

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – ICIAG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUALIDADE AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DO CLORO GÁS PELA PRODUÇÃO
ELETROLÍTICA DE HIPOCLORITO DE SÓDIO *IN LOCO* EM ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA DE GRANDE PORTE**

REGILAINÉ DA CUNHA DUARTE GARCIA

UBERLÂNDIA/MG
2018

REGILAINÉ DA CUNHA DUARTE GARCIA

AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DO CLORO GÁS PELA PRODUÇÃO
ELETROLÍTICA DE HIPOCLORITO DE SÓDIO IN LOCO EM ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA DE GRANDE PORTE

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do Programa
de Pós-graduação em Qualidade Ambiental –
Mestrado, área de concentração em Meio Ambiente e
Qualidade Ambiental, para obtenção do título de
“Mestre”.

Orientadora

Prof^a. Dr^a. Sheila Cristina Canobre

Co-orientador

Prof. Dr. Fábio Augusto Do Amaral

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

G216a
2018 Garcia, Regilaine da Cunha Duarte, 1980
Avaliação da substituição do cloro gás pela produção eletrolítica de hipoclorito de sódio in loco em estação de tratamento de água de grande porte / Regilaine da Cunha Duarte Garcia. - 2018.
86 f. : il.

Orientadora: Sheila Cristina Canobre.
Coorientador: Fábio Augusto do Amaral.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental.
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.727>
Inclui bibliografia.

1. Qualidade ambiental - Teses. 2. Eletrólise - Teses. 3. Água - Tratamento- Uberlândia (MG) - Teses. 4. Água - Eletrólise - Teses. I. Canobre, Sheila Cristina. II. Amaral, Fábio Augusto do. III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental. IV. Título.

CDU: 574

Angela Aparecida Vicentini Tzi Tziboy – CRB-6/947

REGILAINÉ DA CUNHA DUARTE GARCIA

AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DO CLORO GÁS PELA PRODUÇÃO
ELETROLÍTICA DE HIPOCLORITO DE SÓDIO IN LOCO EM ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA DE GRANDE PORTE

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do Programa
de Pós-graduação em Qualidade Ambiental –
Mestrado, área de concentração em Meio Ambiente e
Qualidade Ambiental, para obtenção do título de
“Mestre”.

APROVADA em 27 de fevereiro de 2018.

Prof. Dr. Fábio Augusto do Amaral
(co-orientador)

UFU

Prof^a. Dr.^a Sueli Moura Bertolino

UFU

Prof. Dr. Mauro das Graças Mendonça

IFTM



Prof.^a. Dr.^a. Sheila Cristina Canobre
INSTITUTO DE QUÍMICA-UFU
(Orientadora)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

***Dedico** este trabalho a Ricardo, Amanda e Gabriel, minha amada família, pela compreensão e ajuda nesta conquista.*

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a DEUS pela presença diária, por iluminar meu caminho, por abençoar meus dias com saúde e coragem para concretizar meus sonhos. A Ele minha gratidão maior por Cristo Jesus.

Aos meus pais, Hamilton e Nilza, em especial a minha mãe, pela oportunidade de estudar. Ao meu esposo Ricardo Garcia, meu amor e companheiro de todas as horas, agradeço imensamente pela compreensão diária, apoio, amparo e pelo amor que tem me dedicado todos os dias.

Aos meus filhos amados Amanda e Gabriel, pelo carinho, apoio e ajuda, vocês são a minha melhor parte, formidáveis!

Agradeço a minha orientadora Sheila Cristina Canobre, pela amizade, orientação, dedicação, paciência e por tudo que me ensinou durante esses vinte e quatro meses de trabalho. Você é muito especial.

Agradeço ao meu Co-orientador Fábio Augusto Amaral, pela ajuda e disponibilidade no estágio supervisionado.

Aos meus colegas de mestrado agradeço por tê-los conhecido, vocês fizeram tudo ser bem melhor. De maneira muito especial, agradeço a Camila, Christyan e Wércio, muito obrigada pelo companheirismo!

Ao Departamento Municipal de Água e Esgoto de Uberlândia (DMAE) pela disponibilização dos dados, imprescindíveis para a realização deste estudo. Aos meus colegas de trabalho Mariana Lemos do Prado, Fernando Guimarães, Cláudio Márcio Gonçalves, pela disponibilidade em me ajudar na conclusão deste trabalho.

Deixo aqui meu muito obrigado aos estagiários Ingrid e Augusto pela imensa colaboração, vocês me ajudaram demais!

Muito obrigada Prof. Édson Nossol, Samuel e Rafael do laboratório de química inorgânica – UFU e ao colega Farlon do LAETE pelo apoio na pesquisa.

Agradeço também a esta universidade e a todos os professores e servidores do PPGMQ. Meu agradecimento especial ao povo brasileiro que contribui pela manutenção do estudo público nesse país.

Aos meus amigos e familiares que apoiaram e torceram por mim.

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a concretização desta pesquisa, meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	i
LISTA DE TABELAS.....	iv
LISTA DE ABREVIATURAS.....	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Problemas de Pesquisa.....	4
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Geral.....	4
1.2.2 Específicos.....	4
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	6
2.1 A normatização da qualidade da Água para consumo humano.....	6
2.2 Importância do tratamento de água.....	9
2.3 A desinfecção da água.....	11
2.4 Uso de agentes clorados na desinfecção.....	13
2.5 Agentes clorados e a formação de subprodutos da desinfecção.....	15
2.6 Gás Cloro: Características e riscos de utilização.....	19
2.7 Alternativa a substituição de cloro gás –Tecnologia Mixed Oxidant Gases Generated On-site for Disinfection (MOGGOD).....	25
2.8 Geradores de solução oxidante <i>in loco</i> por meio da eletrólise utilizados atualmente em alguns sistemas de tratamento de água.....	27
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
3.1 O sistema em estudo: Estação de Tratamento de Água Bom Jardim.....	31
3.2 Caracterização das Instalações de Cloro Gás da ETA Bom Jardim.....	36
3.3 Caracterização do sistema de produção de hipoclorito de sódio por meio da eletrólise.....	38
3.4 Comparativo dos sistemas de cloração: eficiência dos sistemas de desinfecção.....	43
3.4.1 Coleta de dados.....	43
3.4.2 Amostragem.....	46
3.4.3 Tratamento estatístico dos dados.....	48
3.5 Comparativo dos sistemas de cloração: custos benefícios.....	49
3.6 Comparativo dos sistemas de cloração: Qualidade ambiental e segurança operacional.....	49

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
4.1 Problemas de utilização do Gás Cloro na ETA Bom Jardim.....	51
4.2 Verificação da Qualidade ambiental e segurança operacional de cada sistema de desinfecção.....	54
4.3 Caracterização da água bruta utilizada na ETA Bom Jardim	56
4.4 Caracterização da água filtrada da ETA Bom Jardim.....	58
4.5 Verificação da eficiência na desinfecção da água tratada de ambos os métodos utilizados.....	61
4.6 Verificação do custo-benefício dos sistemas de cloração.....	70
5 CONCLUSÕES	75
6 ETAPAS FUTURAS	77
7 REFERÊNCIAS.....	79

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

QUADRO 01 - Normatização da água para consumo humano pelo Ministério da Saúde.....	08
FIGURA 01 - Relação entre ácido hipocloroso e o íon hipoclorito em função do pH (águas quimicamente puras) para as temperaturas de 0 e 20 °C.....	15
QUADRO 02 - Classificação das substâncias químicas segundo potencial carcinogênico.....	17
QUADRO 03 - Principais vantagens e desvantagens de alguns desinfetantes.....	25
FIGURA 02 - Estação de Tratamento de Água Bom Jardim – Região Urbana de Uberlândia.....	32
FIGURA 03 - Sistema de Captação de Água Ribeirão Bom Jardim.....	33
FIGURA 04 - Área de captação sistema Bom Jardim.....	33
FIGURA 05 - Produtos químicos aplicados no tratamento de água da ETA Bom Jardim.....	34
FIGURA 06 - Sistema de geração <i>in loco</i> de hipoclorito de sódio por meio da eletrólise.....	35
FIGURA 07 - Laboratório da ETA Bom Jardim.....	35
FIGURA 08 - Sala de estocagem e uso dos cilindros de Gás Cloro – 900 Kg cada.....	36
FIGURA 09 - Desenho esquemático do sistema de cloração.....	38
FIGURA 10 - Extração de gás cloro do cilindro da ETA Bom Jardim.....	38
FIGURA 11 - (A) Abrandadores da água e (B) Tanques saturadores (preparo salmoura).....	39
FIGURA 12 - (A) Tanques de decantação e (B) Sistema de diluição da salmoura.....	40
FIGURA 13 - Célula Eletrolítica	40
FIGURA 14 - Tanques de armazenamento (capacidade 25.000 litros cada) do hipoclorito de sódio 0,65 %.....	42
FIGURA 15 - Esquema de produção do hipoclorito de sódio 0,65%. Gerador de Cloro Contínuo.....	42
FIGURA 16 - Equipamentos do processo de produção ETA Bom Jardim.....	43

QUADRO 04 - Lista de laboratórios responsáveis pelas determinações dos parâmetros verificados na saída do tratamento e na Rede de Distribuição de Água e os métodos analíticos utilizados nos períodos investigados.....	44
QUADRO 05 - Pontos de amostragem utilizados pelos laboratórios: subcontratado e laboratório da ETA Bom Jardim.....	47
FIGURA 17 - Mapa de Uberlândia - Mapeamento dos pontos de coletas de amostras da rede de distribuição abastecida pela ETA Bom Jardim (delimitação rosa)	48
FIGURA 18 - Imagem aérea da localização da ETA Bom Jardim em bairro residencial, próximo a universidades, escolas, comércios, hospitais e avenidas.....	51
FIGURA 19 - Sistema de exaustão do cloro gás	52
FIGURA 20 – (A) Jardim danificado, (B) Equipamentos e materiais danificados pelo cloro gás oriundo de vazamentos.....	53
QUADRO 06 - Levantamento dos riscos dos sistemas de cloração utilizados na ETA Bom Jardim.....	54
QUADRO 07 - Levantamento das dificuldades operacionais dos sistemas de cloração da ETA Bom Jardim.....	55
FIGURA 21 - Variação média mensal da cor e turbidez da água bruta nos anos 2013 e 2016.....	57
FIGURA 22 - Variação média mensal pluviométrica de Uberlândia nos anos 2013 e 2016.....	57
FIGURA 23 - Variação mensal da turbidez (NTU) da água filtrada nos anos 2013 e 2016.....	59
QUADRO 08 - Padrão microbiológico da água para consumo humano.....	61
FIGURA 24 - Eficiências dos desinfetantes cloro gás (2013) e hipoclorito de sódio 0,65% (2016), quanto a desinfecção de coliformes totais e <i>Escherichia coli</i> na rede de distribuição.....	65
FIGURA 25 - Valores de cloro livre (mg/L) e resultados de cloro livre (mg/L) fora da portaria (< 0,20 mg/L) nas análises de água tratada da rede de distribuição da ETA Bom Jardim nos anos de 2013 e 2016.....	66
QUADRO 09 - VMP para o parâmetro sódio na água potável.....	68
FIGURA 26 - Quantificação mensal do sódio na ETA Bom Jardim	69
FIGURA 27 - Gastos mensais com os desinfetantes na ETA Bom Jardim	71
FIGURA 28 - Dosagem mensal do alcalinizante Ca(OH) ₂ na ETA Bom Jardim	72

FIGURA 29 - Coleta de amostras de hipoclorito de sódio de sódio 0,65% produzidos na ETA Bom Jardim.....	77
FIGURA 30 - Metodologia de obtenção do sensor eletroquímico (AP/NTC/rGO)	78

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Produtos Secundários da Desinfecção.....	17
TABELA 02 - Informações sobre SPDs potenciais de causar câncer no ser humano....	18
TABELA 03 - Propriedades físicas do cloro e a classificação dos seus perigos para a saúde humana e para o meio ambiente, segundo o Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS).....	20
TABELA 04 - Efeito da inalação do cloro gasoso aos seres humanos.....	21
TABELA 05 – Alguns sistemas de tratamento de água com produção de solução de hipoclorito de sódio <i>in loco</i>	30
TABELA 06 - Resultados do Teste Estatístico Correlação de Pearson para os dados referentes a pluviosidade e água filtrada dos anos 2013 e 2016.....	59
TABELA 07 - Resultados estatísticos do Teste F- Duas Variâncias e Teste T – Amostras independentes das médias da água filtrada dos anos de 2013 e 2016.....	60
TABELA 08 - Eficiência do Gás Cloro e hipoclorito de sódio produzido 0,65% na desinfecção conforme análises da água tratada na saída do tratamento.....	62
TABELA 09 - Padrão de Cloro Livre Residual.....	64
TABELA 10 - Produtos secundários da desinfecção com uso de cloro gás e hipoclorito de sódio 0,65% na ETA Bom Jardim.....	67
TABELA 11 - Valor pago na produção de 1 kg de cloro ativo na ETA Bom Jardim....	70
TABELA 12 - Valor pago pelo Kg de cloro gás (cloro ativo) na ETA Bom Jardim.....	70

LISTA DE ABREVIATURAS

ADE	Anodos Dimensionalmente Estáveis
ANA	Agência Nacional das Águas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APHA	American Public Health Association
CRL	Cloro Residual Livre
DMAE	Departamento Municipal de Água e Esgoto
DPD	N, N-dietil-p-fenilenodiamina
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ETA	Estação de Tratamento de Água
GHS	Sistema Globalmente Harmonizado
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LQA	Laboratório de Qualidade da Água
MCL	Limites Máximo de Contaminação
MOGGOD	Mixed Oxidant Gases Generated On-site for Disinfection
MON	Matéria Orgânica Natural
MS	Ministério da Saúde
NTU	Nefelometric Turbidity Unit
OPAS	Organização Pan-Americana de Saúde
PAC	Cloreto de Polialumínio
PCQ	Ponto de Controle de Qualidade
pH	Potencial Hidrogeniônico
SISAGUA	Sistema de Informação Sobre a Qualidade da Água para Consumo Humano
SPD	Subprodutos da Desinfecção
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento
TAM	Triometano
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
uH	Unidade Hazen ou mg L ⁻¹ de platina/cobalto
USEPA	U.S. Environmental Protection Agency
VMP	Valor Máximo Permitido

RESUMO

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. 86 p. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG¹.

A Estação de Tratamento de Água (ETA) Bom Jardim da cidade de Uberlândia-MG, com capacidade de tratamento de até 2 m³/s, utiliza atualmente como método de desinfecção da água, o processo de produção eletrolítica de cloro ativo *in loco* (produção de hipoclorito de sódio) em substituição ao cloro gasoso (Cl₂). Então este trabalho teve como principal objetivo a verificação da eficiência do hipoclorito de sódio produzido *in loco* como desinfetante nas amostras coletadas na saída do tratamento e rede de distribuição, comparando-o com o Cl₂ no atendimento aos padrões de potabilidade da água de consumo humano, estabelecidos pela portaria Consolidação nº 05 (Anexo XX) do Ministério da Saúde de 28/09/2017, quanto a inativação dos coliformes totais e *Escherichia coli*, quantidade de sódio (mg/L) e subprodutos da desinfecção. Pretendeu-se ainda, realizar uma análise mais detalhada sobre custo / benefício e as condições de segurança e qualidade ambiental do mesmo. Os dados contidos neste estudo provêm dos monitoramentos efetuados, analisados e coletados nos relatórios de controle do tratamento da ETA Bom Jardim. A delimitação do período investigado corresponde ao ínterim de janeiro a dezembro de 2013 (uso do cloro gás) e de janeiro a dezembro de 2016 (uso do hipoclorito de sódio produzido *in loco*). Os resultados demonstraram que a solução investigada atende aos padrões de potabilidade estabelecidos, sendo efetivo na desinfecção, deixando residual de cloro na rede, com presença de sódio e subprodutos da desinfecção bem abaixo dos valores máximos permitidos. Além disso, o hipoclorito de sódio aquoso na concentração 0,65% é gerado nesta célula eletrolítica, juntamente com o peróxido de hidrogênio que confere a esta solução um maior poder desinfetante. Outros produtos como o hidróxido de sódio também presente na solução gerada, proporcionou a redução de alcalinizante (em 36,17% em média) na etapa final do tratamento da água para a correção do pH. Ademais, concluiu-se que a produção eletrolítica de hipoclorito de sódio *in loco* é uma opção para substituir o cloro gás, na desinfecção da água, pois o hipoclorito de sódio gerado é um desinfetante eficiente, que atende as determinações da portaria Consolidação nº 05 (Anexo XX) do Ministério da Saúde de 28/09/2017 tanto na saída do tratamento quanto na rede de distribuição, com redução de custos referentes a manutenção e operação do sistema, comparando-se com os gastos com o cloro gás. O sistema implantado não apresenta riscos ambientais e operacionais, contribuindo para a manutenção da qualidade ambiental, dentro e fora da ETA.

Palavras-chave: Desinfetante, eletrólise, qualidade ambiental.

¹ Comitê Orientador: Sheila Cristina Canobre – UFU e Fábio Augusto do Amaral – UFU.

ABSTRACT

GARCIA, REGILAINE DA CUNHA DUARTE. **Evaluation of replacement of chlorine gas by the electrolytic production of sodium hypochlorite in loco in the large water treatment station.** 2018. 86 p. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG².

The Bom Jardim Water Treatment Station (WTS) in Uberlandia-MG, with treatment capacity of up to 2 m³/s, currently uses as a water disinfection method the electrolytic process of active chlorine *in loco* (sodium hypochlorite production) instead of chlorine gas (Cl₂). The main objective of this work was to verify the efficiency of sodium hypochlorite produced *in loco* as a disinfectant in the samples collected at the exit of the treatment and distribution network, comparing it with Cl₂ in meeting drinking water standards for human consumption, established by ordinance Consolidation n° 05 (Annex XX) of the Ministry of Health of 09/28/2017, regarding the inactivation of total Coliforms and *Escherichia coli*, sodium amount (mg/L) and secondary disinfection products. It was also intended to carry out a more detailed analysis on cost/benefit and safety conditions and environmental quality. The data contained in this study are derived from the monitoring carried out, analyzed and collected in the WTS Bom Jardim treatment control reports. The delimitation of the investigated period corresponds to the period from January to December 2013 (use of chlorine gas) and from January to December 2016 (use of sodium hypochlorite produced *in loco*). The results showed that the solution investigated meets the established potability standards, being effective in disinfection, leaving residual chlorine in the network, with presence of sodium and disinfection secondary products well below the maximum allowed values. In addition, 0.65% aqueous sodium hypochlorite is generated in this electrolytic cell along with the hydrogen peroxide which gives this solution a greater disinfecting power. Other products such as sodium hydroxide also present in the generated solution, provided the alkalinizing reduction (in 36.17% on average) in the final stage of the water treatment (pH correction). In addition, it was concluded that the electrolytic production of sodium hypochlorite *in loco* is an option to replace the chlorine gas, in the disinfection of the water, because the sodium hypochlorite generated is an efficient disinfectant, that meets the determinations of the ordinance Consolidation n° 05 (Annex XX) of the Ministry of Health of 09/28/2017 both at the exit of the treatment and in the distribution network, with reduction of costs related to the maintenance and operation of the system, compared to the expenses with chlorine gas. The implanted system does not present environmental and operational risks, contributing to the maintenance of environmental quality, inside and outside the WTS.

Keywords: Disinfectant, Electrolysis, Environmental Quality.

² Comitê Orientador: Sheila Cristina Canobre – UFU e Fábio Augusto do Amaral – UFU.

1 INTRODUÇÃO

A preservação dos recursos hídricos é primordial para a manutenção da vida no planeta terra devido à essencialidade da água aos organismos vivos. As diversas atividades humanas como o crescimento industrial, a irrigação, a agropecuária, o consumo por parte da população, provocam a degradação dos mananciais, afetando a quantidade e qualidade da água doce disponível para o consumo (DANIEL; CABRAL, 2011).

Apesar de ser indispensável aos seres humanos, a água pode conter algumas substâncias, elementos químicos e microrganismos que precisam ser controlados ou até mesmo eliminados, evitando assim malefícios à saúde humana. A degradação dos corpos hídricos, principiam a contaminação hídrica, tornando substancial o tratamento da água para consumo humano.

O padrão de Potabilidade vigente no Brasil é estabelecido pela portaria Consolidação nº 5 (Anexo XX) de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017b). Essa portaria no seu Anexo XX, discorre sobre os limites máximos permitidos de dezenas de parâmetros físico-químicos, microbiológicos, dentre outros que precisam ser considerados na água distribuída para população em todo o território nacional.

As estações de tratamento de água (ETA) têm como intuito apropriar a água bruta aos padrões de potabilidade estabelecidos, eliminando as impurezas e removendo os microrganismos patogênicos. Em um tratamento convencional, a água captada no manancial de abastecimento passa pelas etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, fluoretação, desinfecção e por fim ajuste do pH.

A etapa do tratamento responsável pela inativação dos microrganismos presentes na água é a desinfecção. No Brasil, o desinfetante mais utilizado é o cloro. Essa preferência aos agentes clorados se dá pelas questões tecnológicas de produção, de custo, de armazenamento, de transporte e por questões de aplicabilidade do mesmo como agente oxidante.

O gás cloro possui um odor extremamente forte, irritante e asfíxiante podendo ocasionar vários danos irreversíveis ao ser humano e meio ambiente (FONTANIVE, 2005). Apesar de todos os cuidados requeridos no manuseio do cloro gasoso, podem ocorrer acidentes decorrentes de mau funcionamento das válvulas de fechamento ou

armazenamento e instalações inadequadas de cilindros (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Em Uberlândia - MG, as duas estações de tratamento de água existentes utilizam agentes clorados na desinfecção. A Estação de Tratamento de Água Renato de Freitas – Unidade Sucupira utiliza cloro gás (adquiridos em cilindros de 900 Kg) e a Estação de Tratamento de Água Bom Jardim utilizou o cloro gás até meados de 2014, sendo posteriormente substituído pelo hipoclorito de sódio produzido *in loco* por meio da eletrólise.

A ETA Bom Jardim se localiza em área urbana, próxima a residências e comércios. Em virtude da sua localização, optou-se pela substituição do cloro gás com o intuito de garantir a qualidade ambiental dentro e fora das dependências da ETA, já que foram observados vazamentos acidentais deste gás que ocasionaram prejuízos à saúde de operadores da ETA, perdas materiais devido a oxidação de equipamentos e também perdas ambientais, em virtude do ressecamento de árvores e plantas do jardim.

Muitos acidentes envolvendo substâncias perigosas ocorrem em todo o mundo, como observado em Cubatão e Vila Socó (Brasil), Seveso (Itália) e Bhopal (Índia). Estes acontecimentos despertam a preocupação de muitas indústrias de processos químicos, principalmente aquelas com instalações de alto risco (FONTANIVE, 2005). Desta forma, é crescente o número de estações de tratamento de água que buscam tecnologias de desinfecção com maior segurança operacional e ambiental, tendo em vista que o desenvolvimento urbano das cidades aproximou as estações de tratamento às residências, escolas, comércios e ao fluxo de pedestres.

A produção de hipoclorito de sódio *in loco* por meio da eletrólise, é uma alternativa para a desinfecção de água que tem se mostrado bastante promissora. A solução oxidante produzida é resultado da eletrólise do cloreto de sódio e contém o ácido hipocloroso em equilíbrio com o íon hipoclorito, outras espécies do cloro, além de traços de outros oxidantes (OLIVEIRA, 2009). Inicialmente, sistema semelhante de geração de solução oxidante *in loco* foi utilizado como alternativa na desinfecção da água de pequenas comunidades e na zona rural. Porém, mediante aos problemas observados pela utilização do cloro gás, também está sendo utilizado como sistema alternativo de desinfecção em sistemas de abastecimento de água de grandes centros urbanos, como em Juiz de fora - MG (Companhia de Saneamento Municipal – CESAMA), Patos de Minas - MG (Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA), Uberaba - MG (Centro Operacional de Desenvolvimento e Saneamento de Uberaba – CODAU) entre outras

idades (HIDROGERON, 2017). Essas cidades, assim como Uberlândia, possuem Estações de Tratamento de Água localizadas em áreas urbanas e promoveram a substituição do cloro gasoso, buscando uma alternativa mais limpa e sustentável, com qualidade ambiental e operacional, eficiente na desinfecção.

O interesse por alternativas ao cloro gasoso faz com que empresas de saneamento e também de outros seguimentos industriais visitem locais que utilizam o sistema de produção *in loco* com o intuito de adquirir informações pertinentes, já que não há na literatura publicações referentes a este sistema voltado para o tratamento de água em grandes centros urbanos.

Por isso, a ETA Bom Jardim do DMAE de Uberlândia-MG recebe várias empresas, públicas e privadas, que buscam informações para conhecer a produção de hipoclorito de sódio *in loco* (produção de grande porte) e o questionamento das mesmas refere-se quanto a operação de todos os equipamentos, a eficiência dessa solução oxidante gerada na desinfecção da água (Saída do tratamento de água e rede de distribuição), a questão de qualidade ambiental e segurança operacional, bem como o custo de manutenção do sistema. Outra grande questão de interesse, diz respeito a quantidade de subprodutos da eletrólise, principalmente quanto ao sódio, quais seriam o seu impacto sobre a qualidade da água ofertada para a população.

