



SUBSTITUIÇÃO DO GÁS CLORO POR HIPOCLORITO DE SÓDIO PRODUZIDO IN LOCO EM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: VIABILIDADE ECONÔMICA E OPERACIONAL – ESTUDO DE CASO

Ingrid da Silva Pacheco⁽¹⁾

Estagiária no Departamento Municipal de Água e Esgoto de Uberlândia (DMAE). Graduanda em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Minas Gerais.

Regilaine da Cunha Duarte Garcia

Coordenadora da ETA Bom Jardim do Departamento Municipal de Água e Esgoto de Uberlândia (DMAE). Licenciada em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Especialista em Gestão Ambiental pela Faculdade Católica de Uberlândia. Mestre em Qualidade Ambiental pela UFU.

Augusto Sérgio Sampaio das Neves

Estagiário no Departamento Municipal de Água e Esgoto de Uberlândia (DMAE). Graduando em Engenharia Civil na faculdade Pitágoras de Uberlândia. Técnico em segurança do trabalho formado pela fundação de apoio a escola técnica do Rio de Janeiro.

Fábio Augusto do Amaral

Professor Adjunto na Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Doutor em Química pela Universidade Federal de São Carlos.

Sheila Cristina Canobre

Professora Adjunto na Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Doutora em Química pela Universidade Federal de São Carlos.

Endereço⁽¹⁾: Rua Das Diretas, 478 – São Jorge – Uberlândias – Minas Gerais – CEP: 38410-492
– Brasil – Tel: +55 (34) 98851-7860 – e-mail: ingridspache@gmail.com.



RESUMO

A Estação de Tratamento de Água (ETA) Bom Jardim (Uberlândia-MG), substituiu o gás cloro (Cl_2) pela produção eletrolítica de hipoclorito de sódio *in loco*. O presente trabalho teve como objetivo a verificação da eficiência desse hipoclorito de sódio comparando-o com o Cl_2 no atendimento aos padrões de potabilidade da água de consumo humano, estabelecidos pela Consolidação nº 05 (Anexo XX) do Ministério da Saúde de 28/09/2017, quanto a inativação dos coliformes totais e *Escherichia coli*. Pretendeu-se ainda, analisar o custo / benefício e as condições de segurança e qualidade ambiental do mesmo. Os dados contidos neste estudo provêm dos monitoramentos efetuados e coletados nos relatórios de controle do tratamento da água da ETA Bom Jardim. Os resultados demonstraram que a solução investigada atende aos padrões de potabilidade estabelecidos, sendo efetivo na desinfecção, deixando residual de cloro na rede, com custos de operação economicamente viáveis e mais acessíveis que o cloro gás, compensando em pouco tempo os valores investidos. Ademais, o sistema implantado, apresentou segurança aos funcionários e população localizada próxima a ETA.

Palavras-chave: hipoclorito de sódio; eletrólise; gás cloro; desinfecção da água.

INTRODUÇÃO

No Brasil, historicamente o desinfetante mais utilizado é o cloro, devido a sua eficiência e baixo custo quando comparado a outros desinfetantes. No entanto, o gás cloro possui um odor extremamente forte, irritante e asfíxiante podendo ocasionar vários danos irreversíveis ao ser humano e meio ambiente (FONTANIVE, 2005).

Em consequência do alto risco proporcionado pelo Cl_2 em caso de vazamentos, este tem sido substituído por outros produtos menos perigosos. Uma das tecnologias que tem se evidenciado e está acessível no mercado brasileiro são os geradores de hipoclorito de sódio *in loco*, que utilizam como insumos água, sal (cloreto de sódio) e eletricidade. O processo de geração de hipoclorito de sódio consiste na eletrólise de cloreto de sódio presente na salmoura preparada anteriormente (concentração 3%), quando esta é submetida à corrente contínua em uma célula eletrolítica contendo eletrodos anódicos e catódicos (OLIVEIRA, 2009).

