

Universidade Federal de Uberlândia

Instituto de Química

Curso de Química licenciatura

BRUNA LUÍZA CAVALCANTE BARBOSA

**MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA TRATADA ESTOCADA NOS  
RESERVATÓRIOS DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO DMAE  
PELA ANÁLISE DO DECAIMENTO DO CLORO RESIDUAL**

Uberlândia -MG

2021

**BRUNA LUÍZA CAVALCANTE BARBOSA**

**MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA TRATADA ESTOCADA NOS  
RESERVATÓRIOS DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO DMAE  
PELA ANÁLISE DO DECAIMENTO DO CLORO RESIDUAL**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentada à banca examinadora  
do Curso de Química Licenciatura  
da Universidade Federal de  
Uberlândia como requisito parcial  
para obtenção do título de  
licenciado em Química.**

**Orientador: Rodrigo Alejandro  
Abarza Muñoz**

**Uberlândia-MG  
2021**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
 Instituto de Química  
 Av. João Naves de Ávila, 2121 - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902  
 Telefone: (34) 3239-4264 -



## ATA DE DEFESA - GRADUAÇÃO

Curso de Graduação em:	Licenciatura em Química				
Defesa de:	GQL042 - Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)				
Data:	12/07/2021	Hora de início:	09:00	Hora de encerramento:	11:00
Matrícula do Discente:	11511QMI224				
Nome do Discente:	Bruna Luíza Cavalcante Barbosa				
Título do Trabalho:	Monitoramento da qualidade da água tratada estocada nos reservatórios do sistema de abastecimento de água do DMAE pela análise do decaimento do cloro residual				

Reuniu-se em sala virtual na plataforma googlemeet <https://meet.google.com/aot-otgr-xuu>, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Curso de Graduação em Licenciatura em Química, assim composta: Professores Dr. Alex Domingues Batista - IQUFU; João Flávio da Silveira Petrucci - IQUFU e orientador da candidata, Prof. Dr. Rodrigo Alejandro Abarza Munoz.

Iniciando os trabalhos, o(a) presidente da mesa, Prof. Dr. Rodrigo Alejandro Abarza Munoz, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao discente a palavra, para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do curso.

A seguir o(a) senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

( X ) Aprovada Nota [\_75\_] (Somente números inteiros)

OU

( ) Aprovado(a) sem nota.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.

Documento assinado eletronicamente por Rodrigo Alejandro Abarza Munoz, Professor(a) do Magistério Superior, em 12/07/2021, às 10:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por Alex Domingues Batista, Professor(a) do Magistério Superior, em 12/07/2021, às 10:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por João Flávio da Silveira Petrucci, Professor(a) do Magistério Superior, em 12/07/2021, às 10:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador 2897540 e o código CRC 9A05BD97.

## **Dedicatória**

Aos meus pais, Claudio e Suely,  
minha irmã, Bárbara, a toda minha  
família e amigos.

## Agradecimentos

Agradeço primeiramente à **Deus**, pela sabedoria, por me ajudar a ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo o curso e força para conseguir alcançar os meus objetivos.

A **minha família**, em especial aos meus pais, Claudio e Suely, minha irmã, Bárbara, por sempre me apoiarem e, incentivarem, mesmo à distância, nos momentos difíceis e compreenderem a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho., se fizerem presentes em todos os meus desafios e conquistas.

Aos **meus amigos** pela parceria e companheirismo.

Aos **professores**, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional.

A **Universidade Federal de Uberlândia** por todo o aprendizado.

Ao meu orientador **Rodrigo Muñoz** pela paciência e parceria.

## RESUMO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso apresenta um estudo de caso acerca do tema monitoramento da qualidade da água tratada estocada nos reservatórios do sistema de abastecimento de água do DMAE, pela análise do decaimento do cloro residual. O processo de tratamento de desinfecção usando cloro é o mais utilizado pelas prestadoras de serviço de saneamento, pois tem ação de inibir ação de organismos patogênicos causadores de enfermidades, além de ter um baixo custo quando comparado aos outros processos de desinfecção. O cloro adicionado na água se hidrolisa dando origem ao ácido hipocloroso e ao íon hipoclorito, conhecido como cloro livre. O sistema de abastecimento de água do DMAE de Uberlândia armazena a água tratada em reservatórios antes de destina-la ao consumidor. Devido à necessidade de abastecimento constante, essa água pode sofrer alterações na sua qualidade, principalmente na concentração de cloro, ocasionando seu decaimento, comprometendo sua qualidade. Com a análise do cloro residual livre nos reservatórios que a ETA Bom Jardim abastece, foi possível determinar que a concentração do desinfetante atende a portaria GM/MS n°888/2021, com valor mínimo mínimo permitido, 0,2 mg/L e o máximo de 2,0 mg/L. Os valores de pH também estão dentro do que a portaria recomenda e que a temperatura por ser constante não interfere no processo de decaimento. A distância dos reservatórios da ETA foi um ponto importante observado, pois ela influencia no decaimento, assim como a tubulação.

Palavras-chaves: decaimento do cloro, desinfecção da água, padrões de potabilidade, qualidade da água, DMAE Uberlândia.

## **ABSTRACT**

This Course Conclusion Paper presents a case study on the subject of monitoring the quality of treated water stored in the reservoirs of the DMAE water supply system, through the analysis of the decay of residual chlorine. The disinfection treatment process using chlorine is the most used by sanitation service providers, as it inhibits the action of disease-causing pathogenic organisms, in addition to having a low cost when compared to other disinfection processes. Chlorine added to water hydrolyzes into hypochlorous acid and hypochlorite ion, known as free chlorine. Uberlândia's DMAE water supply system stores treated water in reservoirs before it is sent to the consumer. Necessary to the need of constant supply, this water can change in its quality, mainly in the chlorine concentration, causing its decay, compromising its quality. With an analysis of the free residual chlorine in the reservoirs that ETA Bom Jardim supplies, it was possible to determine that the concentration of the disinfectant meets the GM / MS Ordinance No. 888/2021, with a minimum allowed value, 0.2 mg / L and the maximum of 2.0 mg / L. The pH values are also within what the ordinance recommends and that the temperature, being constant, does not interfere in the decay process. The distance from the ETA reservoirs was an important point observed, as it influences the decay, as well as the pipeline.

