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. Di Bernardo. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2ª ed. 2v. São Carlos: Rima, 2005.

DOURADO, M. T. G. **A História esquecida da guerra do Paraguai: fome, doenças e penalidades**. 2010. 222 f. Dissertação (Mestrado em História Social) - Curso de História, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

EGOROVA, G. V. *et al.* Ozone solubility in water. **Moscow University Chemistry Bulletin**, v. 70, n. 5, p. 207–210, 1 set. 2015.

ELOVITZ, M. S.; VON GUNTEN, U. Hydroxyl radical/ozone ratios during ozonation processes. I. The Rct concept. **Ozone: Science and Engineering**, v. 21, n. 1, p. 239-260, 1999.

FORNARI, A. M. D. **Geração de microbolhas de ozônio através de materiais porosos para aplicação em tratamento de efluentes**. 2011. 37f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Químico Industrial) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/37457/000822126.pdf>. Acesso em: 03 maio 2021.

FRANCISCO, A. A.; POHLMANN, P. H. M.; FERREIRA, M. A. Tratamento convencional de águas para abastecimento humano: uma abordagem teórica dos processos envolvidos e dos indicadores de referência. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL*, 2., 2011, Londrina. **Anais** [...]. Londrina: IBEAS, 2011. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2011/IX-005.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de saneamento**. 5. ed. Brasília, DF: Funasa, 2019. 547 p. Disponível em: <https://repositorio.funasa.gov.br/handle/123456789/506>. Acesso em: 10 dez. 2021.

GEPPERT, M. **Avaliação da eficiência de degradação de azo corante amido black 10B em solução aquosa por ozônio**. 2018, 221f. Dissertação (Mestrado em Impactos Ambientais) – Universidade La Salle, Canoas, 2018.

GUO, Y. *et al.* Formation of organic chloramines during chlorination of 18 compounds. **Water Research**, v. 204, 1 out. 2021.

HEILKER, E. The Mülheim process for treating Ruhr River water. **Journal of Environmental Pathology, Toxicology and Oncology**, v. 7, n. 7–8, p. 213–225, 1987.

HEIM, C.; GLAS, K. Ozone I: Characteristics/generation/possible applications. **Brewing Science**, v. 64, n. 1–2, p. 8–12, 2011.

HITZFELD, B C; HÖGER, S J; DIETRICH, D R. Cyanobacterial toxins: removal during drinking water treatment, and human risk assessment. **Environmental Health Perspectives**, v. 108, n. 1, p. 113-122, mar. 2000. doi.org/10.1289/ehp.00108s1113.

HOIGNÉ, J.; BADER, H. Characterization of water quality criteria for ozonation processes. Part II: lifetime of added ozone. **Ozone: Science and Engineering**, v. 16, n. 2, p. 121–134, 1994.

HOOVER, J. *et al.* Pilot testing of direct and indirect potable water reuse using multi-stage ozone-biofiltration without reverse osmosis. **Water Research**, v. 169, 1 fev. 2020.

JACANGELO, J. G. *et al.* Ozonation: assessing its role in the formation and control of disinfection by-products. **Journal American Water Works Association**, v. 81, n. 8, p. 74–84, 1989.

KONG, J. *et al.* The virus removal in UV irradiation, ozonation and chlorination. **Water Cycle**, v. 2, p. 23–31, 2021.

KRUIHOF, J. C.; MASSCHELEIN, W. J. State-of-the-art of the application of ozonation in BENELUX drinking water treatment. **Ozone: Science and Engineering**, v. 21, n. 2, p. 139–152, 1999.

LAGE FILHO, F. A. Ozone application in water sources: effects of operational parameters and water quality variables on ozone residual profiles and decay rates. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 27, n. 4, p. 545–554, 2010.

LANGLAIS, B.; RECKHOW, D. A.; BRINK, D. R. **Ozone in water treatment:**

application and engineering. Paris: Lewis Pub., 2019.

LECHEVALLIER, M. W.; EVANS, T. M.; SEIDLER, R. J. Effect of turbidity on chlorination efficiency and bacterial persistence in drinking water. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 42, n. 1, p. 159–167, 1981.

LIEBMAN, J. F.; GREENBERG, A. **Active oxygen in chemistry**. London: Chapman and Hall, 1995.

LIM, S. *et al.* Ozonation of organic compounds in water and wastewater: a critical review. **Water Research**, v. 213, 15 abr. 2022.

LIMA, M.; FÉLIX, E.; CARDOSO, A. Aplicações e implicações do ozônio na indústria, ambiente e saúde. **Química Nova**, v. 44, n. 9, p.1151–1158, 2021.

LONG, B. W.; HULSEY, R. A.; HOEHN, R. C. Complementary uses of chlorine dioxide and ozone for drinking water treatment. **Ozone: Science and Engineering**, v. 21, n. 5, p. 465–476, 1999.

MANASFI, T. Ozonation in drinking water treatment: an overview of general and practical aspects, mechanisms, kinetics, and byproduct formation. *In*: MANASFI, T.; BOUDENNE, J. L. (ed.). **Analysis and formation of disinfection byproducts in drinking water**. Amsterdam: Elsevier, 2021. p. 85–111. (Comprehensive analytical chemistry, v. 92).

MAZHAR, M. A. *et al.* Chlorination disinfection by-products in municipal drinking water: a review. **Journal of Cleaner Production**, v. 273, 123159, 2020.

MELNIK, L. O. *et al.* Change of the oxidation-reduction potential of model and natural waters in the ozone disinfection process. **Journal of Water Chemistry and Technology**, v. 43, n. 1, p. 85–91, Jan. 2021.

MEYER, S. T. O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 10, n. 1, p. 99–110, 1994.

MORRISON, C. M. *et al.* Ozone disinfection of waterborne pathogens and their surrogates: a critical review. **Water Research**, v. 214, 118206, May 2022.

OH, J. S. *et al.* In-situ uv absorption spectroscopy for observing dissolved ozone in water. **Journal of Photopolymer Science and Technology**, v. 29, n. 3, p. 427–432, 2016.

OYA, M. *et al.* Formation of N-nitrosodimethylamine (NDMA) by ozonation of dyes and related compounds. **Chemosphere**, v. 73, n. 11, p. 1724–1730, 2008.

PACHECO, José Ricardo. **Avaliação de um sistema de ozonização baseado em coluna de borbulhamento**. 2012. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

PADHYE, L. P. *et al.* Year-long evaluation on the occurrence and fate of pharmaceuticals, personal care products, and endocrine disrupting chemicals in an urban drinking water treatment plant. **Water Research**, v. 51, p. 266–276, 2014.

PALANSOORIYA, K. N. *et al.* Occurrence of contaminants in drinking water sources and the potential of biochar for water quality improvement: a review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 50, n. 6, p. 549–611, 2020.

PASQUIER, P. *et al.* How do we fight COVID-19? Military medical actions in the war against the COVID-19 pandemic in France. **BMJ Military Health**, v. 167, n. 4, p. 269–274, 2021.

PRASAD, A. N. *et al.* Smart water quality monitoring system. *In: ASIA-PACIFIC WORLD CONGRESS ON COMPUTER SCIENCE AND ENGINEERING*, 2., 2016, Nadi. **Proceedings** [...]. Piscataway: IEEE, 2016.

PEKÁREK, S. Non-thermal plasma ozone generation. **Acta Polytechnica**, v. 43, n. 6, 2003.

REAVES, E. J.; SCHOR, K.W.; BURKLE JR., F. M. Implementation of evidence-based humanitarian programs in military-led missions: part I. qualitative gap analysis of current military and international aid programs. **Disaster Med Public Health Prep**. v. 2, n. 4, p. 230-6, Dec 2008. doi: 10.1097/DMP.0b013e31818d3c80. PMID: 19050429.

RENNER, R. C.; RAKNESS, K. L.; JANONIS, B. A.; KRENEK, D. L. Ozone in water treatment: the designer's role. **Ozone: Science and Engineering**, v. 10, n. 1, p. 55-87, Dec 1988. <http://dx.doi.org/10.1080/01919518808552507>.

REYNOLDS, G. *et al.* Alternative disinfectant chemicals for trihalomethane control - a review. **Environmental Technology Letters**, v. 10, n. 6, p. 591–600, 1989.

RICE, R. G. The use of ozone to control trihalomethanes in drinking water treatment. **Ozone: Science and Engineering**, v. 2, n. 1, p. 75–99, 1980.

RICE, R. G. *et al.* Uses of ozone in drinking water treatment. **Journal - American Water Works Association**, v. 73, n. 1, p. 44–57, Jan 1981.

RICE, R. G. Rationales for multiple stage ozonation in drinking water treatment plants. **Ozone: Science and Engineering**, v. 9, n. 1, p. 37–62, 1987.

RICE, R. G. Ozone in USA Water Treatment Plants. **Ozone: Science and Engineering**, v. 17, n. 5, p. i–ii, 1995.

RODRIGUES, E. A. de M. **Estudo de diferentes oxidantes em tratamento de água superficial aplicando ultrassom**: determinação de subprodutos via cromatografia gasosa. 2020. 105 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Curso de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2020.

RICHTER, C. A. **Água**: métodos e tecnologia de tratamento. São Paulo: Edgard Blucher, 2009.

SANTOS, L. M. A. Hospital militar de campanha: móvel, modular e autônomo. **Revista Científica Semana Acadêmica**, Fortaleza, v. 1, n. 108, 2017. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/hospital-militar-de-campanha-movel-modular-e-autonomo>. Acesso em: 27 abr. 2022.

SEDLAK, D. L.; VON GUNTEN, U. The chlorine dilemma. **Science**, v. 331, n. 6013, p. 42–43, 2011.

SILVA, Alessandra Cristina. **Degradação de corante em meio salino por ozonização**. 2006. 181f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Rio de Janeiro, 2006.

SIMCOE, W. D. Potsdam, New York water treatment plant a case history. **Ozone: Science and Engineering**, v. 5, n. 1, p. 51–59, 1983.

SMITH, D. J.; MOSS, C. R. The development of ozone for potable water treatment within the United Kingdom. **Ozone: Science and Engineering**, v. 15, n. 6, p. 515–532, 1993.

SORLINI, S.; COLLIVIGNARELLI, C. Trihalomethane formation during chemical oxidation with chlorine, chlorine dioxide and ozone of ten Italian natural waters. **Desalination**, v. 176, n. 1- 3, p. 103–111, 2005.

SOUZA, A. O Tratamento de água na Amazônia: uma proposta para essa necessidade básica. **Military Review**, p. 12–19, Mar-Abr. 2014.

STAEHELLN, J.; HOIGNÉ, J. Decomposition of ozone in water: rate of initiation by hydroxide ions and hydrogen peroxide. **Environmental Science and Technology**, v. 16, n. 10, p. 17–22, 1982.

STUDART, A. G. **Avaliação das práticas sanitárias ligadas à biossegurança de suprimento de água, serviço de alimentação e gestão de resíduos em campanha na AMAN**. 2011. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

SZABO, J.; MINAMYER, S. Decontamination of biological agents from drinking water infrastructure: a literature review and summary. **Environment International**, v. 72, p. 124–128, 2014.

TOSINE, H.; ONUSKA, F. I.; COMBA, M. E. The ozonation of natural waters: product identification. **Ozone: Science and Engineering**, v. 2, n. 1, p. 55–64, 1980.

VIEIRA, J. M. P.; MORAIS, C. **Planos de segurança em sistemas públicos de abastecimento de água para consumo humano**. Braga: Universidade do Minho; IRAR, 2005. (Série Guias Técnicos, 7).

VITOR, G. A. *et al.* Saúde e saneamento no Brasil: uma revisão narrativa sobre a associação das condições de saneamento básico com as doenças de veiculação hídrica. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, p. e521101522913, 2021.

VON GUNTEN, U. Ozonation of drinking water: Part I. Oxidation kinetics and product formation. **Water Research**, v. 37, n. 7, p. 1443–1467, 1 abr. 2003.

VON NEUTEGEM, K. A. V. **Estudo comparativo entre métodos de desinfecção por cloro e por ozônio em estações de tratamento de água, com foco na degradação de desreguladores endócrinos**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) – UFRGS, Porto Alegre, 2018.

VON SONNTAG, C.; VON GUNTEN, U. **Chemistry of ozone in water and wastewater treatment**: from basic principles to applications. London: IWA Publishing, 2012.

WEI, C. *et al.* Ozonation in water treatment: the generation, basic properties of ozone and its practical application. **Reviews in Chemical Engineering**, v. 33, n. 1, p. 49–89, 1 Jan. 2017.

YANALLAH, K. *et al.* Numerical modeling of ozone production in direct current corona discharge. **Journal of Molecular Structure: THEOCHEM**, v. 777, n. 1–3, p. 125–129, 2006.

ZAINUDIN, F. M. *et al.* An overview of the technology used to remove trihalomethane (THM), trihalomethane precursors, and trihalomethane formation potential (THMFP) from water and wastewater. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 57, p. 1-14, jan. 2018.