Atualmente na cidade de Uberlândia, Minas Gerais, uma das opções de abastecimento de água potável, a Estação de Tratamento de Água (ETA) Bom Jardim, com capacidade de tratamento de água de até 2 m^3/s , é responsável pelo atendimento de mais de 300.000 mil habitantes, o que corresponde a aproximadamente metade da população Uberlandense (IBGE,



2017). Esta ETA utiliza como desinfetante o hipoclorito de sódio produzido *in loco*, com concentração de 0,65%, com aplicação diária (em média) de 300 Kg de cloro ativo na desinfecção. Este sistema foi instalado em substituição ao cloro gasoso (cilindros de 900 Kg), já que a dispersão acidental deste gás (tóxico) para a atmosfera era prejudicial aos trabalhadores do local e seus efeitos poderiam ir além dos limites da ETA, afetando a população vizinha, uma vez que o empreendimento está localizado em área urbana e residencial com grande fluxo de pedestres e automóveis.

Neste sentido, essa pesquisa, por meio de estudo de caso do referido sistema de abastecimento, visa verificar a viabilidade do uso do hipoclorito de sódio produzido *in loco* comparando-o com o cloro gás utilizado anteriormente como agente desinfetante, com relação a: (a) atendimento quanto a inativação de microrganismos indicadores de contaminação (Coliformes Totais e *Escherichia Coli*) e manutenção do mínimo estabelecido de cloro residual na rede, definidos pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 – Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde (SUS), de 28 de Setembro de 2017 do Ministério da Saúde que discorre sobre os padrões de potabilidade da água, tanto para amostras da água tratada da saída do tratamento como para a da rede de distribuição; (b) custo benefício de ambos os sistemas de cloração; e (c) condições de segurança e qualidade ambiental de cada método.

Sendo assim, as informações contidas nesse estudo de caso poderão contribuir com a prestação de informações úteis e práticas demonstrando a aplicabilidade da solução oxidante produzida e o seu impacto na qualidade da água ofertada para a população dentro dos parâmetros estabelecidos pela legislação brasileira de potabilidade da água.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em uma das ETAs da cidade de Uberlândia, Minas Gerais, denominada ETA Bom Jardim, que é operada em regime de 24 horas, com vazão de até 2 m³/s, com tratamento em ciclo completo, realizando todas as etapas de tratamento (coagulação, floculação, decantação, filtração, fluoretação, desinfecção e ajuste de pH).

Os dados de variáveis de qualidade da água e quantidade de produtos químicos dosados provêm dos monitoramentos efetuados, analisados e disponibilizados pela ETA em estudo, por meio de planilhas de controle operacional e relatórios de análise da qualidade da água. A delimitação do período investigado foi determinada para o íterim de janeiro a dezembro de 2013, período de uso do cloro gás e de janeiro a dezembro de 2016, período de uso do hipoclorito de sódio produzido *in loco*. Mensalmente, verificou-se os resultados dos seguintes parâmetros:



Escherichia coli (UFC/100 mL) e coliformes totais (UFC/100 mL) ambos a partir da técnica do substrato enzimático (Cromogênico e Fluorogênico) Presença/Ausência, de acordo com *Standard Methods*, método 9223 B e cloro livre (mg/L) da rede de distribuição e saída do tratamento por meio do método Colorimétrico *N, N*-dietil-*p*-fenilenodiamina (DPD), de acordo com *Standard Methods* – Método 4500 Cl-G, quantidade mensal de cloro gás e hipoclorito de sódio dosados em (Kg), no tratamento da água na ETA Bom Jardim e quantidades dosadas de alcalinizantes (hidróxido de cálcio) em Kg.

Os cálculos relacionados ao custo benefício dos sistemas, foram realizados considerando os valores praticados em 2017 para se ter valores atualizados dos custos, isto para os valores pagos (R\$) pelo Kg do cloro gás, cloreto de sódio, alcalinizante (hidróxido de cálcio) e energia (KW).