Keywords: chlorine decay, water disinfection, potability standards, water quality, DMAE Uberlândia.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação entre ácido hipocloroso e o íon hipoclorito em função do pH (águas quimicamente puras para as temperaturas de 0 a 20 °C. (Fonte: Di Bernardo; Danta, 2005 apud GARCIA, 2018). .....	16
Figura 2 - Curva de cloro residual em função da dosagem (WEBER, 1940) .....	17
Figura 3 – Componentes do decaimento do cloro (Fonte: VIEIRA <i>et al.</i> , apud SALGADO, 2008).....	18
Figura 4 - Reações do decaimento do cloro numa tubulação de ferro (Fonte: ROSSMAN apud SALGADO, 2008).....	18
Figura 5 – Fluxograma dos reservatórios da ETA Bom Jardim (Fonte: própria) .....	21
Figura 6 – Béquer (Fonte: Google).....	21
Figura 7 – Frasco falconete de vidro (Fonte: própria) .....	22
Figura 8 - Colorímetro digital portátil Del Lab (Fonte: Propria).....	22
Figura 9 - Fluxograma das distancias dos reservatórios da ETA Bom Jardim (Fonte: própria).....	25

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais doenças de veiculação hídrica.....	13
Tabela 2 - Resultado dos dados coletados de Cloro Residual Livre da água. ....	23
Tabela 3 - Resultados dos dados coletados de temperatura da água .....	23
Tabela 4 - Resultados dos dados coletados do pH da água. ....	24

## SUMÁRIO

1. Introdução.....	10
2. Revisão teórica.....	11
2.1. Tratamento de água.....	11
2.2. Desinfecção da água.....	12
2.3. Agentes Cloradores.....	14
2.4. Decaimento de cloro .....	16
2.5. Cloro residual .....	19
3. Objetivos.....	19
3.1. Geral: .....	19
3.2. Especifico:.....	19
4. Justificativa .....	20
5. Metodologia .....	20
6. Resultados e discussões .....	23
7. Conclusão.....	26
8. Bibliografia .....	27

## 1. *Introdução*

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento básico, no Brasil 97,2% da população tem acesso a água potável, ou seja, 2,8% da população ainda não tem água com condições básicas para uso sem riscos para a saúde. (ANA, 2019)

A água pode ser classificada em função de algumas características, ela pode ser organoléptica de fácil percepção como cor, odor, turbidez e sabor, e também com características físico-químicas que necessitam de análises laboratoriais. Independente das características, a maioria das fontes de água é imprópria para consumo, decorrente de materiais ou mesmo microrganismos presentes que podem causar doenças.

Os limites dos parâmetros físico-químicos, microbiológicos e outros sobre o controle da qualidade da água para consumo humano, ou seja, o padrão de potabilidade vigente no Brasil é estabelecido pela Portaria Consolidação nº 888 de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021).

Nas estações de tratamento de água (ETA), utiliza-se tratamento convencional da água bruta captada no manancial de abastecimento, passando pelas etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, fluoretação, desinfecção e por fim ajuste do pH, para estarem de acordo com os padrões de potabilidade estabelecidos. (Duarte,2018)

A desinfecção da água através do cloro é o processo de tratamento convencional mais utilizado pelas prestadoras de serviço de saneamento, pois além de destruir ou inibir a ação de organismos patogênicos, causadores de enfermidades de veiculação hídrica, apresenta vantagens nas aplicações e baixo custo, quando comparados aos outros processos de desinfecção (ozônio, ultravioleta, eletrolítico).

Em sua aplicação, entretanto, podem ser utilizadas diferentes substâncias comerciais: hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio e cloro gasoso (Daniel, 2001).

O cloro adicionado à água hidrolisa-se, originando íons hipoclorito e ácido hipocloroso, conhecido como cloro livre. O  $\text{Cl}_2$  é predominante em pH menor que 2, próximo ao pH 5 o que predomina é o HOCl. A forma  $\text{ClO}^-$  predomina em pH 10 (Bazzoli, 1993; Degrémont, 1979).

Condições hidráulicas como vazão e pressão, velocidade de escoamento, tempo de residência na tubulação, diâmetro da mesma, reações na massa líquida entre o cloro residual com substâncias orgânicas e inorgânicas, como amônia, sulfeto, íons ferro, íons de magnésio e matéria orgânica; e reações de decaimento nas paredes da tubulação, as quais são influenciadas pelo material, podem influenciar no consumo do cloro residual ao longo da distribuição. (SALGADO *apud* MELO, SILVA, 2019)

O sistema de abastecimento de água do DMAE de Uberlândia armazena a água tratada em reservatórios antes de destina-la ao consumidor, devido à necessidade de abastecimento constante. Essa água estocada pode sofrer alteração na sua qualidade, principalmente na concentração de cloro, ocasionando seu decaimento, comprometendo sua confiabilidade.

O presente estudo teve por objetivo analisar o decaimento do cloro nos reservatórios do sistema de abastecimento de água do DMAE - Uberlândia, considerando o padrão de Potabilidade vigente no Brasil é estabelecido pela portaria Consolidação nº 888 de 888 de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021).

Esse estudo é importante para o monitoramento do residual de cloro no sistema de abastecimento de água do DMAE de Uberlândia, principalmente nos reservatórios, pois, depois que a água tratada sai da ETA, ela passa por alguns reservatórios, e em alguns casos no ultimo reservatório, a concentração de cloro livre, chegava abaixo no permitido pela portaria, precisando ser feita a redosagem de cloro, com isso, este estudo busca fazer o monitoramento do cloro nos reservatórios.

## **2. Revisão teórica**

### **2.1. Tratamento de água**

Existem dois tipos de mananciais, os subterrâneos e os superficiais. A localização da captação, tipo de manancial, poluentes, clima entre outros que determinam a escolha da tecnologia a ser usada no tratamento de água. (FONTANIVE, 2005)

A tecnologia usada no tratamento da água bruta, que abrange um conjunto de processos e operações físico-químicas, que garante a potabilidade da água, que podem ser realizados por meio de uma Estação de Tratamento de Água (ETA). (LIBÂNIO *apud* GARCIA 2018).

Transmissões de doenças de veiculação hídrica, podem ser causadas pela falta de tratamento da água e também substâncias tóxicas. (BRITO et al., 2015; DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

As estações de tratamento de água, são também parte da indústria de saúde pública, elas proporcionam a redução de doenças de veiculação hídrica. (NOGUEIRA, 2011).

A classificação das águas doces, salobras e salinas do Brasil, que determina valores máximos e mínimos dos parâmetros de qualidade de cada classe de águas, é dada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA por meio da Resolução 357 de 17 de março de 2005. (GARCIA, 2018)

O Art. 32 da Consolidação nº 888 de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde, regulamenta a obrigatoriedade da manutenção de 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede) e nos pontos de consumo (BRASIL, 2021, p. 12)

Esses níveis adotados pelo Ministério da Saúde têm o objetivo de garantir que a população não estará exposta a riscos.