Neste sentido, este trabalho tem como principal objetivo realizar um estudo de caso da estação de tratamento de água Bom Jardim da cidade de Uberlândia – MG, visando a comparação da eficiência do hipoclorito de sódio produzido *in loco* aplicado como desinfetante em uma estação de grande porte, com a eficiência do cloro gás utilizado nesta mesma ETA como desinfetante, bem como o custo / benefício do sistema e as condições de segurança e qualidade ambiental do mesmo, contribuindo assim com a prestação de informações úteis e práticas e a viabilidade desse sistema como substituto ao cloro gasoso. Esse trabalho visa ainda demonstrar a aplicabilidade da solução oxidante produzida e o seu impacto na qualidade da água ofertada para a população dentro dos parâmetros estabelecidos pela portaria Consolidação nº 5- Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde (Anexo XX) de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde.

1.1 Problemas de Pesquisa

Com a substituição do cloro gás como agente desinfetante, outro sistema de desinfecção foi adotado. Neste caso, é importante verificar que:

O hipoclorito de sódio produzido *in loco* é um agente desinfetante tão eficiente quanto o cloro gás para uma ETA com capacidade de tratamento de água de até 2m³/s, resolvendo as questões ambientais e dificuldades de operação apresentadas pelo gás cloro;

A viabilidade custo benefício deste sistema compensa os gastos investidos nesta tecnologia.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

Este estudo teve por objetivo verificar a viabilidade de substituição do Cloro Gás pelo hipoclorito de sódio produzido *in loco* por meio de Eletrólise, na Estação de Tratamento de Água Bom Jardim – Uberlândia /MG, levando em consideração a eficiência de ambos os métodos como agentes desinfetantes, a segurança e qualidade ambiental, o custo benefício de cada um.

1.2.2 Específicos

Os objetivos específicos deste estudo foram:

- Avaliar, mediante análise físico-química e microbiológica, a qualidade da água tratada na saída do tratamento e também na rede de distribuição da Estação de Tratamento de Água, quanto aos valores referentes à dosagem de cloro definidas por lei específica;
- Comparar as eficiências, em escala real, de cada um dos métodos: Cloro gás e Produção eletrolítica de hipoclorito de sódio *in loco*;
- Examinar as condições de segurança ambiental para cada um dos dois métodos analisados;

- Verificar custo-benefício que envolve o uso do Cloro gás e a Produção eletrolítica de hipoclorito de sódio *in loco*;
- Avaliar as características da água bruta e água filtrada dos períodos selecionados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A normatização da qualidade da Água para consumo humano

Apesar da essencialidade da água à vida e de existir em grandes proporções, muitos habitantes da terra ainda sofrem com a inexistência de quantidades de água de boa qualidade e potável. Problemas relacionados com a poluição dos corpos d'água foram observados, principalmente, depois da Segunda Guerra Mundial, quando se verificou um aumento significativo dos processos de urbanização e industrialização. O aporte de poluentes em águas superficiais e subterrâneas está associado a fontes pontuais e difusas, tais como: descarga de efluentes de origem industrial ou doméstica; escoamento superficial urbano; escoamento superficial de áreas agrícolas; deposição atmosférica (seca e úmida); entre outros. Como consequência dessa poluição, a água se tornou um dos principais vetores de transmissão de doenças devido aos microrganismos patogênicos presentes em excrementos de animais e seres humanos, podendo ser bactérias, parasitas, vírus ou outros patógenos (GRASSI, 2001; CANEPARI; PRUZZO, 2008 *apud* TEIXEIRA et al., 2012). Portanto, tão importante quanto à disponibilidade desse recurso, é a qualidade da água disponível.

A preocupação com a qualidade da água surgiu no final do século XIX e início do século XX. Antes disso avaliava-se a qualidade da água mediante parâmetros estéticos e sensoriais como cor, gosto e odor. Em meados do século XIX, alguns trabalhos científicos demonstraram a correlação entre água contaminada e doenças, destacando-se o trabalho do epidemiologista Jonh Snow, que comprovou em 1855 que um surto de cólera em Londres ocorreu devido a contaminação de poços de abastecimento público por esgotos. Em 1880, Louis Paster demonstrou que organismos microscópios poderiam transmitir doenças por meio da água. Ainda nessa época, cientistas expuseram que a turbidez não estava somente associada a aspectos estéticos. O material particulado em água poderia conter organismos patogênicos e material fecal (FREITAS; MACHADO DE FREITAS, 2005).

Já no início do século XX, diante das descobertas científicas, sistemas de tratamento de água foram construídos nos Estados Unidos, empregando inicialmente a filtração lenta e alguns anos depois, iniciando a cloração, usada pela primeira vez no estado de New Jersey em 1908 (FREITAS; MACHADO DE FREITAS, 2005).

Para o Brasil, a influência do espírito positivista, no final do século XIX e início do século XX adiou a aceitação dos microrganismos da água como os causadores das epidemias. Curiosamente, o sanitarista Saturnino de Brito opõe restrições, já em 1926, à relevância dos patogênicos na água. Outrora, Henri Charles, químico Belga, primeiro analista de água da antiga repartição de águas e esgotos de São Paulo (onde ficou até 1923), resistia também à cloração. Todavia, Geraldo de Paula Souza, em 1922, naquela ocasião diretor do serviço sanitário, declara que a febre tifoide em São Paulo era endêmica e que a situação em comparação com os grandes centros da Europa e da América não era nada boa. Mesmo diante disso, somente em 1927 é iniciada pela primeira vez no Brasil, na cidade de São Paulo, a cloração das águas de abastecimento (REBOUÇAS et al.,2006).

As iniciativas de potabilização da água de consumo humano ocorreram antes mesmo do estabelecimento de padrões e normas de qualidade. O estabelecimento dos valores máximos permitidos ou os limites máximos de contaminação (MCLs) ocorreram em função de estudos e bioensaios toxicológicos e de componentes químicos e físico-químicos propícios a alterar as propriedades organolépticas ou sensoriais da água, que podem causar rejeição de consumo e diminuição da vida útil de toda a aparelhagem hidráulica com consequentes prejuízos econômicos (FREITAS; MACHADO DE FREITAS, 2005).

As normas de potabilidade são como um instrumental técnico - jurídico implementado por autoridades sanitárias apoiadas por instituições técnicas - científicas, a serem executadas pelos órgãos de fiscalização e vigilância do setor saúde e pelas empresas públicas e privadas de abastecimento de água. Elas norteiam um padrão de qualidade ao “produto” água, independentemente se esta é obtida diretamente da natureza (água bruta) ou por meio de processos químicos em plantas de tratamento (FREITAS; MACHADO DE FREITAS, 2005).

No Brasil, somente na década de 70 que relevantes iniciativas aconteceram para a normatização da qualidade da água, como a implementação da lei nº 635 de 26 de dezembro de 1975 que regulamenta as normas e padrões sobre a fluoretação da água. Ainda nesta década, o governo brasileiro por meio do Decreto n.º 79.367 de 9 de março de 1977 conferiu competência ao Ministério da Saúde para elaborar normas e o padrão de potabilidade da água para consumo humano a serem considerados em todo o território nacional (BRASIL, 2005).

Com base neste Decreto, o Ministério da Saúde promulgou uma série de legislações tocantes à água para consumo humano como especificado no Quadro 01:

QUADRO 01 - Normatização da água para consumo humano pelo Ministério da Saúde.

Portaria/Decreto	Definição
Nº 56 de 14/03/1977	Primeira legislação brasileira sobre potabilidade de água.
Nº 443 de 03/10/1978	Normas sobre proteção sanitária dos mananciais, dos serviços de abastecimento público e seu controle de qualidade e das instalações prediais.
Nº 92.752/1986	Institucionalizou o Programa Nacional de Vigilância de Qualidade de Água para Consumo Humano (VIGIAGUA) (DANIEL; CABRAL, 2011).
Nº 36 de 01/1990	Discorria sobre as normas e o padrão de potabilidade da água para consumo humano. Revisão da Portaria nº 56/1977
Nº 3450 09/05/2000	Fundação Nacional de Saúde passou a ser denominada por FUNASA. A FUNASA implementou o Sistema de Informação Sobre a Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA) (BRASIL, 2017a).
Nº 1.469 de 20/12/2000	Revisão da portaria nº 36/1990.
Nº 518 de 25/03/2004	Revogou a portaria 1.469 de 20/12/2000. De acordo com esta portaria, a qualidade da água potável é normatizada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde (Anvisa-MS), que define os parâmetros organolépticos, físicos, químicos e bacteriológicos (TEIXEIRA, et al., 2012).
Nº 2914 de 12/12/2011	Revogou a portaria nº 518 de 25/03/2004.
Consolidação nº 5. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde do Ministério da Saúde de 28/09/2017, (Anexo XX).	Revogou a portaria nº 2914 de 12/12/2011.

Fonte: Brasil (2005); Brasil (2011); Brasil (2017b).

A portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde foi revogada pela portaria Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde em 28 de setembro de 2017, no entanto o Anexo XX desta consolidação, faz referência a portaria 2914/11, com o mesmo

texto, sem alterações. Sendo assim, o Anexo XX da consolidação nº 5, discorre sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Reforça a importância de manter a água potável para consumo humano, evitando assim a proliferação de patógenos de veiculação hídrica (BRASIL, 2011; BRASIL, 2017b).

2.2 Importância do tratamento de água

A falta de tratamento de água para consumo humano acarreta transmissões de doenças de veiculação hídrica, sendo mais comuns as febres tifóides e paratífóides, disenterias, cólera, esquistossomíase, hepatite, giardíase criptosporidiose, as cáries dentárias (falta de flúor), fluorose (excesso de flúor), saturnismo (decorrente de chumbo) e metahemoglobinemia (teor elevado de nitratos). Além desses males, a saúde humana também é prejudicada pela presença de substâncias tóxicas na água (BRITO et al., 2015; DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

A potabilidade da água é alcançada mediante tecnologias de tratamento da água bruta, abrangendo um conjunto de processos e operações físico-químicas. O processo de tratamento pode ser feito por meio de uma Estação de Tratamento de Água - ETA (LIBÂNIO, 2010). Para os autores Paixão et al. (2014) toda água captada pela ETA passa por um processo de tratamento com a intenção de se tornar potável ao consumidor, com características organolépticas e físico-químicas que não propiciem decorrências adversas à saúde.

Desta forma a ETA atua como indústria de saúde que reflete justamente na redução de doenças, já que opera para atender aos critérios e parâmetros limítrofes estabelecidos pela legislação vigente (NOGUEIRA, 2011).

Os mananciais utilizados no abastecimento municipal são usualmente de extração de água subterrânea, rios, lagos e barragens. A escolha do manancial para abastecer uma cidade é muito relevante, pois as características deste manancial como: localização da captação, concentração de poluente, condições climáticas, descarga de poluentes industriais e outros, intervêm na escolha da tecnologia utilizada no tratamento de água (FONTANIVE, 2005).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA por meio da Resolução 357 de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação de águas doces (classes I, II, III e IV), salobras e salinas do Brasil, estabelecendo os valores máximos dos parâmetros de

qualidade para cada classe das águas doces. É aconselhável o cumprimento destes limites, pois somente com o conhecimento das características da água do manancial é que se pode escolher adequadamente as tecnologias de tratamento que garantam a produção de água tratada para consumo humano (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

As etapas que integram o tratamento dispõem-se, numa ETA convencional, a sequência coerente dos consecutivos processos: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, fluoretação e ajuste final de pH. Alguns projetos de ETA podem variar conforme a qualidade da água bruta que será utilizada no tratamento.

Para os autores Azevedo Netto e Richter (1991) e Di Bernardo et al., (2002), as principais etapas dos processos de tratamento de água são:

- **Coagulação:** Fenômeno que ocorre após adição de agentes coagulantes, tais como sais de alumínio e ferro, no meio aquoso que sob agitação provocam uma desestabilização das micropartículas em suspensão presentes na água bruta. Os íons metálicos gerados pelas reações desses sais no meio líquido, altamente carregados eletricamente, reprimem as forças repulsivas entre as partículas coloidais hidrófobas, de modo a permitir sua aglomeração. Da mesma forma produzem compostos floculentos que ajudam na formação de partículas aglomeradas.
- **Floculação:** Após a ocorrência da coagulação, serve para que as partículas se tornem mais densas e sedimentáveis. Nesta etapa promove-se uma agitação lenta e por um determinado período de tempo de tal forma que haja atrito e aderência entre os coágulos, promovendo a formação de flocos.
- **Decantação:** Nesta etapa ocorre a remoção das partículas sólidas coaguladas e floculadas nas etapas anteriores, que por serem mais pesadas do que a água tende a descer perante a ação da gravidade com uma determinada velocidade de sedimentação até o fundo do decantador ou tanque. O lodo é formado pela deposição das partículas sólidas no fundo do tanque.
- **Filtração** – a filtração consiste na remoção de impurezas físicas, químicas e biológicas ainda restantes na água. Em geral a filtração é o processo final de remoção de impurezas em uma estação de tratamento de água. Sua principal função é produzir uma água límpida, para isso são usados meios filtrantes como carvão e areia. A filtração consiste em fazer com que o líquido passa através de

uma camada de material poroso, onde ocorre a retenção das partículas maiores entre os grãos dos elementos filtrantes.

- **Desinfecção:** É um processo que usa um agente químico ou físico com o objetivo de inativar microrganismos patogênicos presentes na água. Dentre os agentes químicos utilizados na desinfecção, têm-se os oxidantes a base de cloro, dióxido de cloro, ozônio, peróxido de hidrogênio, ácido peracético entre outros. Já entre os agentes físicos destacam-se o calor e a radiação ultravioleta.
- **Fluoretação:** Nesta etapa é adicionado um composto de flúor, usualmente aplica-se o ácido fluossilícico, fluoreto de cálcio, fluoreto de sódio entre outros, como fonte do íon fluoreto, com intuito de prevenção às cáries dentárias. A Fluoretação não é considerada tratamento, apenas complementação do tratamento convencional.
- **Ajuste do pH:** No final do tratamento da água, faz-se o ajuste do pH, uma vez que após as etapas anteriores o pH da água pode estar alcalino ou ácido, sendo necessário o ajuste.

O tratamento de água, segundo os autores Azevedo Netto e Richter (1991) e Fontanive (2005), é realizado para atender as seguintes demandas:

- **Higiênicas:** remoção de bactérias, protozoários, vírus e outros microrganismos, redução do excesso de impurezas e dos teores elevados de compostos orgânicos;
- **Estética:** correção de cor;
- **Econômico:** redução de corrosividade, dureza, cor, turbidez, ferro, manganês, odor e sabor.

Para que o processo de tratamento, distribuição e armazenamento sejam eficazes, é necessário também que o consumidor se conscientize da importância da correta utilização e higienização do reservatório domiciliar para preservação da qualidade da água (CAMPOS; FARACHE FILHO; FARIA, 2003).

2.3 A desinfecção da água

A desinfecção é um processo que tem por objetivo a destruição ou inativação de microrganismos patogênicos presentes na água, aptos a originar doenças, incluindo bactérias, protozoários e vírus, contudo não extermina totalmente as formas vivas, o que se objetiva é a eliminação dos organismos patogênicos. A destruição plena das formas

vivas é denominada esterilização (DI BERNARDO; DANTAS, 2005; HELLER; PÁDUA, 2010).

Os agentes desinfetantes procedem por via de um ou mais dos consecutivos mecanismos: 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).

Para sobreviverem na água, esses organismos dependem além da temperatura, de outros fatores ecológicos, fisiológicos e morfológicos, tais como: pH, turbidez, oxigênio, nutrientes, competição com outros organismos, resistência a substâncias tóxicas, habilidade na formação de esporos. A resistência de algumas espécies de microrganismos a desinfetantes específicos difere consideravelmente. Bactérias não-esporuladas são menos resistentes que as formadoras de esporos; formas encistadas e vírus podem ser bastante resistentes (ROSSIN, 1987 *apud* MEYER, 1994).

No livro intitulado *Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável*, que foi coordenado pelo Prof. Luiz Antônio Daniel, da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), foram estudadas diferentes técnicas da desinfecção de águas com agentes químicos. Neste livro, os autores Daniel et al. (2001) descrevem que a turbidez desempenha um papel relevante na eficiência da desinfecção, já que a matéria orgânica adere aos microrganismos, proporcionando um efeito escudo, protegendo-os da ação dos desinfetantes. Diversas pesquisas confirmam menor inativação de coliformes na desinfecção, com compostos clorados, quando a turbidez está acima de 1,0 Nefelometric Turbidity Unit (NTU).

O anexo XX da portaria Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde testifica esta afirmação, e recomenda que para água filtrada de estações de tratamento de água convencionais, a turbidez máxima aceitável seja de 0,5 NTU, potencializando desta forma a ação do desinfetante. A concentração de microrganismo é mais um ponto importante a ser observado na desinfecção, já que uma densidade elevada significa maior demanda de desinfetante (MEYER, 1994).

Contudo, além da inativação do microrganismo, os agentes desinfetantes podem ser adicionados com a finalidade de oxidar compostos inorgânicos, remover compostos orgânicos que conferem cor à água, controlar sabor e odor, prevenir o crescimento de algas em decantadores e filtros e manter a estabilidade biológica nos sistemas de reservação e distribuição de água (ALVARENGA, 2010). É chamado de pré-oxidação o processo no qual é adicionado um agente químico com estes fins oxidativos. Já no

processo de desinfecção final (pós-desinfecção), ocorre a inativação dos microrganismos restantes, conferindo a água resultante dos processos de tratamento a condição de potabilidade quanto ao parâmetro microbiológico definido em lei.

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005) e Laubusch (1971) *apud* Meyer (1994), os processos específicos de desinfecção podem ser classificados como:

- Tratamento físico – aplicação de calor, irradiação, luz ultravioleta e outros agentes físicos;
- Íons metálicos – cobre e prata;
- Compostos alcalinos;
- Compostos tensoativos – sais de amônia quaternários;
- Oxidantes cloro, bromo, iodo, dióxido de cloro, ozônio, permanganato de potássio, peróxido de hidrogênio e outros compostos orgânicos e inorgânicos.

A escolha apropriada de um desinfetante ou a combinação de alguns deles depende essencialmente da qualidade da água bruta (principalmente da concentração de carbono orgânico dissolvido ou brometos) quando for realizar a pré-desinfecção (pré-oxidação), visando evitar produtos indesejáveis dependendo do desinfetante escolhido. No caso da desinfecção final (pós-desinfecção), a escolha do agente desinfetante deve ocasionar a produção de água tratada liberta de organismos patogênicos (*coliformes totais*, *Escherichia coli*, bactérias heterotróficas, *cistos de Giardia*, *Oocistos de Cryptosporidium*, *Legionella* e vírus) (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Elementos químicos como o cloro, podem estar presentes na água intencionalmente, já que é o produto mais utilizado na etapa de desinfecção da água. A adição do cloro na água, resulta em diferentes reações químicas, e este é consumido pela matéria orgânica presente nela (TEIXEIRA et al., 2012). E, assim, maiores quantidades de cloro deverão ser adicionadas para garantir a permanência de cloro residual livre (CRL) na água de consumo, sendo muito importante que exista CRL em todos os pontos da rede de distribuição, constituindo um indicador eficaz, imediato e barato que permite monitorar e assegurar a qualidade bacteriológica da água (TEIXEIRA et al., 2012).

2.4 Uso de agentes clorados na desinfecção

Historicamente, nos processos de tratamento de água o agente oxidante mais empregado é o cloro, na forma de cloro gasoso (Cl_2), hipoclorito de sódio (NaOCl) e

hipoclorito de cálcio ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) (FERREIRA FILHO; SAKAGUTI, 2008). Sendo estes utilizados com o intuito de promover a desinfecção (inativação de microrganismos patogênicos), oxidação (oxidação de compostos orgânicos ou inorgânicos presentes na água) ou ambas as ações.

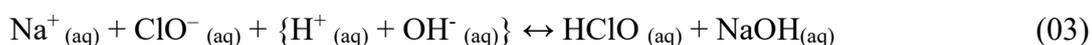
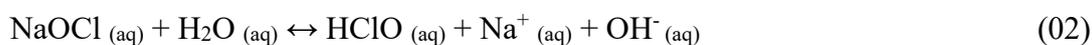
Para Cavalari (2008) essa preferência aos agentes clorados se dá pelas questões tecnológicas de produção, de custo, de armazenamento, de transporte e da facilidade de aplicação desse agente oxidante e seus compostos. Contudo Andrade (2008), e Azevedo Neto e Richter (1991) destacam que a desinfecção da água apresenta vantagens por não afetarem o odor ou sabor da água, por inativarem um amplo espectro de microrganismos em tempo relativamente curto, por possuírem fácil aplicação devido a sua alta solubilidade (7 g/L a 20° C) e serem capazes de deixar um residual em solução, de concentração facilmente determinável, que, não sendo perigoso ao homem, seja eficiente em proteger o sistema de distribuição.

A utilização do cloro na desinfecção da água iniciou-se com a adição do hipoclorito de sódio (NaOCl), obtido pela decomposição eletrolítica do sal. A aplicação ocorria, inicialmente, somente em casos de epidemias. A partir de 1902, a cloração foi adotada de maneira contínua na Bélgica. Em 1909, passou a ser utilizado o cloro guardado em cilindros revestidos com chumbo (MEYER, 1994).

Segundo Di Bernardo e Dantas 2005, a água isenta de impurezas (“água quimicamente pura”) reage com o cloro gasoso formando os seguintes produtos de acordo com a reação (01):



Quando é utilizado o hipoclorito de sódio, podem ocorrer as seguintes reações:

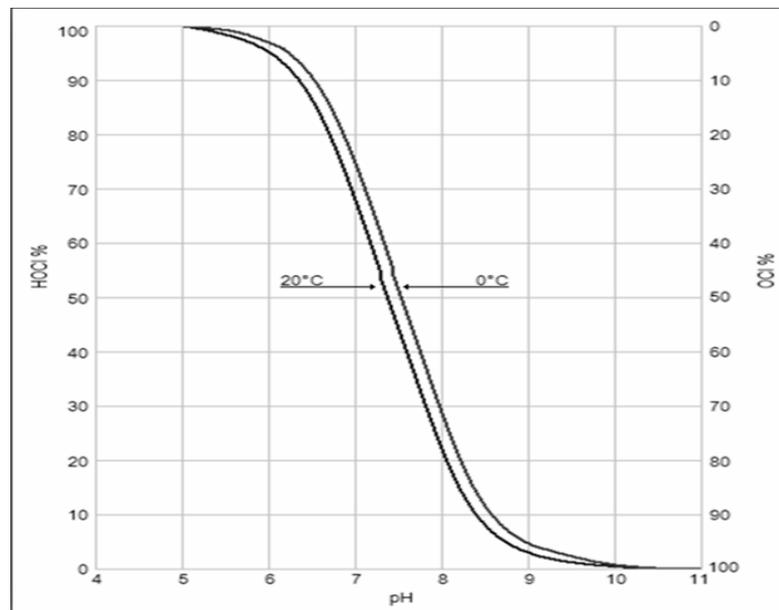


O ácido hipocloroso (HClO) é formado logo que o composto clorado (hipoclorito de sódio ou cloro gás) é adicionado na água, como observado nas equações 01, 02 e 03. Por ser um ácido fraco, sofre dissociação parcial em solução aquosa para formar o íon hipoclorito (OCl^-), que também tem efeitos desinfetantes, ainda que menos eficientes. Sendo assim dependendo do pH da água, o ácido hipocloroso (HClO) se dissocia, formando o íon hipoclorito (ClO^-) de acordo com a reação (04):



A Figura 01, evidencia a influência que o pH tem na dissociação do ácido para as águas com temperatura de 0 e 20 °C.

FIGURA 01 - Relação entre ácido hipocloroso e o íon hipoclorito em função do pH (águas quimicamente puras) para as temperaturas de 0 e 20 °C.



Fonte: Di Bernardo; Dantas (2005).

Nota-se que para valores de pH acima de 6, diminui a concentração de HClO e aumenta a de ClO⁻. A relação entre as duas espécies (HClO e ClO⁻) é muito importante, pois como mencionado anteriormente há uma diferença de eficiências entre elas.

2.5 Agentes clorados e a formação de subprodutos da desinfecção

Desde a década de 1970, vários pesquisadores constataram que a matéria orgânica natural (MON) na água pode reagir com o cloro, propiciando a formação de compostos orgânicos halogenados (NIEUWENHUIJSEN et al., 2010; PASCHOALATO et al., 2008; RODRÍGUEZ et al., 2007). Os subprodutos orgânicos halogenados podem ser assim apresentados de acordo com Di Bernardo e Dantas (2005):

- Trialometanos (TAM) (clorofórmio, bromodiclorometano, dibromoclorometano, bromofórmio);
- Ácidos haloacéticos (ácido monocloroacético, ácido dicloroacético, ácido tricloroacético, ácido dibromoacetona, ácido bromocloroacetona, ácido bromoacetona, ácido cloroacetona, ácido acetona);

- Haloacetonas (1,1 – dicloropropanona, 1,1,1, - tricloropropanona);
- Halofenóis (2-clorofenol, 2,4 – diclorofenol, 2,4,6 – triclorofenol);
- Cloropicrina;
- Cloral hidrato;
- Cloreto cianogênico;
- N-organocloaminas;
- MX [3-cloro-4- (diclorometil) -5-hidroxi-2(5H) -furanona]

Já os subprodutos inorgânicos são: íon clorato, clorito, bromato e iodato; peróxido de hidrogênio; amônia.