# Anexo A – Resultado das Análises da Empresa QUIMBIOL

## A.1 Análise da Água Bruta da ETA

<b>Empresa:</b> COMANDO DA AERONAUTICA	<b>CNPJ:</b> 00.394.429/0144-03
<b>Endereço:</b> Prç. Marechal do Ar Eduardo Gomes, 50	<b>Cidade:</b> São José dos Campos/SP
<b>Bairro:</b> Campus do DCTA	<b>CEP:</b> 12228-615
<b>A/C:</b> Fabrizia Bonates	<b>E-mail:</b> fabriziahenriques@gmail.com

DADOS REFERENTES À COLETA									
<b>N° da Amostra:</b>	7604/22	<b>Tipo da Amostra:</b>	Água Bruta - Água Superficial						
<b>Identificação do Ponto:</b>	Água Bruta - ETA DCTA								
<b>Data Coleta:</b>	24/10/2022	<b>Hora:</b>	09:17	<b>Recebimento Laboratório:</b>	24/10/2022	<b>Hora:</b>	15:53	<b>Data Emissão:</b>	29/11/2022
<b>Coletor:</b>	HILSON DA SILVA			<b>RG:</b>	19.718.002-4				
ENSAIOS DE LABORATÓRIO									
Parâmetro	Unidade	LQ	Método	Data da Realização do Ensaio	Valores de Referência		Resultado		
					PRC N°5 Anexo XX (Portaria N° 888)				
Ametrina	µg/L	0,01	EPA 8270E	29/10/22	60		0,07		
ENSAIOS DE CAMPO									
Parâmetro	Unidade	LQ	Método	Data da Realização do Ensaio	Valores de Referência		Resultado		
					PRC N°5 Anexo XX (Portaria N° 888)				
<b>Ensaio(s) Físico-Químicos(s)</b>									
pH	-	-	SMWW 4500 H+B	24/10/22	-		6,78		
ENSAIOS DE LABORATÓRIO									
Parâmetro	Unidade	LQ	Método	Data da Realização do Ensaio	Valores de Referência		Resultado		
					PRC N°5 Anexo XX (Portaria N° 888)				
<b>INORGÂNICO(S)</b>									
Antimônio Total	mg/L	0,005	EPA 7062 / 7742	31/10/22	0,006		< 0,005		
Arsênio Total	mg/L	0,005	EPA 7062 / 7742	31/10/22	0,01		< 0,005		
Cádmio Total	mg/L	0,001	SMWW 3030E/3111B	31/10/22	0,003		< 0,001		
Chumbo Total	mg/L	0,01	SMWW 3030E/3111B	31/10/22	0,01		< 0,01		

Cobre Dissolvido	mg/L	0,004	SMWW 3030E/3111B	01/11/22	-	< 0,004
Cromo Total	mg/L	0,02	SMWW 3030E/3111B	31/10/22	0,05	< 0,02
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L O2	2	SMWW 5210B	26/10/22	-	< 2
Demanda Química de Oxigênio	mg/L O2	26	SMWW 5220D	26/10/22	-	< 26
Fluoreto Total	mg/L	0,1	SMWW 4500F-D	25/10/22	1,5	0,1
Fósforo Total	mg/L	0,020	SMWW 4500 P E	27/10/22	-	0,039
Mercúrio Total	mg/L	0,0002	SMWW 3030E/3112B	09/11/22	0,001	0,0003
Níquel Total	mg/L	0,02	SMWW 3030E/3111B	31/10/22	0,07	< 0,02
Nitrato (como N)	mg/L	0,2	SMWW 4500 NO3 B	25/10/22	10	0,6
Nitrito (como N)	mg/L	0,01	SMWW 4500 NO2 B	25/10/22	1	< 0,01
Nitrogênio Amoniacal Total	mg/L	0,020	SMWW 4500 NH3 F	26/10/22	-	< 0,020

Oxigênio Dissolvido	mg/L	0,10	SMWW 4500O G	24/10/22	-	3,96
Selênio Total	mg/L	0,010	EPA 7062 / 7742	31/10/22	0,04	< 0,01

#### MICROBIOLÓGICOS

Coliformes Totais	-	1,8	SMWW 9221 B, E e F	25/10/22	-	33
Escherichia coli	NMP/100mL	1,8	SMWW 9221 B, E e F	25/10/22	-	23

#### ORGÂNICOS SEMI VOLÁTEIS (SVOC)

Alaclor	µg/L	0,005	EPA 8270E	29/10/22	20	< 0,005
Aldrin+Dieldrin	µg/L	0,001	EPA 8270E	29/10/22	0,03	< 0,001
Benzo(a)pireno	µg/L	0,04	EPA 8270E	29/10/22	0,4	< 0,04
Carbofurano	µg/L	0,01	EPA 8270E	29/10/22	7	< 0,01
Clordano	µg/L	0,01	EPA 8270E	29/10/22	0,2	< 0,005
Clorotalonil	µg/L	0,005	EPA 8270E	29/10/22	45	< 0,005
Clorpirifós+clorpirifós-oxon	µg/L	0,01	EPA 8270E	29/10/22	30	< 0,01
DDT+DDD+DDE	µg/L	0,002	EPA 8270E	29/10/22	1	0,080
Di [2-etilhexil] ftalato	µg/L	0,05	EPA 8270E	29/10/22	8	0,06
Lindano (γ-HCH)	µg/L	0,01	EPA 8270E	29/10/22	2	< 0,01
Malation	µg/L	0,01	EPA 8270E	29/10/22	60	< 0,01
Metolacloro	µg/L	0,01	EPA 8270E	29/10/22	10	< 0,01
Molinato	µg/L	0,01	EPA 8270E	29/10/22	6	< 0,01
Pentaclorofenol	µg/L	0,050	EPA 8270E	29/10/22	9	< 0,05
Simazina	µg/L	0,005	EPA 8270E	29/10/22	2	< 0,005
Tebuconazol	µg/L	0,01	EPA 8270E	29/10/22	180	< 0,01
Terbufós	µg/L	1	EPA 8270E	29/10/22	1,2	< 1
Trifluralina	µg/L	0,01	EPA 8270E	29/10/22	20	< 0,01

#### ORGÂNICOS VOLÁTEIS (VOC)

Benzeno	µg/L	2	EPA 8260D	27/10/22	5	< 2
Cloreto de Vinila	µg/L	0,5	EPA 8260D	27/10/22	0,5	< 0,5
Diclorometano	µg/L	3	EPA 8260D	27/10/22	20	19
Etilbenzeno	µg/L	2	EPA 8260D	27/10/22	300	< 2
Tetracloroeto de Carbono	µg/L	2	EPA 8260D	27/10/22	4	< 2
Tetracloroetano	µg/L	2	EPA 8260D	27/10/22	40	< 2
Tolueno	µg/L	2	EPA 8260D	27/10/22	30	< 2
Tricloroetano	µg/L	2	EPA 8260D	27/10/22	4	< 2
Xilenos	µg/L	5	EPA 8260D	27/10/22	500	< 5
1,2 - Dicloroetano	µg/L	2	EPA 8260D	27/10/22	5	< 2
<b>Padrão de Controle (SURROGATE) - Orgânicos Semi Voláteis (SVOC)</b>						
[surrogate] p-Terfenil-d14	%	-	EPA 8270E	29/10/22	-	83
[surrogate] 2-Fluorbifenil	%	-	EPA 8270E	29/10/22	-	106
<b>Padrão de Controle (SURROGATE) - Orgânicos Voláteis (VOC)</b>						
[surrogate] p-Bromofluorbenzeno	%	-	EPA 8260D	27/10/22	-	80
<b>Propriedade(s) Organoléptica(s)</b>						
Cor Verdadeira	CU	5,0	SMWW 2120C	25/10/22	-	60,0
* Turbidez	NTU	1,0	SMWW 2130B	25/10/22	5	12,7
<b>ENSAIOS SUBCONTRATADOS</b>						
Parâmetro	Unidade	LQ	Método	Data da Realização do Ensaio	Valores de Referência	Resultado
					PRC N°5 Anexo XX (Portaria N° 888)	
<b>ORGÂNICO(S)</b>						
Acrilamida(1)	µg/L	0,5	PO-MA 034	31/10/22	0,5	< 0,5
Aldicarbe+Ald Sulfona+Ald Sulfóxido (1)	µg/L	3,0	PO-MA 037	31/10/22	10	< 3
Atrazina + S-Clorotriazinas (1)	µg/L	2,0	PO-MA 037	31/10/22	2	< 2
Carbendazim (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	120	< 1
Ciproconazol (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	30	< 1
Difenoconazol (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	30	< 1
Dimetoato + Ometoato (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	1,2	< 1
Dioxano (1)	µg/L	5,0	EPA 8260D	02/11/22	48	< 5
Epicloridrina (1)	µg/L	0,3	EPA 8260D	02/11/22	0,4	< 0,3
Epoxiconazol (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	60	< 1
Fipronil (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	1,2	< 1
Flutriafol (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	30	< 1
Glifosato + AMPA (1)	µg/L	10,0	PO-MA 036	18/11/22	500	< 10

Hidroxi-Atrazina (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	120	< 1
Mancozebe + ETU (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	8	< 1
Metamidofós + Acefato (1)	µg/L	6,0	PO-MA 037	31/10/22	7	< 6
Metribuzim (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	25	< 1
Paraquate (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	13	< 1
Picloram (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	60	< 1
Profenofós (1)	µg/L	0,3	PO-MA 037	31/10/22	0,3	< 0,3
Propargito (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	30	< 1
Protioconazol + Proticonazoldestio (1)	µg/L	2,0	PO-MA 037	31/10/22	3	< 2
Tiametoxam (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	36	< 1
Tiodicarbe (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	90	< 1
Tiram (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	6	< 1
2,4 - D(1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	30	< 1
<b>ENSAIOS DE LABORATÓRIO</b>						
Parâmetro	Unidade	LQ	Método	Data da Realização do Ensaio	Valores de Referência	Resultado
					PRC N°5 Anexo XX (Portaria N° 888)	
<b>Registro de Preparo</b>						
Extração SVOCs	-	-	EPA 3510C/3540C	27/10/22	-	-

### Legendas

(1) Ensaio subcontratado realizado pelo laboratório registrado sob o CRL0369 junto à ABNT NBR ISO/IEC 17025

(-): Não Aplicável.

(\*): Vide Observações.

L.Q.: Limite de Quantificação.

Norma(s) Técnica(s) do(s) Método(s) utilizado(s):

EPA: Environmental Protection Agency 1963 - .

EPA: Environmental Protection Agency 2341 - .

EPA: Environmental Protection Agency - 01 - 1994.

EPA: Environmental Protection Agency - - 1996.

SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 23<sup>a</sup> - 2017.

EPA: Environmental Protection Agency - 04 - 2017.

PO-MA: Procedimento

Operacional - Método de

Análise 2321 - . EPA:

Environmental Protection

Agency - 06 - 2018.

### Informações

- O(s) resultado(s) declarado(s) referem-se somente ao(s) item(s) ensaiado(s).
- Este relatório somente poderá ser reproduzido na íntegra.
- As opiniões e interpretações expressas abaixo, não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório.
- Para amostra coletada pelo Cliente, o(s) resultado(s) do(s) ensaio(s) refere(m)-se somente à amostra recebida no laboratório, não havendo responsabilidade da QUIMBIOL® quanto à amostragem.
- A amostragem quando realizada pela Quimbiol está em conformidade ao POP 05.07.

- f) Regra de Decisão: a declaração de conformidade, quando aplicável, é realizada sem considerar a incerteza associada aos ensaios.
- g) A incerteza quando relatada é baseada na incerteza padrão combinada, multiplicada por um fator de abrangência  $k=2$ , para um nível de confiança de 95%. A incerteza da amostragem não foi considerada na declaração de conformidade por se tratar de amostra indicativa.
- h) Qualquer desvio identificado na etapa de conferência da amostra, é informado ao cliente para aprovação e continuidade do processo de análise. Neste caso, a validade dos resultados pode ser afetada.
- i) A situação de ATIVO de nossos Laboratórios bem como todo o escopo acreditado estão disponíveis para consulta no site do INMETRO pelo endereço eletrônico:  
[http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rble/detalhe\\_laboratorio.asp?nom\\_apelido=QUIMBIOL](http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rble/detalhe_laboratorio.asp?nom_apelido=QUIMBIOL)

<b>CONCLUSÃO DO RELATÓRIO</b>
O(s) resultado(s) do(s) ensaio(s) do(s) parâmetro(s) Turbidez não atende(m) ao(s) limite(s) da(s) legislação(ões) citada(s) na(s) coluna(s) do(s) valor(es) de referência.
<b>OBSERVAÇÕES</b>
Plano de Amostragem - 1609/2022
Turbidez: A Unidade NTU (Nephelometric Turbidity Units) é equivalente a uT (unidade de Turbidez) de acordo com o padronizado em cada legislação.



\_\_\_\_\_  
 LOURDES CRISTINA P. PELOGGIA  
 CRBio 10500/01 - CRQ 04412249  
 Diretor(a) Técnico(a)

Código para verificação de autenticidade deste documento: A7EDC4D3E6A662CF9DB97A8AB02CA010BBF46D26

Instruções para a verificação de autenticidade de documentos:

1º - Acesse a página: <http://www.quimbiol.com.br> e clique em área do cliente. 2º - Clique na opção "Validar Laudo"; 3º - Digite o número da Amostra juntamente com os últimos 6 caracteres de autenticidade; 4º - Clique em Validar.