Através dos processos de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, fluoretação e ajuste de pH, que a água é tratada numa ETA convencional. (GARCIA, 2018)

O tratamento de água é realizado para promover a higiene, como remoção de bactérias, protozoários, vírus e microrganismos em geral, redução de impurezas e teores de compostos orgânicos elevados; correção da cor; redução da corrosividade, dureza, turbidez, ferro, manganês, odor e sabor. (NETTO, RICHTER *apud* GARCIA, 2018)

## **2.2. Desinfecção da água**

A água natural geralmente não é habitat dos microrganismos patogênicos, sua eliminação ocorre naturalmente por um processo conhecido como autodepuração,

porém por questões de saúde se adota a etapa de desinfecção de água para consumo.

Na tabela 1 são apresentados as principais doenças de veiculação hídricas e respectivos agentes etiológicos, sintomas e fontes de contaminação.

**Tabela 1 - Principais doenças de veiculação hídrica.**

<b>Doença</b>	<b>Agente etiológico</b>	<b>Sintomas</b>	<b>Fontes de contaminação</b>
Febre tifoide e paratifoide	<i>Salmonella typhi</i> <i>Salmonella paratyphi A e B</i>	Febre elevada, diarreia	Fezes humanas
Disenteria bacilar	<i>Shigella dysenteriae</i>	Diarreia	Fezes humanas
Disenteria amebiana	<i>Entamoeba histolytica</i>	Diarreia, abscesso no fígado e intestino delgado	Fezes humanas
Cólera	<i>Vibrio cholerae</i>	Diarreia e desidratação	Fezes humanas e águas costeiras
Giardíase	<i>Giardia lamblia</i>	Diarreia, náusea, indigestão, flatulência	Fezes humanas e de animais
Hepatite A e B	Vírus da hepatite A e B	Febre, icterícia	Fezes humanas
Poliomielite	Vírus da poliomielite	Paralisia	Fezes humanas
Criptospirose	<i>Cryptosporidium parvum</i> , <i>Cryptosporidium muris</i>	Diarreia, anorexia, dor intestinal, náusea, indigestão, flatulência	Fezes humanas e de animais
Gastroenterite	<i>Escherichia coli</i> , <i>compylabacter jejuni</i> , <i>Yersina enterocolitica</i> . <i>Aemomonas hydrophyla</i> , Rotavírus e outros vírus entéricos.	Diarreia	Fezes humanas

(Adaptado de: Fonte: Daniel, 2001).

O objetivo da desinfecção é a destruição ou inativação de microrganismos patogênicos presentes na água, que dão origem a doenças como bactérias, protozoários e vírus, o objetivo é a eliminar os organismos patogênicos. (GARCIA.2018)

Os mecanismos dos desinfetantes são: a) destruição da estrutura celular; b) interferência no metabolismo com inativação de enzimas; c) interferência na biossíntese e no crescimento celular, evitando a síntese de proteínas, ácidos nucleicos e coenzimas (HELLER; PÁDUA, 2010).

Além da temperatura, para sobreviverem na água, os organismos dependem também de fatores ecológicos, fisiológicos e morfológicos, como pH, turbidez, oxigênio, nutrientes, resistência a substâncias tóxicas e habilidade na formação de esporos. (GARCIA, 2018)

Agentes desinfetantes, podem ser usados na oxidação de compostos inorgânicos, remoção de compostos orgânicos que alteram a cor na água, controlar também sabor e odor, impossibilitar o crescimento de algas em decantadores e filtros, e manter a estabilidade biológica no sistema de reservação e distribuição de água. (ALVARENGA, 2010).

Diversos meios podem ser usados na desinfecção da água, os processos de sedimentação, coagulação e filtração removem parte dos organismos patogênicos. O tratamento físico (aplicação de calor, irradiação, luz ultravioleta e outros agentes físicos); íons metálicos (cobre e prata); compostos alcalinos; tensoativos (sais de amônia quaternário) e oxidantes (halogênios, ozônio e outros compostos orgânicos e inorgânicos) são processos específicos de desinfecção. (LAUBUSCH *apud* MAYER, 1994)

A qualidade da água bruta está associada diretamente a escolha apropriada do desinfetante a ser utilizado, impedindo a formação de produtos indesejáveis. O cloro pode estar presente na água propositalmente por ser o produto mais utilizado na etapa de desinfecção da água, e quando adicionado à água produz diferentes reações químicas, havendo consumo desse cloro pela matéria orgânica presente, assim uma quantidade maior de cloro deve ser adicionada, visando manter o residual de cloro livre (CRL), sendo necessária a existência de CRL em todos os pontos de distribuição. (TEIXEIRA et al., 2012).

### **2.3. Agentes Clorados**

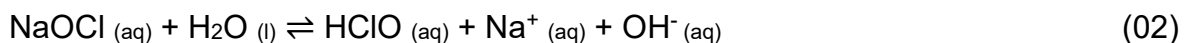
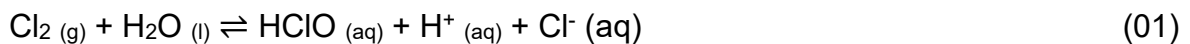
A descoberta do cloro foi em 1808 por *Humphrey Davy*, e no laboratório o bacteriologista *Konch*, estudou suas propriedades bactericidas. *American Public Health* (APHA) em 1886, aprovou o cloro como desinfetante. (CAVALARI, 2008)



A desinfecção da água se dá com o uso de cloro, obtido com a aplicação de hipoclorito de sódio (NaOCl) pela decomposição eletrolítica do sal, como o intuito de inativar microrganismos patogênicos. Historicamente o cloro era empregado apenas em casos epidemiológicos. Em 1902 na Bélgica, se adotou de forma contínua a cloração, por ser um forte agente oxidante, com o aumento do pH a reatividade do cloro diminui, e com altas temperaturas há um aumento da velocidade de reação. (MAYER, 1994)

Os agentes cloradores de origem inorgânica (gás cloro, hipoclorito de sódio e hipoclorito de cálcio) por questões de tecnologia de produção, custo, armazenamento, transporte e fácil aplicação é o desinfetante mais empregado no tratamento na etapa de desinfecção da água. Os produtos mais utilizados atualmente é o gás cloro (Cl<sub>2</sub>), e o hipoclorito de sódio (NaOCl). (CAVALARI, 2008)

Segundo Cavalari 2008, esses compostos são hidrolisados assim que entra contato a água formando o ácido hipocloroso (HOCl) de acordo com a reação (01):



O ácido hipocloroso em solução aquosa sofre dissociação parcial, formando o íon hipoclorito (ClO<sup>-</sup>), possui também efeito desinfetante com menos eficiência que o ácido hipocloroso. Essa dissociação do ácido hipocloroso em íon hipoclorito depende do pH do meio, (GARCIA, 2018) conforme mostrado na reação 03:



Para temperaturas de 0 e 20°C, a figura 01 mostra a relação entre o ácido hipocloroso e o íon hipoclorito em função do pH.