A MON, também conhecida como principal precursor de subprodutos da desinfecção, pode ser procedente da decomposição da vegetação terrestre, originando ácidos húmicos e fúlvicos, da vegetação aquática e algas e dos efluentes industriais. A prevalência desses ácidos contém radicais cetona, que podem propiciar a formação de halofórmios após a reação com o cloro (MEYER, 1994; PAIXÃO et al. 2014).

Di Bernardo e Dantas (2005) descrevem a reação (05) para a formação dos subprodutos da cloração:



Os fatores que mais induzem a formação dos subprodutos da desinfecção (SPDs) são: pH; tempo de contato; temperatura; natureza e concentração da MON (matéria orgânica natural), particularmente de ácidos húmicos; dosagem de cloro e cloro residual, além da concentração do íon brometo (Br^-) (BECKER, 2010; DI BERNARDO; DANTAS, 2005; MEYER, 1994).

Entre os subprodutos da desinfecção (SPD), os trialometanos (TAM) são os mais frequentemente achados após a cloração e apontados carcinogênicos e potencialmente perigosos para a saúde humana (BECKER, 2010).

Para avaliarem os efeitos dos subprodutos da desinfecção e dos residuais dos desinfetantes sobre a saúde, foram realizados estudos epidemiológicos e/ou toxicológicos com animais em laboratório. De acordo U.S. Environmental Protection Agency -USEPA (1999), as categorias das substâncias químicas, segundo seu potencial carcinogênico, estão no Quadro 02.

QUADRO 02 - Classificação das substâncias químicas segundo potencial carcinogênico.

Classificação	Descrição
Grupo A: Cancerígeno aos humanos	Evidências suficientes em estudos epidemiológicos mostram associações entre exposição e o câncer
Grupo B: Provável cancerígeno aos humanos	Evidências limitadas suficientes em estudos epidemiológicos (B1) e/ou estudos em animais (B2).
Grupo C: Possível cancerígeno aos humanos	Evidências limitadas de estudos em animais e dados inadequados ou inexistentes para humanos
Grupo D: Não classificado	Evidências inadequadas ou inexistentes em estudos com animais e humanos
Grupo E: Sem evidências de ser cancerígeno aos humanos	Sem evidências de ser cancerígeno em pelos menos dois testes adequados em animais em diferentes espécies, ou em estudos adequados epidemiológicos e em animais

Fonte: Adaptado de USEPA (1999).

A portaria Consolidação nº 5 (Anexo XX) do Ministério da Saúde (MS) estabelece os valores máximos permitidos de substâncias químicas que apresentam risco à saúde, entre essas substâncias, encontram-se os seguintes subprodutos da desinfecção e desinfetantes, conforme Tabela 01. Neste trabalho será verificado a presença destas substâncias na água tratada.

TABELA 01 - Produtos Secundários da Desinfecção.

Produto secundário da desinfecção e desinfetantes	Valor Máximo Permitido (mg/l)
Ácidos Haloacéticos Total	0,08
Bromato	0,01
Clorito	1
Cloro residual livre	5
Cloraminas Total	4,0
2,4,6 triclorofenol	0,2
Trihalometanos total	0,1

Fonte: Adaptado da portaria Consolidação nº 5 (Anexo XX), Brasil (2017).

Já a Tabela 02, ilustra informações sobre os SPDs da desinfecção de acordo com a classificação da USEPA (1999). Foram relacionados nesta Tabela 02, os SPDs

especificados pela portaria Consolidação nº 5 (Anexo XX) do MS, conforme visto na Tabela 01.

TABELA 02 - Informações sobre SPDs potenciais de causar câncer no ser humano.

SPDs	Tipos	Classificação
Trihalometanos	Clorofórmio	B2
	Bromodiclorometano	B2
	Dibromoclorometano	C
	Bromofórmio	B2
Ácidos haloacéticos	Ácido Monocloroacético	-
	Ácido dicloroacético	B2
	Ácido tricloroacético	C
2,4,6 –Triclorofenol		B2
Clorito		D
Bromato		B2
Monocloramina		-

Fonte: Adaptado de Di Bernardo; Dantas (2005).

Segundo Becker (2010), a Agência Internacional para Pesquisas sobre o Câncer (IARC), após a avaliação de vários estudos sobre os SPDs significarem prováveis carcinógenos humanos, concluiu que não é possível reconhecer que o consumo de água clorada pode levar ao câncer em seres humanos. Nieuwenhuijsen et al., 2010, complementa que a despeito de haver vários estudos sobre os efeitos adversos na saúde humana, como as anomalias congênitas e a carcinogenicidade, as demonstrações desses associados aos subprodutos da cloração é limitada, porém a desinfecção da água potável é de extrema relevância para a saúde pública e pelo fato da exposição das pessoas aos subprodutos da cloração, a vigilância destes e de seus capazes efeitos adversos à saúde humana, deve ser contínua, mesmo que os riscos associados sejam baixos.

2.6 Gás Cloro: Características e riscos de utilização

A descoberta do cloro em 1774 foi atribuída ao químico sueco Carl Wilhelm Scheele. Ele obteve o gás cloro (Cl_2), ou cloro elementar, pela oxidação de ácido clorídrico por pirolusita (MnO_2). Contudo, somente em 1810, o químico inglês Sir Humphery Davy demonstrou seu caráter como elemento químico, atribuindo-lhe seu nome atual (WALLAU et al., 2015).

O uso do cloro foi aprovado pela American Public Health Association (APHA), em 1886, para uso como desinfetante e no início do século XX, foi utilizado em 1902, por meio da instalação de cloração permanente de abastecimento público em Middlekerke na Bélgica e em seguida pelos Estados Unidos na desinfecção das águas, no estado de New Jersey em 1908 (CAPOCCHI, 1962; CAVALARI, 2008; FREITAS; MACHADO DE FREITAS, 2005).

Cerca de 70% de todos os produtos químicos e 85% dos produtos farmacêuticos possuem cloro ou são fabricados usando reagentes contendo cloro em pelo menos um estágio da síntese (WALLAU et al., 2015). O cloro também é amplamente empregado na indústria de pesticidas, no branqueamento de celulose e além da desinfecção da água para consumo humano, é utilizado no tratamento de piscinas e sistemas industriais.

Na contemporaneidade, 97% do cloro gasoso são produzidos por meio da eletrólise de soluções aquosas de cloreto de sódio, essa produção gera conjuntamente a soda cáustica. Este cloreto de sódio utilizado para a preparação da salmoura pode ser encontrado minerado como sal gema ou conseguido pela evaporação da água do mar, podendo ser considerado como matéria prima quase inesgotável (WALLAU et al., 2015). Nas condições atmosféricas normais, o cloro é um gás amarelo esverdeado que pode ser facilmente comprimido em um líquido claro, detectável naturalmente devido ao seu cheiro imensamente irritante e penetrante. Em concentrações da ordem de 3 mL/m^3 irrita as vias respiratórias podendo ser fatal na concentração de 1 L/m^3 . A umidade torna o cloro extremamente corrosivo aos metais (AZEVEDO NETTO; RICHTER, 1991; DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

As propriedades físicas e sua classificação segundo o Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS) são mostrados na Tabela 03.

TABELA 03 - Propriedades físicas do cloro e a classificação dos seus perigos para a saúde humana e para o meio ambiente, segundo o Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS).

Propriedades	Valor	Propriedades	Valor
Temperatura crítica	143,5°C	Pressão crítica	7,6 atm
Massa específica crítica	0,57 g/cm ³	Massa específica (em relação ao ar)	2,5 vezes maior (gás)
Massa específica (líquido)	1,57 g/cm ³ (t = -34°C)	Massa específica (em relação à água)	1,5 vezes maior (líquido)
Solubilidade em água	+/- 7g/m ³ a 20°C e 1 atm	Ponto de fusão	-101°C (pressão atmosférica normal)
Ponto de ebulição (líquido)	-34°C (pressão atmosférica normal)	1 L de cloro líquido	Converte-se em cerca de 460 L de gás à pressão atmosférica normal
Limiar de odor	>0,18 mg/m ³		
Classificação e identificação da periculosidade do cloro segundo GHS			
Palavra de advertência		Perigo	
Classe/Categoria de perigo	Frase H	Pictograma	
Gases Oxidantes/ 1	(H270) Pode provocar ou agravar um incêndio, oxidante		
Gases sob pressão/ Gás liquefeito	(H280) contém gás sob pressão: pode explodir sob ação do calor		
Toxicidade aguda – Inalação/2	(H330) Fatal se inalado		
Corrosão/irritação à pele/2	(H315) Provoca irritação à pele	-	
Lesões oculares graves/irritação ocular/2A	(H319) Provoca irritação ocular grave	-	
Toxicidade para órgãos-alvo específicos –Exposição única/3	(H356) Pode provocar irritação das vias respiratórias	-	
Perigoso ao ambiente aquático – Agudo/1	(H400) Muito tóxico para os organismos aquáticos		

Fonte: Adaptado de Wallau et al., (2015) e Di Bernardo; Dantas (2005).

O gás cloro por ser irritante e corrosivo, causa danos as vias respiratórias, olhos e pele. Os efeitos dependerão da quantidade inalada e do tempo de exposição do indivíduo.

A exposição pode resultar em vômitos, dores de garganta, queimaduras, podendo levar a morte. A legislação brasileira estabelece que o limite máximo de tolerância que o trabalhador pode ficar exposto até 48 horas de trabalho por semana é de 0,8 ppm (partes de vapor ou gás por milhão de partes de ar contaminado) ou 2,3 mg/m³ (miligramas por metro cúbico de ar) (BRASIL, 1978). Aos equipamentos e materiais seus efeitos corrosivos causam danos irreversíveis, acarretando prejuízos financeiros. Ao meio ambiente, a vegetação é fortemente atingida pela ação do gás, causando perdas totais ou podas profundas das mesmas. A Tabela 04 evidencia os efeitos do Cl₂ aos seres humanos.

TABELA 04 - Efeito da inalação do cloro gasoso aos seres humanos.

CONCENTRAÇÃO (ppm)	EFEITOS
0,2 – 3,0	Limite de odor
1,0 – 3,0	Moderada irritação de membranas
4,0	Máxima exposição de 1 hora
5,0 – 15,0	Moderada irritação das vias superiores
30	Tosse intensa com espasmos
40,0 – 60,0	Concentração perigosa em 30 minutos
430	Fatal em 30 minutos
1000	Fatal após algumas inalações

Fonte: Fontanive (2005).

O gás cloro é comercializado no Brasil, acondicionado em cilindros pequenos com capacidade de 54 e 68 Kg e em cilindros maiores de 900 Kg ou ainda em carros tanques de 18 t. Em virtude dos perigos de utilização do cloro gás, as instalações de cloração exigem constante supervisão pelo operador e constantes manutenções.

Apesar de todos os cuidados requeridos no manuseio do cloro, podem ocorrer acidentes decorrentes do mau funcionamento de válvulas e fechamento ou armazenamento e instalações inadequadas de cilindros (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Em decorrência do manuseio e transporte, o gás é conservado liquefeito no interior dos cilindros. Dessa forma, em caso de vazamentos, o cloro propende a passar precipitadamente para o estado gasoso, aumentando em 457 vezes seu volume na atmosfera. Além desse risco peculiar ao estado físico, ele ainda exhibe riscos adicionais, como a alta toxicidade, alto potencial de oxidação e corrosividade, intensificando o cenário do acidente (FREITAS, 2011).

Uma vez formada a nuvem no ambiente, proveniente de um vazamento acidental, a dispersão do gás será influenciada por parâmetros atmosféricos, como umidade, temperatura, direção e velocidade do vento. As nuvens originadas de liberações ocorridas no período diurno tendem a se dispersar mais rapidamente devido à ocorrência de radiação solar. Já no período noturno, a nuvem formada na atmosfera poderá atingir grandes distâncias se diluindo até valores seguros de concentração (FREITAS, 2011).

Segundo Fontanive (2005), a dispersão de gases tóxicos ou vapores é motivada por parâmetros como: taxa de liberação e duração, condições atmosféricas predominantes, concentrações limites, elevação da fonte do subsolo, geometria da fonte e densidade inicial da liberação. A quantidade liberada remete à quantidade total de vazamento por um período deliberado de tempo num evento ou acidente. Este parâmetro é fundamental na determinação da distância de dispersão. Além disso, a partir dos resultados obtidos da simulação de cenários hipotéticos de vazamentos acidentais de cloro, a autora concluiu que existem riscos significativos associados às instalações do produto, sendo necessária a verificação dos mesmos para reduzir as conseqüências dos possíveis acidentes que podem ocorrer. Ademais, os resultados obtidos permitiram constatar ainda, que as condições meteorológicas para a dispersão do gás cloro e a densidade populacional da vizinhança, aumentam a probabilidade de ocorrência de danos à saúde da população e ao meio ambiente, principalmente, na região mais próxima das instalações do cloro.

A probabilidade de perdas, danos ou lesões em pessoas, sistemas e equipamentos num determinado período de tempo e a incerteza quanto à ocorrência de um determinado evento é considerado risco (MOURA, 2002 *apud* FONTANIVE, 2005).

Em virtude dos problemas de uso do cloro gás, tanto com questões de subprodutos na água tratada, quanto com a questão de segurança ambiental, que envolve riscos da utilização do gás cloro, algumas ETAs têm buscado alternativas para substituir esse desinfetante.

Dos desinfetantes químicos utilizados como alternativos ao cloro gás, destacam-se hipoclorito de sódio ou de cálcio, o ozônio (O_3), o dióxido de cloro (ClO_2), cloraminas (NH_2Cl), permanganato de potássio ($KMnO_4$), a mistura Ozônio/ Peróxido de Hidrogênio (O_3 / H_2O_2), o íon ferrato (FeO_4^{2-}) e ácido peracético (CH_3OOOCH) (DANIEL et al., 2001; FERREIRA FILHO; SAKAGUTI, 2008; PASCHOALATO et al., 2008; TELLES, 2013).

Para a escolha de um novo método é necessário atender as seguintes especificações: a) seja efetivo na inativação de microrganismos patogênicos; b) sua aplicação seja confiável e simples, sendo de fácil acesso levando-se em conta o grau de desenvolvimento da comunidade; c) não produza compostos secundários prejudiciais à saúde; d) apresente atributos semelhantes aos do cloro, como fornecer residual persistente na água, ter sua concentração facilmente medida, não acarretar sabor e odor na água e estar disponível no mercado a custos razoáveis (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Para a redução da formação de subprodutos, o uso de oxidante alternativo oportuniza a supressão ou a diminuição do cloro na estação de tratamento de água (ETA). Neste sentido, diferentes oxidantes têm sido experimentados, sobressaindo: dióxido de cloro, ozônio, permanganato de potássio e peróxido de hidrogênio (FERREIRA FILHO et al., 2003; PASCHOALATO et al., 2008).

A utilização de dióxido de cloro no Brasil em estações de tratamento de água ainda é pequena, sendo empregado como pré-oxidante e desinfetante (FRIZZO et al., 2004). A utilização desse agente oxidante apresenta como principais vantagens: maior efetividade que o cloro gás na inativação de vírus, *Cryptosporidium* e *Giardia*; não sofre influência de valores de pH, não forma trihalometanos e ácidos haloacéticos e apresenta potencial de oxidação superior ao do cloro. Entretanto, apresenta desvantagens como: geração com subsequente formação de subprodutos clorito (ClO_2^-) e cloratos (ClO_3^-), decompõe-se pela ação de raios UV; deve ser gerado no local da aplicação devido ao risco de explosão; complexidade do controle analítico; alto custo do clorito de sódio (matéria prima) e da instalação produtora e somente justificáveis para uma produção superior a 1 tonelada por dia (DANIEL et al., 2001; FRIZZO et al., 2004; ZARPELON; RODRIGUES, 2002).

O ozônio não tem sido muito aplicado no Brasil, mas desde o final do século XIX na Europa e nos EUA é empregado na desinfecção e oxidação de água de abastecimento público. É um dos oxidantes e desinfetantes mais efetivos pois demanda menor tempo de contato. Sua ação desinfetante ocorre por meio do residual de oxigênio molecular remanescente, o qual é instável e fortuitamente identificado na água após alguns minutos do ozônio ter sido aplicado. Decompõe-se espontaneamente na água por meio de mecanismos complexos que envolvem a geração de radicais livres hidroxilas (OH^*), os quais são muito reativos (DANIEL et al., 2001, PASCHOALATO et al., 2008). A produção do ozônio tem que ser efetuada no próprio local da aplicação devido à sua baixa estabilidade, exigindo investimentos elevados nas instalações, além de um consumo de

energia elétrica variando entre 25 KWH até 35 KWH por grama de ozônio (ZARPELON; RODRIGUES, 2002).

O uso do Ozônio denota os seguintes benefícios: redução dos teores de ferro e manganês, aumento da eficiência dos processos de coagulação e floculação; remoção de certas substâncias orgânicas não biodegradáveis (FARIA et al., 2005). Para Zarpelon e Rodrigues (2002), as principais dificuldades de implementação da ozonização é a impossibilidade de o ozônio produzir residual que previna esporádica contaminação no sistema de distribuição de água; além dos requisitos de energia elétrica, custo, instalação e operação serem altos, cerca de 10 a 15 vezes maiores que para o cloro.

Um outro agente oxidante eficaz é o permanganato de potássio, o qual é usado principalmente na pré oxidação para controle de sabor e odor, remoção de cor, controle do crescimento biológico na ETA e oxidação de ferro e manganês, mas é um desinfetante fraco. É fornecido na forma sólida. Os benefícios de seu uso em comparação ao cloro, diz respeito a facilidade de transporte, armazenamento, preparo e aplicação da solução. Não forma subprodutos da desinfecção. As desvantagens são o longo tempo de contato, apresenta tendência de conferir coloração rósea à água, é tóxico, irrita a pele e mucosas dos seres humanos (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Já, o peróxido de hidrogênio tem eficiência reconhecida como bactericida e algicida no tratamento de água e efluentes industriais. Apresenta como vantagens: baixo custo, não formação de subprodutos indesejáveis na água, aplicação mais segura quando comparada ao cloro, podendo ser aplicado diretamente na água através de bombas dosadoras (PERES et al., 2008; TEIXEIRA et al., 2013). É utilizado na maioria das vezes na pré-oxidação e considerado um oxidante moderado. Sua principal desvantagem diz respeito a formação de subprodutos ainda desconhecidos.

Desde o ano 2000 a Companhia Municipal de Saneamento de Novo Hamburgo/RS (COMUSA) substituiu o gás cloro pelo dióxido de cloro. Este por sua vez, proporcionou a ausência dos odores e gostos detectados na água tratada em períodos de estiagem. A substituição também ocorreu com o intuito de prevenir a formação de trihalometanos. Apesar do dióxido de cloro ser economicamente mais caro que o cloro gás, seus benefícios compensam os gastos adicionais (MORAES et al., 2005).

O Serviço Autônomo de Água e Esgotos (SAAE) de Indaiatuba-SP, em 2016 substituiu o cloro gás utilizado no tratamento da água por hipoclorito de cálcio em tabletes. Esta medida foi adotada visando proporcionar mais segurança e economia ao processo de tratamento. O produto foi testado durante trinta dias em uma das ETAs

pertencente ao SAAE e com a comprovação de sua eficácia na desinfecção da água, será substituído nas outras estações (PREFEITURA DE INDAIATUBA, 2016).

O Quadro 03, demonstra as vantagens e desvantagens de alguns desinfetantes utilizados no tratamento de água.

QUADRO 03 - Principais vantagens e desvantagens de alguns desinfetantes.

Desinfetante	Vantagens	Desvantagens
Agentes Clorados (Cloro Gás, hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio)	Oxidante poderoso; dosagem relativamente simples; residual persistente; mais usado	Forma compostos organo-halogenados quando a água apresenta precursores; problemas de sabor e odor; influência do pH. Cloro gás (gás oxidante, perigos de vazamentos).
Ozônio	Oxidante poderoso; geralmente forma quantidades pequenas de compostos organo-halogenados; não apresenta problemas de odor e sabor; pequena influência de pH; ajuda na coagulação.	Pequena meia-vida; geração no local da ETA com consumo excessivo de energia elétrica; produz compostos biodegradáveis; complexa geração e medição de residuais; corrosivo.
Dióxido de cloro	Oxidante poderoso; residual relativamente persistente; forma quantidades pequenas de compostos organo-halogenados; sem influência do pH.	Formação de alguns compostos organo-halogenados (diferentes dos trihalometanos); possíveis subprodutos (clorito e clorato); geração no local da ETA.
Permanganato de potássio	Fácil aplicação; não forma trihalometanos.	Oxidante moderado; confere cor rósea à água; pequena ação desinfetante.
Peróxido de Hidrogênio	Fácil aplicação; forma radicais hidroxilas (alto poder de oxidação).	Oxidante moderado; formação de subprodutos ainda desconhecidos

Fonte: Adaptado de Di Bernardo; Dantas (2005).

2.7 Alternativa a substituição de cloro gás –Tecnologia Mixed Oxidant Gases Generated On-site for Disinfection (MOGGOD)

As populações que residem longe dos grandes centros urbanos, em pequenas comunidades e na zona rural, são mais suscetíveis a não terem fornecimento de água potável. Com vistas a essa preocupação, a Organização Pan-americana de Saúde (OPAS) começou, em 1982, nas comunidades desassistidas pelo abastecimento público, o

desenvolvimento de uma tecnologia para geração *in loco* de uma mistura de gases oxidantes para desinfecção de água. Para tanto, foi implementada a técnica Mixed Oxidant Gases Generated On-site for Disinfection (MOGGOD). No MOGGOD, a geração de gases oxidantes é realizada por eletrólise de uma solução salina de cloreto de sódio. O processo gera também, como subprodutos, solução de hidróxido de sódio e gás hidrogênio. A célula eletrolítica típica é dividida em dois compartimentos (anódico e catódico), separados por uma membrana semipermeável e seletiva (geralmente *Náfi*on, co-polímero perfluorado), que permite a passagem de íons sódio, mas não de íons cloreto. O ânodo é feito de titânio ou grafite, enquanto o cátodo, é de aço inoxidável (MATOS et al., 2006, OLIVEIRA, 2009;).

A técnica MOGGOD apresenta vantagens com relação ao sistema convencional de utilização ao cloro gasoso, tendo em vista o baixo custo e facilidade de obtenção de matéria prima (NaCl), já que o cloro gasoso apresenta desvantagens em face dos perigos agregados ao transporte, armazenamento, acondicionamento, manuseio, dosagem, além dos perigos de toxidez, corrosividade e agressividade ambiental (MATOS et al., 2006). A técnica MOGGOD sofreu modificações, e como inovação tecnológica, foi desenvolvido um novo sistema que produz uma solução de misturas oxidantes ao invés dos gases oxidantes. Essa solução obtida, produto da reação eletrolítica do sal, contém, principalmente, hipoclorito de sódio (NaOCl), além do cloro livre e outros oxidantes como peróxido de hidrogênio, traços de ozônio e de dióxido de cloro. Essa tecnologia é mais vantajosa, visto ser mais conveniente trabalhar com misturas de soluções oxidantes do que com misturas de gases oxidantes (MATOS et al., 2006, REIFF; WITT, 1995).

Segundo Reiff e Witt (1995), a solução oxidante gerada *in loco* possui um residual mais estável no sistema de distribuição devido aos vários componentes oxidantes presentes.

Em 1987, a SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) estabeleceu um plano de trabalho com a participação da PUC-PR – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Sanepar e OPAS, com o objetivo de avaliar um protótipo MOGGOD cedido pela OPAS. Ao finalizar os estudos, firmaram um convênio entre PUC, SANEPAR e Cooperação – Cooperativa Mista de Prestação de Serviços e Industrial Ltda., que originou um modelo nacional denominado “Gerador Dosador de Gases Oxidantes Aquarius G. C”, com capacidade de produção de desinfetante *in loco* para sistemas de abastecimento de até três litros por segundo (OLIVEIRA, 2009; AISSE et al., 2005).

2.8 Geradores de solução oxidante *in loco* por meio da eletrólise utilizados atualmente em alguns sistemas de tratamento de água

Os geradores de solução oxidante *in loco* seguem como uma das tecnologias alternativas para desinfecção de água que tem se evidenciado e que está acessível no mercado brasileiro. A solução é produto da reação eletrolítica do cloreto de sódio e contém o ácido hipocloroso em equilíbrio com o íon hipoclorito (cloro livre), outras espécies de cloro, além de traços de outros oxidantes, como peróxido de hidrogênio, ozônio e também há uma certa quantidade de hidróxido de sódio e o gás hidrogênio (o qual é liberado para a atmosfera). A solução pode ser produzida em batelada ou de forma contínua, e, nesse caso, dosada diretamente na água a ser desinfetada (OLIVEIRA, 2009).

Para a produção dessa solução por meio da eletrólise, é necessária a combinação de três elementos sal (cloreto de sódio), água e eletricidade. A Eletrólise caracteriza um processo não espontâneo de descarga de íons, baseado na conversão de energia elétrica em energia química. A reação química ocorre quando é aplicada uma corrente elétrica externa. A finalidade dessa aplicação é decompor ou sintetizar novos produtos químicos, como a eletrólise do cloreto de sódio em solução aquosa formando cloro, soda, hidrogênio e hipoclorito de sódio.