As condições ambientais e de operação foram analisadas por meio de relatórios que se encontram arquivados na ETA Bom Jardim e que registraram evidências dos impactos ocorridos em pessoas, jardins, equipamentos e materiais danificados pelo cloro gás, assim como a observação do manuseio dos sistemas pelos funcionários da ETA.

RESULTADOS/DISCUSSÃO

Os padrões da qualidade da água estão definidos na Tabela 1, que ilustra os valores estabelecidos para cada parâmetro analisado conforme o Anexo XX da Consolidação nº 5.

Tabela 1 - Padrões de potabilidade da água tratada

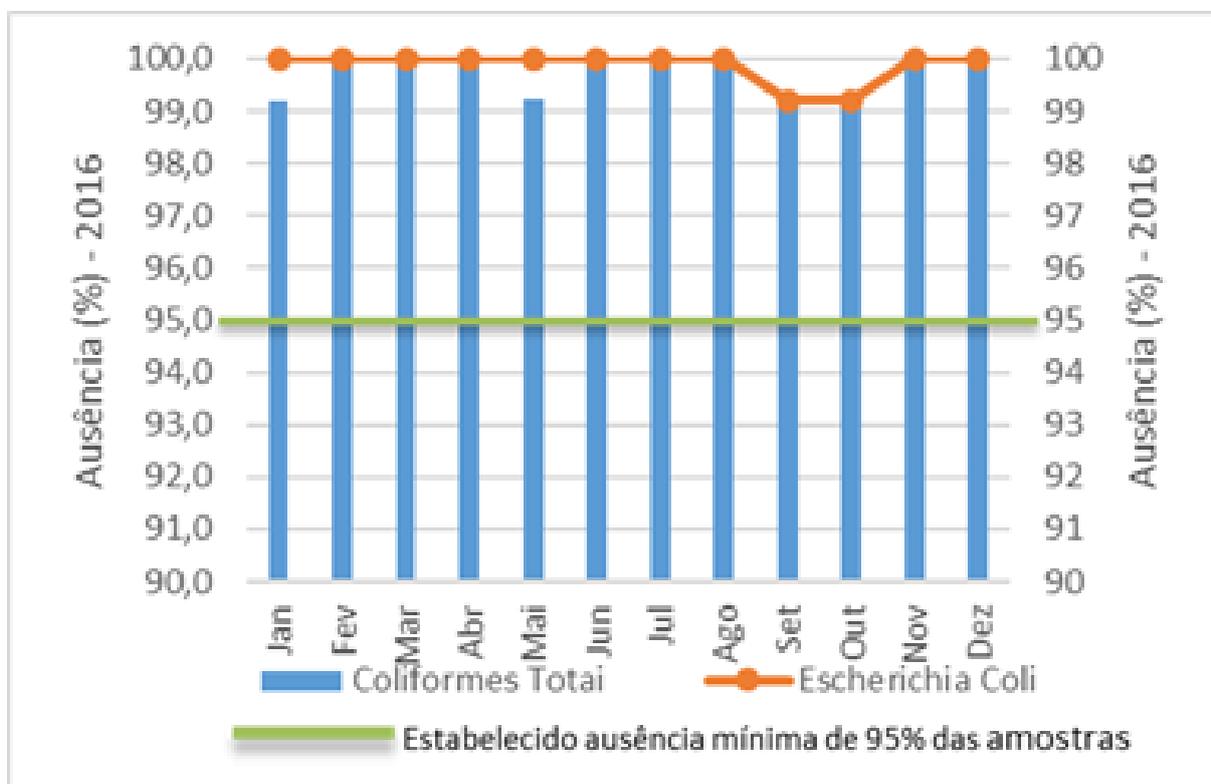
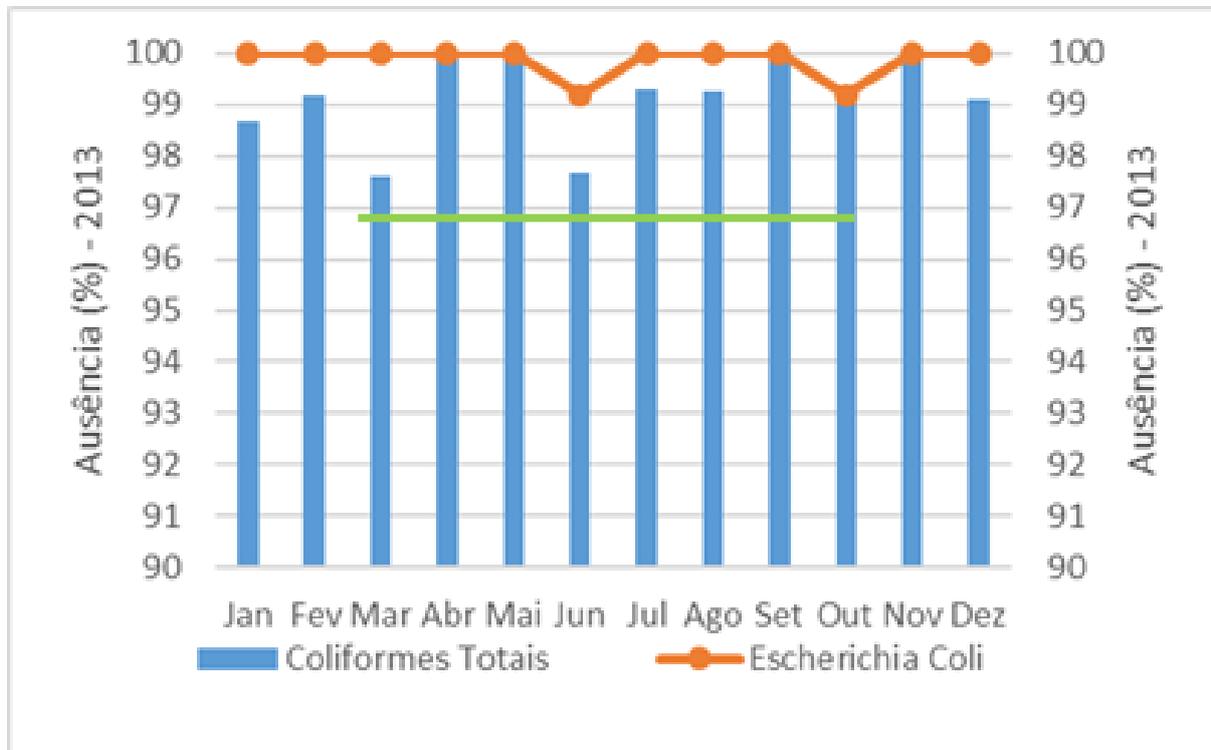
Parâmetro	Saída do tratamento (Ausência)	Rede de distribuição (Ausência)
Escherichia Coli	100%	100%
Coliformes Totais	100%	95%
	Mínimo - Máximo Permitidos (mg/L)	Mínimo - Máximo Permitidos (mg/L)
Cloro Livre	0,50 - 5,00	0,20 - 5,00