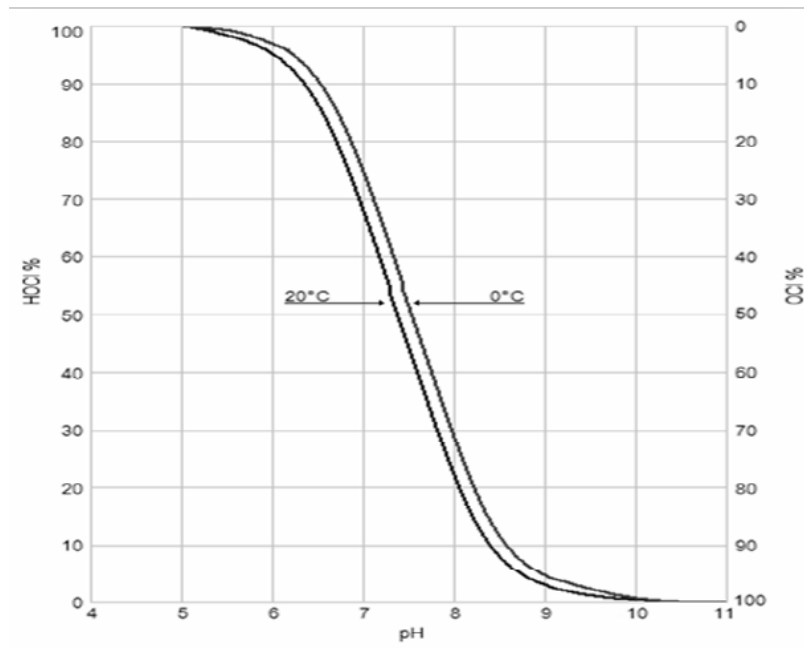


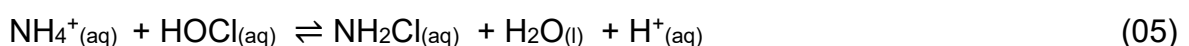
Figura 1 - Relação entre ácido hipocloroso e o íon hipoclorito em função do pH (águas quimicamente puras para as temperaturas de 0 a 20 °C. (Fonte: Di Bernardo; Danta, 2005 apud GARCIA, 2018).

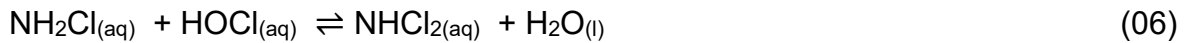
Em pH entre 7 e 8, há presença das duas espécies, para pH menor que 7, predomina o ácido hipocloroso, já para pH acima de 8 predomina o íon hipoclorito, essa relação entre as duas espécies com o pH do meio é importante pois há uma diferença na eficiência desinfetante delas. O somatório dessas duas espécies na água é chamado de cloro residual livre.

#### 2.4. Decaimento de cloro

A demanda de cloro é a diferença na dosagem de cloro e o cloro residual, e essa demanda é causada por reações pela luz ultravioleta, compostos inorgânicos (Mn, Fe,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ ) por reação redox e reações com amônia. (EPA apud PONTES, 1993)

Na presença de alguns constituintes na água, o cloro pode reagir e se transformar em formas químicas de menor poder desinfetante. Na presença de amônia e compostos amoniacais, são formados compostos clorados ativos, as cloraminas. Nas reações 04,05 e 06, o ácido hipocloroso combinado com a amônia, reagem formando respectivamente monoclорamina ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ), dicloramina ( $\text{NHCl}_2$ ) tricloramina ou tricloreto de nitrogênio ( $\text{NCl}_3$ ). (MAYER, 1994)





O cloro na forma de cloramina é denominado cloro residual combinado. O somatório de cloro residual livre e cloro combinado, que gera o cloro total. Quando ocorre a oxidação total das cloraminas, o cloro adicionado é convertido em cloro livre. (MINISTERIO DA SAUDE, 2006)

Quando há o aumento na dosagem de cloro, o residual de cloro aumenta até um máximo, fazendo com a relação da concentração molar de cloro ( $[\text{Cl}_2]$ ) e de amônia ( $[\text{NH}_3]$ ) seja igual a 1. Após esse ponto, aumentando a dosagem de cloro, há uma diminuição do cloro residual, atingindo um valor mínimo denominada dosagem “*breakpoint*” onde cloro residual total é zero. Após o *breakpoint* aumentando a dosagem de cloro também irá aumenta o cloro residual livre. WEBER (1940), em experimento, colocou uma dosagem de cloro em contato de trinta minutos com a água e a dosagem de 70 mg/L foi suficiente para atingir o *breakpoint*. (PONTES, 1993)