DADOS REFERENTES À COLETA									
<b>N° da Amostra:</b>	7604/22	<b>Tipo da Amostra:</b>	Água Bruta - Água Superficial						
<b>Identificação do Ponto:</b>	Água Bruta - ETA DCTA								
<b>Data Coleta:</b>	24/10/2022	<b>Hora:</b>	09:17	<b>Recebimento Laboratório:</b>	24/10/2022	<b>Hora:</b>	15:53	<b>Data Emissão:</b>	29/11/2022
<b>Coletor:</b>	HILSON DA SILVA				<b>RG:</b>	19.718.002-4			
ENSAIOS DE LABORATÓRIO									
Parâmetro	Unidade	LQ	Método	Data da Realização do Ensaio	Valores de Referência		Resultado		
					PRC N°5 Anexo XX (Portaria N° 888)				
INORGÂNICO(S)									
Bário Total	mg/L	0,001	EPA 200.7	31/10/22	0,7		0,086		
Urânio Total	mg/L	0,01	EPA 200.7	09/11/22	0,03		0,03		

CONCLUSÃO DO RELATÓRIO
O(s) resultado(s) do(s) ensaio(s) do(s) parâmetro(s) Turbidez não atende(m) ao(s) limite(s) da(s) legislação(ões) citada(s) na(s) coluna(s) do(s) valor(es) de referência.
OBSERVAÇÕES
Plano de Amostragem - 1609/2022
Turbidez: A Unidade NTU (Nephelometric Turbidity Units) é equivalente a uT (unidade de Turbidez) de acordo com o padronizado em cada legislação.



LOURDES CRISTINA P. PELOGGIA  
CRBio 10500/01 - CRQ 04412249  
Diretor(a) Técnico(a)

Código para verificação de autenticidade deste documento: A7EDC4D3E6A662CF9DB97A8AB02CA010BBF46D26

Instruções para a verificação de autenticidade de documentos:

1º - Acesse a página: <http://www.quimbiol.com.br> e clique em área do cliente.

2º - Clique na opção "Validar Laudo";

3º - Digite o número da Amostra juntamente com os últimos 6 caracteres de autenticidade;

4º - Clique em Validar.

## A.2 Análise da Água Tratada da ETA do DCTA

<b>Empresa:</b> COMANDO DA AERONAUTICA	<b>CNPJ:</b> 00.394.429/0144-03
<b>Endereço:</b> Prç. Marechal do Ar Eduardo Gomes, 50	<b>Cidade:</b> São José dos Campos/SP
<b>Bairro:</b> Campus do DCTA	<b>CEP:</b> 12228-615
<b>A/C:</b> Fabrizia Bonates	<b>E-mail:</b> fabriziahenriques@gmail.com

DADOS REFERENTES À COLETA									
<b>Nº da Amostra:</b>	8143/22			<b>Tipo da Amostra:</b>	Água Tratada				
<b>Identificação do Ponto:</b>	Água Tratada ETA DCTA								
<b>Data Coleta:</b>	24/10/2022	<b>Hora :</b>	13:53	<b>Recebimento Laboratório:</b>	08/11/2022	<b>Hora:</b>	14:33	<b>Data Emissão :</b>	01/12/2022
<b>Coletor:</b>	COLETA (CLIENTE)					<b>RG:</b>	-		

ENSAIOS DE LABORATÓRIO						
Parâmetro	Unidade	L Q	Método	Data da Realização do Ensaio	Valores de Referência	Resultado
					PRC N°5 Anexo XX (Portaria N°888)	
Ametrina	µg/L	0,01	EPA 8270E	11/11/22	60	< 0,01
INORGÂNICO(S)						
Alumínio Total	mg/L	0,1	SMWW 3030E/3111D	16/11/22	0,2	0,229
Amônia (como N)	mg/L	0,0200	SMWW 4500 NH3 F	11/11/22	1,2	0,03
Antimônio Total	mg/L	0,005	EPA 7062 / 7742	16/11/22	0,006	< 0,005
Arsênio Total	mg/L	0,005	EPA 7062 / 7742	16/11/22	0,01	< 0,005
Bário Total	mg/L	0,2	SMWW 3030E/3111D	16/11/22	0,7	< 0,2
Cádmio Total	mg/L	0,001	SMWW 3030E/3111B	16/11/22	0,003	< 0,001
Chumbo Total	mg/L	0,01	SMWW 3030E/3111B	16/11/22	0,01	< 0,01
Cloreto Total	mg/L	4,0	SMWW 4500 Cl B	10/11/22	250	7,4
Cobre Total	mg/L	0,004	SMWW 3030E/3111B	16/11/22	2	< 0,004
Cromo Total	mg/L	0,02	SMWW 3030E/3111B	16/11/22	0,05	< 0,02
Dureza total	mg/L	2,0	SMWW 2340C	09/11/22	300	17
Ferro Total	mg/L	0,2	SMWW 3030E/3111B	16/11/22	0,3	0,7
Fluoreto Total	mg/L	0,1	SMWW 4500F-D	11/11/22	1,5	0,4
Manganês Total	mg/L	0,01	SMWW 3030E/3111B	16/11/22	0,1	< 0,01
Mercúrio Total	mg/L	0,00	SMWW	09/11/22	0,001	0,0003

		02	3030E/3112B			
Níquel Total	mg/L	0,02	SMWW 3030E/3111B	16/11/22	0,07	< 0,02
Nitrato (como N)	mg/L	0,2	SMWW 4500 NO3 B	09/11/22	10	0,4
Nitrito (como N)	mg/L	0,01	SMWW 4500 NO2 B	09/11/22	1	< 0,01
Selênio Total	mg/L	0,01 0	EPA 7062 / 7742	16/11/22	0,04	0,02
Sódio Total	mg/L	0,01	SMWW 3030E/3111B	16/11/22	200	11,12
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	10,0	SMWW 2540C	09/11/22	500	54,0
Sulfato Total	mg/L	10	SMWW 4500 SO4 E	09/11/22	250	< 10
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L	0,05	SMWW 4500 S2 H	11/11/22	0,05	< 0,05
Zinco Total	mg/L	0,01	SMWW 3030E/3111B	16/11/22	5	< 0,01
<b>ORGÂNICOS SEMI VOLÁTEIS (SVOC)</b>						
Alaclor	µg/L	0,00 5	EPA 8270E	11/11/22	20	< 0,005
Aldrin+Dieldrin	µg/L	0,00 1	EPA 8270E	11/11/22	0,03	< 0,001

Benzo(a)pireno	µg/L	0,04	EPA 8270E	11/11/22	0,4	< 0,04
Carbofurano	µg/L	0,01	EPA 8270E	11/11/22	7	< 0,01
Clordano	µg/L	0,01	EPA 8270E	11/11/22	0,2	< 0,005
Clorotalonil	µg/L	0,005	EPA 8270E	11/11/22	45	< 0,005
Clorpirifós+clorpirifós-oxon	µg/L	0,01	EPA 8270E	11/11/22	30	0,03
DDT+DDD+DDE	µg/L	0,002	EPA 8270E	11/11/22	1	0,070
Di [2-etilhexil] ftalato	µg/L	0,05	EPA 8270E	11/11/22	8	0,08
Lindano (γ-HCH)	µg/L	0,01	EPA 8270E	11/11/22	2	< 0,01
Malation	µg/L	0,01	EPA 8270E	11/11/22	60	< 0,01
Metolacloro	µg/L	0,01	EPA 8270E	11/11/22	10	< 0,01
Molinato	µg/L	0,01	EPA 8270E	11/11/22	6	< 0,01
Pentaclorofenol	µg/L	0,050	EPA 8270E	11/11/22	9	< 0,05
Simazina	µg/L	0,005	EPA 8270E	11/11/22	2	< 0,005
Tebuconazol	µg/L	0,01	EPA 8270E	11/11/22	180	< 0,01
Terbufós	µg/L	1	EPA 8270E	11/11/22	1,2	< 1
Trifluralina	µg/L	0,01	EPA 8270E	11/11/22	20	< 0,01
2,4 - Diclorofenol	mg/L	0,0003 00	EPA 8270E	11/11/22	0,2	< 0,0003
2,4,6 - Triclorofenol	mg/L	0,0000 50	EPA 8270E	11/11/22	0,2	< 0,00005
<b>ORGÂNICOS VOLÁTEIS (VOC)</b>						
Benzeno	µg/L	2	EPA 8260D	10/11/22	5	< 2
Diclorometano	µg/L	3	EPA 8260D	10/11/22	20	< 3
Etilbenzeno	µg/L	2	EPA 8260D	10/11/22	300	< 2
Monoclorobenzeno	mg/L	0,002	EPA 8260D	10/11/22	0,02	< 0,002
Tetracloroeto de Carbono	µg/L	2	EPA 8260D	10/11/22	4	< 2
Tetracloroetano	µg/L	2	EPA 8260D	10/11/22	4 0	< 2

Tolueno	µg/L	2	EPA 8260D	10/11/22	30	< 2
Tricloroetano	µg/L	2	EPA 8260D	10/11/22	4	< 2
Trihalometanos	mg/L	0,008	EPA 8260D	10/11/22	0,1	< 0,008
Xilenos	µg/L	5	EPA 8260D	10/11/22	500	< 5
1,2 - Dicloroetano	µg/L	2	EPA 8260D	10/11/22	5	< 2
<b>Padrão de Controle (SURROGATE) - Orgânicos Semi Voláteis (SVOC)</b>						
[surrogate] p-Terfenil-d14	%	-	EPA 8270E	11/11/22	-	86
[surrogate] 2-Fluorbifenil	%	-	EPA 8270E	11/11/22	-	99
<b>Padrão de Controle (SURROGATE) - Orgânicos Voláteis (VOC)</b>						
[surrogate] p-Bromofluorbenzeno	%	-	EPA 8260D	10/11/22	-	70
<b>Propriedade(s) Organoléptica(s)</b>						
* Cor Aparente	CU	5,0	SMWW 2120	08/11/22	15	10
Gosto e Odor	-	-	SMWW 2150	08/11/22	6	0
* Turbidez	NTU	1,0	SMWW 2130	08/11/22	5	3,7

<b>ENSAIOS SUBCONTRATADOS</b>						
Parâmetro	Unidade	LQ	Método	Data da Realização do Ensaio	Valores de Referência	Resultado
					PRC N°5 Anexo XX (Portaria N°888)	
<b>ORGÂNICO(S)</b>						
Ácidos Haloacéticos Totais(1)	mg/L	0,0720	PO-MA 033	17/11/22	0,08	< 0,072

Acrilamida (1)	µg/L	0,5	PO-MA 034	22/11/22	0,5	< 0,5
Aldicarbe+Ald Sulfona+Ald Sulfóxido (1)	µg/L	3,0	PO-MA 037	22/11/22	10	< 3
Atrazina + S-Clorotriazinas (1)	µg/L	2,0	PO-MA 037	22/11/22	2	< 2
Bromato (1)	mg/L	0,01	SMWW 4110 B	16/11/22	0,01	< 0,01
Carbendazim (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	120	< 1
Ciproconazol (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	30	< 1
Cloratos (1)	mg/L	0,10	SMWW 4110 B	16/11/22	0,7	< 0,1
Cloreto de Vinila (1)	µg/L	0,5	EPA 8260D	14/11/22	0,5	< 0,5
Clorito (1)	mg/L	0,10	SMWW 4110 B	16/11/22	0,7	< 0,1
Difenoconazol (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	30	< 1
Dimetoato + Ometoato (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	1,2	< 1
Dioxano (1)	µg/L	5,0	EPA 8260D	14/11/22	48	< 5
Diuron (1)	µg/L	5,0	PO-MA 037	22/11/22	20	< 5
Epicloridrina (1)	µg/L	0,3	EPA 8260D	14/11/22	0,4	< 0,3
Epoxiconazol (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	60	< 1
Fipronil (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	1,2	< 1

Flutriafol (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	30	< 1
Glifosato + AMPA (1)	µg/L	10,0	PO-MA 036	24/11/22	500	< 10
Hidroxí-Atrazina (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	120	< 1
Mancozebe + ETU (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	8	< 1
Metamidofós + Acefato (1)	µg/L	6,0	PO-MA 037	22/11/22	7	< 6
Metribuzim (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	25	< 1
Paraquate (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	13	< 1
Picloram (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	60	< 1
Profenofós (1)	µg/L	0,3	PO-MA 037	22/11/22	0,3	< 0,3
Propargito (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	30	< 1
Protioconazol + Proticonazoldestio (1)	µg/L	2,0	PO-MA 037	22/11/22	3	< 2
Tiametoxam (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	36	< 1
Tiodicarbe (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	90	< 1
Tiram (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	6	< 1
2,4 - D(1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	30	< 1

ENSAIOS DE LABORATÓRIO						
Parâmetro	Unidade	LQ	Método	Data da Realização Ensaio	Valores de Referência	Resultado
					PRC N°5 Anexo XX (Portaria N°888)	
<b>Registro de Preparo</b>						
Extração SVOCs	-	-	EPA 3510C/3540C	08/11/22	-	-

### Legendas

(1) Ensaio subcontratado realizado pelo laboratório registrado sob o CRL0369 junto à ABNT NBR ISO/IEC 17025(-): Não Aplicável.

(\*): Vide Observações.

L.Q.: Limite de Quantificação

Norma(s) Técnica(s) do(s) Método(s) utilizado(s):

EPA: Environmental Protection Agency1963 - . EPA: Environmental Protection Agency2341 - . EPA: Environmental Protection Agency - 01 - 1994.EPA: Environmental Protection Agency - - 1996.

SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 23ª - 2017.EPA: Environmental Protection Agency - 04 - 2017.

PO-MA: Procedimento Operacional - Método de Análise2321 - EPA: Environmental Protection Agency - 06 - 2018.