Fonte: Anexo XX da Consolidação nº5.

Com relação a inativação dos Coliformes Totais e *Escherichia Coli*, na saída do tratamento o uso do hipoclorito de sódio apresentou 100% de efetividade na desinfecção, assim como o cloro gás. No tocante as análises realizadas na rede de distribuição da ETA Bom Jardim, a Figura 1 apresenta a eficiência dos desinfetantes investigados quanto a desinfecção de coliformes totais e *Escherichia coli*.



Figura 1 – 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 (2013 b); DMAE (2016 b); Portaria Consolidação nº 5 (Anexo XX) do M.S. (2017).



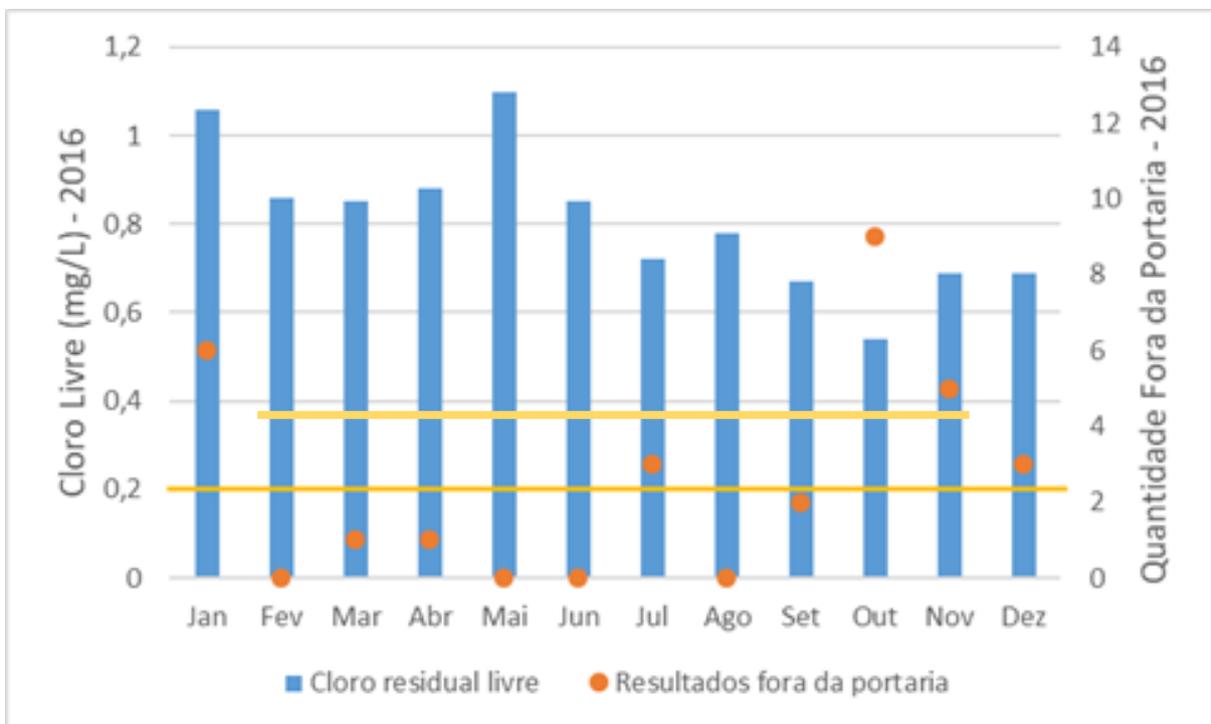
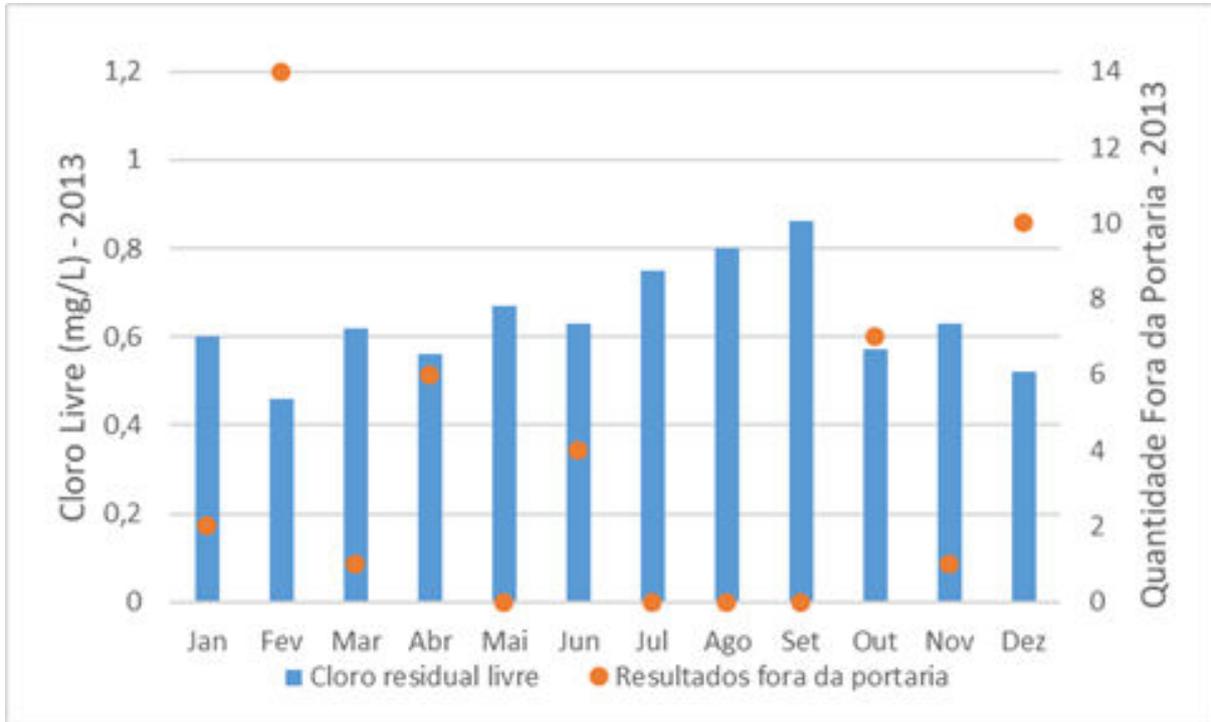
Na rede distribuição a inativação de coliformes totais variaram de 97,6% a 100% durante o ano de 2013 (cloro gás) e de 99,2 % a 100% no ano de 2016 (hipoclorito), atendendo assim aos valores estabelecidos pela Portaria Consolidação nº 5 (Anexo XX) do M.S. (Tabela 1). Para o parâmetro *Escherichia Coli*, de todas as amostras analisadas no período em estudo (1618 análises em 2013 e 1590 análises em 2016), 2 amostras confirmaram presença em cada ano. 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 verificação da manutenção de cloro livre na rede de distribuição, observou-se que no ano de 2013, 45 amostras das 1618 analisadas não atingiram o residual mínimo de 0,20 mg/L e em 2016, observou-se 30 amostras das 1590 praticadas, fora do estabelecido. A conservação do residual livre de cloro nos pontos da rede de distribuição é muito importante, pois constitui um indicador eficaz e rápido, que torna possível o monitoramento e a manutenção da qualidade bacteriológica da água distribuída. Observa-se na Figura 02 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 01). 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.