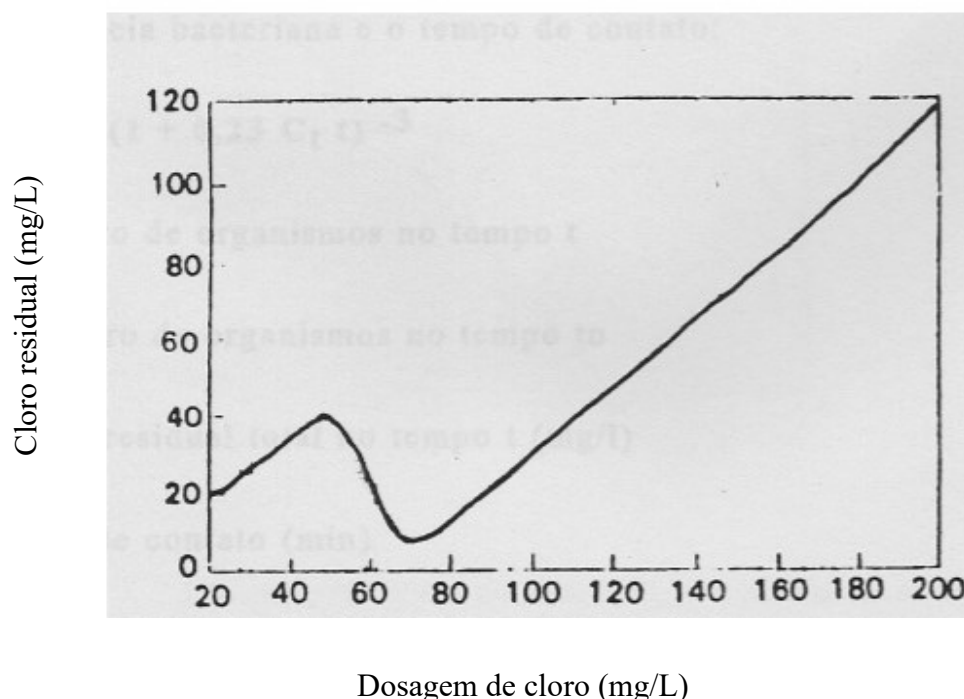


Figura 2 - Curva de cloro residual em função da dosagem (WEBER, 1940)

Os fatores que influenciam na demanda de cloro é o consumo de cloro devido às reações com compostos orgânicos no corpo do escoamento; o consumo de cloro devido a reações com biofilme formado na parede da tubulação e o consumo de cloro no processo de corrosão. (PIEREZAN, 2009)

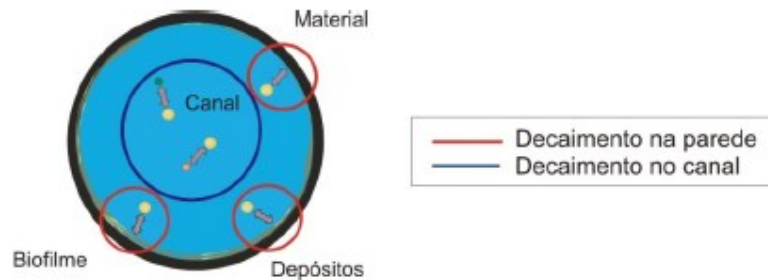


Figura 3 – Componentes do decaimento do cloro (Fonte: VIEIRA *et al.*, apud SALGADO, 2008)

As características da água na saída do tratamento podem se alterar ao longo da rede de distribuição, podendo haver diminuição da desinfecção residual. Na Figura 4 é mostrada um esquema das reações envolvidas no decaimento do cloro no escoamento com matéria orgânica. (SALGADO, 2008)

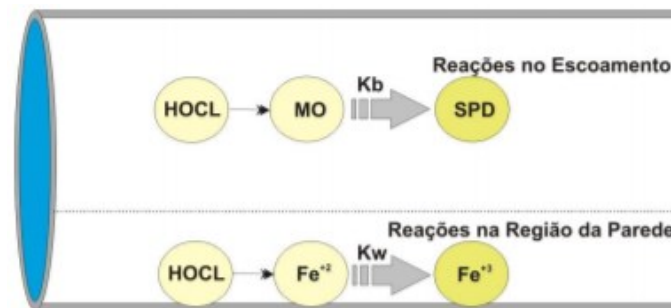


Figura 4 - Reações do decaimento do cloro numa tubulação de ferro (Fonte: ROSSMAN apud SALGADO, 2008)

As reações que ocorrem com o cloro do material da parede da tubulação, e ao biofilme (mistura complexa de microrganismos e materiais inorgânicos acumulados entre uma matriz orgânica aderida à superfície interna do sistema de distribuição), coliformes totais e alguns organismos patogênicos, são contaminantes quem podem aderir a parede do biofilme, onde muito desses contaminantes podem sobreviver no biofilme e ficam protegidos da ação do desinfetante. (PIEREZAN, 2009)

Essa demanda de cloro na parede da tubulação, pode ser atribuída a idade e ao material da tubulação, diâmetro, temperatura e rugosidade e com o aumento da velocidade do escoamento a taxa de decaimento de cloro aumenta também. (CLARK & HAUGHT apud SALGADO, 2008)

### **2.5. Cloro residual**

A presença de cloro residual no sistema de abastecimento tem o propósito de preservar a qualidade da água contra o desenvolvimento de microrganismos podem ser prejudiciais à saúde. Para haver a conservação desse residual de cloro, usualmente é colocado uma dosagem maior de cloro nas estações de tratamento, porém essa estratégia pode causar principalmente em pontos mais próximos problemas de sabor e odor, e eventualmente a geração de subprodutos cancerígenos. (CLARK et al, ROUHIAINEN et al, apud SALGADO, 2008)

## **3. Objetivos**

### **3.1. Geral:**

O objetivo principal deste trabalho de pesquisa foi estimar e monitorar a qualidade da tratada, estocada nos reservatórios do sistema de abastecimento do DMAE, pela análise do decaimento do cloro residual.

### **3.2. Específico:**

- Conhecer o sistema de abastecimento de Uberlândia.
- Caracterizar os reservatórios
- Verificar a qualidade da tratada, por meio de análise do decaimento do cloro, na saída do tratamento e na rede de distribuição da Estação de Tratamento de Água, quanto aos valores referentes á dosagem do cloro definidas por lei específica.

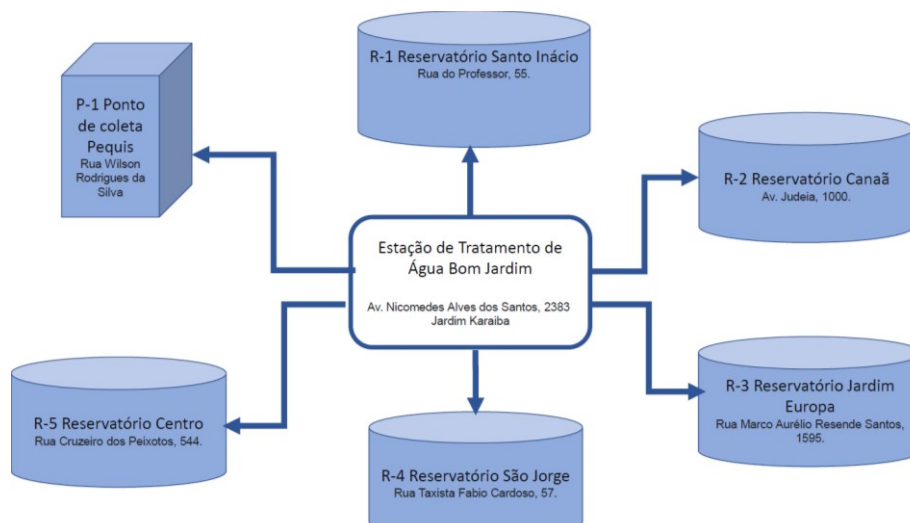
#### **4. Justificativa**

Segundo a Portaria Consolidação nº 888 de 28 de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021), estabelece um padrão de potabilidade, portanto o monitoramento da qualidade da água tratada do DMAE é de suma importância, visto que o descumprimento da portaria pode gerar muitos problemas, para a população como doenças, e para autarquia, gerando multa ou processos. Esse monitoramento é feito periodicamente na saída de tratamento e na rede de distribuição, porém nos reservatórios não são feitas essas análises, e durante essa armazenagem, vários fatores podem influenciar nessa qualidade da água, e interferindo na concentração de cloro livre.