### Informações

- O(s) resultado(s) declarado(s) referem se somente ao(s) item(s) ensaiado(s).
- Este relatório somente poderá ser reproduzido na íntegra.
- As opiniões e interpretações expressas abaixo, não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório.
- Para amostra coletada pelo Cliente, o(s) resultado(s) do(s) ensaio(s) refere(m)-se somente à amostra recebida no laboratório, não havendoresponsabilidade da QUIMBIOL® quanto à amostragem.
- A amostragem quando realizada pela Quimbiol está em conformidade ao POP 05.07.
- Regra de Decisão: a declaração de conformidade, quando aplicável, é realizada sem considerar a incerteza associada aos ensaios.
- A incerteza quando relatada é baseada na incerteza padrão combinada, multiplicada por um fator de abrangência  $k=2$ , para um nível de confiança de 95%. A incerteza da amostragem não foi considerada na declaração de conformidade por se tratar de amostra indicativa.
- Qualquer desvio identificado na etapa de conferência da amostra, é informado ao cliente para aprovação e continuidade do processo de análise. Nestecaso, a validade dos resultados pode ser afetada.
- A situação de ATIVO de nossos Laboratórios bem como todo o escopo acreditado estão disponíveis para

consulta no site do INMETRO pelo endereço eletrônico:  
[http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rble/detalhe\\_laboratorio.asp?nom\\_apelido=QUIMBIOL](http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rble/detalhe_laboratorio.asp?nom_apelido=QUIMBIOL).

CONCLUSÃO DO RELATÓRIO
O(s) resultado(s) do(s) ensaio(s) do(s) parâmetro(s) Alumínio Total, Ferro Total não atende(m) ao(s) limite(s) da(s) legislação(ões) citada(s) na(s) coluna(s) do(s) valor(es) de referência.

OBSERVAÇÕES
Ensaio de Campo - Amostra com ensaio(s) realizado(s) fora da especificação, podendo essa condição afetar a validade do(s) resultado(s).
Cor Aparente: A Unidade CU (color unit) é equivalente a uH (unidade Hazen) e mg PtCo/L de acordo com o padronizado em cada legislação.
Turbidez: A Unidade NTU (Nephelometric Turbidity Units) é equivalente a uT (unidade de Turbidez) de acordo com o padronizado em cada legislação.



LOURDES CRISTINA P. PELOGGIA  
 CRBio 10500/01 - CRQ 04412249  
 Diretor(a) Técnico(a)

Código para verificação de autenticidade deste documento: C61222A002639F5BF0735F4FDC40F8D6640AA020

Instruções para a verificação de autenticidade de documentos:

1º - Acesse a página: <http://www.quimbiol.com.br> e clique em área do cliente.

2º - Clique na opção "Validar Laudo";

3º - Digite o número da Amostra juntamente com os últimos 6 caracteres de autenticidade;

4º - Clique em Validar.

DADOS REFERENTES À COLETA									
<b>Nº da Amostra:</b>	8143/22			<b>Tipo da Amostra:</b>	Água Tratada				
<b>Identificação do Ponto:</b>	Água Tratada - ETA DCTA								
<b>Data Coleta:</b>	24/10/2022	<b>Hora:</b>	13:53	<b>Recebimento Laboratório:</b>	08/11/2022	<b>Hora:</b>	14:33	<b>Data Emissão:</b>	01/12/2022
<b>Coletor:</b>	COLETA (CLIENTE)						<b>RG:</b>		
ENSAIOS DE LABORATÓRIO									
Parâmetro	Unidade	LQ	Método	Data da Realização do Ensaio	Valores de Referência		Resultado		
					PRC N°5 Anexo XX (Portaria N° 888)				
<b>INORGÂNICO(S)</b>									
Urânio Total	mg/L	0,01	EPA 200.7	01/12/22	0,03		< 0,01		
<b>ORGÂNICOS VOLÁTEIS (VOC)</b>									
1,2 - Diclorobenzeno	mg/L	0,0001	EPA 8260D	10/11/22	0,001		< 0,0001		
1,4 - Diclorobenzeno	mg/L	0,0003	EPA 8260D	10/11/22	0,0003		< 0,0003		

## Legendas

(1) Ensaio subcontratado realizado pelo laboratório registrado sob o CRL0369 junto à ABNT NBR ISO/IEC 17025

(-): Não Aplicável.

(\*): Vide Observações.

L.Q.: Limite de Quantificação.

Norma(s) Técnica(s) do(s) Método(s) utilizado(s):

EPA: Environmental Protection Agency1963 - .

EPA: Environmental Protection Agency2341 - .

EPA: Environmental Protection Agency - 01 - 1994.

EPA: Environmental Protection Agency - - 1996.

SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 23ª - 2017.

EPA: Environmental Protection Agency - 04 - 2017.

PO-MA: Procedimento Operacional - Método de Análise2321 -. EPA: Environmental Protection Agency - 06 - 2018.

## Informações

- a) O(s) resultado(s) declarado(s) referem se somente ao(s) item(s) ensaiado(s).
- b) Este relatório somente poderá ser reproduzido na íntegra.
- c) As opiniões e interpretações expressas abaixo, não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório.
- d) Para amostra coletada pelo Cliente, o(s) resultado(s) do(s) ensaio(s) refere(m)-se somente à amostra recebida no laboratório, não havendo responsabilidade da QUIMBIOL® quanto à amostragem.
- e) A amostragem quando realizada pela Quimbiol está em conformidade ao POP 05.07.
- f) Regra de Decisão: a declaração de conformidade, quando aplicável, é realizada sem considerar a incerteza associada aos ensaios.
- g) A incerteza quando relatada é baseada na incerteza padrão combinada, multiplicada por um fator de abrangência  $k=2$ , para um nível de confiança de 95%. A incerteza da amostragem não foi considerada na declaração de conformidade por se tratar de amostra indicativa.
- h) Qualquer desvio identificado na etapa de conferência da amostra, é informado ao cliente para aprovação e continuidade do processo de análise. Neste caso, a validade dos resultados pode ser afetada.
- i) A situação de ATIVO de nossos Laboratórios bem como todo o escopo acreditado está disponível para consulta no site do INMETRO pelo endereço eletrônico:  
[http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rble/detalhe\\_laboratorio.asp?Nom\\_apelido=QUIMBIOL](http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rble/detalhe_laboratorio.asp?Nom_apelido=QUIMBIOL).

<b>CONCLUSÃO DO RELATÓRIO</b>
O(s) resultado(s) do(s) ensaio(s) atende(m) ao(s) limite(s) da(s) legislação(ões) citada(s) na(s) coluna(s) do(s) valor(es) de referência.
<b>OBSERVAÇÕES</b>
Ensaio de Campo - Amostra com ensaio(s) realizado(s) fora da especificação, podendo essa condição afetar a validade do(s) resultado(s).
Cor Aparente: A Unidade CU (color unit) é equivalente a uH (unidade Hazen) e mg PtCo/L de acordo com o padronizado em cada legislação. Turbidez: A Unidade NTU (Nephelometric Turbidity Units) é equivalente a uT (unidade de Turbidez) de acordo com o padronizado em cada legislação



LOURDES CRISTINA P. PELOGGIA  
 CRBio 10500/01 - CRQ 04412249  
 Diretor(a) Técnico(a)

Código para verificação de autenticidade deste documento: C61222A002639F5BF0735F4FDC40F8D6640AA020

Instruções para a verificação de autenticidade de documentos:

1º - Acesse a página: <http://www.quimbiol.com.br> e clique em área do cliente.

2º - Clique na opção "Validar Laudo";

3º - Digite o número da Amostra juntamente com os últimos 6 caracteres de autenticidade;

4º - Clique em Validar.

## Legendas

(1) Ensaio subcontratado realizado pelo laboratório registrado sob o CRL0369 junto à ABNT NBR ISO/IEC 17025

(-): Não Aplicável.

(\*): Vide Observações.

L.Q.: Limite de Quantificação.

Norma(s) Técnica(s) do(s) Método(s) utilizado(s):

EPA: Environmental Protection Agency1963 - .

EPA: Environmental Protection Agency2341 - .

EPA: Environmental Protection Agency - 01 - 1994.

EPA: Environmental Protection Agency - - 1996.

SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 23ª - 2017.

EPA: Environmental Protection Agency - 04 - 2017.

PO-MA: Procedimento Operacional -

Método de Análise2321 - . EPA:

Environmental Protection Agency - 06

- 2018.

## Informações

- a) O(s) resultado(s) declarado(s) referem se somente ao(s) item(s) ensaiado(s).
- b) Este relatório somente poderá ser reproduzido na íntegra.
- c) As opiniões e interpretações expressas abaixo, não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório.
- d) Para amostra coletada pelo Cliente, o(s) resultado(s) do(s) ensaio(s) refere(m)-se somente à amostra recebida no laboratório, não havendo responsabilidade da QUIMBIOL® quanto à amostragem.
- e) A amostragem quando realizada pela Quimbiol está em conformidade ao POP 05.07.
- f) Regra de Decisão: a declaração de conformidade, quando aplicável, é realizada sem considerar a incerteza associada aos ensaios.
- g) A incerteza quando relatada é baseada na incerteza padrão combinada, multiplicada por um fator de abrangência  $k=2$ , para um nível de confiança de 95%. A incerteza da amostragem não foi considerada na declaração de conformidade por se tratar de amostra indicativa.
- h) Qualquer desvio identificado na etapa de conferência da amostra, é informado ao cliente para aprovação e continuidade do processo de análise. Neste caso, a validade dos resultados pode ser afetada.
- i) A situação de ATIVO de nossos Laboratórios bem como todo o escopo acreditado está disponível para consulta no site do INMETRO pelo endereço eletrônico:  
[http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rble/detalhe\\_laboratorio.asp?Nom\\_apelido=QUIMBIOL](http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rble/detalhe_laboratorio.asp?Nom_apelido=QUIMBIOL)
- j) Código para verificação de autenticidade deste documento:  
C61222A002639F5BF0735F4FDC40F8D6640AA020
- k) Instruções para a verificação de autenticidade de documentos:
  - l) 1º - Acesse a página:<http://www.quimbiol.com.br> e clique em área do cliente.
  - m) 2º - Clique na opção "Validar Laudo"; 3º - Digite o número da Amostra juntamente com os últimos 6 caracteres de autenticidade; 4º - Clique em Validar.

### CONCLUSÃO DO RELATÓRIO

O(s) resultado(s) do(s) ensaio(s) atende(m) ao(s) limite(s) da(s) legislação(ões) citada(s) na(s) coluna(s) do(s) valor(es) de referência.



LOURDES CRISTINA P. PELOGGIA

CRBio 10500/01 - CRQ 04412249

Diretor(a) Técnico(a)

Código para verificação de autenticidade deste documento: C61222A002639F5BF0735F4FDC40F8D6640AA020

Instruções para a verificação de autenticidade de documentos:

1º - Acesse a página:<http://www.quimbiol.com.br> e clique em área do cliente.

2º - Clique na opção "Validar Laudo";

3º - Digite o número da Amostra juntamente com os últimos 6 caracteres de autenticidade;

4º - Clique em Validar.

### A.3 Análise da Água Tratada da ETA com Filtração

<b>Empresa:</b> COMANDO DA AERONAUTICA	<b>CNPJ:</b> 00.394.429/0144-03
<b>Endereço:</b> Prç. Marechal do Ar Eduardo Gomes, 50	<b>Cidade:</b> São José dos Campos/SP
<b>Bairro:</b> Campus do DCTA	<b>CEP:</b> 12228-615
<b>A/C:</b> Fabrizia Bonates	<b>E-mail:</b> fabriziahenriques@gmail.com

DADOS REFERENTES À COLETA							
<b>N° da Amostra:</b>	9571/22	<b>Tipo da Amostra:</b>	Água Tratada				
<b>Identificação do Ponto:</b>	Água Tratada - Pós Desinfecção						
<b>Data Coleta:</b>	24/10/2022	<b>Hora:</b>	10:00	<b>Recebimento Laboratório:</b>	30/01/2023	<b>Hora:</b> 08:16	<b>Data Emissão:</b> 15/02/2023
<b>Coletor:</b>	COLETA (CLIENTE)				<b>RG:</b>		
ENSAIOS DE LABORATÓRIO							
Parâmetro	Unidade	LQ	Método	Data da Realização do Ensaio	Valores de Referência		
					PRC N°5 Anexo XX (Portaria N° 888)	Resultado	
INORGÂNICO(S)							
Alumínio Total	mg/L	0,1	SMWW 3030E/3111D	07/02/23	0,2	< 0,1	
Amônia (como N)	mg/L	0,0200	SMWW 4500 NH3 F	30/01/23	1,2	< 0,02	
Antimônio Total	mg/L	0,005	EPA 7062 / 7742	07/02/23	0,006	0,027	
Arsênio Total	mg/L	0,005	EPA 7062 / 7742	07/02/23	0,01	0,040	
Bário Total	mg/L	0,2	SMWW 3030E/3111D	07/02/23	0,7	< 0,2	
Cádmio Total	mg/L	0,001	SMWW 3030E/3111B	07/02/23	0,003	< 0,001	
Chumbo Total	mg/L	0,01	SMWW 3030E/3111B	07/02/23	0,01	< 0,01	
Cloreto Total	mg/L	4,0	SMWW 4500 Cl B	10/02/23	250	14,3	
Cobre Total	mg/L	0,004	SMWW 3030E/3111B	07/02/23	2	< 0,004	
Cromo Total	mg/L	0,02	SMWW 3030E/3111B	07/02/23	0,05	< 0,02	
Dureza total	mg/L	2,0	SMWW 2340C	30/01/23	300	100	