Para a análise econômica de verificação do custo benefício de cada sistema, levantou-se a quantidade de insumos para a produção de 1 Kg de cloro. De acordo com a especificação do fornecedor do equipamento 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 1 KW para os outros componentes como as bombas e válvulas dosadoras). Já o cloro gás é adquirido em cilindros de aço, com 900 Kg de cloro ativo e na aplicação de 1 Kg de cloro, gasta-se em torno de 0,74 KW. Aplicando-se os valores praticados em 2017, no Kg de cloreto de sódio (sal), de cloro gás e no valor pago pelo KW tem-se os seguintes valores pagos para produzir 1 Kg de cloro ativo, definidos na Tabela 2.



Figura 2 – 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 (2013 b) e DMAE (2016 b).



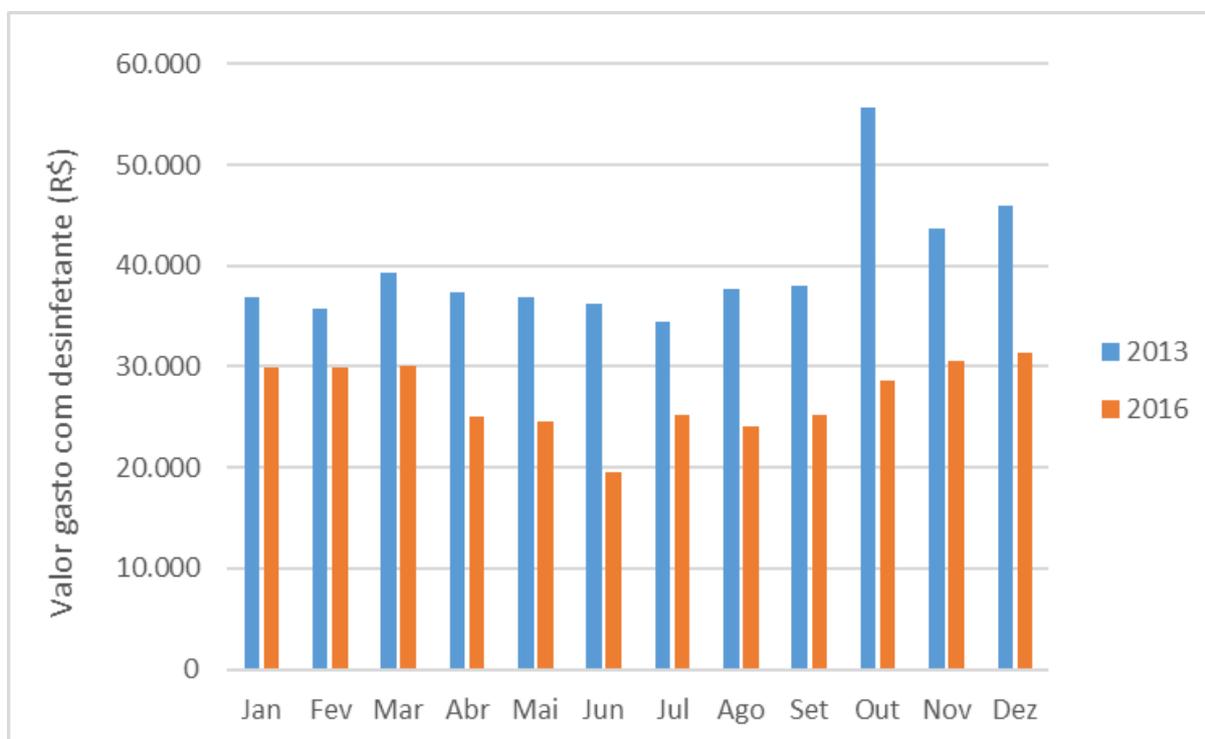
Tabela 2 – Valor pago na produção de 1 kg de cloro ativo

	Valor pago (R\$)
Hipoclorito de sódio <i>in loco</i>	4,27
Cloro gás	7,43

Fonte: DMAE (2017).

Verifica-se na Tabela 2, 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. 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. A Figura 02, ilustra a diminuição dos gastos mensais.

Figura 3 – Gastos mensais com os desinfetantes na ETA, nos anos de 2013 e 2016.