#### **5. Metodologia**

Inicialmente, foram realizadas coletas de água nos reservatórios que fazem parte do sistema de distribuição da ETA Bom Jardim, localizado na rua no bairro Jardim Karaiba, pertencente à cidade de Uberlândia.

As coletas foram iniciadas na ETA Bom Jardim que abastece os reservatórios denominados como: reservatório Santo Inácio (R-1), reservatório do Canaã (R-2), reservatório Jardim Europa (R-3), reservatório São Jorge (R-4), reservatório do Centro (R-5) e ponto de coleta no Pequis (P-1) como fluxograma na Figura 6. Na ETA Bom Jardim, foram coletadas amostras da saída do tratamento de água da ETA. Já nos demais reservatórios e ponto de coleta as amostras foram coletadas de torneiras localizadas na parte inferior dos reservatórios.



**Figura 5 – Fluxograma dos reservatórios da ETA Bom Jardim (Fonte: própria)**

O material de coleta foi preparado de modo a reduzir o máximo de interferentes que ocasionassem deturpação nos resultados obtidos. A amostra foi coletada em um béquer apresentado na figura 7, devidamente ambientado antes de cada amostra, como o frasco falconete de vidro na figura 8 utilizado para a leitura em um colorímetro digital portátil, da marca Del Lab figura 9, que apresenta uma precisão de  $\pm 0,02$  mg/L e leitura de 0,00 a 2,50 mg/l e de 2,6 a 5,0 mg/l, diodo emissor de luz-LED, sensor fotodiodo de silício.



**Figura 6 – Béquer (Fonte: Google)**



Figura 7 – Frasco falconete de vidro (Fonte: própria)



Figura 8 - Colorímetro digital portátil Del Lab (Fonte: Propria)

Se precedeu a análise de decaimento de cloro residual livre utilizando o método DPD colorimétrico. Este método é considerado bastante simples por fornecer resultados rápidos e confiáveis para medições de campo e no laboratório, visto que o DPD (N,Ndietil-p-fenilendiamina) reage rapidamente com o cloro livre, tornando a coloração da solução rósea, de modo que quanto maior for a



concentração de cloro na amostra, maior a intensidade da coloração e vice-versa (SOARES et al., 2016).

Os dados obtidos em campo foram registrados numa planilha para organização dos resultados posteriormente.

Para o estudo de decaimento de cloro, foi preciso analisar a concentração de cloro na saída do tratamento e da medição da concentração de cloro restante nas amostras, empregando DPD na forma de pastilha, coletadas em cada reservatório.

No momento de cada leitura, foi analisado o pH e a temperatura das amostras a fim de verificar uma possível influência entre os parâmetros.

## 6. Resultados e discussões

Após as amostragens semanais, foram obtidos os dados de concentração de cloro residual livre, temperatura e pH os quais estão apresentados de forma resumida, respectivamente, nas Tabelas 2, 3 e 4, separados por bairro.

**Tabela 2 - Resultado dos dados coletados de Cloro Residual Livre da água.**

Análise	Bairro	Dia 01/12	Dia 08/12	Dia 15/12
Cloro residual livre (ppm)	ETA Bom Jardim- saída do tratamento	1,52	1,53	1,41
	R-1 Santo Inácio	1,27	1,41	1,26
	R-2 Canaã	1,02	1,16	0,90
	R-3 Jardim Europa	0,49	1,06	0,44
	R-4 São Jorge	0,83	0,51	0,41
	R-5 Centro	0,73	0,89	0,50
	P-1 Pequis	0,67	0,89	1,45

(Fonte: A autora)

**Tabela 3 - Resultados dos dados coletados de temperatura da água**

Análise	Bairro	Dia 01/12	Dia 08/12	Dia 15/12
Temperatura (C°)	ETA Bom Jardim- saída do tratamento	28,22	26,25	27,25
	R-1 Santo Inácio	28,00	26,70	27,30
	R-2 Canaã	28,20	26,80	26,60
	R-3 Jardim Europa	28,60	26,80	27,20
	R-4 São Jorge	28,90	26,40	27,40
	R-5 Centro	28,70	25,40	27,50
	P-1 Pequis	28,70	25,80	27,30

(Fonte: A autora)

**Tabela 4 - Resultados dos dados coletados do pH da água.**

Análise	Bairro	Dia 01/12	Dia 08/12	Dia 15/12
pH	ETA Bom Jardim- saída do tratamento	8,11	8,17	8,25
	R-1 Santo Inácio	8,10	8,15	8,20
	R-2 Canaã	8,08	8,10	8,22
	R-3 Jardim Europa	8,09	8,06	8,18
	R-4 São Jorge	8,05	8,02	8,20
	R-5 Centro	8,10	8,02	8,23
	P-1 Pequis	8,07	8,08	8,22

(Fonte: A autora)