Ferro Total	mg/L	0,2	SMWW 3030E/3111B	07/02/23	0,3	< 0,2
Fluoreto Total	mg/L	0,1	SMWW 4500F-D	30/01/23	1,5	0,9
Manganês Total	mg/L	0,01	SMWW 3030E/3111B	07/02/23	0,1	< 0,01
Mercúrio Total	mg/L	0,0002	SMWW 3030E/3112B	07/02/23	0,001	0,0004
Níquel Total	mg/L	0,02	SMWW 3030E/3111B	07/02/23	0,07	< 0,02
Nitrato (como N)	mg/L	0,2	SMWW 4500 NO3 B	30/01/23	10	0,4
Nitrito (como N)	mg/L	0,01	SMWW 4500 NO2 B	30/01/23	1	< 0,01
Selênio Total	mg/L	0,010	EPA 7062 / 7742	07/02/23	0,04	0,19
Sódio Total	mg/L	0,01	SMWW 3030E/3111B	07/02/23	200	8,72
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	10,0	SMWW 2540C	30/01/23	500	141,5
Sulfato Total	mg/L	10	SMWW 4500 SO4 E	30/01/23	250	23
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L	0,05	SMWW 4500 S2 H	30/01/23	0,05	< 0,05
Zinco Total	mg/L	0,01	SMWW 3030E/3111B	07/02/23	5	< 0,01
<b>MICROBIOLÓGICOS</b>						
Coliformes Totais	-	-	SMWW 9223B	31/01/23	Ausência em 100 mL	Ausência
Escherichia coli	-	-	SMWW 9223B	31/01/23	Ausência em 100 mL	Ausência
<b>ORGÂNICOS SEMI VOLÁTEIS (SVOC)</b>						
Alaclor	µg/L	0,005	EPA 8270E	07/02/23	20	< 0,005
Aldrin+Dieldrin	µg/L	0,001	EPA 8270E	07/02/23	0,03	< 0,001
Ametrina	µg/L	0,01	EPA 8270E	07/02/23	60	< 0,01
Benzo(a)pireno	µg/L	0,04	EPA 8270E	07/02/23	0,4	< 0,04
Carbofurano	µg/L	0,01	EPA 8270E	07/02/23	7	< 0,01
Clordano	µg/L	0,005	EPA 8270E	07/02/23	0,2	< 0,005
Clorotalonil	µg/L	0,005	EPA 8270E	07/02/23	45	< 0,005
Clorpirifós+clorpirifós- oxon	µg/L	0,01	EPA 8270E	07/02/23	30	0,03

DDT+DDD+DDE	µg/L	0,002	EPA 8270E	07/02/23	1	0,020
Di [2-etilhexil] ftalato	µg/L	0,05	EPA 8270E	07/02/23	8	0,07
Lindano (γ-HCH)	µg/L	0,01	EPA 8270E	07/02/23	2	< 0,01
Malation	µg/L	0,01	EPA 8270E	07/02/23	60	< 0,01
Metolacloro	µg/L	0,01	EPA 8270E	07/02/23	10	< 0,01
Molinato	µg/L	0,01	EPA 8270E	07/02/23	6	< 0,01
Pentaclorofenol	µg/L	0,050	EPA 8270E	07/02/23	9	< 0,05
Simazina	µg/L	0,005	EPA 8270E	07/02/23	2	< 0,005
Tebuconazol	µg/L	0,01	EPA 8270E	07/02/23	180	0,02
Terbufós	µg/L	1	EPA 8270E	07/02/23	1,2	< 1
Trifluralina	µg/L	0,01	EPA 8270E	07/02/23	20	< 0,01
2,4 - Diclorofenol	mg/L	0,000300	EPA 8270E	07/02/23	0,2	< 0,0003
2,4,6 - Triclorofenol	mg/L	0,000050	EPA 8270E	07/02/23	0,2	< 0,00005
<b>ORGÂNICOS VOLÁTEIS (VOC)</b>						
Benzeno	µg/L	2	EPA 8260D	10/02/23	5	< 2
Diclorometano	µg/L	3	EPA 8260D	10/02/23	20	< 3
Etilbenzeno	µg/L	2	EPA 8260D	10/02/23	300	< 2
Monoclorobenzeno	mg/L	0,002	EPA 8260D	10/02/23	0,02	< 0,002
Tetracloroeto de Carbono	µg/L	2	EPA 8260D	10/02/23	4	< 2
Tetracloroetano	µg/L	2	EPA 8260D	10/02/23	40	< 2
Tolueno	µg/L	2	EPA 8260D	10/02/23	30	< 2
Tricloroetano	µg/L	2	EPA 8260D	10/02/23	4	< 2
Trihalometanos	mg/L	0,008	EPA 8260D	10/02/23	0,1	< 0,008
Xilenos	µg/L	5	EPA 8260D	10/02/23	500	< 5
1,2 - Dicloroetano	µg/L	2	EPA 8260D	10/02/23	5	< 2
<b>Padrão de Controle (SURROGATE) - Orgânicos Semi Voláteis (SVOC)</b>						
[surrogate] p-Terfenil-d14	%	-	EPA 8270E	07/02/23	-	97
[surrogate] 2-Fluorbifenil	%	-	EPA 8270E	07/02/23	-	81
<b>Padrão de Controle (SURROGATE) - Orgânicos Voláteis (VOC)</b>						
[surrogate] p-Bromofluorbenzeno	%	-	EPA 8260D	10/02/23	-	95
<b>Propriedade(s) Organoléptica(s)</b>						
* Cor Aparente	CU	5,0	SMWW 2120B	30/01/23	15	5
Gosto e Odor	-	-	SMWW 2150B	30/01/23	6	0
* Turbidez	NTU	1,0	SMWW 2130B	30/01/23	5	2,8

## Legendas

(-): Não Aplicável.

(\*): Vide Observações.

L.Q.: Limite de Quantificação.

Norma(s) Técnica(s) do(s) Método(s) utilizado(s):

EPA: Environmental Protection Agency1963 - .

EPA: Environmental Protection Agency2341 - .

EPA: Environmental Protection Agency - 01 - 1994.

SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 23ª - 2017.

EPA: Environmental Protection Agency - 04 - 2017.

EPA: Environmental Protection Agency - 06 - 2018.

## Informações

- a) O(s) resultado(s) declarado(s) referem se somente ao(s) item(s) ensaiado(s).
- b) Este relatório somente poderá ser reproduzido na íntegra.
- c) As opiniões e interpretações expressas abaixo, não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório.
- d) Para amostra coletada pelo Cliente, o(s) resultado(s) do(s) ensaio(s) refere(m)-se somente à amostra recebida no laboratório, não havendo responsabilidade da QUIMBIOL® quanto à amostragem.
- e) A amostragem quando realizada pela Quimbiol está em conformidade ao POP 05.07.
- f) Regra de Decisão: a declaração de conformidade, quando aplicável, é realizada sem considerar a incerteza associada aos ensaios.
- g) A incerteza quando relatada é baseada na incerteza padrão combinada, multiplicada por um fator de abrangência  $k=2$ , para um nível de confiança de 95%. A incerteza da amostragem não foi considerada na declaração de conformidade por se tratar de amostra indicativa.
- h) Qualquer desvio identificado na etapa de conferência da amostra, é informado ao cliente para aprovação e continuidade do processo de análise. Neste caso, a validade dos resultados pode ser afetada.
- i) A situação de ATIVO de nossos Laboratórios bem como todo o escopo acreditado está disponível para consulta no site do INMETRO pelo endereço eletrônico:  
[http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rble/detalhe\\_laboratorio.asp?Nom\\_apelido=QUIMBIOL](http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rble/detalhe_laboratorio.asp?Nom_apelido=QUIMBIOL)

<b>CONCLUSÃO DO RELATÓRIO</b>
O(s) resultado(s) do(s) ensaio(s) do(s) parâmetro(s) Antimônio Total, Arsênio Total, Selênio Total não atende(m) ao(s) limite(s) da(s) legislação(ões) citada(s) na(s) coluna(s) do(s) valor(es) de referência.
<b>OBSERVAÇÕES</b>
Cor Aparente: A Unidade CU (color unit) é equivalente a uH (unidade Hazen) e mg PtCo/L de acordo com o padronizado em cada legislação. Turbidez: A Unidade NTU (Nephelometric Turbidity Units) é equivalente a uT (unidade de Turbidez) de acordo com o padronizado em cada legislação.



LOURDES CRISTINA P. PELOGGIA  
CRBio 10500/01 - CRQ 04412249

Diretor(a) Técnico(a)

Código para verificação de autenticidade deste documento: B028914EE25548C57591917CBB2C178EFF74EB9D

Instruções para a verificação de autenticidade de documentos:

1º - Acesse a página: <http://www.quimbiol.com.br> e clique em área do cliente.

2º - Clique na opção "Validar Laudo";

3º - Digite o número da Amostra juntamente com os últimos 6

caracteres de autenticidade; 4º - Clique em Validar.

<b>Empresa:</b> COMANDO DA AERONAUTICA		<b>CNPJ:</b> 00.394.429/0144-03					
<b>Endereço:</b> Prç. Marechal do Ar Eduardo Gomes, 50		<b>Cidade:</b> São José dos Campos/SP					
<b>Bairro:</b> Campus do DCTA		<b>CEP:</b> 12228-615					
<b>A/C:</b> Fabrizia Bonates		<b>E-mail:</b> fabriziahenriques@gmail.com					
DADOS REFERENTES À COLETA							
<b>Nº da Amostra:</b>		9571/22		<b>Tipo da Amostra:</b>		Água Tratada	
<b>Identificação do Ponto:</b>		Água Tratada - Pós Desinfecção					
<b>Data Coleta:</b>	24/10/2022	<b>Hora:</b>	10:00	<b>Recebimento Laboratório:</b>	30/01/2023	<b>Hora:</b> 08:16	<b>Data Emissão:</b> 15/02/2023
<b>Coletor:</b>	COLETA (CLIENTE)				<b>RG:</b>		
ENSAIOS DE LABORATÓRIO							
Parâmetro	Unidade	LQ	Método	Data da Realização do Ensaio	Valores de Referência		Resultado
					PRC N°5 Anexo XX (Portaria N° 888)		
INORGÂNICO(S)							
Urânio Total	mg/L	0,01	EPA 200.7	08/02/23	0,03		< 0,01
ORGÂNICOS VOLÁTEIS (VOC)							
Cloreto de Vinila	µg/L	0,5	EPA 8260D	10/02/23	0,5		< 0,5
1,2 - Diclorobenzeno	mg/L	0,0001	EPA 8260D	07/02/23	0,001		< 0,0001
1,4 - Diclorobenzeno	mg/L	0,0003	EPA 8260D	07/02/23	0,0003		< 0,0003

### Legendas

(-): Não Aplicável.

(\*): Vide Observações.

L.Q.: Limite de Quantificação.

Norma(s) Técnica(s) do(s) Método(s) utilizado(s):

EPA: Environmental Protection Agency1963 - .

EPA: Environmental Protection Agency2341 - .

EPA: Environmental Protection Agency - 01 - 1994.

SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 23ª - 2017.

EPA: Environmental Protection Agency - 04 - 2017.

EPA: Environmental Protection Agency - 06 - 2018.

### Informações

- O(s) resultado(s) declarado(s) referem se somente ao(s) item(s) ensaiado(s).
- Este relatório somente poderá ser reproduzido na íntegra.
- As opiniões e interpretações expressas abaixo, não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório.
- Para amostra coletada pelo Cliente, o(s) resultado(s) do(s) ensaio(s) refere(m)-se somente à amostra recebida no laboratório, não havendo responsabilidade da QUIMBIOL® quanto à amostragem.
- A amostragem quando realizada pela Quimbiol está em conformidade ao POP 05.07.
- Regra de Decisão: a declaração de conformidade, quando aplicável, é realizada sem considerar a incerteza associada aos ensaios.
- A incerteza quando relatada é baseada na incerteza padrão combinada, multiplicada por um fator de abrangência k=2, para um nível de confiança de 95%. A incerteza da amostragem não foi considerada na declaração de conformidade por se tratar de amostra indicativa.

- h) Qualquer desvio identificado na etapa de conferência da amostra, é informado ao cliente para aprovação e continuidade do processo de análise. Neste caso, a validade dos resultados pode ser afetada.
- i) A situação de ATIVO de nossos Laboratórios bem como todo o escopo acreditado está disponível para consulta no site do INMETRO pelo endereço eletrônico:  
[http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rble/detalhe\\_laboratorio.asp?Nom\\_apelido=QUIMBIOL](http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rble/detalhe_laboratorio.asp?Nom_apelido=QUIMBIOL).

**CONCLUSÃO DO RELATÓRIO**

O(s) resultado(s) do(s) ensaio(s) atende(m) ao(s) limite(s) da(s) legislação(ões) citada(s) na(s) coluna(s) do(s) valor(es) de referência.

Cor Aparente: A Unidade CU (color unit) é equivalente a uH (unidade Hazen) e mg PtCo/L de acordo com o padronizado em cada legislação.

Turbidez: A Unidade NTU (Nephelometric Turbidity Units) é equivalente a uT (unidade de Turbidez) de acordo com o padronizado em cada legislação



---

LOURDES CRISTINA P. PELOGGIA  
CRBio 10500/01 - CRQ 04412249  
Diretor(a) Técnico(a)

Código para verificação de autenticidade deste documento: B028914EE25548C57591917CBB2C178EFF74EB9D

Instruções para a verificação de autenticidade de documentos:

1º - Acesse a página:<http://www.quimbiol.com.br> e clique em área do cliente.