Entre os vários eletrodos utilizados para os processos eletroquímicos, destacam-se os eletrodos do tipo ânodos dimensionalmente estáveis (ADEs). Os ADEs são materiais utilizados, principalmente, na produção de cloro e soda cáustica. São constituídos de um suporte metálico e com resistência mecânica (titânio na maioria dos casos) sobre o qual são depositadas misturas de óxidos de metais de transição por meio de decomposição térmica. A forte adesão da mistura de óxidos ao suporte metálico é assegurada pela formação de uma camada de TiO_2 (dióxido de Titânio) a partir do Ti metálico, durante a calcinação da mistura precursora. Os óxidos industriais mais comuns são formados por RuO_2 (dióxido de Rutênio) e TiO_2 (dióxido de Titânio) e o eletrodo ADE mais conhecido é o $(\text{Ti}/\text{Ru}_{0,3}\text{Ti}_{0,7}\text{O}_2)$, no qual o óxido de rutênio é o agente catalítico, garantindo maior condutividade elétrica (ALVES et al, 2012; BRITO, 2015; TRASATT, 2000).

O cloreto de sódio presente na salmoura, sofre dissociação, liberando um cátion (Na^+) e um ânion (Cl^-) conforme a reação (06):



A água utilizada no preparo da salmoura, sofre o fenômeno da auto ionização, no qual produz um cátion (H^+) e um ânion (OH^-) conforme a reação (07):



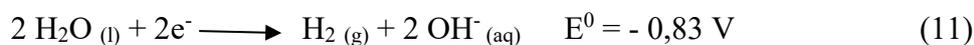
A fonte de corrente contínua, ligada na rede elétrica, desencadeia o processo de eletrólise, gerando Cl_2 no ânodo e H_2 no cátodo (CHANG, 2006).

No ânodo ocorrem as reações de oxidação:



Os valores dos potenciais padrão de oxidação não são muito diferentes, mas sugerem que a água seria oxidada preferencialmente no ânodo. No entanto, se observa a produção do $Cl_{2(g)}$. Isto acontece pois nos processos eletrolíticos (processos não-espontâneos), o potencial necessário para induzir tal reação é consideravelmente superior ao indicado pelos potenciais padrão dos eletrodos. Este potencial adicional necessário para ocorrer a reação não-espontânea é denominado de sobrepotencial (η). Portanto, o sobrepotencial necessário para ocorrer a formação de O_2 é bastante elevado quando comparado com aquele requerido para a produção de $Cl_{2(g)}$. Então, experimentalmente, forma-se $Cl_{2(g)}$ no anodo em vez de $O_{2(g)}$ (CHANG, 2006).

No cátodo ocorrem as reações de redução:



A reação denominada (12), está descartada pois o potencial padrão de redução é muito negativo. Apesar da reação (10) apresentar um valor de potencial padrão de redução superior ao da reação (11), a concentração de íons H^+ é baixa em torno de $1 \times 10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$ devido a constante de auto ionização da água ser 1×10^{-14} em decorrência das ligações de hidrogênio serem fortes. Portanto, a reação (11) é que ocorre preferencialmente no cátodo (CHANG, 2006). Então as semi-reações que ocorrem na eletrólise da salmoura são:

Ânodo (polo positivo) (oxidação): $2 \text{Cl}^-_{(\text{aq})} \rightarrow \text{Cl}_{2(\text{g})} + 2 \text{e}^-$

Cátodo (polo negativo) (redução): $2 \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_{2(\text{g})} + 2\text{OH}^-_{(\text{aq})}$

Equação global: $2\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} + 2\text{Cl}^-_{(\text{aq})} \rightarrow \text{H}_{2(\text{g})} + \text{Cl}_{2(\text{g})} + 2\text{OH}^-_{(\text{aq})}$ (13)

Nas células eletrolíticas que não possuem barreira física entre os eletrodos, como as membranas³ utilizadas no processo Cloro-soda⁴, que nestes casos específicos de produção de Cloro gás ou Hidróxido de sódio (conhecido comercialmente por soda cáustica) impedem o contato do cloro formado no ânodo e do Hidrogênio formado no cátodo. Sem esta barreira, ocorre reações químicas entre as espécies formadas no ânodo e no cátodo da célula eletrolítica com outras espécies presentes no seio da solução, resultando na formação do hipoclorito de sódio (NaClO) juntamente com outros produtos como também hidróxido de sódio e peróxido de hidrogênio, como pode ser observado nas reações (14), (15) e (16).

Além de $\text{H}_{2(\text{g})}$ e $\text{Cl}_{2(\text{g})}$ são gerados produtos secundários como:



Esse processo é considerado um método de desinfecção alternativo, rentável, confiável e seguro, por ser um sistema fechado, sem contato físico do operador com nenhuma solução gerada, com aplicação direta na fonte da água a ser tratada (DE NORA, 2009).

No Brasil, algumas cidades estão substituindo os atuais desinfetantes utilizados no tratamento de água pela tecnologia de produção *in loco* de hipoclorito de sódio, como pode ser visto na Tabela 05.

³A membrana catiônica permeável é usada no eletrolisador para a separação das soluções do compartimento catódico e anódico que apresentam composições diferentes para evitar a mistura dos produtos da eletrólise. As membranas mais utilizadas são de Náfion® (copolímero de tetrafluoroetileno) e Flemion® (MORAES, 2011).

⁴A indústria de cloro-soda e seus derivados utilizam o processo da eletrólise da salmoura (cloreto de sódio), para produção de cloro, hidróxido de sódio e hidrogênio (MORAES, 2011).

TABELA 05 - Alguns sistemas de tratamento de água com produção de solução de hipoclorito de sódio *in loco*.

Cidade/Estado	População Estimada (IBGE-2017)	Operador	Desinfetante Substituído	Ano da Substituição
Uberlândia/MG	676.613	DMAE	Cloro Gás	2014
Juiz de Fora/MG	563.769	CESAMA	Cloro Gás	2013
Uberaba/MG	328.272	CODAU	Cloro Gás	2016
Vera Cruz/RS	26.024	SAMAE	Pastilhas de Hipoclorito de Cálcio	2013
Palmas/TO	286.787	SANEATINS	Cloro Gás	1999
Santo André/SP	710.210	SEMASA	Cloro Gás	2011
Sumaré/SP	273.007	Odebrecht Ambiental	Cloro Gás	2015
Cuiabá/MT	580.489	CAB	Cloro Gás	2014
Simão Filho/BA	136.050	EMBASA	Cloro Gás	2016
Telêmaco Borba/PR	77.276	SANEPAR	Cloro Gás	2008

Fonte: Hidrogeron (2017).

Para as cidades que substituíram o cloro gás, as melhorias resultantes da substituição, dizem respeito a diminuição do potencial de risco apresentado pelos vazamentos acidentais deste gás. Com relação as pastilhas de hipoclorito de cálcio, a principal melhoria foi a questão do custo benefício, já que as pastilhas possuem alto valor de mercado (HIDROGERON, 2017).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 O sistema em estudo: Estação de Tratamento de Água Bom Jardim

Uberlândia está localizada na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, situado a oeste da capital mineira Belo Horizonte. Atualmente é abastecida por dois sistemas produtores distintos o Sistema Sucupira e Sistema Bom Jardim. Cada sistema produtor possui reservação e distribuição praticamente separados. O município conta também com os sistemas isolados de distribuição de água nos distritos os quais são abastecidos por poços tubulares profundos.

O sistema de abastecimento público escolhido para a investigação e estudo é o Sistema Bom Jardim. Este foi selecionado por ter recentemente realizado a substituição do agente desinfetante e também pela sua representatividade populacional, já que abastece mais de 338.000 mil habitantes de Uberlândia – MG, metade da população Uberlandense segundo o IBGE (2017). Outros critérios são os desafios de utilização do gás cloro por esta ETA, devido a sua localização na cidade e o impacto desse gás em caso de vazamentos, além da quantidade histórica de parâmetros de controle disponíveis no banco de dados da ETA Bom Jardim. Esta estação opera desde 1986 e diferentemente da ETA Renato de Freitas-Unidade Sucupira, localiza-se em perímetro urbano longe do seu manancial de abastecimento.

Em meados de 2014, a ETA Bom Jardim substituiu o cloro gás pela produção eletrolítica de hipoclorito de sódio *in loco*. Essa mudança foi ocasionada principalmente por questões de segurança ambiental e operacional, devido aos riscos da utilização do gás tanto para os servidores da ETA Bom Jardim, quanto aos populares do entorno da ETA, a Figura 02 mostra a localização urbana da ETA.

FIGURA 02 - Estação de Tratamento de Água Bom Jardim – Região Urbana de Uberlândia.



Fonte: DMAE (2017a).

Tanto o Sistema Bom Jardim, quanto o sistema Sucupira, captam água na bacia do Rio Uberabinha. O manancial utilizado pela ETA Bom Jardim é o Ribeirão Bom Jardim, afluente do Uberabinha, e o sistema de captação possui barragem e reservatório de acumulação, localizados a aproximadamente 1,2 km a montante da convergência dos cursos d'água.

O Rio Uberabinha pode ser o manancial utilizado para abastecer esse sistema de forma opcional, posto que a captação originalmente projetada foi deliberada a cerca de 100 m a jusante daquela convergência. Porém não existe represamento para o rio Uberabinha para abastecer a ETA Bom Jardim, a captação no Rio Uberabinha ocorre através de canal de derivação localizado na margem direita do rio, construído em concreto armado e interligado ao desarenador e ao poço de sucção da Elevatória de Água Bruta. Essa captação só é utilizada em épocas de estiagem.

A vazão de captação ortogada é de 2,0 m³/s, sendo esta outorga emitida pelo IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas).

As Figuras 03 e 04 ilustram a área de captação do sistema Bom Jardim de abastecimento de água.

FIGURA 03 - Sistema de Captação de Água Ribeirão Bom Jardim.



Fonte: DMAE (2015) – Plano diretor do abastecimento.

FIGURA 04 - Área de captação sistema Bom Jardim.



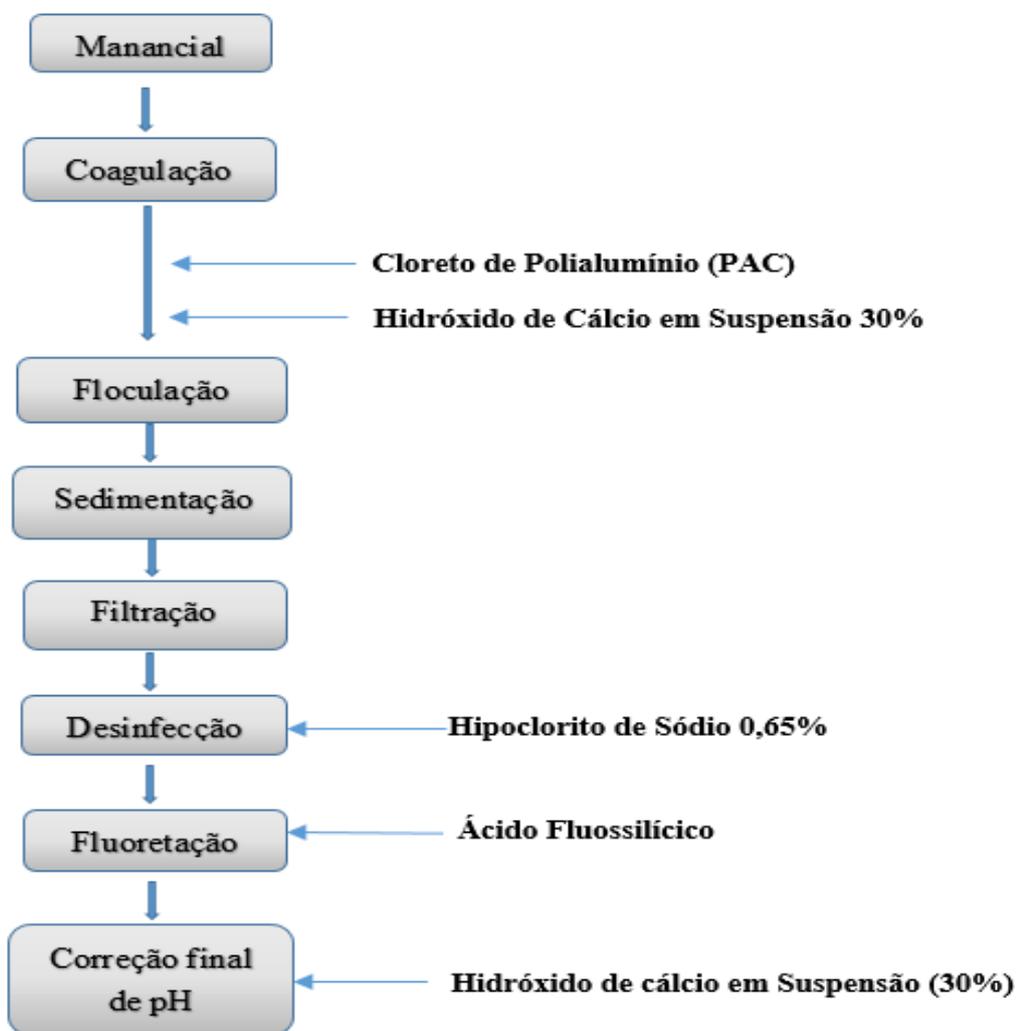
Fonte: DMAE (2015) – Plano diretor do abastecimento.

A água captada do Ribeirão Bom Jardim é recalçada por meio de duas adutoras de aço de 960 mm cada, que percorre aproximadamente 6,8 km até chegar à estação. A ETA Bom Jardim possui capacidade nominal de tratamento igual a 2 m³/s.

A ETA Bom Jardim é uma estação de tratamento de água de tecnologia de ciclo completo, sendo esta dotada dos processos unitários de coagulação, floculação, sedimentação, filtração, desinfecção, fluoretação e correção final de pH.

Os principais produtos químicos empregados no processo de tratamento são o PAC (Cloreto de Polialumínio) a 10% como coagulante, hidróxido de cálcio em suspensão a 30% como agente pré e pós alcalinizante, hipoclorito de sódio 0,65% aplicado na pós cloração como agente desinfetante e ácido fluossilícico para dosagem do íon fluoreto, o que pode ser visualizado no fluxograma apresentado na Figura 05.

FIGURA 05 - Produtos químicos aplicados no tratamento de água da ETA Bom Jardim.



Fonte: DMAE (2015) – Plano diretor do abastecimento.

O Hipoclorito de Sódio 0,65% utilizado na desinfecção é preparado na própria ETA Bom Jardim pelo sistema de geração *in loco* por meio da eletrólise. A Figura 06 mostra os componentes do sistema.

FIGURA 06 - Sistema de geração *in loco* de hipoclorito de sódio por meio da eletrólise.



Fonte: A autora.

Na ETA Bom Jardim existe laboratório constituído dos principais equipamentos analíticos para a determinação dos seus parâmetros de controle. Além dos equipamentos de bancada instalados, o processo de produção de água conta com um conjunto de equipamentos analíticos de processo, que possibilita a obtenção de parâmetros “*on line*” mostrados na Figura 07. Desta maneira, tem-se o controle de qualidade do processo de produção de água efetuado com segurança e confiabilidade.

FIGURA 07 - Laboratório da ETA Bom Jardim.



Fonte: A autora.

Toda água tratada na estação de tratamento de água Bom Jardim segue para dois reservatórios com capacidade de 10.000 m³ cada e de lá é recalçada para abastecer metade da cidade de Uberlândia, sendo distribuída por gravidade para a zona baixa da cidade, atendendo aos bairros: Patrimônio, Tabajaras, Daniel Fonseca, São José e outros; e por recalque, para os seguintes bairros: Centro, Martins, Saraiva, Jardim Brasil, Maravilha, Canaã, Luizote, Planalto, Centro de Reservação Santo Inácio que abastece os bairros na margem esquerda do Rio Uberabinha, bairros São Jorge, Laranjeiras, Granada e outros.

3.2 Caracterização das Instalações de Cloro Gás da ETA Bom Jardim

De 1986 até meados de 2014 a ETA Bom Jardim fez uso do gás cloro como agente desinfetante por meio do sistema de cloração ilustrado nas Figura 08.

FIGURA 08 - Sala de estocagem e uso dos cilindros de Gás Cloro – 900 Kg cada.



Fonte: A autora.

As instalações de cloro ficavam em uma sala totalmente aberta por uma lateral e com duas portas de saída na outra extremidade. Uma destas portas era a entrada da sala dos cloradores e a outra, acessava um corredor de movimentação de servidores. Esta sala localizava-se no prédio da ETA. As vidraças estavam por toda a parte da frente e contava ainda com sistemas de ventilação forçada para a exaustão do gás cloro, no caso de vazamento acidental e detector desses vazamentos. Na sala ficavam três cilindros reservas e dois em uso, que estavam dispostos em balanças, para controle do consumo diário. Os cilindros eram movimentados nesta sala por meio de uma Talha elétrica. Assim quando um cilindro que estava na balança esvaziava-se, era substituído por outro cheio que estava na reserva, logo a empresa fornecedora trocava os cilindros vazios por cilindros cheios, conforme necessidade do consumo.

O cilindro de cloro é metálico e contém 900kg de cloro a $6,6\text{kgf/cm}^2$ e -12°C . Nestas condições, 20% da massa total de cloro no interior do tanque encontra-se na fase vapor e o restante na fase líquida.

Para a extração do gás cloro de um cilindro, utilizava-se um tubo flexível de cobre conectado à válvula superior do cilindro e o gás era conduzido pelo *manifold* (tubulação metálica que conduz o gás cloro) até os aparelhos cloradores, constituídos por dosadores e ejetores. Os dosadores possuíam uma válvula redutora de pressão, que fazia com que a pressão do gás cloro quando este era retirado do cilindro fosse semelhante a pressão atmosférica, já que este gás se encontrava submetido a elevada pressão dentro dos cilindros. Após regular a pressão (5 atm), o gás cloro seguia até o rotâmetro, onde era feita o controle da vazão (cerca de 200 kg/dia). Os ejetores têm a função de puxar o gás cloro do dosador até o fluxo de água, funcionando como *venturi*, pois a vazão da água sobre pressão produz um vácuo responsável pela sucção do cloro, formando uma solução fortemente clorada. Esta solução seguia para o ponto de aplicação, com a finalidade da desinfecção da água, etapa imprescindível no processo de tratamento. A Figura 09 apresenta o esquema deste sistema de cloração. E a Figura 10 ilustra a extração de gás cloro na ETA Bom Jardim.

FIGURA 09 - Desenho esquemático do sistema de cloração.



Fonte: Freitas (2011).

FIGURA 10 - Extração de gás cloro do cilindro da ETA Bom Jardim.



Fonte: A autora.

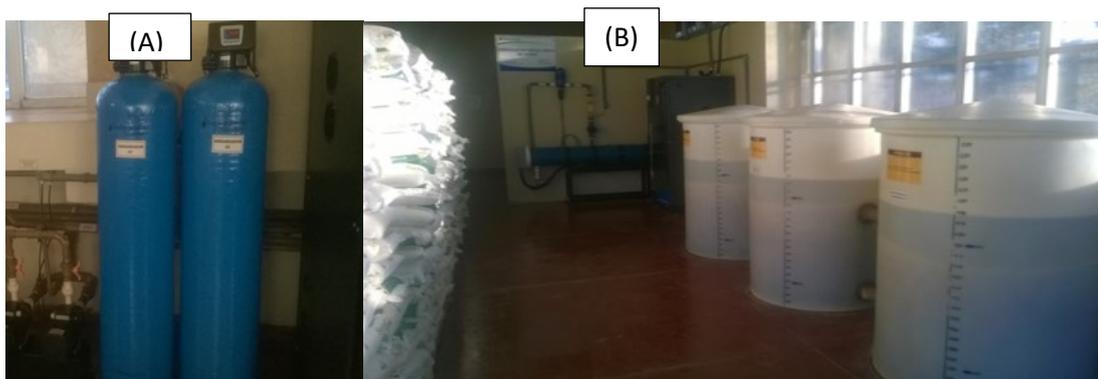
3.3 Caracterização do sistema de produção de hipoclorito de sódio por meio da eletrólise

O sistema gerador de hipoclorito de sódio *in loco* por meio da eletrólise opera de acordo com as seguintes etapas:

Etapa 01: Preparo da salmoura

O sistema atual conta com 03 tanques de preparo de salmoura denominados saturadores. Neles são adicionados aproximadamente 1000 kg de sal (cloreto de sódio) por dia, divididos entre os 3 saturadores, isto para a produção diária de 300 Kg de cloro ativo (hipoclorito de sódio). São colocados manualmente pelos operadores da ETA. Em seguida, a água é adicionada até o nível recomendado (a água é adicionada automaticamente, pelo próprio sistema de automação dos geradores, por meio de bombas), para que ocorra o preparo da salmoura. Esta água utilizada deve ser abrandada para evitar a eletrodeposição dos sais de cálcio e magnésio nos eletrodos (recomendação do fabricante), já que estes causam sujidade nos eletrodos, ocasionando maior demanda de higienização dos mesmos. A salmoura preparada nos saturadores tem concentração 30%. A Figura 11, mostra os abrandadores e tanques de preparo de salmoura.

FIGURA 11 – (A) Abrandadores da água e (B) Tanques saturadores (preparo salmoura).



Fonte: A autora.

A qualidade do sal é de suma importância para o preparo da solução de hipoclorito. Os excessos de impurezas acabam depositados na célula de eletrólise diminuindo sua eficiência e prejudicando o seu bom funcionamento. O sal é adquirido em embalagens de 25 Kg, vem lavado e peneirado, tipo sal grosso, isento de iodo. A salmoura 30% após sair dos saturadores, passa para dois tanques de decantação, para retirar as impurezas contidas no sal. Em seguida vai para o sistema de diluição, pois a eletrólise ocorre a partir de solução de salmoura a 3%. A Figura 12, ilustra os tanques de decantação e sistema de diluição.

FIGURA 12 - (A) Tanques de decantação e (B) Sistema de diluição da salmoura.

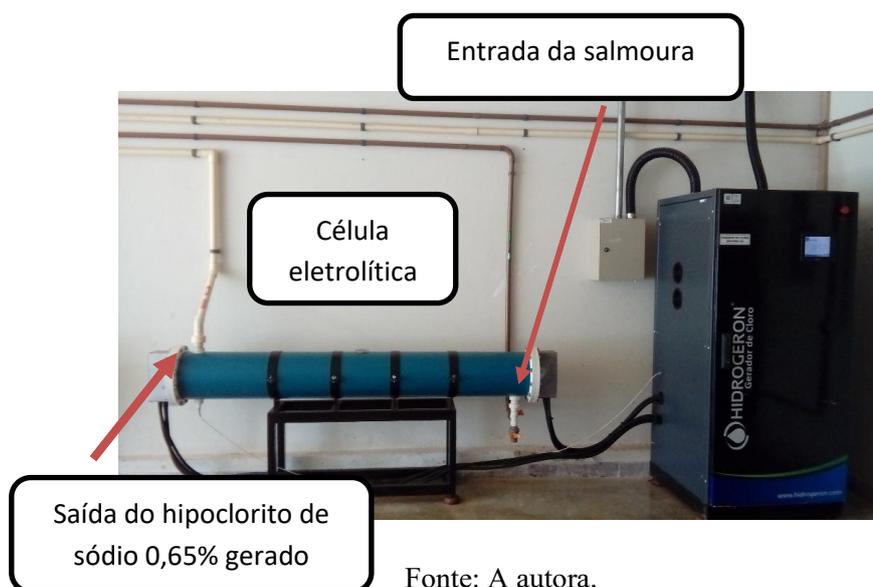


Fonte: A autora.

Etapa 02: Eletrólise da salmoura

A salmoura 3% segue para a célula eletrolítica. O sistema opera de forma contínua e todo automatizado. O único contato do operador é colocar o sal nos saturadores, após isto, o equipamento realiza todo o processo de produção. A Figura 13 mostra a célula eletrolítica.

FIGURA 13 - Célula eletrolítica.



Fonte: A autora.

Os eletrodos utilizados nas células eletrolíticas dos geradores da ETA Bom Jardim são eletrodos tipo ADEs, com o cátodo constituído de chapas de Titânio (Ti) e o ânodo de chapas de Titânio (Ti) revestidos com misturas de óxidos metálicos como dióxido de Rutênio (RuO₂), dióxido de Irídio (IrO₂) e Trióxido de Ditântalo (Ta₂O₃). A fonte de corrente contínua, ligada na rede elétrica aplica uma corrente de 450 A, que desencadeia o processo de eletrólise, gerando Cl₂ no ânodo e H₂ no cátodo, a uma temperatura média de 32 °C.

Conforme observado nas reações 14,15 e 16, apresentadas no item 2.8 deste trabalho, o hipoclorito de sódio aquoso (NaOCl) na concentração 0,65% é gerado nesta célula eletrolítica, juntamente com o peróxido de hidrogênio⁵ (H₂O₂) que conferem a esta solução um poder desinfetante ainda maior, já que ele também possui propriedades oxidativas e bactericidas. Outros produtos como o hidróxido de sódio gerado (NaOH) proporcionou a redução na quantidade de hidróxido de cálcio Ca(OH)₂ adicionada na etapa final do tratamento da água para a correção do pH. Este assunto será melhor abordado no item 4.6 deste trabalho.

No sistema implantado na ETA Bom Jardim, operam 2 equipamentos com capacidade de produção industrial de 150 Kg de cloro ativo (solução oxidante a base de hipoclorito de sódio) cada um por dia, totalizando 300 Kg de cloro ativos produzidos ao dia.