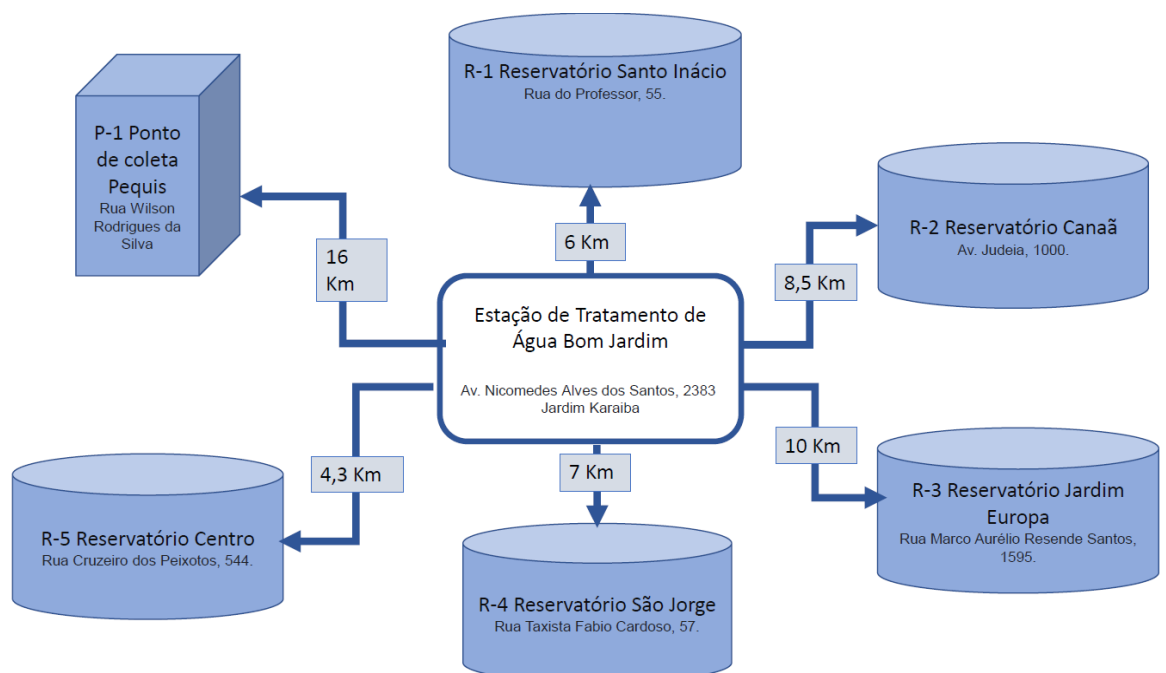
Observa-se que todas as análises apresentaram concentração do desinfetante acima do valor mínimo permitido, 0,2 mg/L e o máximo de 2,0 mg/L.

Considerando os valores mínimos e máximos para o cloro residual livre ao longo da distribuição de água, verifica-se que a manutenção e controle da desinfecção ao longo da rede são satisfatórios de maneira a garantir a concentração mínima necessária.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde, a concentração de cloro residual decai ao longo da rede de abastecimento e sua manutenção depende das reações que ocorrem dentro da tubulação (WHO apud FRANZ, 2018, p. 33).

De acordo com o anexo 4 da portaria GM/MS nº888/2021, Art. 30 ; recomenda-se que o pH apresente valores entre 6 e 9 .

Analisando os dados coletados de cloro residual livre, da saída do tratamento da ETA Bom Jardim e dos dados coletados dos reservatorios, podemos observar que durante o dia há uma queda do cloro residual livre em todos os reservatorios, quando comparados ao dado inicial da saída do tratamento da ETA, principalmente os que se localizam em maior distancia da ETA Bom Jardim, tiveram um decaimento maior que pode ser explicado pelas reações com biofilme na parede da tubulação e o consumo de cloro no processo de corrosão.



**Figura 9 - Fluxograma das distancias dos reservatórios da ETA Bom Jardim (Fonte: própria)**

Considerando as distâncias dos reservatórios da ETA Bom Jardim, houve decaimento do teor de cloro livre conforme a distância dos reservatórios, ou seja, os reservatórios R-1, R-2, R-4, com distâncias mais curtas, possuíam concentração de cloro livre próxima à da saída do tratamento da ETA, havendo uma queda pequena na concentração de cloro livre. Já o R-5, mesmo sendo o mais próximo, houve uma queda considerável na concentração de cloro livre; os reservatórios R-3 e o ponto de coleta P-1 tiveram uma queda brusca na concentração de cloro livre.

A influência da distância no decaimento se deve às reações com compostos orgânicos no corpo do escoamento; o consumo de cloro devido a reações com biofilme na parede da tubulação e o consumo de cloro no processo de corrosão, ou seja, quanto mais tempo a água passa em contato com a tubulação, saindo da ETA até chegar no seu reservatório destinado, maior será a concentração de cloro que irá reagir, sobrando assim uma baixa concentração de cloro residual livre.

A respeito do reservatório R-5, por se tratar do mais antigo, o processo de corrosão da tubulação pode estar grande, fazendo que o cloro reaja causando essa queda da concentração maior que o esperado.

O pH ficou em aproximadamente 8, condição em que há predominância de íon hipoclorito ( $\text{OCl}^-$ ), que tem efeito desinfetante menos eficiente que o ácido

hipocloroso (HClO) também formado pela reação do hipoclorito de sódio com a água.

## **7. Conclusão**

Com os resultados obtidos de forma experimental, verificou-se que os pontos amostrados atendem a Portaria Consolidação nº 5 (Anexo XX) de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde, dentro dos parâmetros de concentração de cloro livre, nos teores máximos e mínimos, e de pH.

Com os dados coletados neste trabalho, pode-se perceber relação entre o pH da água com o sistema produtor, ou seja, nos pontos abastecidos pela mesma ETA foram medidos pH semelhantes, mas com teores de cloro livre variados, portanto não sendo possível relacionar este parâmetro com o teor de cloro livre.

Não foi possível verificar a interferência da temperatura com os teores de cloro, nem com o pH.

Quando se observam os reservatórios e as distâncias deles da ETA é possível observar que essa distância interfere sim no decaimento do cloro e por isso é necessário o monitoramento para que se caso for necessário ser feita uma nova dosagem de cloro em um ponto específico da rede para que a concentração de cloro residual livre não fique abaixo do exigido na legislação.

A partir das análises de água dos pontos do estudo, constatou-se que a água estocada nos reservatórios possui os dados satisfatórios dos parâmetros estudados de acordo com a legislação vigente brasileira, portanto a qualidade da água estocada nos reservatórios é boa mesmo tendo decaimento do cloro, pois ainda se situa dentro dos parâmetros desejados.

## 8. **Bibliografia**

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2019, Brasília. Conjuntura dos recursos Hídricos do Brasil 2019. Brasília: © 2019, Agência Nacional de Águas - Ana, 2019. 110 p.

ALVARENGA, J. A. Avaliação da Formação de Subprodutos da Cloração em Água para Consumo Humano. 2010. 120f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2010.

ANDRADE, N. J. Higienização na Indústria de Alimentos: Avaliação e Controle da Adesão e Formação de Biofilmes Bacterianos. São Paulo: Varela, 2008. 400p.

AZEVEDO NETTO, J.M; RICHTER, C.A. Tratamento de Água: Tecnologia Atualizada. São Paulo: Edgard Blucher, 1991. 332p.