2º - Clique na opção "Validar Laudo";

3º - Digite o número da Amostra juntamente com os últimos

6 caracteres de autenticidade; 4º - Clique em Validar.

## A.4 Análise da Água Bruta da Lagoa do DCTA

<b>Empresa:</b> COMANDO DA AERONAUTICA	<b>CNPJ:</b> 00.394.429/0144-03
<b>Endereço:</b> Prç. Marechal do Ar Eduardo Gomes, 50	<b>Cidade:</b> São José dos Campos/SP
<b>Bairro:</b> Campus do DCTA	<b>CEP:</b> 12228-615
<b>A/C:</b> Fabrizia Bonates	<b>E-mail:</b> fabriziahenriques@gmail.com

DADOS REFERENTES À COLETA							
<b>N° da Amostra:</b>	7603/22	<b>Tipo da Amostra:</b>	Água Bruta - Água Superficial				
<b>Identificação do Ponto:</b>	Água Bruta - Lagoa DCTA						
<b>Data Coleta:</b>	24/10/2022	<b>Hora:</b>	10:00	<b>Recebimento Laboratório:</b>	24/10/2022	<b>Hora:</b> 15:53	<b>Data Emissão:</b> 29/11/2022
<b>Coletor:</b>	HILSON DA SILVA				<b>RG:</b>	19.718.002-4	
ENSAIOS DE LABORATÓRIO							
Parâmetro	Unidade	LQ	Método	Data da Realização do Ensaio	Valores de Referência		Resultado
					PRC N°5 Anexo XX (Portaria N° 888)		
Ametrina	µg/L	0,01	EPA 8270E	29/10/22	60		0,44
ENSAIOS DE CAMPO							
Parâmetro	Unidade	LQ	Método	Data da Realização do Ensaio	Valores de Referência		Resultado
					PRC N°5 Anexo XX (Portaria N° 888)		
Ensaio(s) Físico-Químicos(s)							
pH	-	-	SMWW 4500 H+B	24/10/22	-		8,27
ENSAIOS DE LABORATÓRIO							
Parâmetro	Unidade	LQ	Método	Data da Realização do Ensaio	Valores de Referência		Resultado
					PRC N°5 Anexo XX (Portaria N° 888)		
INORGÂNICO(S)							
Antimônio Total	mg/L	0,005	EPA 7062 / 7742	31/10/22	0,006		< 0,005
Arsênio Total	mg/L	0,005	EPA 7062 / 7742	31/10/22	0,01		0,008
Cádmio Total	mg/L	0,001	SMWW 3030E/3111B	31/10/22	0,003		< 0,001
Chumbo Total	mg/L	0,01	SMWW 3030E/3111B	31/10/22	0,01		< 0,01
Cobre Dissolvido	mg/L	0,004	SMWW 3030E/3111B	01/11/22	-		< 0,004
Cromo Total	mg/L	0,02	SMWW 3030E/3111B	31/10/22	0,05		< 0,02
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L O2	2	SMWW 5210B	26/10/22	-		8
Demanda Química de Oxigênio	mg/L O2	26	SMWW 5220D	26/10/22	-		< 26

Fluoreto Total	mg/L	0,1	SMWW 4500F-D	25/10/22	1,5	< 0,1
Fósforo Total	mg/L	0,020	SMWW 4500 P E	27/10/22	-	0,042
Mercúrio Total	mg/L	0,0002	SMWW 3030E/3112B	09/11/22	0,001	0,0003
Níquel Total	mg/L	0,02	SMWW 3030E/3111B	31/10/22	0,07	< 0,02
Nitrato (como N)	mg/L	0,2	SMWW 4500 NO3 B	25/10/22	10	0,5
Nitrito (como N)	mg/L	0,01	SMWW 4500 NO2 B	25/10/22	1	< 0,01
Nitrogênio Amoniacal Total	mg/L	0,020	SMWW 4500 NH3 F	26/10/22	-	0,071

Oxigênio Dissolvido	mg/L	0,10	SMWW 4500O G	24/10/22	-	5,63
Selênio Total	mg/L	0,010	EPA 7062 / 7742	31/10/22	0,04	< 0,01
<b>MICROBIOLÓGICOS</b>						
Coliformes Totais	-	1,8	SMWW 9221 B, E e F	25/10/22	-	< 1,8
Escherichia coli	NMP/100mL	1,8	SMWW 9221 B, E e F	25/10/22	-	< 1,8
<b>ORGÂNICOS SEMI VOLÁTEIS (SVOC)</b>						
Alaclor	µg/L	0,005	EPA 8270E	29/10/22	20	< 0,005
Aldrin+Dieldrin	µg/L	0,001	EPA 8270E	29/10/22	0,03	< 0,001
Benzo(a)pireno	µg/L	0,04	EPA 8270E	29/10/22	0,4	< 0,04
Carbofurano	µg/L	0,01	EPA 8270E	29/10/22	7	< 0,01
Clordano	µg/L	0,01	EPA 8270E	29/10/22	0,2	< 0,005
Clorotalonil	µg/L	0,005	EPA 8270E	29/10/22	45	< 0,005
Clorpirifós+clorpirifós-oxon	µg/L	0,01	EPA 8270E	29/10/22	30	0,07
DDT+DDD+DDE	µg/L	0,002	EPA 8270E	29/10/22	1	0,110
Di [2-etilhexil] ftalato	µg/L	0,05	EPA 8270E	29/10/22	8	< 0,05
Lindano (γ-HCH)	µg/L	0,01	EPA 8270E	29/10/22	2	< 0,01
Malation	µg/L	0,01	EPA 8270E	29/10/22	60	0,25
Metolacloro	µg/L	0,01	EPA 8270E	29/10/22	10	< 0,01
Molinato	µg/L	0,01	EPA 8270E	29/10/22	6	< 0,01
Pentaclorofenol	µg/L	0,050	EPA 8270E	29/10/22	9	< 0,05
Simazina	µg/L	0,005	EPA 8270E	29/10/22	2	< 0,005
Tebuconazol	µg/L	0,01	EPA 8270E	29/10/22	180	< 0,01
Terbufós	µg/L	1	EPA 8270E	29/10/22	1,2	< 1
Trifluralina	µg/L	0,01	EPA 8270E	29/10/22	20	< 0,01
<b>ORGÂNICOS VOLÁTEIS (VOC)</b>						
Benzeno	µg/L	2	EPA 8260D	27/10/22		
Cloreto de Vinila	µg/L	0,5	EPA 8260D	27/10/22	µg/L	0,005
Diclorometano	µg/L	3	EPA 8260D	27/10/22	µg/L	0,001
Etilbenzeno	µg/L	2	EPA 8260D	27/10/22	µg/L	0,04
Tetracloro de Carbono	µg/L	2	EPA 8260D	27/10/22	µg/L	0,01

Tetracloroetano	µg/L	2	EPA 8260D	27/10/22	µg/L	0,01
Tolueno	µg/L	2	EPA 8260D	27/10/22	µg/L	0,005
Tricloroetano	µg/L	2	EPA 8260D	27/10/22	µg/L	0,01
Xilenos	µg/L	5	EPA 8260D	27/10/22	µg/L	0,002
1,2 - Dicloroetano	µg/L	2	EPA 8260D	27/10/22	µg/L	0,05
<b>Padrão de Controle (SURROGATE) - Orgânicos Semi Voláteis (SVOC)</b>						
[surrogate] p-Terfenil-d14	%	-	EPA 8270E	29/10/22	µg/L	0,01
[surrogate] 2-Fluorbifenil	%	-	EPA 8270E	29/10/22	µg/L	0,01
<b>Padrão de Controle (SURROGATE) - Orgânicos Voláteis (VOC)</b>						
[surrogate] p-Bromofluorbenzeno	%	-	EPA 8260D	27/10/22	µg/L	0,050
<b>Propriedade(s) Organoléptica(s)</b>						
Cor Verdadeira	CU	5,0	SMWW 2120C	25/10/22	µg/L	0,01
* Turbidez	NTU	1,0	SMWW 2130B	25/10/22	µg/L	1
<b>ENSAIOS SUBCONTRATADOS</b>					µg/L	
Parâmetro	Unidade	LQ	Método	Data da Realização do Ensaio	Valores de Referência	Resultado
					PRC N°5 Anexo XX (Portaria N° 888)	
<b>ORGÂNICO(S)</b>						
Acrilamida (1)	µg/L	0,5	PO-MA 034	31/10/22	0,5	< 0,5
Aldicarbe+Ald Sulfona+Ald Sulfóxido (1)	µg/L	3,0	PO-MA 037	31/10/22	10	< 3
Atrazina + S-Clorotriazinas (1)	µg/L	2,0	PO-MA 037	31/10/22	2	< 2
Carbendazim (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	120	< 1
Ciproconazol (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	30	< 1
Difenoconazol (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	30	< 1
Dimetoato + Ometoato (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	1,2	< 1
Dioxano (1)	µg/L	5,0	EPA 8260D	02/11/22	48	< 5
Epiclórídina (1)	µg/L	0,3	EPA 8260D	02/11/22	0,4	< 0,3
Epoxiconazol (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	60	< 1
Fipronil (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	1,2	< 1
Flutriafol (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	30	< 1
Glifosato + AMPA (1)	µg/L	10,0	PO-MA 036	18/11/22	500	< 10
Hidroxi-Atrazina (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	120	< 1
Mancozebe + ETU (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	8	< 1
Metamidofós + Acefato (1)	µg/L	6,0	PO-MA 037	31/10/22	7	< 6
Metribuzim (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	25	< 1
Paraquate (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	13	< 1

Picloram (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	60	< 1
Profenofós (1)	µg/L	0,3	PO-MA 037	31/10/22	0,3	< 0,3
Propargito (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	30	< 1
Protioconazol + Proticonazoldestio (1)	µg/L	2,0	PO-MA 037	31/10/22	3	< 2
Tiametoxam (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	36	< 1
Tiodicarbe (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	90	< 1
Tiram (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	6	< 1
2,4 - D(1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	31/10/22	30	< 1
ENSAIOS DE LABORATÓRIO						
Parâmetro	Unidade	LQ	Método	Data da Realização do Ensaio	Valores de Referência	Resultado
					PRC N°5 Anexo XX (Portaria N° 888)	
Registro de Preparo						
Extração SVOCs	-	-	EPA 3510C/3540C	27/10/22	-	-

### Legendas

(1) Ensaio subcontratado realizado pelo laboratório registrado sob o CRL0369 junto à ABNT NBR ISO/IEC 17025

(-): Não Aplicável.

(\*): Vide Observações.

L.Q.: Limite de Quantificação.

Norma(s) Técnica(s) do(s) Método(s) utilizado(s):

EPA: Environmental Protection Agency1963 - .

EPA: Environmental Protection Agency2341 - .

EPA: Environmental Protection Agency - 01 - 1994.

EPA: Environmental Protection Agency - - 1996.

SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 23ª - 2017.

EPA: Environmental Protection Agency - 04 - 2017.

PO-MA: Procedimento

Operacional - Método de

Análise2321 -. EPA:

Environmental Protection

Agency - 06 - 2018.

### Informações

- O(s) resultado(s) declarado(s) referem se somente ao(s) item(s) ensaiado(s).
- Este relatório somente poderá ser reproduzido na íntegra.
- As opiniões e interpretações expressas abaixo, não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório.
- Para amostra coletada pelo Cliente, o(s) resultado(s) do(s) ensaio(s) refere(m)-se somente à amostra recebida no laboratório, não havendo responsabilidade da QUIMBIOL® quanto à amostragem.
- A amostragem quando realizada pela Quimbiol está em conformidade ao POP 05.07.
- Regra de Decisão: a declaração de conformidade, quando aplicável, é realizada sem considerar a incerteza associada aos ensaios.
- A incerteza quando relatada é baseada na incerteza padrão combinada, multiplicada por um fator de abrangência  $k=2$ , para um nível de confiança de 95%. A incerteza da amostragem não foi considerada na declaração de conformidade por se tratar de amostra indicativa.
- Qualquer desvio identificado na etapa de conferência da amostra, é informado ao cliente para aprovação e continuidade do processo de análise. Neste caso, a validade dos resultados pode ser afetada.

- i) A situação de ATIVO de nossos Laboratórios bem como todo o escopo acreditado está disponível para consulta no site do INMETRO pelo endereço eletrônico:  
[http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rble/detalhe\\_laboratorio.asp?Nom\\_apelido=QUIMBIOL](http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rble/detalhe_laboratorio.asp?Nom_apelido=QUIMBIOL).

CONCLUSÃO DO RELATÓRIO
O(s) resultado(s) do(s) ensaio(s) do(s) parâmetro(s) Turbidez não atende(m) ao(s) limite(s) da(s) legislação(ões) citada(s) na(s) coluna(s) do(s) valor(es) de referência.
OBSERVAÇÕES
Plano de Amostragem - 1609/2022
Turbidez: A Unidade NTU (Nephelometric Turbidity Units) é equivalente a uT (unidade de Turbidez) de acordo com o padronizado em cada legislação.



LOURDES CRISTINA P. PELOGGIA  
 CRBio 10500/01 - CRQ 04412249  
 Diretor(a) Técnico(a)

Código para verificação de autenticidade deste documento: 0EFEF370FF8D292540EE68ABEA2E011C50A41590

Instruções para a verificação de autenticidade de documentos:

1º - Acesse a página: <http://www.quimbiol.com.br> e clique em área do cliente.

2º - Clique na opção "Validar Laudo";

3º - Digite o número da Amostra juntamente com os últimos 6 caracteres de autenticidade;

4º - Clique em Validar.