Etapa 03: Estoque e dosagem do hipoclorito de sódio gerado *in loco*

A solução oxidante gerada na eletrólise (hipoclorito de sódio na concentração de 0,65%) segue para os tanques de armazenamento – 03 tanques com capacidade de 25.000 litros cada, conforme visto na Figura 14. Os tanques de armazenamento são específicos para este tipo de produto químico e contém pontos de saída do hidrogênio (H₂) produzido juntamente com o hipoclorito de sódio e outros subprodutos da eletrólise da salmoura.

A geração do hipoclorito de sódio é contínua. Cada tanque possui um sensor de nível, que ao atingir o ponto máximo da capacidade de estoque, emite um sinal para o sistema interromper a produção, ficando em *stand by*.

⁵ O H₂O₂ é uma importante molécula a ser determinada, por ter várias aplicações, como em processos oxidativos avançados para a degradação de poluentes. É utilizado no tratamento de águas e efluentes industriais, possui eficiência reconhecida como bactericida e algicida (SILVA et al., 2011; PERES et al., 2008).

A dosagem é realizada automaticamente de acordo com a demanda. O ponto de aplicação é no poço de contato da ETA, no qual permanece em contato com a água filtrada, por tempo determinado para realizar a desinfecção.

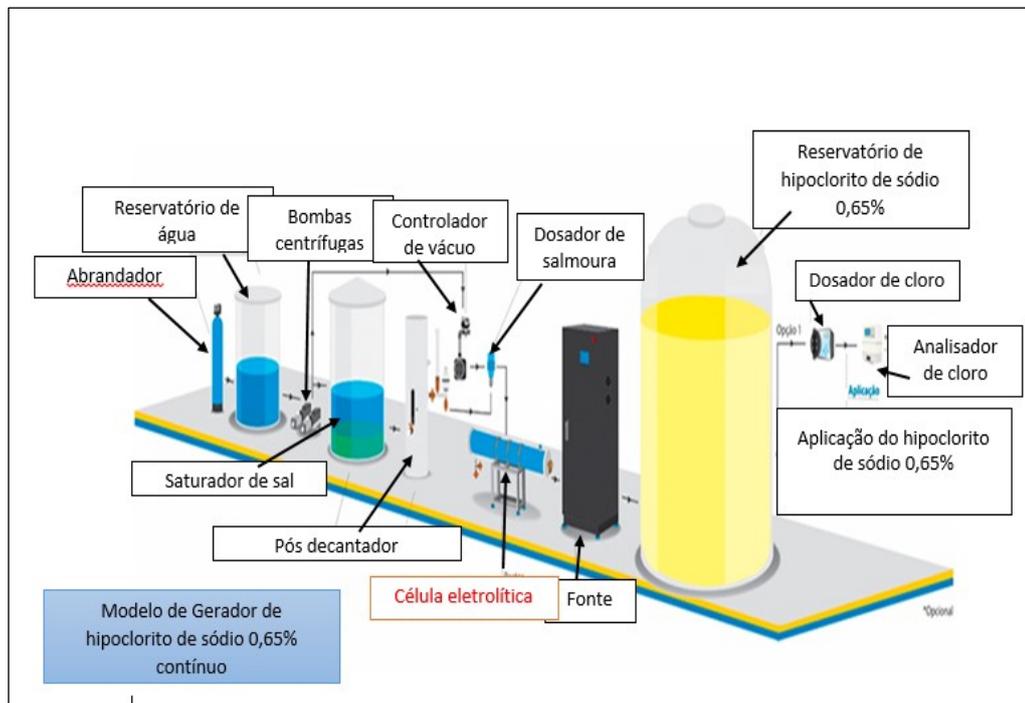
FIGURA 14 - Tanques de armazenamento (capacidade 25.000 litros cada) do hipoclorito de sódio 0,65 %.



Fonte: A autora.

A Figura 15, ilustra o esquema de todo o processo de produção do hipoclorito de sódio 0,65% e a Figura 16 mostra os equipamentos do processo de produção da ETA Bom Jardim.

FIGURA 15 - Esquema de produção do hipoclorito de sódio 0,65%. Gerador de Cloro Contínuo.



Fonte: Adaptado de Hidrogeron (2017).

FIGURA 16 – Equipamentos do processo de produção ETA Bom Jardim.



Fonte: A autora.

3.4 Comparativo dos sistemas de cloração: eficiência dos sistemas de desinfecção

3.4.1 Coleta de dados

Os dados contidos neste estudo provem dos monitoramentos efetuados, analisados e disponibilizados pelo DMAE. Estes foram coletados na ETA Bom Jardim, em relatórios de verificação da qualidade da água e boletins de controle diário. A delimitação do período investigado foi determinada para o íterim de janeiro a dezembro de 2013: uso do cloro gás e de janeiro a dezembro de 2016 para o desinfetante hipoclorito de sódio produzido *in loco*. O ano de 2013 foi escolhido para o estudo em virtude de ser o último ano de utilização do cloro gás na ETA Bom Jardim. Já o ano de 2016, por ser o período de utilização do hipoclorito de sódio como agente desinfetante, visto que em 2014 e 2015, ocorreu alternância entre o cloro gás e o hipoclorito de sódio produzido, por motivo de adaptação ao novo sistema adotado.

No Quadro 04 são listados os parâmetros analisados, os laboratórios responsáveis pela análise e emissão dos relatórios consultados, o princípio do método e equipamentos (ilustração) empregados para a realização das análises. Estas foram executadas para investigar a qualidade da água fornecida à população tanto na saída do tratamento quanto na rede de distribuição. Coletou-se também as quantidades de amostras realizadas no

período investigado e o valor máximo permitido (VMP) para cada parâmetro como especificado em lei.

QUADRO 04 - Lista de laboratórios responsáveis pelas determinações dos parâmetros verificados na saída do tratamento e na Rede de Distribuição de Água e os métodos analíticos utilizados nos períodos investigados.

Parâmetro	Laboratório	Princípio do método ¹	Instrumento analítico adotado
Turbidez Água Bruta (NTU)	Laboratório da ETA BJ	Nefolometria	
Cor aparente água bruta (uH)	Laboratório da ETA BJ	Fotocolorimetria	
Turbidez água filtrada (NTU)	Laboratório da ETA BJ	Nefolometria	
Cloro residual livre (mg/L) (saída do tratamento)	Laboratório da ETA BJ	Colorimétrico N, N-dietil-p-fenilenodiamina (DPD) SMEWW 22° ed. 2012 – Método 4500 Cl-G	* 
Cloro residual Livre (mg/L) (rede de distribuição)	LQA-DMAE	Colorimétrico N, N-dietil-p-fenilenodiamina (DPD) SMEWW 22° ed. 2012 – Método 4500 Cl-G	* 
Ácido ** haloacético Total (mg/L)	Subcontratado ² DMAE	Determinação de Ácidos haloacéticos por Extração Líquido-Líquido, Derivação e Cromatografia de Gás com Detecção de Captura Electrónica (CG/ECD) EPA 552.3:2003 Rev. 01	* 

... Continuação

Bromato** (mg/L)	Subcontratado DMAE	Determinação de ânions por Cromatografia Iônica EPA 300.1 Determination of Organic Anions in Drinking Water By Ion Chromatography. Revisão 1.0 de 1997.	 <p>*</p>
Clorito ** (mg/L)	Subcontratado DMAE	Determinação de ânions por Cromatografia Iônica EPA 300.1 Determination of Organic Anions in Drinking Water By Ion Chromatography. Revisão 1.0 de 1997.	 <p>*</p>
Cloraminas ** Total (mg/L)	Subcontratado DMAE	Colorimétrico N, N-dietil-p-fenilenodiamina (DPD) SMEWW 22° ed. 2012 – Método 4500 Cl-G	 <p>*</p>
2,4,6 ** Triclorofenol (mg/L)	Subcontratado DMAE	Determinação de compostos orgânicos semi-voláteis (SVOC) por cromatografia gasosa acoplado a espectrometria de massa (CG/MS) e injeção por Headspace. EPA 8270D:2007	 <p>*</p>
Trihalometanos ** Total (mg/L)	Subcontratado DMAE	Determinação de Compostos Orgânicos Voláteis por Cromatografia Gasosa Acoplada ao Espectro de Massa CG/MS e injeção por Headspace. EPA 8260B:1996 Rev. 02	 <p>*</p>

... continuação

Sódio ** (mg/L)	Subcontratado DMAE	Determinação de metais totais e dissolvidos em água utilizando espectrometria de absorção atômica SMEWW 22 ^o edição, Método 3120 B, 2012	 *
<i>E. coli</i> **	LQA-DMAE	Determinação de <i>Escherichia coli</i> P/A por técnica do substrato enzimático (Cromogênico e Fluorogênico) Presença/Ausência SMEWW 22 ^a ed. 2012 método 9223 B	 *
Coliformes ** Total	LQA-DMAE	Determinação de coliformes totais P/A por técnica do substrato enzimático (Cromogênico e Fluorogênico) Presença/Ausência SMEWW 22 ^a ed. 2012 método 9223 B	 *

Legenda: ** Amostras da saída do tratamento e rede de distribuição.

1) Princípio do método: Relatórios analíticos disponibilizados pelo DMAE (2013), DMAE (2016).

2) Laboratório subcontratado do DMAE: possui sistema de gestão da qualidade, conforme os requisitos especificados na NBR ISSO/IEC 17025:2005 (BRASIL, 2011).

Fonte: * A autora; Laudos analíticos emitidos pelos laboratórios, disponibilizados pelo DMAE (2013) e DMAE (2016).

3.4.2 Amostragem

O procedimento de amostragem de todos os parâmetros analisados neste trabalho, coletadas pelos 03 laboratórios citados segue as seguintes referências:

- Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 22th edition – 2012 Método 1060, 3010, 3010 B, 3030, 5010 e 9060.
- NIT-DICLA - 057 – Critérios para Acreditação da Amostragem de Águas e Matrizes Ambientais (INMETRO, 2017).

- Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas / Companhia Ambiental do Estado de São Paulo –CETESB (ANA, 2011).

Os pontos de amostragem utilizados pelo laboratório subcontratado e laboratório da ETA Bom Jardim são definidos no Quadro 05.

QUADRO 05 - Pontos de amostragem utilizados pelos laboratórios: subcontratado e laboratório da ETA Bom Jardim.

Laboratório	Parâmetros	Pontos de amostragens
Subcontratado DMAE	Trihalometanos Total Bromato Clorito Cloraminas Total Ácidos haloacéticos Total 2,4,6 triclorofenol Sódio	<ul style="list-style-type: none"> • Saída do tratamento: Amostra coletada no poço de contato da ETA Bom Jardim (água pronta para consumo) • Rede de distribuição: Amostra coletada na Av. João Pinheiro nº 289
Laboratório da ETA Bom Jardim	Cloro residual livre Turbidez	<ul style="list-style-type: none"> • Saída do tratamento: Amostra coletada no poço de contato da ETA Bom Jardim, água pronta para consumo.

Fonte: A autora

Os pontos de amostragem utilizados pelo LQA – DMAE encontram-se distribuídos por toda a rede abastecida pela ETA Bom Jardim, conforme mapa ilustrado na Figura 17. O mapa completo com a planta de distribuição da água foi disponibilizado pelo DMAE.

Os pontos de coletas nas redes são denominados Pontos de Controle de Qualidade (PCQ). Existe uma equipe de técnicos, que com uma unidade móvel a serviço do DMAE, percorre os PCQ fazendo a leitura de cloro livre, pH e temperatura no local da coleta, com instrumentos analíticos de campo (clorímetros, pHmetros e termômetros, todos os modelos portáteis). As amostras para leitura de parâmetros microbiológicos são coletadas, armazenadas e encaminhadas para o LQA-DMAE. Após a realização das referidas análises, os resultados são anotados nos relatórios. A coleta dos resultados para a realização deste trabalho foi realizada conforme mencionado no item 3.4.1.

as variáveis avaliadas, sendo assim, percebe-se, a influência da precipitação na qualidade da água filtrada.

Os dados da Precipitação (mm) em milímetros de chuva acumulados por dia do município de Uberlândia, foram cedidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) (2018), para o período delimitado. Calculou-se as médias aritméticas mensais da precipitação e explorou-se os resultados por meio de gráficos de barras.

3.5 Comparativo dos sistemas de cloração: custos benefícios

Para a verificação dos custos operacionais da desinfecção com o gás cloro e com o hipoclorito de sódio produzido *in loco* foram considerados os seguintes itens:

- Custo do produto químico (matéria prima utilizada como gás cloro e cloreto de sódio), estes dados foram retirados dos contratos firmados entre o DMAE os fornecedores.
- Energia elétrica (verificação do consumo de energia elétrica gasta na operação dos sistemas, de acordo com os manuais de operação dos equipamentos e preço pago no KW, disponibilizados pelo DMAE);
- Agentes alcalinizantes utilizados no processo de tratamento de água, cujas quantidades aplicadas variam de acordo com o desinfetante utilizado, esses dados foram observados nas planilhas de controle de consumo de produtos químicos de uso do laboratório da ETA Bom Jardim, disponibilizada para consulta pelo DMAE, foram coletados dados dos anos de 2013 e 2014.

3.6 Comparativo dos sistemas de cloração: Qualidade ambiental e segurança operacional

Quanto a comparação dos sistemas analisados, foi necessário verificar os seguintes itens:

- Relação de acidentes ocorridos com ambos os sistemas: estes dados constam dos livros de ocorrências da ETA Bom Jardim. Foram pesquisados os últimos 3 anos de utilização do gás cloro nesta ETA, sendo o ano de 2011, 2012 e 2013 investigados. Para o sistema de produção de desinfetante *in loco*, levou-se em

consideração o ano de 2014, 2015 e 2016, pois foi neste período que ocorreu a instalação do mesmo.

- Levantamento dos riscos apresentados por cada sistema, levando em consideração a matéria prima utilizada em ambos, o estoque do produto, o contato do operador, o transporte, as instalações prediais, a complexidade da operação e manutenção. Estes dados foram observados neste trabalho, levando-se em conta a experiência da autora, que trabalha na ETA Bom Jardim a 14 anos como Técnica de Saneamento e Coordenadora do núcleo de tratamento de água em questão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Problemas de utilização do Gás Cloro na ETA Bom Jardim

A localização da ETA Bom Jardim, na cidade de Uberlândia, era um dos fatores mais preocupantes com relação a utilização do gás cloro. Na Figura 18 observa-se que a ETA está inserida em região densamente povoada, próxima às escolas, universidades, supermercados, lojas comerciais, avenida, residências, condomínios fechados e hospital (pontos com alta acumulação de pessoas). Um vazamento de gás cloro da ETA Bom Jardim acarretaria prejuízos ambientais, pessoais e materiais.

FIGURA 18 - Imagem aérea da localização da ETA Bom Jardim em bairro residencial, próximo a universidades, escolas, comércios, hospitais e avenidas.



Fonte: Adaptado do Google Maps (2018 a).

A localização da sala de manuseio e armazenamento do produto dentro do prédio da ETA também dificultava a utilização do gás cloro neste sistema de abastecimento. A Figura 19 mostra que o sistema de exaustão do gás que acidentalmente poderia vazar dos cilindros, era feito na parte frontal da sala, com dispersão do gás para a Avenida Nicomedes Alves dos Santos, onde está localizado um ponto de ônibus.

FIGURA 19 – Sistema de exaustão do cloro gás



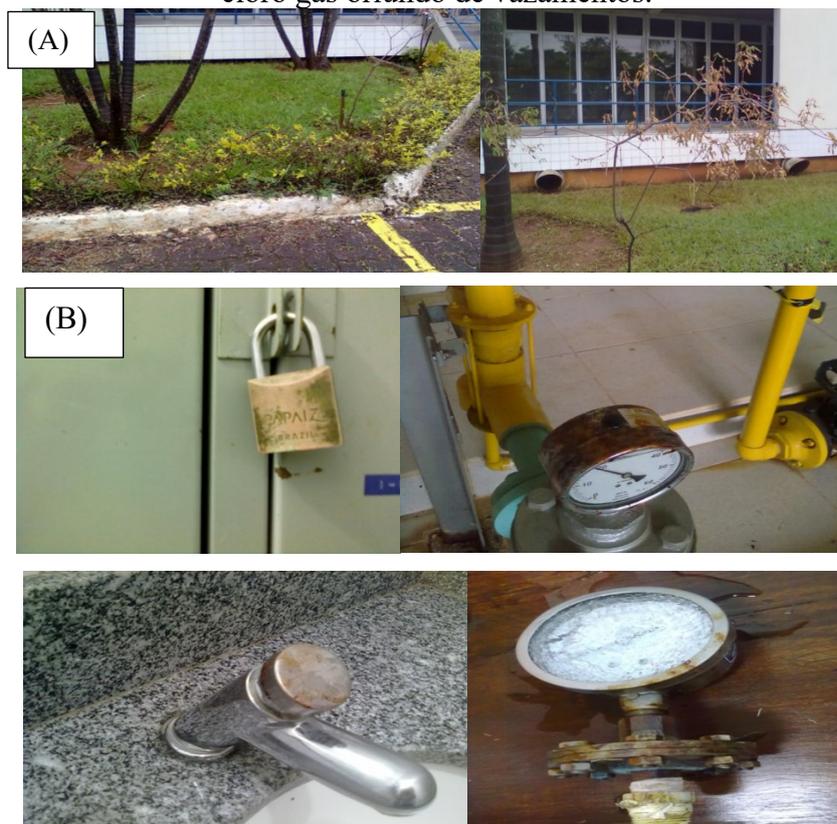
Fonte: DMAE (2017).

Além dos perigos do vazamento de cloro gás para o entorno da ETA, os servidores que trabalham no local, também corriam riscos. A ETA Bom Jardim opera 24 horas por dia e produz em média 1300 L/s de água tratada, para abastecer mais de 338.000 mil habitantes da cidade de Uberlândia. Nesta operação trabalham 19 servidores. Nas instalações da ETA Bom Jardim ainda trabalham mais 20 servidores que fazem parte dos programas Água cidadã e Programa Buriti.

Nos últimos 3 anos de utilização do gás cloro, 2011, 2012 e 2013, foram registrados 17 vazamentos de cloro gás na ETA Bom Jardim. Alguns vazamentos ocorridos trouxeram danos ambientais e materiais e também prejudicaram a saúde dos servidores envolvidos.

A Figura 20 apresenta jardins, equipamentos e materiais danificados pelo cloro gás, que vazou acidentalmente.

FIGURA 20 - (A) Jardim danificado, (B) Equipamentos e materiais danificados pelo cloro gás oriundo de vazamentos.



Fonte: A autora

Os pontos críticos das instalações eram as válvulas, linhas e conexões que constituíam o sistema. A maioria dos vazamentos do gás eram provenientes delas, devido a deterioração das mesmas e também ao rompimento das linhas e conexões. Os vazamentos eram identificados por um detector de cloro, que estava instalado próximo ao sistema. Este detector acionava uma sirene, que alertava a equipe de funcionários treinada para corrigir os vazamentos. Foram definidas rotas de fuga para as pessoas que estavam na ETA, evitando contato com o gás.

Existiam Kits de segurança que se necessário eram utilizados para estancar vazamentos. O treinamento de utilização dos Kits era ministrado por técnico da empresa fornecedora do cloro gás. Em média, os vazamentos eram corrigidos em até 15 minutos, evitando assim grande dispersão do gás, com substituição de conexões, registros e tubulações danificadas. A equipe de manutenção treinada e materiais de reposição em estoque necessários para as manutenções, eram imprescindíveis para uma correção rápida e efetiva dos vazamentos. Mesmo diante dos procedimentos de segurança, ocorriam situações preocupantes, que envolveram servidores que tiveram problemas com a

inalação do gás, sendo alguns afastados de suas atividades laborais e ainda necessitando de atendimento médico. Estes retornavam ao trabalho após período de atendimento à saúde.

Diante dos problemas aqui expostos, o DMAE buscou alternativas para substituição do cloro gás na ETA Bom Jardim. Foram verificados sistemas de evaporadores de cloro e lavadores de gases, substituição por produção *in loco* de dióxido de cloro ou a substituição por produção de hipoclorito de sódio *in loco*. Perante as propostas dos respectivos fornecedores de tais sistemas, foram avaliados os prós e contras de cada um, sempre levando em consideração que o novo sistema atendesse tanto a questão da efetividade como agente desinfetante, quanto a questão da manutenção da qualidade ambiental. O cloro, apesar dos riscos apresentados, é um desinfetante consolidado no quesito da desinfecção.

Sendo assim, o DMAE decidiu pela aquisição do sistema de produção de hipoclorito de sódio *in loco* por meio da eletrólise e este foi instalado no início de 2014, sendo utilizado efetivamente em meados de 2014. Em 2015, ocorreram algumas reformas no prédio da ETA, havendo a necessidade de parar o sistema de produção de hipoclorito de sódio *in loco* e retomar com o cloro gás. Findadas as manutenções no segundo semestre de 2015, a produção do hipoclorito de sódio foi retomada e permanece atualmente.

4.2 Verificação da Qualidade ambiental e segurança operacional de cada sistema de desinfecção

Observou-se o funcionamento e a caracterização de cada sistema de cloração analisado, o que possibilitou fazer um levantamento dos riscos e dificuldades operacionais de cada um. Sendo assim, os Quadros 06 e 07 apresentam o levantamento dos riscos e dificuldades operacionais dos sistemas de cloração empregados na ETA Bom Jardim.

QUADRO 06 – Levantamento dos riscos dos sistemas de cloração utilizados na ETA Bom Jardim.

Sistema de cloração	Riscos
Cloro gás	1) <u>Vazamentos acidentais de gás:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Altamente agressivo às mucosas do nariz, garganta e às vias respiratórias, provocando ainda graves irritações e

queimaduras na pele e nos olhos. Prejudicial à população e principalmente aos servidores da ETA. Ocorreram vazamentos que ocasionaram hospitalização de servidores.

- O sistema de exaustão da sala, retira o gás da sala de estoque e dosagem (sala dos cloradores), mas o gás escapa para a avenida em frente à ETA, que corresponde a área urbana.
- Alguns vazamentos danificaram equipamentos que tiveram que ser substituídos, pois foram oxidados pelo gás.
- Ocorreram danos ambientais, com perda de plantas do jardim, danificadas pelo gás.

2) Cilindros:

- Permanente necessidade de estoque destes produtos para garantir disponibilidade dos mesmos. Quanto maior o estoque, maior o nível de risco. Todas as instalações de armazenamento requerem licenciamento junto ao órgão ambiental competente.
- Transporte dos cilindros, riscos de acidentes em rodovias;
- Movimentação dos cilindros dentro da sala de estocagem. Os riscos de queda eram constantes, já que a movimentação destes era realizada na ETA Bom Jardim por meio de talha elétrica. Ocorreram casos de quedas, que resultaram em acidentes envolvendo servidores com afastamento de suas atividades para recuperação e danos ao piso da sala e equipamentos.

Hipoclorito de sódio (0,65%) produzido *in loco*

- Risco ergonômico, já que na ETA Bom Jardim são utilizadas sacas de 25 Kg de sal (cloreto de sódio) no preparo diário da salmoura. A descarga do produto dos caminhões também é efetuada manualmente.

Fonte: A autora.

QUADRO 07 – Levantamento das dificuldades operacionais dos sistemas de cloração da ETA Bom Jardim.

Sistema de cloração	Operação do sistema
Cloro gás	<ul style="list-style-type: none">• Para ser manuseado requer a utilização de equipamentos de segurança (E.P.I), tais como vestimentas, máscaras, óculos, além de treinamento constante da equipe que manuseia o produto. O operador realiza a dosagem, abrindo o cilindro para liberar o fluxo de gás e controla a dosagem na sala de cloradores. Sistema não automatizado. Existe detectores de vazamentos e sistema de exaustão do gás para fora da sala de dosagem, que ao menor sinal, estes vazamentos eram corrigidos pela equipe de

... continuação

	servidores da ETA Bom Jardim e pela equipe de manutenção do DMAE.
Hipoclorito de sódio (0,65%) produzido <i>in loco</i>	<ul style="list-style-type: none">• O operador prepara a salmoura. O funcionamento do equipamento e dosagem do hipoclorito de sódio é realizada automaticamente, sem contato do operador. O único contato é com o sal. Manutenções neste sistema dizem respeito a higienização de componentes e substituição de peças, estas podem ser realizadas pela equipe de manutenção do DMAE e servidores da ETA Bom Jardim.

Fonte: A autora.

A verificação da qualidade ambiental e segurança operacional, com base nos riscos de cada sistema analisado, apresentados nos quadros 06 e 07, demonstram que para o sistema que utiliza o hipoclorito de sódio produzido *in loco*, não há riscos com relação a saúde dos servidores da ETA e nem para a população que reside ou transita perto da mesma, uma vez que não há vazamento de gás ou outro produto que seja prejudicial à saúde das pessoas, como ocorre com o gás cloro. Quanto ao risco ergonômico, é preciso cautela, pois a postura inadequada pode gerar incômodos à saúde dos servidores que preparam a salmoura ou descarregam a carga de sal.