BAZZOLI, N., 1993. O Uso da Desinfecção no Combate à Cólera. Apostila da Fundação Nacional de Saúde – Coordenação Regional de Minas Gerais. Recife: FNS/Opas. (Mimeo.)

BRASIL. Ministério da Saúde. Vigilância e Controle da Qualidade da Água Para Consumo Humano. Brasília, 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021**. Brasília, 1999.

BRITO, C. N. Estudo da Produção Eletroquímica de Espécies de Cloro Ativos para Tratamento de Efluentes Sintéticos. 2015. 105 f. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

CAMPOS, J. A. B.; FARACHE FILHO, A.; FARIA, J. B. Qualidade da Água Armazenada em Reservatórios Domiciliares: Parâmetros Físico-Químicos e Microbiológicos. Alim. Nutr. v.14, n.1, p.71-75, 2003.

CAVALARI, L.G.P. Verificação da Formação de Trihalometanos Decorrentes da Pré-oxidação com Cloro e Dióxido de Cloro em Ensaio de Ciclo Completo com Água Contendo Substâncias Húmicas Aquáticas. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil, 2008.

COSTA, Antony Murillo; SILVAS, Bruno Paulucci Cianga; CASTRO, Ruan Reis Ojea. Análise da Concentração de Cloro Livre, Cloro Total, pH e Temperatura em Alguns Pontos de Consumo Abastecidos Pela Rede Pública de Distribuição da Cidade de Curitiba/PR. 2015. 92 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

DANIEL, L. A. et al. Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável. cap. 2. ABES-PROSAB: Rio de Janeiro, 2001.

DEGRÉMONT, 1979. Water Treatment Handbook. New York: John Wiley & Sons.

DIAS, Debora Araújo. A Química do Cloro: Importância, Implicações e Elemento Motivados no Ensino de Química. 2009. 78 f. Monografia (Especialização) - Curso de Licenciatura em Química, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. Ensaios de Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água. São Paulo: Rima, 2002.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. Segunda Edição. São Paulo: Rima, 2005. 792 p.

FERREIRA FILHO, Sidney Seckler; SAKAGUTI, Mariane. Comportamento Cinético do Cloro Livre em Meio Aquoso e Formação de Subprodutos da Desinfecção: *kinetic behavior of free chlorine in the liquid phase and disinfection by-product (dbp) formation. Eng. Sanit. Ambient.*, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 198-206, abr. 2008.

FONTANIVE, S. Estudo de Análise de Risco do Cloro em Estações de Tratamento de Água. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

FRANZ, P.P. Avaliação da Qualidade da Água Distribuída no Campus Capão do Leão da Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2018.

GARCIA, Regilaine da Cunha Duarte. Avaliação da Substituição do Cloro Gás Pela Produção Eletrolítica de Hipoclorito de sódio *in loco* em estação de Tratamento de Água de Grande Porte. 2018. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-

Graduação em Qualidade Ambiental, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

HELLER, L.; PADUA, V. L. Abastecimento de Água para Consumo Humano. Belo Horizonte: UFMG, 2010. 872 p.

LAUBUSCH, E. J., 1971. Chlorination and other disinfection processes. In: Water Quality and Treatment: A Handbook of Public Water Supplies (American Water Works Association), p. 158-224, New York: McGraw-Hill Book Company.

LIBÂNIO, M. Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água. Campinas: Editora Átomo, 2010. 494 p

LUCCA, Lourenço de. Controle de Qualidade do Hipoclorito de Sódio no Processo de Produção. Florianópolis: X, 2006.

MELO, Larissa Lima de Arruda; SILVA(, Wanderson da. Estudo do Decaimento de Cloro Residual Livre em Reservatórios de Sistema de Distribuição e Potencial influencias de Parâmetros Físico-químicos.. Associação dos Engenheiros da Sabesp, São Paulo, v. , n. , p. 1-10, set. 2018.

MEYER, S. T. O Uso de Cloro na Desinfecção de Águas, a Formação de Trihalometanos e os Riscos Potenciais à saúde pública. Cad. Saúde Pública, vol.10, n. 1, p. 99-110, 1994. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X1994000100011>

MOREIRA, Nathasha Miranda; BERNARDES, Aline. Desinfecção das Águas por Eletrolise de Salmoura e Gás Cloro em ETAs de Cuiabá -MT: Aspectos e Custeio. 15º Congresso Nacional de Meio Ambiente- Poços de Caldas. Poços de Caldas, p. 1-5. set. 2018.

NOGUEIRA, A. S. Avaliação da Formação de Trihalometanos em Um Sistema de Abastecimento de Água Para Consumo Humano. 2011. 95 f. Dissertação (Mestrado em saneamento Ambiental). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

PEREIRA, Rejane Felix. Calibração do Coeficiente de Decaimento do Cloro (Kw) em Redes de Abastecimento de Água Utilizabdo o Método iterativo do Gradiente Hidráulico Alternativo (MIGHA). 2009. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-

Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

PIEREZAN, M.L. Monitoramento Contínuo do Residual do Cloro em Sistemas de Distribuição de Água para Abastecimento. Campo Grande, 2009.

PONTES, P.P. Avaliação do Efeito Desinfetante do Cloro em Fezes Contendo o *Vibrio cholerae*. Belo Horizonte, 1993.

ROSSIN, A. C., 1987. Desinfecção. In: Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água (Tratamento de Água), Vol. 2, São Paulo: CETESB/ASCETESB.

SALGADO, S. R. T. Estudo dos Parâmetros do Decaimento do Cloro Residual em Sistema de Distribuição de Água Tratada Considerando Vazamento. São Carlos, 2008. Dissertação de mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2008.

SANABRIA, Jorge M. et al. Decaimento do Cloro residual em Águas de Abastecimento do Município de Campo Grande/MS. Revista de Engenharia e Tecnologia, Campo Grande, v. 5, n. 5, p. 92-104, dez. 2013.

TEIXEIRA, I. S. C; PERESI, J. T. M; SILVA, S. I. L; RIBEIRO, A.K; GRACIANO, R. A. S; POVINELLI, R. F, et al. Solução Alternativa Coletiva de Abastecimento de Água (SAC): Avaliação da qualidade bacteriológica e da cloração. Rev. Inst. Adolfo Lutz. São Paulo, v. 71, n. 3, p. 514-519, 2012.

WEBER, G.R. et al. Effect of Ammonia on the Germicidal Efficiency of Chlorine in Neutral Solutions. J.A.W.W.A., 32, p.1904-1912, 1940.