DADOS REFERENTES À COLETA									
<b>Nº da Amostra:</b>	7603/22			<b>Tipo da Amostra:</b>	Água Bruta - Água Superficial				
<b>Identificação do Ponto:</b>	Água Bruta - Lagoa DCTA								
<b>Data Coleta:</b>	24/10/2022	<b>Hora:</b>	10:00	<b>Recebimento Laboratório:</b>	24/10/2022	<b>Hora:</b>	15:53	<b>Data Emissão:</b>	29/11/2022
<b>Coletor:</b>	HILSON DA SILVA					<b>RG:</b>	19.718.002-4		
ENSAIOS DE LABORATÓRIO									
Parâmetro	Unidade	LQ	Método	Data da Realização do Ensaio	Valores de Referência		Resultado		
					PRC N°5 Anexo XX (Portaria N° 888)				
INORGÂNICO(S)									
Bário Total	mg/L	0,001	EPA 200.7	31/10/22	0,7		0,028		
Urânio Total	mg/L	0,01	EPA 200.7	09/11/22	0,03		0,04		

### Legendas

(1) Ensaio subcontratado realizado pelo laboratório registrado sob o CRL0369 junto à ABNT NBR ISO/IEC 17025

(-): Não Aplicável.

(\*): Vide Observações.

L.Q.: Limite de Quantificação.

Norma(s) Técnica(s) do(s) Método(s) utilizado(s):

EPA: Environmental Protection Agency1963 - .

EPA: Environmental Protection Agency2341 - .

EPA: Environmental Protection Agency - 01 - 1994.

EPA: Environmental Protection Agency - - 1996.

SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 23ª - 2017.

EPA: Environmental Protection Agency - 04 - 2017.

PO-MA: Procedimento

Operacional - Método de

Análise2321 -. EPA:

Environmental Protection

Agency - 06 - 2018.

### Informações

- a) O(s) resultado(s) declarado(s) referem se somente ao(s) item(s) ensaiado(s).
- b) Este relatório somente poderá ser reproduzido na íntegra.
- c) As opiniões e interpretações expressas abaixo, não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório.
- d) Para amostra coletada pelo Cliente, o(s) resultado(s) do(s) ensaio(s) refere(m)-se somente à amostra recebida no laboratório, não havendo responsabilidade da QUIMBIOL® quanto à amostragem.
- e) A amostragem quando realizada pela Quimbiol está em conformidade ao POP 05.07.
- f) Regra de Decisão: a declaração de conformidade, quando aplicável, é realizada sem considerar a incerteza associada aos ensaios.
- g) A incerteza quando relatada é baseada na incerteza padrão combinada, multiplicada por um fator de abrangência  $k=2$ , para um nível de confiança de 95%. A incerteza da amostragem não foi considerada na declaração de conformidade por se tratar de amostra indicativa.
- h) Qualquer desvio identificado na etapa de conferência da amostra, é informado ao cliente para aprovação e continuidade do processo de análise. Neste caso, a validade dos resultados pode ser afetada.
- i) A situação de ATIVO de nossos Laboratórios bem como todo o escopo acreditado está disponível para consulta no site do INMETRO pelo endereço eletrônico:  
[http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rble/detalhe\\_laboratorio.asp?Nom\\_apelido=QUIMBIOL](http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rble/detalhe_laboratorio.asp?Nom_apelido=QUIMBIOL)

### CONCLUSÃO DO RELATÓRIO

O(s) resultado(s) do(s) ensaio(s) do(s) parâmetro(s) Urânio Total não atende(m) apenas ao(s) limite(s) da(s) legislação (ões) ANEXO XX DA PRC Nº 5/2017, ALTERADO PELA PORTARIA GM/MS Nº 888/2021 - SUPERFICIAL citada(s) na(s) coluna(s) do(s) valor (ES) de referência.

### OBSERVAÇÕES

Plano de Amostragem - 1609/2022

Turbidez: A Unidade NTU (Nephelometric Turbidity Units) é equivalente a uT (unidade de Turbidez) de acordo com o padronizado em cada legislação.



LOURDES CRISTINA P. PELOGGIA  
CRBio 10500/01 - CRQ 04412249

Diretor(a) Técnico(a)

Código para verificação de autenticidade deste documento: F8468C6CEFC9A9D25AB910DAAC8D076700CB58F7

Instruções para a verificação de autenticidade de documentos:

1º - Acesse a página: <http://www.quimbiol.com.br> e clique em área do cliente.

2º - Clique na opção "Validar Laudo";

3º - Digite o número da Amostra juntamente com os últimos 6 caracteres de autenticidade;

4º - Clique em Validar.

## A5. Análise da Água Tratada da Lagoa do DCTA

<b>Empresa:</b> COMANDO DA AERONAUTICA	<b>CNPJ:</b> 00.394.429/0144-03
<b>Endereço:</b> Prç. Marechal do Ar Eduardo Gomes, 50	<b>Cidade:</b> São José dos Campos/SP
<b>Bairro:</b> Campus do DCTA	<b>CEP:</b> 12228-615
<b>A/C:</b> Fabrizia Bonates	<b>E-mail:</b> fabriziahenriques@gmail.com

DADOS REFERENTES À COLETA									
<b>N° da Amostra:</b>	8142/22	<b>Tipo da Amostra:</b>	Água Tratada						
<b>Identificação do Ponto:</b>	Água Tratada - Lagoa do DCTA								
<b>Data Coleta:</b>	24/10/2022	<b>Hora:</b>	13:53	<b>Recebimento Laboratório:</b>	08/11/2022	<b>Hora:</b>	14:33	<b>Data Emissão:</b>	01/12/2022
<b>Coletor:</b>	COLETA (CLIENTE)					<b>RG:</b>	-		

ENSAIOS DE LABORATÓRIO						
Parâmetro	Unidade	LQ	Método	Data da Realização do Ensaio	Valores de Referência	Resultado
					PRC N°5 Anexo XX (Portaria N°888)	
Ametrina	µg/L	0,01	EPA 8270E	11/11/22	60	< 0,01
<b>INORGÂNICO(S)</b>						
Alumínio Total	mg/L	0,1	SMWW 3030E/3111D	16/11/22	0,2	0,307
Amônia (como N)	mg/L	0,0200	SMWW 4500 NH3 F	11/11/22	1,2	0,17
Antimônio Total	mg/L	0,005	EPA 7062 / 7742	16/11/22	0,006	< 0,005
Arsênio Total	mg/L	0,005	EPA 7062 / 7742	16/11/22	0,01	< 0,005
Bário Total	mg/L	0,2	SMWW 3030E/3111D	16/11/22	0,7	< 0,2
Cádmio Total	mg/L	0,001	SMWW 3030E/3111B	16/11/22	0,003	< 0,001
Chumbo Total	mg/L	0,01	SMWW 3030E/3111B	16/11/22	0,01	< 0,01
Cloreto Total	mg/L	4,0	SMWW 4500 Cl B	10/11/22	250	< 4
Cobre Total	mg/L	0,004	SMWW 3030E/3111B	16/11/22	2	< 0,004
Cromo Total	mg/L	0,02	SMWW 3030E/3111B	16/11/22	0,05	< 0,02
Dureza total	mg/L	2,0	SMWW 2340C	09/11/22	300	7
Ferro Total	mg/L	0,2	SMWW 3030E/3111B	16/11/22	0,3	< 0,2
Fluoreto Total	mg/L	0,1	SMWW 4500F-D	11/11/22	1,5	1,2
Manganês Total	mg/L	0,01	SMWW 3030E/3111B	16/11/22	0,1	< 0,01
Mercúrio Total	mg/L	0,0002	SMWW 3030E/3112B	09/11/22	0,001	< 0,0002
Níquel Total	mg/L	0,02	SMWW 3030E/3111B	16/11/22	0,07	< 0,02
Nitrato (como N)	mg/L	0,2	SMWW 4500 NO3 B	09/11/22	10	0,7
Nitrito (como N)	mg/L	0,01	SMWW 4500 NO2 B	09/11/22	1	< 0,01

Selênio Total	mg/L	0,01 0	EPA 7062 / 7742	16/11/22	0,04	0,02
Sódio Total	mg/L	0,01	SMWW 3030E/3111B	16/11/22	200	5,60
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	10,0	SMWW 2540C	09/11/22	500	64,0
Sulfato Total	mg/L	10	SMWW 4500 SO4 E	09/11/22	250	< 10
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L	0,05	SMWW 4500 S2 H	11/11/22	0,05	< 0,05
Zinco Total	mg/L	0,01	SMWW 3030E/3111B	16/11/22	5	< 0,01
<b>ORGÂNICOS SEMI VOLÁTEIS (SVOC)</b>						
Alaclor	µg/L	0,00 5	EPA 8270E	11/11/22	20	< 0,005
Aldrin+Dieldrin	µg/L	0,00 1	EPA 8270E	11/11/22	0,03	< 0,001

Benzo(a)pireno	µg/L	0,04	EPA 8270E	11/11/22	0,4	< 0,04
Carbofurano	µg/L	0,01	EPA 8270E	11/11/22	7	< 0,01
Clordano	µg/L	0,01	EPA 8270E	11/11/22	0,2	< 0,005
Clortalonil	µg/L	0,005	EPA 8270E	11/11/22	45	< 0,005
Clorpirifós+clorpirifós-oxon	µg/L	0,01	EPA 8270E	11/11/22	30	0,06
DDT+DDD+DDE	µg/L	0,002	EPA 8270E	11/11/22	1	0,080
Di [2-etilhexil] ftalato	µg/L	0,05	EPA 8270E	11/11/22	8	< 0,05
Lindano (γ-HCH)	µg/L	0,01	EPA 8270E	11/11/22	2	< 0,01
Malation	µg/L	0,01	EPA 8270E	11/11/22	60	< 0,01
Metolaclo	µg/L	0,01	EPA 8270E	11/11/22	10	< 0,01
Molinato	µg/L	0,01	EPA 8270E	11/11/22	6	< 0,01
Pentaclorofenol	µg/L	0,050	EPA 8270E	11/11/22	9	< 0,05
Simazina	µg/L	0,005	EPA 8270E	11/11/22	2	< 0,005
Tebuconazol	µg/L	0,01	EPA 8270E	11/11/22	180	< 0,01
Terbufós	µg/L	1	EPA 8270E	11/11/22	1,2	< 1
Trifluralina	µg/L	0,01	EPA 8270E	11/11/22	20	< 0,01
2,4 - Diclorofenol	mg/L	0,0003 00	EPA 8270E	11/11/22	0,2	< 0,0003
2,4,6 - Triclorofenol	mg/L	0,0000 50	EPA 8270E	11/11/22	0,2	< 0,00005
<b>ORGÂNICOS VOLÁTEIS (VOC)</b>						
Benzeno	µg/L	2	EPA 8260D	10/11/22	5	< 2
Diclorometano	µg/L	3	EPA 8260D	10/11/22	20	< 3
Etilbenzeno	µg/L	2	EPA 8260D	10/11/22	300	< 2
Monoclorobenzeno	mg/L	0,002	EPA 8260D	10/11/22	0,02	< 0,002
Tetracloroeto de Carbono	µg/L	2	EPA 8260D	10/11/22	4	< 2
Tetracloroetano	µg/L	2	EPA 8260D	10/11/22	40	< 2
Tolueno	µg/L	2	EPA 8260D	10/11/22	30	< 2
Tricloroetano	µg/L	2	EPA 8260D	10/11/22	4	< 2
Trihalometanos	mg/L	0,008	EPA 8260D	10/11/22	0,1	0,023
Xilenos	µg/L	5	EPA 8260D	10/11/22	500	< 5
1,2 - Dicloroetano	µg/L	2	EPA 8260D	10/11/22	5	< 2
<b>Padrão de Controle (SURROGATE) - Orgânicos Semi Voláteis (SVOC)</b>						
[surrogate] p-Terfenil-d14	%	-	EPA 8270E	11/11/22	-	83

[surrogate] 2-Fluorifenil	%	-	EPA 8270E	11/11/22	-	105
<b>Padrão de Controle (SURROGATE) - Orgânicos Voláteis (VOC)</b>						
[surrogate] p-Bromofluorbenzeno	%	-	EPA 8260D	10/11/22	-	78
<b>Propriedade(s) Organoléptica(s)</b>						
* Cor Aparente	CU	5,0	SMWW 2120B	08/11/22	15	5
Gosto e Odor	-	-	SMWW 2150B	08/11/22	6	0
* Turbidez	NTU	1,0	SMWW 2130B	08/11/22	5	1,8

<b>ENSAIOS SUBCONTRATADOS</b>						
Parâmetro	Unidade	LQ	Método	Data da Realização do Ensaio	Valores de Referência	Resultado
					PRC N°5 Anexo XX (Portaria N°888)	
<b>ORGÂNICO(S)</b>						
Ácidos Haloacéticos Totais(1)	mg/L	0,0720	PO-MA 033	17/11/22	0,08	< 0,072