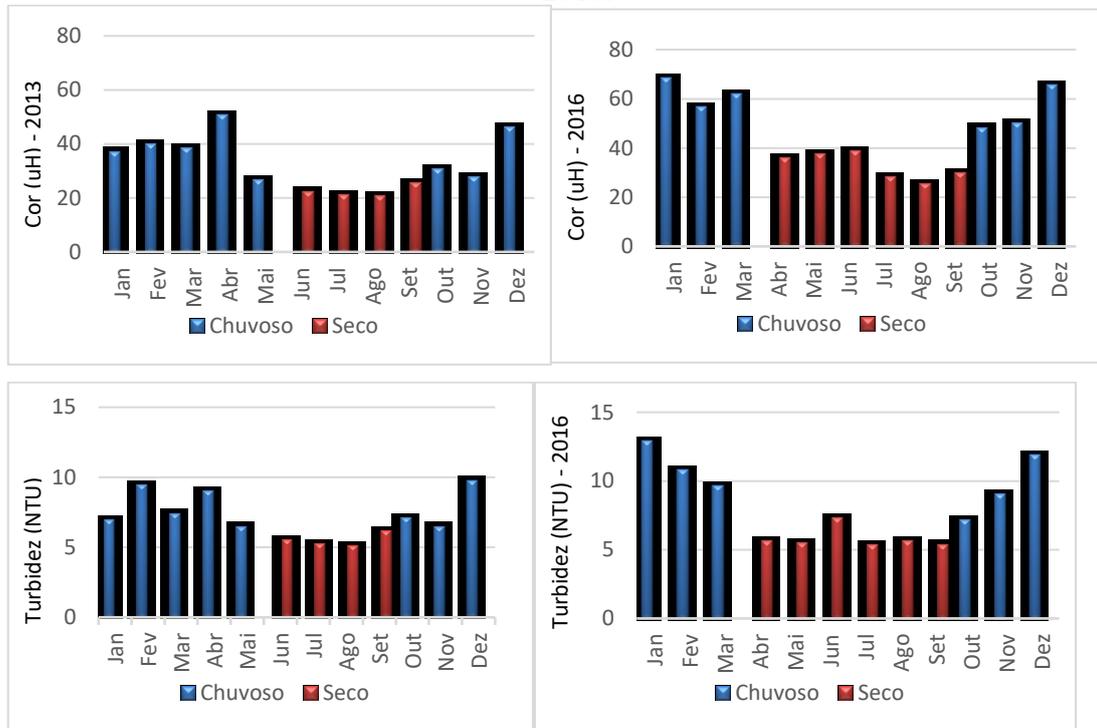
No caso do cloro gás, as características agressivas desse produto trouxeram dificuldades para os operadores da ETA que sofreram com alguns vazamentos, tendo casos de acidentes com vítimas e também para a população que transita nas mediações, uma vez que a nuvem de dispersão do gás pode atingir a lugares externos à ETA. O estoque destes cilindros também dificultava a movimentação e operação dos mesmos dentro da sala de estocagem, contribuindo para aumentar os riscos e o número de acidentes de trabalho. Os danos causados aos equipamentos e ao jardim, trouxeram prejuízos financeiros, relacionados à manutenção ou substituição de equipamentos danificados e também quanto à manutenção do jardim, com reposição de plantas, onerando ainda mais os gastos com relação a manutenção deste sistema de desinfecção.

4.3 Caracterização da água bruta utilizada na ETA Bom Jardim

É necessário o conhecimento das características da água bruta pois as mesmas sofrem alterações em diferentes épocas do ano, como período chuvoso e seco. Essas alterações refletem no consumo de produtos químicos aplicados no tratamento e também na qualidade final da água tratada.

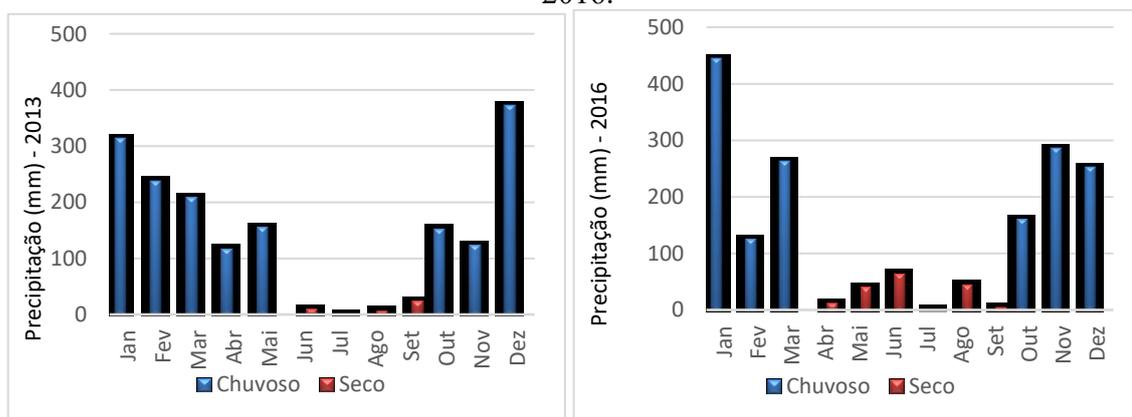
A variação mensal da cor (aparente) e da turbidez da água bruta para os anos 2013 e 2016, representada pela Figura 21, está relacionada com a Figura 22, que ilustra a variação mensal pluviométrica de Uberlândia para os períodos avaliados.

FIGURA 21 – Variação média mensal da cor e turbidez da água bruta nos anos 2013 e 2016.



Fonte: DMAE (2013); DMAE (2016)

FIGURA 22 – Variação média mensal pluviométrica de Uberlândia nos anos 2013 e 2016.



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia INMET (2018).

Observa-se na variação mensal pluviométrica de 2013, que o período chuvoso compreende os meses de outubro a maio, averiguando maior precipitação do ano em

dezembro, de 372,2 mm. Neste período chuvoso, também se observa elevação das médias mensais de cor e turbidez, com maior valor de cor registrado em abril de 50,7 uH e de turbidez, em dezembro, de 9,78 NTU. Conforme Richter (2009) as chuvas influenciam diretamente nos valores de material em suspensão em um corpo hídrico, devido ao carregamento de material particulado, sendo a turbidez considerada uma medida indireta dos sólidos em suspensão. Já o para o período seco de 2013, compreendido de junho a setembro, nota-se redução dos valores encontrados de cor e turbidez, com menores médias verificadas no mês de agosto de 20,79 uH e 5,12 NTU respectivamente.

Também para o ano de 2016, percebe-se a relação da qualidade da água bruta com o período chuvoso e seco. Porém neste ano, o período chuvoso ficou compreendido nos meses de outubro a março e o período seco foi de abril a setembro. Analogamente ao ano de 2013, os maiores valores médios de cor e turbidez foram notados no período chuvoso (mês de janeiro registrados maiores médias de cor e turbidez de 68,52 uH e 12,93 NTU respectivamente) e os menores valores médios no período seco (mês de agosto cor de 25,52 uH e em julho turbidez de 5,38 NTU). Esses resultados estão coerentes com os observados por Braga (2014) nas análises mensais e anuais da cor e turbidez da água bruta da ETA de Juiz de Fora – MG em função dos índices pluviométricos.

Os valores de cor e turbidez apresentados na Figura 21, atendem a um corpo de água classificado como Classe 2, segundo ao CONAMA 357/2005.

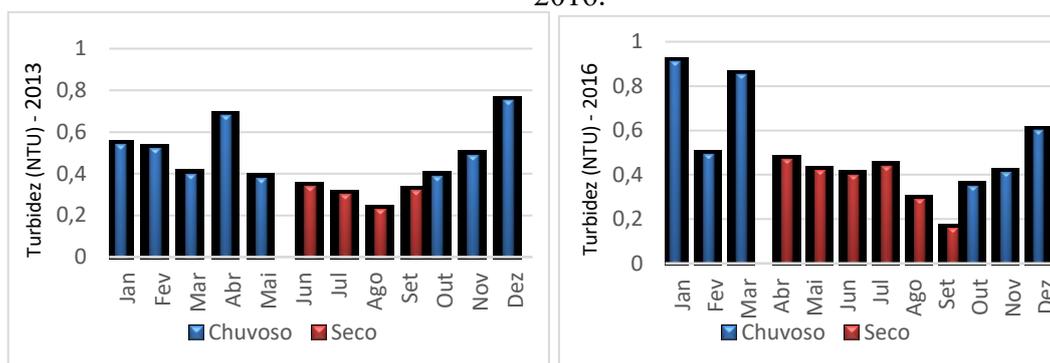
4.4 Caracterização da água filtrada da ETA Bom Jardim

Assim como a qualidade da água bruta da ETA Bom Jardim sofre influência da pluviosidade, nota-se que a água filtrada, por ser resultado do processo de tratamento da água bruta, também reflete essa influência.

A qualidade da água filtrada é extremamente importante, uma vez que a remoção da turbidez é um dos fatores que contribui para uma melhor eficiência na desinfecção. Segundo a portaria Consolidação nº 5 (Anexo XX) do M.S (BRASIL, 2017), a turbidez da água filtrada deve ser de no máximo 0,5 (NTU) em 50% das amostras analisadas no ano 2013 e 95% das amostras analisadas em 2016.

A Figura 23 evidencia os resultados médios mensais de turbidez da água filtrada para os anos de 2013 e 2016.

FIGURA 23 – Variação mensal da turbidez (NTU) da água filtrada nos anos 2013 e 2016.



Fonte: DMAE (2016).

Correlacionando-a com a Figura 22, a influência da pluviosidade é percebida. Os maiores valores encontrados de turbidez da água filtrada, tanto para o ano de 2013 (turbidez de 0,75 NTU em dezembro) quanto em 2016 (turbidez de 0,91 NTU em janeiro) são verificados os maiores índices pluviométricos (período chuvoso). Já no período seco nota-se a diminuição da turbidez para ambos os casos. Para o mês de abril de 2013, um aumento de cor e turbidez da água bruta (Figura 21) refletiu na água filtrada. No entanto, o índice pluviométrico não apresentou elevação. Em janeiro, fevereiro, abril e dezembro de 2013, os valores médios de turbidez da água filtrada, ficaram acima de 0,50 NTU. Em 2016 isto ocorreu nos meses janeiro, março e dezembro.

A influência da pluviosidade na turbidez da água filtrada, foi confirmada estatisticamente por meio da Correlação de Pearson. Neste caso tem-se que os dados próximos a 1 e p-valor < 0,05, indicam que a correlação entre os dados é forte, ou seja, os parâmetros analisados sofrem influência entre si. Assim sendo, para os resultados investigados quanto a influência da pluviosidade nos resultados da água filtrada tem-se os seguintes resultados demonstrados na Tabela 06.

TABELA 06 - Resultados do Teste Estatístico Correlação de Pearson para os dados referentes a pluviosidade e água filtrada dos anos 2013 e 2016.

Pluviosidade 2013 x Turbidez água filtrada 2013	
Correlação 0,76	p – Valor 0,004
Pluviosidade 2016 x Turbidez água filtrada 2016	
Correlação 0,77	p – Valor 0,004

Fonte: A autora

Os resultados comprovam a relação da influência da pluviosidade na água filtrada, para ambos os anos. A correlação de 0,76 e p-valor de 0,004 (2013) e 0,77 e p-valor 0,004 (2016), denotam que se a pluviosidade aumenta, aumenta-se também a turbidez da água filtrada e se diminui a precipitação, diminui-se também turbidez, relação já observada nos gráficos das Figuras 22 e 23.

Para melhor discussão da eficiência dos diferentes métodos de desinfecção, foi feita análise estatística das médias da água filtrada, comparando-se os tratamentos de 2013 e 2016. O interesse nesta análise estatística foi de verificar se os desinfetantes foram empregados, embora em anos diferentes, nas mesmas condições de tratamento da água filtrada, conforme já relatado que a turbidez da água filtrada influencia na eficiência do desinfetante.

Os resultados do teste de comparação dos tratamentos do ano de 2013 e 2016, para as médias de água filtrada, demonstraram que eles tiveram a mesma eficiência. Diante da verificação da distribuição normal das médias utilizadas nesta análise pelo método estatístico Anderson Darling, que verificou que as variáveis tendem a normalidade, o resultado do Teste F – Duas Variâncias apresentou p-valor de 0,30 (p-valor > 0,05 é condição para que as variâncias sejam iguais), para o intervalo de confiança de 0,95%, confirmando que a variância do tratamento da água filtrada de 2013 é igual a variância do tratamento da água filtrada de 2016. Já o Teste T – Amostras independentes, verificou que as médias da água filtrada, nos dois anos analisados, são estatisticamente iguais, pois o p-valor encontrado foi de 0,63 (p-valor > 0,05 é condição para que as médias sejam estatisticamente iguais), para o intervalo de confiança de 95%.

A Tabela 07 ilustra os resultados da análise estatística das variâncias das amostras, bem como o teste das médias da água filtrada.

TABELA 07 – Resultados estatísticos do Teste F- Duas Variâncias e Teste T – Amostras independentes das médias da água filtrada dos anos de 2013 e 2016.

Variáveis	Média (NTU)	Desvio Padrão (NTU)	Teste de Normalidade * (p-valor)	Teste F Duas Variâncias* (p-valor)	Teste T- Amostras Indep. * (p-valor)

Continuação...

Médias mensais Turbidez Filtrada 2013	0,45	0,16	0,08	0,31	0,63
Médias mensais Turbidez Filtrada 2016	0,48	0,21			
*Intervalo de confiança de 95%					

Fonte: A autora

4.5 Verificação da eficiência na desinfecção da água tratada de ambos os métodos utilizados

A desinfecção da água para consumo humano é essencial para prevenir os seres humanos de várias doenças de veiculação hídrica. Essa é uma das principais etapas do tratamento de água, pois promove a inativação de microrganismos patogênicos como os coliformes totais e a *Escherichia coli*.

Analisar os inúmeros organismos patogênicos da água torna-se inviável devido as limitações práticas, técnicas e econômicas. Historicamente são utilizados microrganismos indicadores que sugerem a ocorrência de contaminação fecal. Além disso, verificam a eficiência de processos de tratamento de água e esgoto e ainda possíveis deteriorações ou pós-contaminações da água no sistema de distribuição (OLIVEIRA, 2009).

A Portaria Consolidação nº 5 (Anexo XX), do M.S (BRASIL, 2017b), determina que o padrão microbiológico da água para consumo humano deve ser monitorado tanto na saída do tratamento, quanto na rede de distribuição. O Quadro 08 ilustra os padrões microbiológicos definidos por esta portaria.

QUADRO 08 - Padrão microbiológico da água para consumo humano.

Parâmetro	VMP ¹
Água para consumo humano	
<i>Escherichia Coli</i> ²	Ausência em 100 mL
Água Tratada (Saída do Tratamento)	
Coliformes Totais ³	Ausência em 100 mL

... continuação

Água Tratada (Rede e Reservatórios)	
<i>Escherichia Coli</i>	Ausência em 100 mL
Coliformes Totais: > 20.000 habitantes	Ausência em 100 mL em 95% das amostras
Legenda: Legenda: (1) Valor Máximo Permitido (2) Indicador de contaminação fecal (3) Indicador de eficiência de tratamento (4) Indicador de integridade do sistema de distribuição (reservatório e rede)	

Fonte: Adaptado da Portaria Consolidação nº 5 (Anexo XX) do M.S, Brasil (2017 b).

O atendimento dos critérios estabelecido no Quadro 08, é condição de potabilidade da água para consumo de acordo com os parâmetros microbiológicos. Neste sentido foram observados os resultados das análises referentes a presença ou ausência de coliformes totais e *Escherichia coli* na saída do tratamento para os desinfetantes cloro gás e hipoclorito de sódio 0,65% produzido *in loco*, apresentados na Tabela 08.

TABELA 08 - Eficiência do Gás Cloro e hipoclorito de sódio produzido 0,65% na desinfecção conforme análises da água tratada na saída do tratamento.

MÊS	Cloro Dosado média mensal (mg/L)	Cloro Residual Livre média mensal (mg/L)	Demanda de Cloro (mg/L)	Colif. Totais UFC/mL (Presença)	Esch. Coli UFC/mL (Presença)	Cloro dosado média mensal (mg/L)	Cloro Residual Livre média mensal (mg/L)	Demanda de cloro (mg/L)	Colif. Totais UFC/mL (Presença)	Esch. Coli UFC/mL (Presença)
Jan	1,51	1,11	0,40	0	0	2,24	1,68	0,56	0	0
Fev	1,62	1,10	0,52	0	0	2,45	1,87	0,58	0	0
Mar	1,59	1,12	0,47	0	0	2,18	1,77	0,41	0	0
Abr	1,54	1,13	0,41	0	0	1,75	1,50	0,25	0	0
Mai	1,42	1,14	0,28	0	0	1,69	1,49	0,20	0	0
Jun	1,51	1,12	0,39	0	0	1,47	1,21	0,26	0	0
Jul	1,36	1,12	0,24	0	0	1,74	1,13	0,61	0	0
Ago	1,39	1,12	0,27	0	0	1,63	1,15	0,48	0	0
Set	1,39	1,12	0,27	0	0	1,67	1,15	0,52	0	0
Out	2,05	1,09	0,96	0	0	1,86	1,27	0,59	0	0
Nov	1,66	1,14	0,52	0	0	2,16	1,55	0,61	0	0
Dez	1,78	1,11	0,67	0	0	2,21	1,57	0,64	0	0
Médias anuais	1,57	1,12	0,45	0	0	1,92	1,45	0,48	0	0
Anál. Real. Anuais	-	8.733	-	178	178	-	8.754	-	184	184
Anál. Estab.*	-	4.320	-	104	104	-	4.320	-	104	104

Legenda: Verde: 2013 - Cloro Gás * Portaria Consolidação nº 5 - Anexo XX Azul: 2016 - Hipoclorito de sódio 0,65%

Fonte: Adaptado de DMAE (2013); DMAE (2016); Portaria Consolidação nº 5 (Anexo XX) do M.S, Brasil (2017b).

Para melhor discussão da desinfecção, é necessário definir que tanto o cloro gás quanto o hipoclorito de sódio 0,65%, ao serem adicionados à água filtrada, reagem liberando o ácido hipocloroso. Este ácido por ser fraco dissocia-se parcialmente liberando o íon hipoclorito, variando a concentração do ácido hipocloroso e do íon hipoclorito no meio, de acordo com o pH. Sendo assim, ambos utilizam os mesmos agentes desinfetantes: ácido hipocloroso e íon hipoclorito. No caso do hipoclorito de sódio gerado na ETA, com concentração de 0,65%, são observados na sua composição a presença de outros oxidantes, como o peróxido de hidrogênio, conforme verificado no item 2.8, no qual contemplou-se as reações e produtos da eletrólise da salmoura.

Então, os termos cloro dosado, cloro residual livre, demanda de cloro, estão relacionados à aplicação do desinfetante a base de cloro, que neste caso corresponde a ambos os desinfetantes analisados, já que estes possuem o mesmo agente oxidante a base de ácido hipocloroso e íon hipoclorito.

A eficiência na desinfecção dos indicadores de contaminação, foi avaliada a partir de análises realizadas na saída do tratamento (Tabela 08). Os dois desinfetantes empregados tiveram 100% de efetividade na desinfecção, pois não foram constatadas a presença de *Escherichia coli* ou coliformes totais nas amostras de águas, como determina a legislação (Quadro 08).

Esses resultados estão de acordo com aqueles obtidos por Luca e Santanna (2000) que empregando hipoclorito gerado eletroliticamente *in loco*, verificaram que o mesmo é tão eficiente quanto aos outros desinfetantes comumente usados na inativação dos organismos indicadores como os coliformes totais. Já Paixão et al. (2000), ao utilizar a eletrólise do cloreto de sódio na produção *in loco* de solução oxidante, verificaram sua eficiência na inativação de *Escherichia coli* e colífagos como organismos indicadores de contaminação.

No tocante ao cloro dosado em mg/L, repara-se que a média anual de 2016 (1,92 mg/L) foi superior à média anual aplicada em 2013 (1,57 mg/L), isto ocorre analogamente para o cloro residual livre (1,45 mg/L em 2016 e 1,12 mg/L em 2013). Este aumento foi decorrente da necessidade de abastecer pontos mais distantes da ETA, em razão do aumento da rede de distribuição com a inauguração de conjuntos habitacionais na cidade de Uberlândia, em 2016.

O cloro dosado (mg/L) deve ser o suficiente para realizar a desinfecção e deixar um residual livre de cloro (mg/L) para atuar no controle microbiológico da rede de

distribuição e reservação. Quanto maior for essa rede, maior a dificuldade em manter o residual de cloro livre, pois este vai sendo consumido na desinfecção e oxidação.

A dosagem de cloro residual livre é estipulada pela legislação, conforme demonstrado na Tabela 09, que apresenta o valor máximo e mínimo na saída do tratamento e na rede de distribuição.

TABELA 09 - Padrão de Cloro Livre Residual – Anexo XX da Consolidação nº 5.

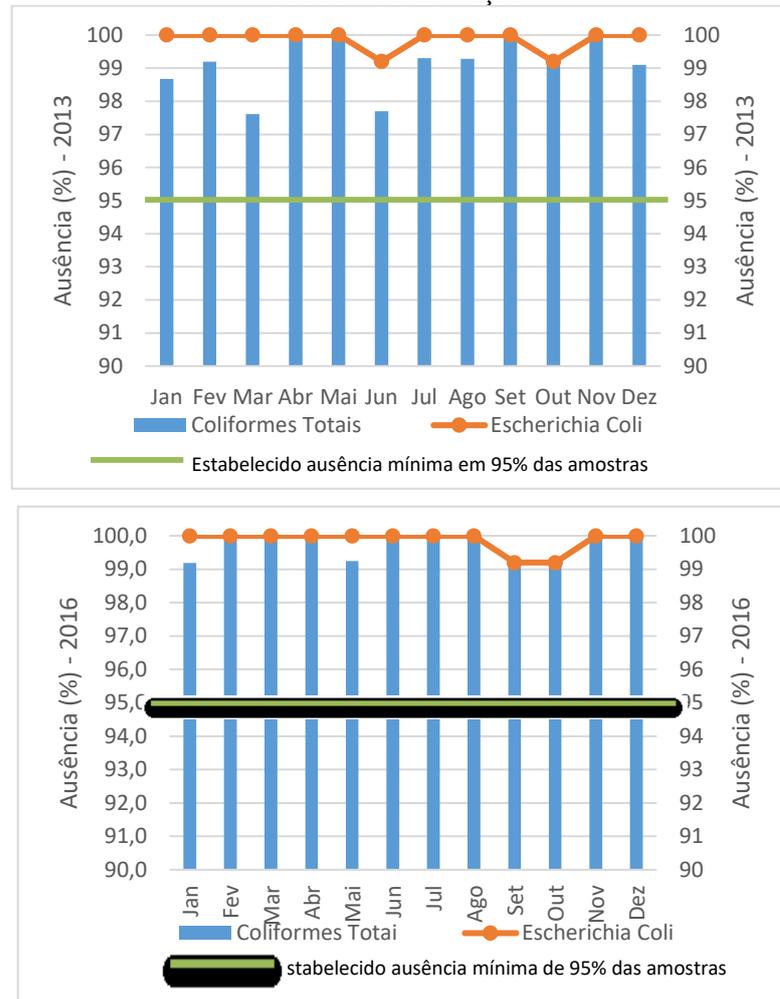
Local		Valor Mínimo (mg/L)	Valor Máximo (mg/L)
Água Tratada (saída do tratamento)		0,5	5,0
Água Tratada (rede de distribuição)		0,2	5,0

Fonte: Portaria Consolidação nº 5 (Anexo XX) do M.S, Brasil (2017b).

Neste caso, observa-se na Tabela 08, que as médias anuais de cloro livre residual na saída do tratamento para o ano de 2013 foi de 1,12 mg/L e para 2016 foi de 1,45 mg/L. Os valores encontrados atendem a dosagem de cloro livre residual recomendada pela portaria Consolidação nº 5 (Anexo XX) do M.S. Com relação a Figura 22, nota-se que há um aumento da variação mensal do cloro dosado e da demanda de cloro no período chuvoso e uma diminuição dos valores no período de seca.

No tocante as análises realizadas na rede de distribuição da ETA Bom Jardim, a Figura 24 apresenta a eficiência dos desinfetantes investigados quanto a desinfecção de coliformes totais e *Escherichia coli*. Observa-se nesse caso, que ambos os desinfetantes, para o parâmetro coliformes totais, atingiram a meta de desinfecção de 95% de ausência nas amostras (conforme estabelecido pela legislação, ilustrado no Quadro 08), sendo o menor percentual de ausência em 2013 (uso do cloro gás), percebido para o mês de março de 97,6% e os 100% de ausência vistos nos meses de abril, maio, setembro e novembro. Para o ano de 2016 (uso do hipoclorito de sódio 0,65%), o menor índice percentual de ausência 99,2% foi nos meses de janeiro, maio e outubro. Já nos meses restantes, o percentual atingiu os 100% de ausência.

FIGURA 24 – Eficiências dos desinfetantes cloro gás (2013) e hipoclorito de sódio 0,65% (2016), quanto a desinfecção de coliformes totais e *Escherichia coli* na rede de distribuição.



Fonte: DMAE (2017b); Portaria Consolidação nº 5 (Anexo XX) do M.S, Brasil (2017b).

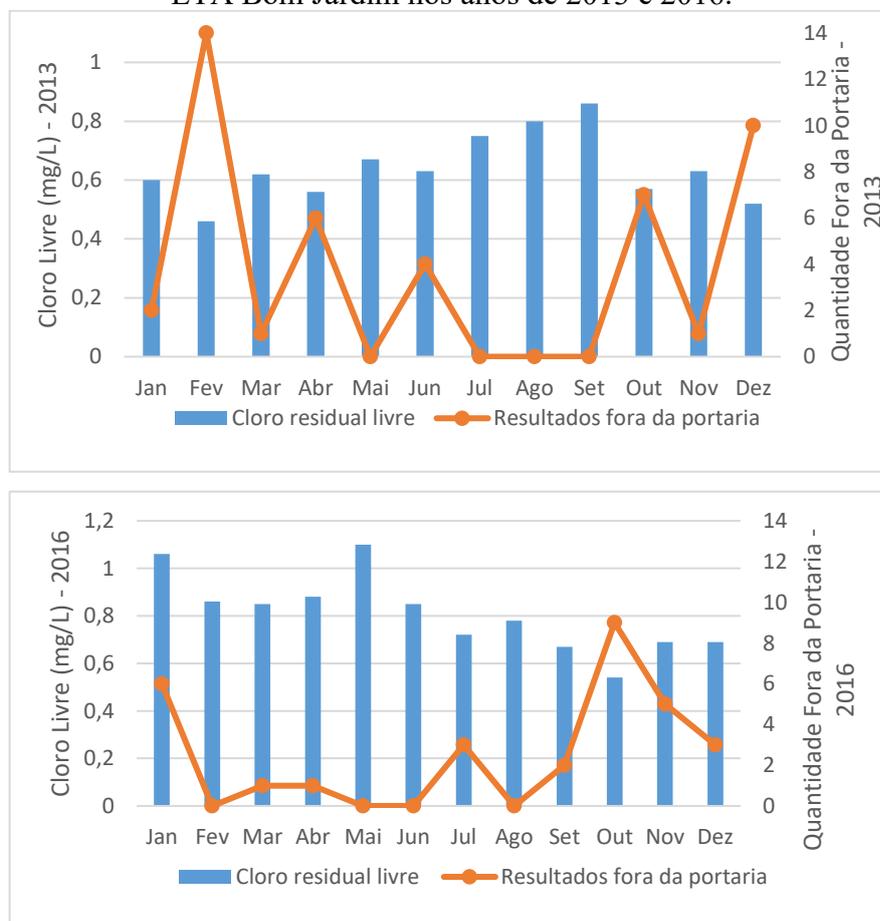
A respeito do parâmetro *Escherichia coli* visto também na Figura 24, ambos os desinfetantes apresentaram 2 contaminações anuais, porém não atenderam ao prescrito na legislação. Este fato foi constatado em 2013 no mês de junho e outubro. Foram realizadas 131 análises em junho de 2013, destas 01 apresentou contaminação por *Escherichia coli* e em outubro foram realizadas 129 análises com 01 contaminação. No ano de 2016 as contaminações por *Escherichia coli*, foram nos meses de setembro e outubro. Das 148 análises realizadas em setembro, 01 estava contaminada e em outubro realizou-se 129 análises distribuídas pelas redes de abastecimento da ETA Bom Jardim. No entanto, como rege a legislação, devem ser realizadas recoletas nos pontos que apresentaram contaminações, e também a montante e a jusante do ponto, para confirmarem a

contaminação ou para ver se a mesma foi eliminada. Desta forma, foi realizado em ambos os casos, as recoletas e não foram observadas contaminações por *Escherichia coli*.

Na rede de distribuição as quantidades de análises de coliformes totais e *Escherichia coli* são estabelecidas pela portaria Consolidação nº 5 (Anexo XX) do M.S., levando-se em conta a população abastecida pela ETA em cada ano. De acordo com os dados do IBGE, no ano de 2013 a população estimada era de 646.673 habitantes (IBGE, 2013) e em 2016 de 669,672 habitantes (IBGE,2016). Assim a quantidade de amostras a serem analisadas mensalmente para cada parâmetro indicador de contaminação é de 117 e 119 respectivamente para cada ano, por cada ETA da cidade. Foram realizadas quantidades extras de análises em todos os meses dos anos avaliados.

A Figura 25, traz os resultados das análises de cloro livre (mg/L) da rede de distribuição da ETA Bom Jardim, bem como a quantidade de análises realizadas que não atenderam aos limites mínimos de cloro livre estabelecidos pela legislação (conforme a Tabela 09).

FIGURA 25 – Valores de cloro livre (mg/L) e resultados de cloro livre (mg/L) fora da portaria (< 0,20 mg/L) nas análises de água tratada da rede de distribuição da ETA Bom Jardim nos anos de 2013 e 2016.



Fonte: DMAE (2017b).

Observando a Figura 25, percebe-se que no geral nos dois anos investigados, ocorreu o atendimento da quantidade de cloro livre residual estabelecida pela Portaria Consolidação nº 05, já que se observa médias mensais acima de 0,20 mg/L em todos os meses. Em referência as médias anuais de cloro residual livre (mg/L), verificou-se que em 2016 a média anual de cloro livre foi maior (0,81 mg/L) que a de 2013 (0,64 mg/L). Neste caso, refletiu a dosagem maior efetuada na saída do tratamento (Tabela 08), com a finalidade de atender aos pontos mais distantes da rede de distribuição da ETA, o que pode ter contribuído para se ter menos indícios de coliformes totais (Identificadas 04 presenças ao longo do ano 2016). Já para o ano de 2013 foram identificadas 13 presenças de coliformes totais. Este fato exigiu que medidas de correção fossem aplicadas, visando o atendimento do limite estabelecido na portaria, quanto a manutenção do mínimo de cloro livre na água tratada da rede de distribuição (mínimo de 0,20 mg/L - Tabela 09). À vista disso, observou-se que 45 análises em 2013 apresentaram valores inferiores a 0,20 mg/L de cloro livre na rede, enquanto que em 2016 este valor foi de 30 análises de cloro livre fora do estabelecido na legislação. Portanto, concluiu-se que mantendo a concentração de cloro livre maior na rede, tem-se melhores resultados.

Quanto aos subprodutos da desinfecção, a Tabela 10 esboça os resultados das análises destes parâmetros na saída do tratamento e rede de distribuição dos anos de 2013 e 2016.

TABELA 10 - Produtos secundários da desinfecção com uso de cloro gás e hipoclorito de sódio 0,65% na ETA Bom Jardim.

Ano	Desinfetante	Bromato (mg/L)	Clorito (mg/L)	Trihalometanos (mg/L)	2,4,6 Triclorofenol (mg/L)	Cloraminas (mg/L)	Ácidos Haloacéticos (mg/L)
		VMP ¹ 0,08	VMP 1,00	VMP - 0,10	VMP - 0,20	VMP - 4,00	VMP - 0,08
2013	Cloro Gás	< 0,01	< 0,01	< 0,001	< 0,01	< 0,10	< 0,08
2016	Hipoclorito de sódio	< 0,01	< 0,01	< 0,001	< 0,01	< 0,10	< 0,08
Total de análises realizadas		12	12	12	12	12	12
Análises Estab. Saída do Tratamento ²		2	2	2	2	2	2
Análises Estab. Rede ²		8	8	8	8	8	8
1 - Valor Máximo Permitido pelo Anexo XX da Portaria Consolidação nº 5 2 - Estalecidas pelo Anexo XX da Consolidação nº 5.							

Fonte: Adaptado de DMAE (2013); DMAE (2016); Portaria Consolidação nº 5 (Anexo XX) do M.S, Brasil (2017b).

Percebe-se o atendimento aos valores máximos estabelecidos pela portaria Consolidação nº 5 (Anexo XX) do M.S (BRASIL, 2017), prevenindo prejuízos à saúde da população com relação aos riscos oferecidos pelos subprodutos orgânicos halogenados (Trihalometanos, ácidos haloacéticos, 2,4,6 triclorofenol e cloraminas) e inorgânicos (bromato e clorito), que são originados pela reação dos agentes clorados com a matéria orgânica (MON).

Estes resultados refletem a importância da manutenção da qualidade dos mananciais que abastecem os sistemas de tratamento de água. Caso os precursores dos subprodutos da desinfecção como por exemplo a matéria orgânica (que origina os ácidos húmicos e fúlvicos) e efluentes industriais estejam presentes no manancial não forem removidos pelo tratamento de ciclo completo da ETA, estes resultam na formação dos subprodutos da desinfecção, quando se utilizam agentes clorados como desinfetantes. De acordo com estes resultados, mostra-se que a ETA Bom Jardim ainda não possui problemas com precursores de subprodutos da desinfecção.

O cloreto de sódio utilizado como matéria prima na eletrólise de produção do hipoclorito de sódio está presente nos subprodutos das reações desta eletrólise e consequentemente faz parte da solução oxidante gerada, como observado no item 2.8 deste trabalho. Destarte, a utilização desse desinfetante na desinfecção, traz questionamentos quanto a concentração de sódio na água tratada, em função do excesso do elemento sódio no organismo suscitar diversos problemas derivados do aumento da pressão arterial (MARTELLI, 2013; VIEGAS, 2008). Em relação à quantidade de sódio, a portaria Consolidação nº 5 (Anexo XX) do M.S (BRASIL, 2017), estabelece um valor máximo permitido (VMP) para o parâmetro sódio (mg/L) na água a ser distribuída para consumo humano, como observado no Quadro 09.

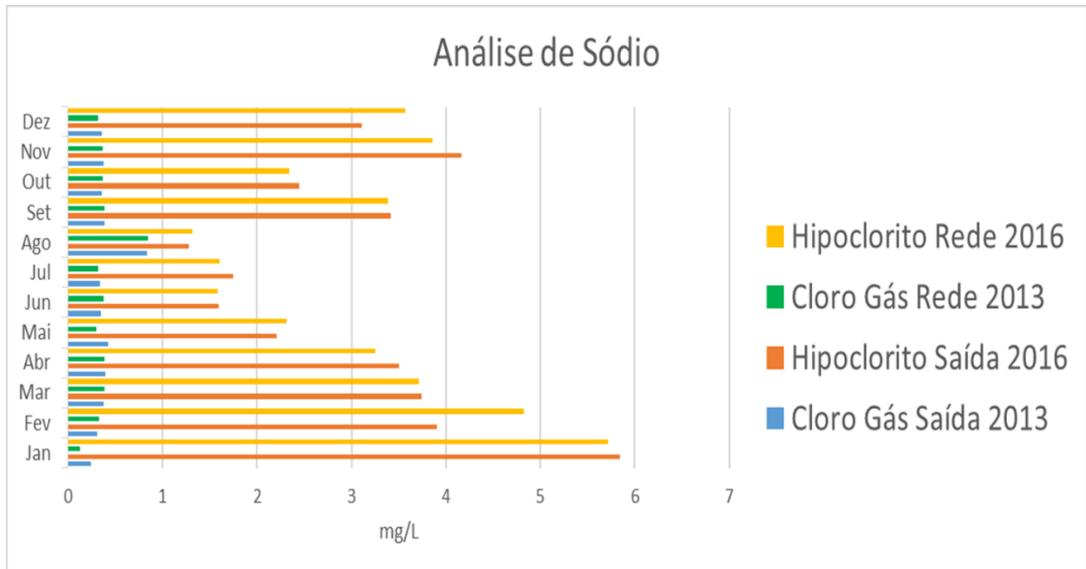
QUADRO 09 -VMP para o parâmetro sódio na água potável – Anexo XX da Consolidação nº 5.

Parâmetro	VMP (mg/L)
Sódio	200,00

Fonte: Adaptado da portaria Consolidação nº 5 (Anexo XX) do M.S, Brasil (2017b) - Tabela de padrão organoléptico de potabilidade.

Por conta da preocupação quanto à quantidade de sódio na água tratada distribuída à população, realizou-se análises de quantificação deste parâmetro, na saída do tratamento e na rede de distribuição no período avaliado e os resultados estão descritos na Figura 26.

FIGURA 26 – Quantificação mensal do sódio na ETA Bom Jardim



Fonte: Adaptado de DMAE (2013); DMAE (2016).

Percebe-se que ambos os desinfetantes analisados, possuem os residuais de sódio na água tratada (saída do tratamento e rede de distribuição) dentro dos limites determinados na legislação (200,00 mg/L). Comparando-se os dados apresentados por cada desinfetante, nota-se que no ano de 2016 com o uso do hipoclorito de sódio, a média anual de 3,07 mg/L foi maior que 0,39 mg/L de 2013 (cloro gás), refletindo o residual do sódio presente na composição da solução de hipoclorito de sódio empregada na desinfecção.

Constata-se ainda na Figura 26, uma variação da quantificação do sódio nos resultados da saída do tratamento e da rede de distribuição para um mesmo mês. No mês de janeiro, em 2013 para o cloro gás, quando a quantificação do sódio na saída do tratamento foi de 0,24 mg/L, na rede foi de 0,12 mg/L, devido à água na saída do tratamento ser coletada dentro da ETA Bom Jardim, e, portanto, não ficou reservada por um determinado período antes de ir para a distribuição. No caso da água distribuída, é diferente, pois ela passa por períodos de reservação, em contato com águas tratadas durante 24 horas por dia, sendo distribuída de acordo com a demanda. Assim sendo, pode ocorrer variação da concentração do sódio, já que a água da rede não é coletada

imediatamente após sua saída da ETA. Variações como esta citada no mês de janeiro de 2013, se repetiram também em maio de 2013. Já para o ano de 2016, esta variação se manteve mais constante durante os meses de janeiro, fevereiro, abril, maio, julho, outubro, novembro e dezembro.

4.6 Verificação do custo-benefício dos sistemas de cloração

Para a produção do hipoclorito de sódio por meio da eletrólise, são necessários água, sal (cloreto de sódio) e energia. De acordo com a especificação do fornecedor do gerador de hipoclorito de sódio, para cada 1 kg de cloro ativo produzido são necessários 4,5 kg de sal e 5,5 KW de energia (4,5 KW para a eletrólise e 1KW para os outros componentes como as bombas e válvulas dosadoras). A Tabela 11 apresenta os gastos com sal e energia na produção de 1 Kg de cloro ativo, gerado na ETA Bom Jardim.

TABELA 11 – Valor pago na produção de 1 kg de cloro ativo na ETA Bom Jardim.

		VALOR (R\$)	TOTAL (R\$)
SAL (CLORETO DE SÓDIO)	4,5 Kg	0,41 ¹	1,85
ENERGIA	5,5 KW	0,44 ²	2,42
Total gasto para produzir 1 kg de cloro (cloro para dosar)			4,27

Legenda: 1-Valor pago pelo DMAE no Kg do sal em 2017.

2- Valor pago pelo DMAE no KW em 2017.

Fonte: DMAE (2017 a).

Já o cloro gás é adquirido em cilindros de aço, com 900 Kg de cloro ativo. A energia empregada neste sistema diz respeito a bomba de geração de vácuo, necessária na dosagem. A Tabela 12 ilustra os gastos com o cloro gás, com valores do Kg e energia do ano de 2017, para elucidar melhor a comparação de preços dos dois sistemas, nos dias atuais.

TABELA 12 – Valor pago pelo Kg de cloro gás (cloro ativo) na ETA Bom Jardim.

		VALOR (R\$) ¹	TOTAL (R\$)
CLORO GÁS	1 Kg	7,10 ¹	7,10
ENERGIA	0,74 KW	0,44	0,33
Total gasto com cloro gás			7,43

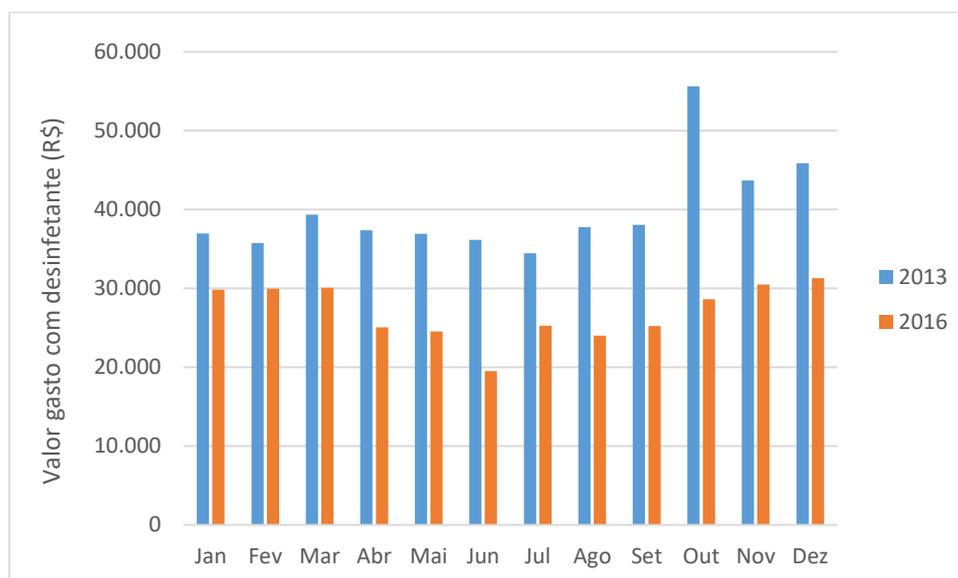
Legenda: 1- Valor pago pelo DMAE em 2017 no Kg de cloro gás.

Fonte: DMAE (2017 a).

Compete evidenciar que a água utilizada não é contabilizada, pois em ambos os casos não é consumida, a mesma retorna para o processo de produção de água potável.

A Figura 27 ilustra o gráfico dos gastos mensais com a desinfecção do período investigado.

FIGURA 27 – Gastos mensais com os desinfetantes na ETA Bom Jardim



Fonte: DMAE (2013); DMAE (2016); DMAE (2017 a).

Os valores considerados no gráfico são os valores pagos pelo Kg de cloro na ETA Bom Jardim apresentados nas Tabelas 11 e 12. Os gastos mensais variam de acordo com a quantidade de cloro dosado em Kg, suficientes para a desinfecção da água e manutenção de cloro residual livre para o controle microbiológico da rede de distribuição e reservação da água tratada conforme apresentados para os anos 2013 e 2016.

Verifica-se nas Tabelas 11 e 12, que os valores dos Kg de cada desinfetante são diferentes. Desta forma, percebe-se que os gastos mensais mais onerosos são com o desinfetante cloro gás (gasto mensal médio de R\$ 39.835,82), enquanto que os gastos mensais (média mensal) com o hipoclorito de sódio foram de R\$ 26.999,84. A redução dos valores pagos mensalmente é de 32,22%, em média. Os cálculos foram realizados considerando os valores pagos pelo DMAE em 2017. A economia anual com a substituição do sistema de cloro gás pelo sistema de produção *in loco* de desinfetante foi de R\$ 154.031,73.

Cabe ressaltar ainda, que o emprego do hipoclorito de sódio produzido *in loco*, reduziu significativamente a quantidade de alcalinizante utilizado na correção do pH na etapa final do tratamento da água.

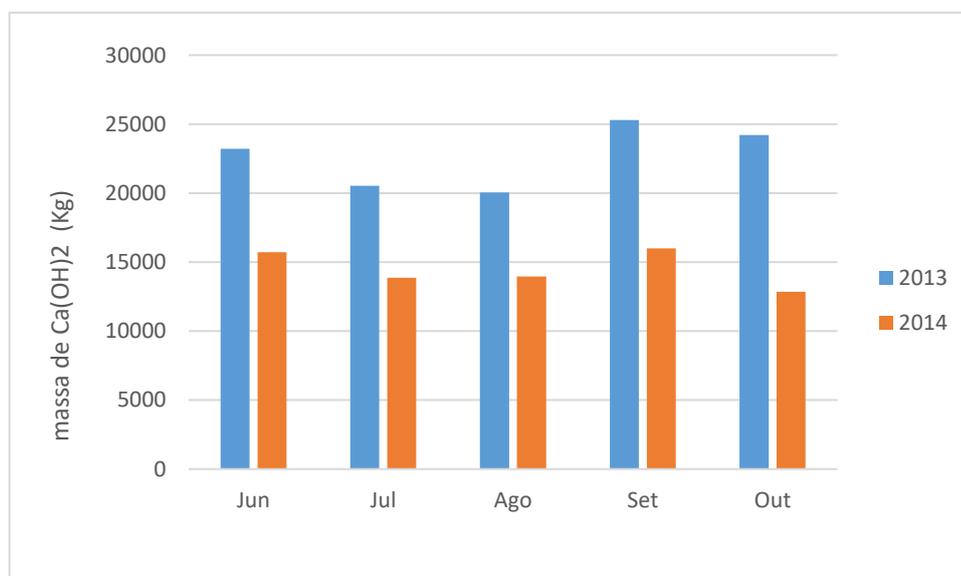
Para constatar essa redução, levou-se em consideração os dados de dosagem do alcalinizante referentes aos anos 2013 e 2014 (e não 2016). Isto por conta de ter ocorrido alterações neste produto químico utilizado em novembro de 2014.

Quando o cloro gás era aplicado na desinfecção em 2013, a ETA Bom Jardim adquiria o hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 em pó (sacas de 20 Kg) e preparava uma solução com concentração de 15% m/m, para adicioná-lo ao tratamento de água. Em junho de 2014, substituiu-se o cloro gás pelo hipoclorito de sódio e nesta ocasião ainda se utilizava o Ca(OH)_2 , como mencionado anteriormente. Em novembro de 2014, o alcalinizante adquirido em sacas, foi substituído por uma solução pronta denominada de hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 em suspensão com concentração de 20% m/m.

Sendo assim, para investigação da quantidade de redução do alcalinizante observada com o uso do hipoclorito de sódio, definiu-se o período de junho a outubro de 2013 e junho a outubro de 2014, pois este foi o único período em que se utilizou ambos os desinfetantes investigados com o mesmo alcalinizante (condições de aquisição, concentração e aplicação).

O Gráfico da Figura 28 mostra a dosagem do Ca(OH)_2 (em Kg) no período de junho a outubro de 2013 (cloro gás) e junho a outubro de 2014 (hipoclorito de sódio).

FIGURA 28 – Dosagem mensal do alcalinizante Ca(OH)_2 na ETA Bom Jardim.

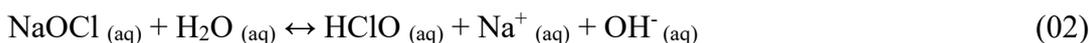


Fonte: DMAE (2013); DMAE (2014).

Neste gráfico observa-se que ocorreu diminuição na dosagem desse produto químico no ano de 2014. A dosagem média mensal em Kg em 2013 foi de 22.680 Kg e

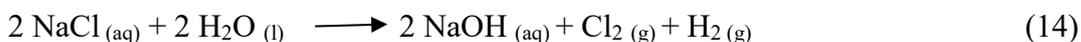
em 2014 foi de 14.476 Kg. Por conseguinte, a redução mensal de alcalinizante observada corresponde a 36,17 %, em média.

Conforme visto nas equações (01) e (02) apresentadas no referencial teórico, item 2.4 deste trabalho:



Na equação (01) a adição do cloro gás à água produz ácido hipocloroso e o ácido clorídrico (HCl). Este ácido acaba abaixando o pH do meio, o que requer maior quantidade de alcalinizante na correção do mesmo. Já na equação (02) quando o hipoclorito de sódio é adicionado à água, gera o hidróxido de sódio (NaOH) na reação em equilíbrio. Portanto, neste caso há um aumento no pH do meio, diminuindo a necessidade da adição de um alcalinizante para neutralizar a acidez da água. Para atender a portaria Consolidação nº 5 (Anexo XX) do M.S (BRASIL, 2017b), quanto ao pH da água tratada fornecida à população, a ETA Bom Jardim trabalha com metas que variam de 7,6 a 8,2, já que a meta estabelecida é de 6 a 9,0. O hipoclorito de sódio gerado *in loco*, possui pH 9,0 em média.

Nas reações da eletrólise da salmoura, apresentadas no item 2.8 deste trabalho, por meio das equações (14) e (15), percebe-se a presença do hidróxido de sódio na solução oxidante gerada, que tem o hipoclorito de sódio 0,65% como produto principal. Porém, o hidróxido de sódio (NaOH) gerado no meio, ao ser aplicado conjuntamente com o hipoclorito de sódio na etapa desinfecção, contribui para a elevação do pH do meio, diminuindo a necessidade de correção deste pH, conforme estabelecido na legislação.



Este fato torna-se relevante na discussão do custo benefício de cada sistema de desinfecção, pois economizar na dosagem de produtos químicos contribui com a economia dos custos do tratamento da água. Para os valores atualizados, no ano 2016, a economia de 36,17% (318.515,22 Kg economizados) da quantidade dosada (Kg) de

alcalinizante, corresponderia a quantia de R\$232.516,11 (considerando o valor do Kg do alcalinizante pago em 2017 pelo DMAE que foi de R\$0,73).

Levando-se em conta a economia anual com a substituição do sistema de cloração que foi de R\$ 154.031,73 e também a diminuição dos gastos com a dosagem do alcalinizante que foi de R\$232.516,11, atinge-se uma redução anual de gastos de R\$ 386.547,84. O investimento total do DMAE pela instalação do sistema gerador de hipoclorito de sódio *in loco*, instalado e operando foi de R\$ 500.000,00. A garantia dos equipamentos é de 5 anos. O retorno do investimento feito na aquisição e instalação da produção *in loco* dos geradores de hipoclorito foi recuperado em aproximadamente 1 ano e 106 dias.

5 CONCLUSÕES

As alterações de períodos chuvosos e secos, alteram a qualidade da água bruta e consequentemente da água filtrada refletindo no tratamento e na dosagem de desinfetantes e outros produtos químicos.