Acrilamida(1)	µg/L	0,5	PO-MA 034	22/11/22	0,5	< 0,5
Aldicarbe+Ald Sulfona+Ald Sulfóxido(1)	µg/L	3,0	PO-MA 037	22/11/22	10	< 3
Atrazina + S-Clorotriazinas (1)	µg/L	2,0	PO-MA 037	22/11/22	2	< 2
Bromato (1)	mg/L	0,01	SMWW 4110 B	16/11/22	0,01	< 0,01
Carbendazim (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	120	< 1
Ciproconazol (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	30	< 1
Cloratos (1)	mg/L	0,10	SMWW 4110 B	16/11/22	0,7	< 0,1
Cloreto de Vinila (1)	µg/L	0,5	EPA 8260D	14/11/22	0,5	< 0,5
Clorito (1)	mg/L	0,10	SMWW 4110 B	16/11/22	0,7	< 0,1
Difenoconazol (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	30	< 1
Dimetoato + Ometoato (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	1,2	< 1
Dioxano (1)	µg/L	5,0	EPA 8260D	14/11/22	48	< 5
Diuron (1)	µg/L	5,0	PO-MA 037	22/11/22	20	< 5
Epicloridrina (1)	µg/L	0,3	EPA 8260D	14/11/22	0,4	< 0,3
Epoxiconazol (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	60	< 1
Fipronil (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	1,2	< 1
Flutriafol (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	30	< 1
Glifosato + AMPA(1)	µg/L	10,0	PO-MA 036	24/11/22	500	< 10
Hidroxi-Atrazina (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	120	< 1
Mancozebe + ETU (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	8	< 1
Metamidofós + Acefato (1)	µg/L	6,0	PO-MA 037	22/11/22	7	< 6
Metribuzim (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	25	< 1
Paraquate (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	13	< 1
Picloram (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	60	< 1
Profenofós (1)	µg/L	0,3	PO-MA 037	22/11/22	0,3	< 0,3
Propargito (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	30	< 1

Protioconazol + Proticonazoldestio(1)	µg/L	2,0	PO-MA 037	22/11/22	3	< 2
Tiametoxam (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	36	< 1
Tiodicarbe (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	90	< 1
Tiram (1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	6	< 1
2,4 - D(1)	µg/L	1,0	PO-MA 037	22/11/22	30	< 1

ENSAIOS DE LABORATÓRIO						
Parâmetro	Unidade	LQ	Método	Data da Realização do Ensaio	Valores de Referência	Resultado
					PRC N°5 Anexo XX (Portaria N°888)	
<b>Registro de Preparo</b>						
Extração SVOCs	-	-	EPA 3510C/3540C	08/11/22	-	-

### Legendas

(1) Ensaio subcontratado realizado pelo laboratório registrado sob o CRL0369 junto à ABNT NBR ISO/IEC 17025

(-): Não Aplicável.

(\*): Vide Observações.

L.Q.: Limite de Quantificação.

Norma(s) Técnica(s) do(s) Método(s) utilizado(s):

EPA: Environmental Protection Agency1963 - .

EPA: Environmental Protection Agency2341 - .

EPA: Environmental Protection Agency - 01 - 1994.

EPA: Environmental Protection Agency - - 1996.

SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 23ª - 2017.

EPA: Environmental Protection Agency - 04 - 2017.

PO-MA: Procedimento

Operacional - Método de

Análise2321 - . EPA:

Environmental Protection

Agency - 06 - 2018.

### Informações

- O(s) resultado(s) declarado(s) referem se somente ao(s) item(s) ensaiado(s).
- Este relatório somente poderá ser reproduzido na íntegra.
- As opiniões e interpretações expressas abaixo, não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório.
- Para amostra coletada pelo Cliente, o(s) resultado(s) do(s) ensaio(s) refere(m)-se somente à amostra recebida no laboratório, não havendo responsabilidade da QUIMBIOL® quanto à amostragem.
- A amostragem quando realizada pela Quimbiol está em conformidade ao POP 05.07.
- Regra de Decisão: a declaração de conformidade, quando aplicável, é realizada sem considerar a incerteza associada aos ensaios.
- A incerteza quando relatada é baseada na incerteza padrão combinada, multiplicada por um fator de abrangência  $k=2$ , para um nível de confiança de 95%. A incerteza da amostragem não foi considerada na declaração de conformidade por se tratar de amostra indicativa.
- Qualquer desvio identificado na etapa de conferência da amostra, é informado ao cliente para aprovação e continuidade do processo de análise. Neste caso, a validade dos resultados pode ser afetada.
- A situação de ATIVO de nossos Laboratórios bem como todo o escopo acreditado estão disponíveis para consulta no site do INMETRO pelo endereço eletrônico:  
[http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rble/detalhe\\_laboratorio.asp?Nom\\_apelido=QUIMBIOL](http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rble/detalhe_laboratorio.asp?Nom_apelido=QUIMBIOL)

<b>CONCLUSÃO DO RELATÓRIO</b>
O(s) resultado(s) do(s) ensaio(s) do(s) parâmetro(s) Alumínio Total não atende(m) ao(s) limite(s) da(s) legislação(ões) citada(s) na(s) coluna(s) do(s) valor(es) de referência.
<b>OBSERVAÇÕES</b>
Ensaio de Campo - Amostra com ensaio(s) realizado(s) fora da especificação, podendo essa condição afetar a validade do(s) resultado(s).
Cor Aparente: A Unidade CU (color unit) é equivalente a uH (unidade Hazen) e mg PtCo/L de acordo com o padronizado em cada legislação. Turbidez: A Unidade NTU (Nephelometric Turbidity Units) é equivalente a uT (unidade de Turbidez) de acordo com o padronizado em cada legislação.



LOURDES CRISTINA P. PELOGGIA  
CRBio 10500/01 - CRQ 04412249  
Diretor(a) Técnico(a)

Código para verificação de autenticidade deste documento: F8468C6CEFC9A9D25AB910DAAC8D076700CB58F7

Instruções para a verificação de autenticidade de documentos:

1º - Acesse a página: <http://www.quimbiol.com.br> e clique em área do cliente.

2º - Clique na opção "Validar Laudo";

3º - Digite o número da Amostra juntamente com os últimos 6 caracteres de autenticidade; 4º - Clique em Validar.

<b>DADOS REFERENTES À COLETA</b>									
<b>Nº da Amostra:</b>	8142/22		<b>Tipo da Amostra:</b>	Água Tratada					
<b>Identificação do Ponto:</b>	Água Tratada - Lagoa DCTA								
<b>Data Coleta:</b>	24/10/2022	<b>Hora:</b>	13:53	<b>Recebimento Laboratório:</b>	08/11/2022	<b>Hora:</b>	14:33	<b>Data Emissão:</b>	01/12/2022
<b>Coletor:</b>	COLETA (CLIENTE)					<b>RG:</b>			
<b>ENSAIOS DE LABORATÓRIO</b>									
Parâmetro	Unidade	LQ	Método	Data da Realização do Ensaio	Valores de Referência		Resultado		
					PRC N°5 Anexo XX (Portaria N° 888)				
<b>INORGÂNICO(S)</b>									
Urânio Total	mg/L	0,01	EPA 200.7	01/12/22	0,03	< 0,01			
<b>ORGÂNICOS VOLÁTEIS (VOC)</b>									
1,2 - Diclorobenzeno	mg/L	0,0001	EPA 8260D	10/11/22	0,001	< 0,0001			
1,4 - Diclorobenzeno	mg/L	0,0003	EPA 8260D	10/11/22	0,0003	< 0,0003			

## Legendas

(1) Ensaio subcontratado realizado pelo laboratório registrado sob o CRL0369 junto à ABNT NBR ISO/IEC 17025

(-): Não Aplicável.

(\*): Vide Observações.

L.Q.: Limite de Quantificação.

Norma(s) Técnica(s) do(s) Método(s) utilizado(s):

EPA: Environmental Protection Agency1963 - .

EPA: Environmental Protection Agency2341 - .

EPA: Environmental Protection Agency - 01 - 1994.

EPA: Environmental Protection Agency - - 1996.

SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 23ª - 2017.

EPA: Environmental Protection Agency - 04 - 2017.

PO-MA: Procedimento

Operacional - Método de

Análise2321 - . EPA:

Environmental Protection

Agency - 06 - 2018.

## Informações

- a) O(s) resultado(s) declarado(s) referem se somente ao(s) item(s) ensaiado(s).
- b) Este relatório somente poderá ser reproduzido na íntegra.
- c) As opiniões e interpretações expressas abaixo, não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório.
- d) Para amostra coletada pelo Cliente, o(s) resultado(s) do(s) ensaio(s) refere(m)-se somente à amostra recebida no laboratório, não havendo responsabilidade da QUIMBIOL® quanto à amostragem.
- e) A amostragem quando realizada pela Quimbiol está em conformidade ao POP 05.07.
- f) Regra de Decisão: a declaração de conformidade, quando aplicável, é realizada sem considerar a incerteza associada aos ensaios.
- g) A incerteza quando relatada é baseada na incerteza padrão combinada, multiplicada por um fator de abrangência  $k=2$ , para um nível de confiança de 95%. A incerteza da amostragem não foi considerada na declaração de conformidade por se tratar de amostra indicativa.
- h) Qualquer desvio identificado na etapa de conferência da amostra, é informado ao cliente para aprovação e continuidade do processo de análise. Neste caso, a validade dos resultados pode ser afetada.
- i) A situação de ATIVO de nossos Laboratórios bem como todo o escopo acreditado estão disponíveis para consulta no site do INMETRO pelo endereço eletrônico:  
[http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rble/detalhe\\_laboratorio.asp?Nom\\_apelido=QUIMBIOL](http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rble/detalhe_laboratorio.asp?Nom_apelido=QUIMBIOL)

### CONCLUSÃO DO RELATÓRIO

O(s) resultado(s) do(s) ensaio(s) atende(m) ao(s) limite(s) da(s) legislação(ões) citada(s) na(s) coluna(s) do(s) valor(es) de referência.

### OBSERVAÇÕES

Ensaio de Campo - Amostra com ensaio(s) realizado(s) fora da especificação, podendo essa condição afetar a validade do(s) resultado(s).

Cor Aparente: A Unidade CU (color unit) é equivalente a uH (unidade Hazen) e mg PtCo/L de acordo com o padronizado em cada legislação.

Turbidez: A Unidade NTU (Nephelometric Turbidity Units) é equivalente a uT (unidade de Turbidez) de acordo com o padronizado em cada legislação.



---

LOURDES CRISTINA P. PELOGGIA  
CRBio 10500/01 - CRQ 04412249  
Diretor(a) Técnico(a)

Código para verificação de autenticidade deste documento: F8468C6CEFC9A9D25AB910DAAC8D076700CB58F7

Instruções para a verificação de autenticidade de documentos:

- 1° - Acesse a página: <http://www.quimbiol.com.br> e clique em área do cliente.
- 2° - Clique na opção "Validar Laudo";
- 3° - Digite o número da Amostra juntamente com os últimos 6 caracteres de autenticidade;
- 4° - Clique em Validar.

## FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO <p style="text-align: center;">DM</p>	2. DATA <p style="text-align: center;">27 de junho de 2023</p>	3. REGISTRO N° <p style="text-align: center;">DCTA/ITA/DM-031/2023</p>	4. N° DE PÁGINAS <p style="text-align: center;">140</p>
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: <p>Estudo dos efeitos do gás ozônio no tratamento dos corpos d'água bruta para uso no hospital de campanha.</p>			
6. AUTOR(ES): <p><b>Fabrizia Henriques Bonates</b></p>			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): <p>Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA</p>			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: <p>Tratamento de água; Hospital de campanha; Ozonização no tratamento de água.</p>			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: <p>Ozônio; Tratamento de água; Elementos de físico-química; Óxidos de alumínio; Plasma de oxigênio; Desinfecção; Física de plasmas; Física.</p>			
10. APRESENTAÇÃO: <span style="float: right;"><b>( X ) Nacional</b>    ( ) Internacional</span> <p>ITA, São José dos Campos. Curso de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Física. Área de Física de Plasmas. Orientador: Prof. Dr. Argemiro Soares da Silva Sobrinho; coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Liana Kalczuk. Defesa em 20/06/2023. Publicada em 2023.</p>			
11. RESUMO: <p>A disponibilidade e a qualidade da água são de extrema importância para as Forças Armadas e Hospitais de Campanha (HCAMP), pois a contaminação acidental ou intencional pode afetar a saúde das tropas militares. Este trabalho teve como objetivo estudar os efeitos do gás ozônio no tratamento de diferentes amostras de água bruta de rios e lagoas, que podem ser fontes de água para o HCAMP. Foram coletadas amostras de água bruta de quatro pontos na região de São José dos Campos, SP, e tratadas com ozônio. As amostras foram analisadas quanto a mudanças físico-químicas antes e após a aplicação de ozônio. Além disso, avaliou-se a ação desinfetante do ozônio e o tempo necessário para a desinfecção das amostras. Também foram analisadas as modificações físico-químicas e microbiológicas quando a água foi submetida à ozonização combinada com filtração lenta. Os resultados mostraram que o ozônio foi eficaz na desinfecção das amostras, eliminando microrganismos. No entanto, a ozonização sozinha não foi suficiente para remover completamente compostos indesejados, como alumínio, cor e turbidez. A filtração prévia à ozonização melhorou a potabilidade da água, mas alguns compostos permaneceram acima dos limites aceitáveis. A ozonização mostrou-se eficaz na destruição de microrganismos, mas em águas fortemente contaminadas, ela deve ser combinada com outros processos, como coagulação, floculação e filtração, para garantir os níveis exigidos de potabilidade para o uso humano. Quanto mais limpo o corpo de água disponível para o HCAMP maior a chance de que a ozonização sozinha consiga elevar a água bruta aos níveis de potabilidade humana exigidos pela legislação.</p>			
12. GRAU DE SIGILO: <p style="text-align: center;"><b>( X ) OSTENSIVO</b>      ( ) RESERVADO      ( ) SECRETO</p>			