As análises estatísticas das médias das águas filtradas, demonstraram que os tratamentos foram estatisticamente iguais, ou seja, as condições que os desinfetantes foram avaliados são as mesmas.

Tanto o desinfetante cloro gás, quanto o hipoclorito de sódio são eficientes na desinfecção da água, na saída do tratamento e na rede de distribuição, cumprindo as determinações da portaria Consolidação nº 5 (Anexo XX) do M.S (2017), quanto à desinfecção dos organismos indicadores de contaminação: coliformes totais e *Escherichia coli*.

As médias anuais de cloro livre residual na saída do tratamento para o ano de 2013 foi de 1,12 mg/L e para 2016 foi de 1,45 mg/L. Os valores encontrados atendem a dosagem de cloro livre residual recomendada pela portaria Consolidação nº 5 (Anexo XX) do M.S (2017).

Em relação à formação de subprodutos da desinfecção, o uso do desinfetante produzido *in loco*, atendeu de forma adequada ao estabelecido pela legislação, não prejudicando desta forma a saúde da população, como também foi observado para cloro gás.

Quanto ao sódio, os valores encontrados estão bem abaixo do valor máximo permitido pela portaria, não afetando a qualidade da água.

A substituição do sistema de cloração, com base nos riscos de cada um, demonstra que o sistema que utiliza o hipoclorito de sódio produzido *in loco*, não apresenta riscos com relação a saúde dos servidores da ETA e nem para a população que reside ou transita perto da mesma, uma vez que não há vazamento de gás ou outro produto que seja prejudicial à saúde das pessoas, como ocorre com o gás cloro. Quanto ao risco ergonômico, é preciso cautela, pois a postura inadequada pode gerar incômodos à saúde dos servidores que preparam a salmoura ou descarregam a carga excessiva de sal.

Além disso, levando-se em conta a economia anual com a substituição do sistema de cloração que foi de R\$ 154.031,73 e também a diminuição dos gastos com a dosagem do alcalinizante que foi de R\$232.516,11, atinge-se a uma redução anual de gastos com o desinfetante e alcalinizante de R\$ 386.547,80 (aproximadamente 28,56%).

Portanto, a substituição do sistema de cloração cloro gás pelo sistema de produção de hipoclorito de sódio por meio da eletrólise do cloreto de sódio *in loco*, mostra-se uma alternativa economicamente viável, segura e que atende aos padrões potabilidades estabelecidos pela portaria Consolidação nº 5 (Anexo XX) do M.S.

6 ETAPAS FUTURAS

6.1 Quantificar o peróxido de hidrogênio gerado na eletrólise da salmoura

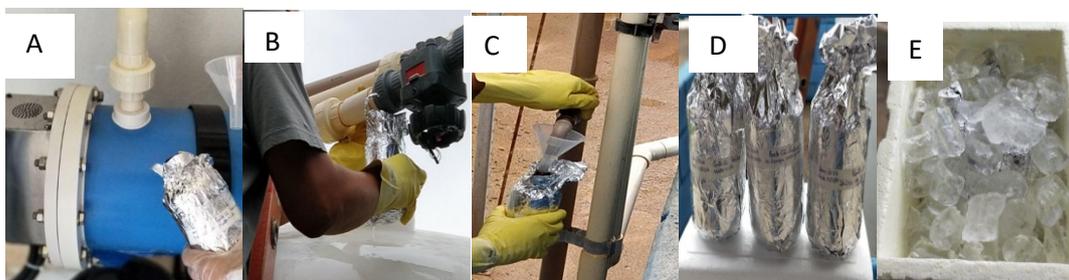
O hipoclorito de sódio gerado na ETA Bom Jardim por meio da eletrólise da salmoura, como observado no item 2.8 deste trabalho, é obtido juntamente com outras substâncias que ficam contidas nesta solução oxidante a base de hipoclorito de sódio, como o hidróxido de sódio e também o peróxido de hidrogênio, entre outras.

Neste sentido, está em andamento um estudo de identificação e quantificação do peróxido de hidrogênio gerado nesta solução oxidante. Para isto será utilizado um sensor eletroquímico desenvolvido com filmes de compósitos de azul da Prússia/nanotubos de carbono/óxido de grafeno reduzido (AP/NTC/rGO). Esse sensor está sendo desenvolvido no laboratório de Química Inorgânica da UFU, com a orientação do professor Dr. Edson Nossol, pelo aluno de iniciação científica Samuel Carlos Silva e uma das aplicações deste sensor é identificar e quantificar o peróxido de hidrogênio na solução oxidante gerada *in loco* na ETA Bom Jardim, por meio da eletrólise da salmoura.

Foram realizados testes iniciais de aplicação desse sensor para a identificação do peróxido de hidrogênio em amostra preparada contendo somente o peróxido de hidrogênio. Testes com as amostras do hipoclorito de sódio 0,65% produzido na ETA Bom Jardim estão em fase de estudos e aperfeiçoamento do método de identificação e quantificação do peróxido de hidrogênio.

As amostras do hipoclorito de sódio 0,65% foram coletadas na ETA Bom Jardim, em três pontos diferentes, conforme ilustrado na Figura 29.

FIGURA 29 – Coleta de amostras de hipoclorito de sódio de sódio 0,65% produzidos na ETA Bom Jardim.



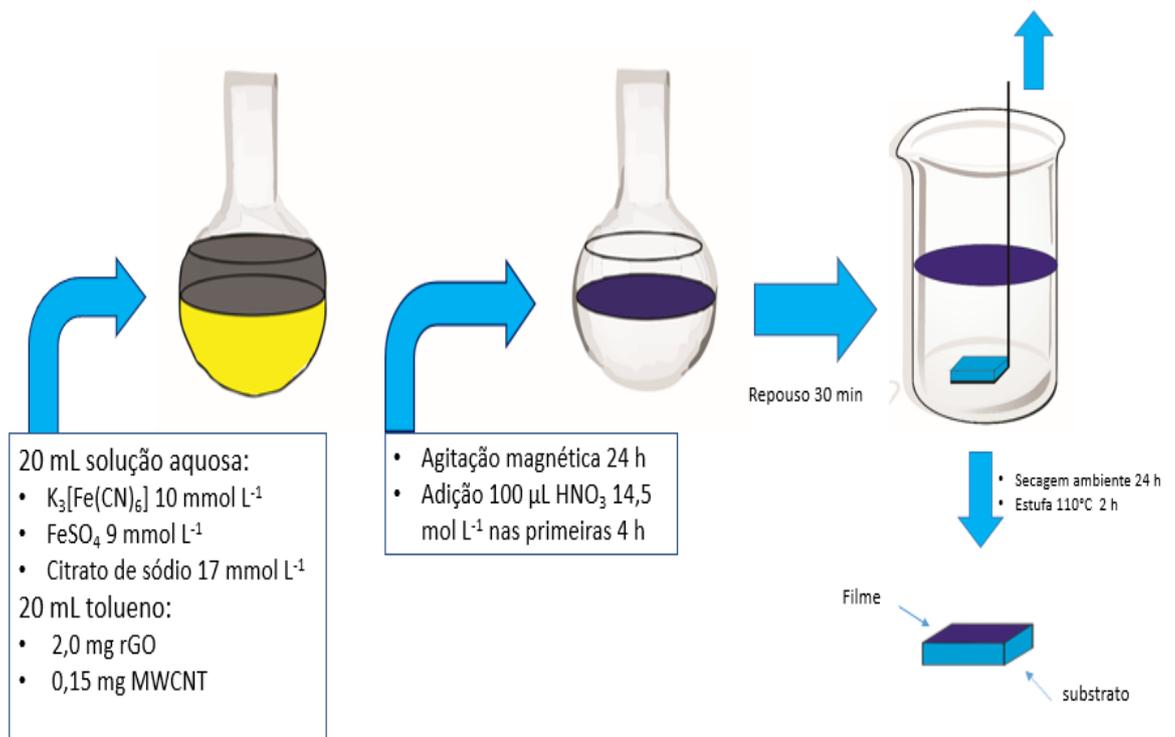
Fonte: A autora

As amostras foram coletadas na saída do reator como ilustrado em (A), na entrada do tanque de armazenamento (B), e na saída do tanque de armazenamento, antes da aplicação

na desinfecção (C). Foram colhidas em frascos âmbar cobertos com papel alumínio (D) e refrigeradas no gelo dentro da caixa de isopor (E). Desta forma foram imediatamente levadas ao laboratório de química inorgânica para a realização dos testes de identificação do peróxido de hidrogênio com o sensor eletroquímico citado.

A metodologia de obtenção do sensor eletroquímico (AP/NTC/rGO), está ilustrada na Figura 30:

FIGURA 30 – Metodologia de obtenção do sensor eletroquímico (AP/NTC/rGO).



Fonte: Salvatierra, et al. (2010).

7 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos** / Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, 2011. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/cedoc/catalogo/2012/guianacionaldecol eta.pdf>> Acesso em 08 de dez. 2017.

AISSE, M. M.; LOBATO, M. B.; JÜRGENSEN, D. Desinfecção de efluentes utilizando hipoclorito gerado “in-loco”. In: **23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2005.

ALVES, S.A.; TANARE, C.R.F.; LANZA, M.R.V. Oxidação eletroquímica do herbicida tebutiuron utilizando eletrodo do tipo DSA®. **Química Nova**, v. 35, n. 10, p. 1981-1984, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012001000017>

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.

BERNARDES, M. B. J. **Bacia hidrográfica do rio Uberabinha: a disponibilidade de água e uso do solo sob a perspectiva da educação ambiental**. 2007. 221 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Uberlândia.

BECKER, B. R. **Proposta de teste para verificação da formação de trihalometanos (TAM) em ETAs**. 2010. 71f. Monografia (Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2010.

BRAGA, F. P. **Avaliação de desempenho de uma estação de tratamento de água do município de Juiz de Fora – MG**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Sanitária e Ambiental), Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2014.

BRASIL. NR - **Norma Regulamentadora Ministério do Trabalho - NR 15. Atividades e Operações insalubres**. Anexo XI - Agentes Químicos cuja insalubridade é caracterizada por limite de tolerância e inspeção no local de trabalho. **Diário Oficial da União**, Brasília, 06 de jul. 1978.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano**. Ministério da Saúde: Brasília, 2005. 106 p.

_____. Lei nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995;

revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 08 de jan. 2007, 03 p.

_____. Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011. “Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade”. **Diário Oficial da União**, Brasília, 14 de dez. 2011, 32 p.

_____. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto 2016**. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnosticos-agua-e-agua-esgotos/diagnosticos-ae-2016>>. Acesso em: 10 de fev. 2018.

_____. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Cronologia Histórica da Saúde Pública**. 2017 a. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/web/guest/cronologia-historica-da-saude-publica>>. Acesso em: 20 de ago. 2017.

_____. Portaria Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017 b. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Anexo XX - Do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de Potabilidade (Origem: Portaria MS/GM 2914/2011). **Diário Oficial da União**, Brasília, 03 de out. 2017, 825p.

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.

BRITO, C. N.; ARAÚJO, E.G.; HUITLE, C.A.M. Aplicação de métodos oxidativos avançados para a desinfecção de água. **Revista Virtual de Química**. v.7, n.5, p. 1617-1634, 2015.

BRITO, J. L. S.; PRUDENTE, T. D. Mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal do município de Uberlândia – MG, utilizando imagens CCD/CBERS 2. **Caminhos da Geografia**, v. 13, n. 15, p. 144-153, 2005.

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.

CAPOCCHI, J. Crônica da Cloração de Águas e Esgotos. **Revista DAE**, v. 44, p. 19-27, 1962.

CARRIJO, B. R.; BACCARO, C. A. D. Análise sobre a erosão hídrica na área Urbana de Uberlândia (MG). **Caminhos de Geografia**, v. 1, n. 2, p. 70-83, 2000.

CAVALARI, L.G.P. **Verificação da formação de trihalometanos decorrentes da pré-oxidação com cloro e dióxido de cloro em ensaios de ciclo completo com água contendo substâncias húmicas aquáticas**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil, 2008.

CHANG, R. Química Geral: Conceitos Essenciais. 4ª Edição. São Paulo: MC Graw – Hil, 2006.

COSTA, A.M.; SILVAS, B.P.C.; CASTRO, R.R.O. **Análise da concentração de cloro livre, cloro total, ph e temperatura em alguns pontos de consumo abastecidos pela rede pública de distribuição na cidade de Curitiba.** Trabalho de conclusão de curso (Engenharia civil), Universidade de 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.

DANIEL, M. H. B.; CABRAL, A. R. A Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (VIGIAGUA) e os Objetivos do Desenvolvimento do Milênio (ODM). *Cad. Saúde Col.* v. 19, n. 4, p. 487-492, 2011.

DMAE-DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO DE UBERLÂNDIA. **Boletim de Coletas de Dados**, 2013. Estação de Tratamento de Água Bom Jardim.

_____. **Boletim de Coletas de Dados**, 2014. Estação de Tratamento de Água Bom Jardim.

_____. **Plano Diretor do Sistema de Abastecimento de Água e Sistema de Esgotos Sanitários do Município de Uberlândia.** RELATÓRIO Nº E2137-01-RL-SN-101 RT1: Descrição dos Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotos Sanitários Existentes, p. 128, 2015.

_____. **Boletim de Coletas de Dados**, 2016. Estação de Tratamento de Água Bom Jardim.

_____. **Acervo Bibliográfico**, 2017 a. Estação de Tratamento de Água Bom Jardim.

_____. Laboratório de Controle de Qualidade (LQA), 2017 b. **Pontos de Controle de Qualidade da rede Bom Jardim.**

DE NORA. **Products Brine System. ClorTec® on-site sodium hypochlorite generation systems.** 2009. Disponível em: < <http://www.denora.com/markets-products/electrolyzers.html>> acesso em: 27 nov. 2016.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** Segunda Edição. São Paulo: Rima, 2005. 792 p.

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

FARIA, D; URRUCHI, W.; OTANI, C.; MASSI, M. **Efeitos na Turbidez, cor, pH, Fe e Mn da aplicação de ozônio em água de abastecimento.** In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, 2005. Disponível em: <<http://www.rema.ufsc.br>>. Acesso em: 20 de ago. 2017.

FERREIRA FILHO, S. S.; HESPANHOL, I.; PIVELI, R. P. **Aplicabilidade do dióxido de cloro no tratamento de Águas de abastecimento**. In: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville-SC, 2003.

FERREIRA FILHO, S.S.; SAKAGUTI, M. Comportamento cinético do cloro livre em meio aquoso e formação de subprodutos da desinfecção. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 13, n. 2, p. 198-206, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522008000200010>

FREITAS, D. B. **Estudos de melhorias dos sistemas de cloração da água de abastecimento na CORSAN pela instalação de evaporadores de cloro e lavadores de gases**. 2011. Trabalho de Diplomação em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

FREITAS, M. B. de; MACHADO DE FREITAS, C. A vigilância da qualidade da água para consumo humano – desafios e perspectivas para o Sistema Único de Saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 10, n. 4, p. 993-1004, 2005. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232005000400022>

FRIZZO, E. E.; SPIANDORELLO, F. B.; CAMPANI, G. A. Uso do dióxido de cloro no tratamento de água – ETA Parque da Imprensa, SAMAE, Caxias do Sul - RS. In: Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento – **Saneamento ambiental**: a hora da solução. Rio Grande do Sul, ASSEMAE, 2004, p. 9, Ilus, tab.

FONTANIVE, S. **Estudo de análise de risco do cloro em estações de tratamento de água**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

FUCHS, A.M.S.; FRANÇA, M.N.; PINHEIRO, M.S.F. **Guia para normalização de publicações técnico-científica**. Uberlândia: EDUFU, 2013. 286p.

GRASSI, M. T. As águas do planeta terra. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**. Edição Especial, p.31-40, 2001.

GOOGLE MAPS. [Mapa da cidade de Uberlândia - MG]. 2018 a. **Estação de Tratamento de Água Bom Jardim**. Disponível em: <www.google.com/maps/d/viewer?mid=15v-MCnJxcP5UzshOAmDAHW8p6SM&hl=en_US&ll=-18.9439261793722%2C-48.27264288220903&z=19>. Acesso em: 20 de jan. 2018.

_____. [Mapa da cidade de Uberlândia - MG]. 2018 b. Disponível em: <www.google.com.br/maps/place/Uberlândia,+MG/@-18.9154235,-48.2772826,11.5z/data=!4m5!3m4!1s0x94a4450c10bbbaef:0xae370c93616d5c9c!8m2!3d-18.9146078!4d-48.2753801>. Acesso em: 05 de fev. 2018.

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

HIDROGERON – **Grupo Hidrogeron (Tecnologias para Sustentabilidade)**. Indústrias de Saneamento. 2017. Disponível em: <<http://hidrogeron.com/clientes/industria-e-saneamento>> Acesso em: 22 de nov. 2017.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas Populacionais para os municípios brasileiros** em 01.07.2013. Disponível em: <http://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2013/estimativa_dou.shtm> Acesso em: 15 de jan. 2018.

_____. **Densidade Demográfica de Uberlândia**. 2016. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/mg/uberlandia/panorama>> Acesso em: 29 de abr. 2017.

_____. **Densidade Demográfica de Uberlândia**. 2017. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/mg/uberlandia/panorama>> Acesso em: 11 de fev. 2018.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia – Estação Meteorológica Automática de Uberlândia – MG. **Seção de Armazenamento de Dados Meteorológicos (SADMET)** 2018. Disponível em: <sadmet.df@inmet.gov.br> Acesso: 09 de jan. de 2018.

INMETRO. NIT-DICLA - 057 – **Critérios para Acreditação da Amostragem de Águas e Matrizes Ambientais**, 2017. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/credenciamento/organismos/doc_organismos.asp?torganismo=calibensaios> Acesso em 07 de dez. 2017.

INSTITUTO TRATA BRASIL - ITB. **Saneamento no Brasil**. 2016. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil>> Acesso em: 10 de fev. 2018.

LAHOZ, R. A. L; DUARTE, F. C. Saneamento básico e direito à saúde: Considerações a partir do princípio da universalização dos serviços públicos. **Revista de Estudos Constitucionais, Hermenêutica e Teoria do Direito (RECHTD)**, v. 7, n. 1, p. 62-69, 2015.

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.

LUCA, S. J.; SANTANNA, M. A. Hipoclorito gerado eletroliticamente *in loco*: Subprodutos e avaliação de sua capacidade desinfetante no tratamento de águas. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000, Porto Alegre, RS. **Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 2000.

MARTELLI, A. Redução das concentrações de cloreto de sódio na alimentação visando a homeostase da pressão arterial. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET**, v. 18, n. 1, p. 428-436, 2014.

MATOS, J. F.; MOTA, S.; AVELINO, F. F; PÁDUA, V. L.; BRAGA, E. A. S.; MALVEIRA, J. Q. Solução oxidante gerada a partir da eletrólise de rejeitos de

dessalinizadores de água. **Eng. Sanit. Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 143-152, 2006.
<https://doi.org/10.1590/S1413-41522006000200007>

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>

MORAES, B. S.; BARRADAS, J. L. D.; BIRCK, L. R. **Dióxido de cloro: Vantagens e desvantagens de sua utilização como agente desinfetante em sistemas de abastecimento público – estudo de caso**. 2005. Disponível em:
<<http://serviços.semsa.sp.gov.br/admin/biblioteca/docs/pdf/35assem014.pdf>> Acesso em 23 de nov. 2017.

MORAES, J. P. **Eletrólise da salmoura para a geração de cloro empregando cátodos de difusão de oxigênio modificados com ferro**. 2011. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2011.

NIEUWENHUIJSEN, M. J.; MARTINEZ, D.; GRELLIER, J.; BENNETT, J.; BEST, N.; ISZATT, N.; VRIJHEID, M.; TOLEDANO, M.B. Chlorination disinfection by-products in drinking water and congenital anomalies: review and meta-analyses. **Ciênc. Saúde Coletiva**, v. 15, p. 3109-3123, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232010000800015>

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.

OLIVEIRA, S. Z. **Adaptação de equipamento de geração de gases oxidantes para aplicação na desinfecção de água**. 2009. 61 f. Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

PAIXÃO, K.V; DELFORGE, J.L; BRANDÃO, C.C.S. Avaliação de um equipamento de geração de misturas oxidantes na inativação de patógenos, utilizando, como indicadores, coliformes e colifagos. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000, Porto Alegre, RS. **Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 2000.

PAIXÃO, R. M; SILVA, L. H. B. R; A, R. A cloração e a formação de trihalometanos. **Iniciação Científica CESUMAR**, v. 16, n. 2, p. 191-198, 2014.

PASCHOALATO, C. F. P. R.; TRIMAILOVAS, M. R.; DI BERNARDO, L. Formação de subprodutos orgânicos halogenados nas operações de pré-oxidação com cloro, ozônio e peróxido e pós-cloração em água contendo substância húmica. **Eng. Sanit. Ambient**, v. 13, n. 3, p. 313–322, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522008000300011>

PERES, F. A. S. et al. Tratamento de águas de refrigeração com peróxido de hidrogênio. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1851-1855, 2008.
<https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000700042>

POSICLOR-DENORA – Apresentação do projeto de sistemas de desinfecção através de salmoura modelo Posiclor-Denora Fluid Feeder. **Reunião Ordinária da Câmara Técnica de Saneamento e Saúde em Comunidades Isoladas ABES**, 2012. Disponível em: <slideplayer.com.br/slide/1857343/> Acesso em 22 de nov. 2017.

PREFEITURA DE INDAIATUBA. **SAAE substitui cloro gás por hipoclorito de cálcio no processo de tratamento de água**. 2016. Disponível em: <<http://www.indaiatuba.sp.gov.br/relacoes-institucionais/imprensa/noticias/24537/>>. Acesso em 22 de nov. de 2017.

PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERLÂNDIA. **Banco de Dados Integrados**. 2017. Disponível em: <http://www.uberlandia.mg.gov.br/uploads/cms_b_arquivos/17885.pdf> Acesso em: 30 de abr. 2017.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2006. 748 p.

REIFF, F.M; WITT, V.M. **Guias para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección de la para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe**. Division de Saud y ambiete, Série Técnica n°. 30, Washington, EUA: OPAS/OMS, 1995. 227p.

RICHTER, C.A. **Água - Métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Blucher, 2009. 340p.

RODRÍGUEZ, M. J.; RODRÍGUEZ, G.; SERODES, J.; SADIQ, R. Subproductos de la desinfección del agua potable: formación, aspectos sanitarios y reglamentación. **Interciencia**, v. 32, n. 11, p. 749–756, 2007.

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

SALVATIERRA, R.V; OLIVEIRA, M.M, ZARBIN, A.J.G. One-Pot Synthesis and Processing of Transparent, Conducting, and Freestanding Carbon nanotubes/Polyaniline Composite Films. **Chemistry of Materials**, v. 22, n. 18, p 5222-5234, 2010. <https://doi.org/10.1021/cm1012153>

SILVA, J. V. **As relações entre as condições de saneamento e o desempenho socioeconômico dos municípios mineiros**. 2015. 110f. Dissertação (Mestrado em Administração). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

SILVA, R. A. B. da; MONTES, R. H. de O; MUNOZ, R. A. A; RICHTER, E. M. Determinação de peróxido de hidrogênio em antisséptico bucal usando um microdispositivo contendo partículas de azul da prússia. **Química Nova**, v. 34, n. 6, p. 987-991, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000600014>

SIQUEIRA, I.M; REIS, A.O; FRAGA, M.S; FERREIRA, E.P; AMARAL, N. L. Eficiência na Alocação de Recursos em Saneamento básico: Correlações com Saúde e Educação, Renda e Urbanização nos Municípios Mineiros. In: Congresso Brasileiro de

Custos, 23, 2016, Porto de Galinhas. **Anais do Congresso Brasileiro de Custos**, PE: Associação Brasileira de Custos, 2016.

APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**, 22th Edition. American Public Health Association Washington, DC, USA, 2012.

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.

TEIXEIRA, L. A. C.; PATRIARCA, P.; BONFATTI, J. M.; MONDONI, M. **Tratamento de águas e efluentes com peróxido de Hidrogênio: possibilidades interessantes para a Indústria de celulose e papel**. In: The 46th ABTCP International Pulp and Paper Congress, October, 8-10. 2013, São Paulo Brazil. © 2013 ABTCP.

TELLES, D. D. **Ciclo ambiental da água: da chuva à gestão**. São Paulo: Edgar Blücher, 2013. 504p.

TRASATT, S. Electrocatalysis: understanding the success of DSA. **Electrochimica Acta**, v. 45, p. 2377-2385, 2000. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013468600003388> Acesso em 03 de jan. 2018.

USEPA – U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidance Manual – Alternative Disinfectants and Oxidants**. Washington, D.C. Report n.815-R-99-014. 1999.

VIEGAS, C. Sal e doença cardiovascular. **Revista Factores de Risco**, n. 10, p. 12-18, 2008.

WALLAU, M; BIANCHIN, D; EBERSOL, C. P; JÚNIOR, J. A. S; BARBOZA, T. M. Química verdadeiramente verde – propriedades químicas do cloro e sua ilustração por Experimentos em escala miniaturizada. **Química Nova**, v.38, n .3, p. 436-445, 2015.

ZARPELON, A.; RODRIGUES, E. M. Os trihalometanos na água de consumo humano. Sanare. **Revista técnica da Sanepar**, v. 17, n. 17, p. 20-30, 2002.