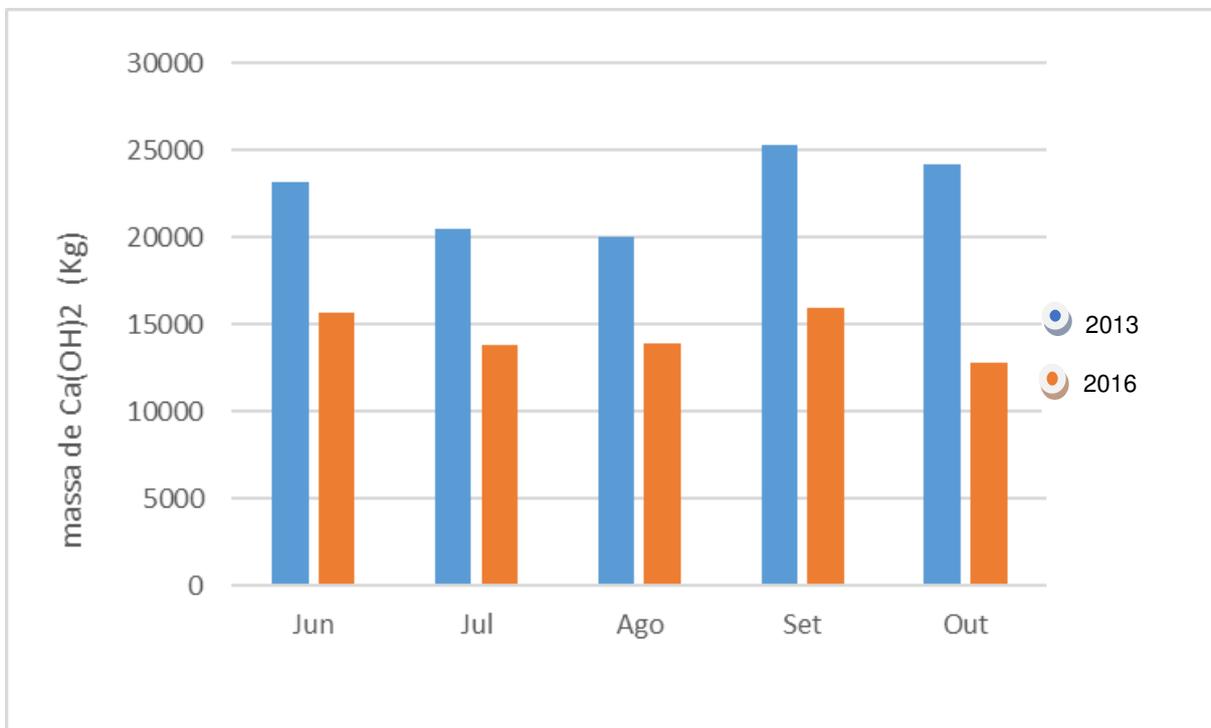
Fonte: DMAE (2013 a) e DMAE (2016 a).



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, o que pode ser observado na Figura 03. Isto ocorreu em virtude do caráter mais básico da solução oxidante produzida (pH em torno 9,0) e por esta solução também apresentar o hidróxido de sódio como subproduto da eletrólise, que utilizando os valores pagos de 2017, a redução chega a 36,17 %, em média, gerando uma economia anual de cerca de 318.515,22 Kg, o que 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.

Figura 4 – Dosagem do alcalinizante Ca(OH)_2 na ETA Bom Jardim, nos anos de 2013 e 2016.



Fonte: DMAE (2013 a) e DMAE (2016 a)



Em relação as condições de segurança e qualidade ambiental de cada sistema verificou-se que para o sistema que utiliza o hipoclorito de sódio produzido *in loco*, os riscos à saúde dos servidores da ETA são reduzidos, assim como para a população residente no entorno, uma vez que não há vazamento de gás ou outro produto que seja prejudicial à saúde, 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. Referentes a operação do sistema, ambos precisam de poucas intervenções. No caso do cloro gás, a presença do operador na dosagem faz-se necessária, desde a abertura do cilindro de gás para alimentar o sistema de dosagem, até o ajuste da quantidade aplicada, isto feito na sala de cloradores, aproximando o servidor dos riscos de vazamentos.

CONCLUSÃO

Após realizar comparações com relação à eficiência de ambos os desinfetantes, observou-se que o hipoclorito de sódio produzido *in loco* é um desinfetante eficiente, atendendo aos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação brasileira e que os custos de operação do sistema são economicamente viáveis, sendo bem mais acessíveis que o cloro gás, compensando em pouco tempo os valores investidos na substituição do sistema de cloração. Ademais, um dos principais fatores determinantes para troca do sistema de desinfecção estava relacionado à segurança dos funcionários e população localizada próxima a ETA, sendo que a utilização do hipoclorito reduziu impactos ambientais e riscos à saúde dos operadores.

REFERÊNCIAS

- DMAE-DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO DE UBERLÂNDIA. Laboratório de Controle de Qualidade (LQA), 2013 b. Controle de Qualidade da rede Bom Jardim.
- DMAE-DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO DE UBERLÂNDIA. Laboratório de Controle de Qualidade (LQA), 2016 b. Controle de Qualidade da rede Bom Jardim.
- DMAE-DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO DE UBERLÂNDIA. Boletim de Coletas de Dados, 2013 a. Estação de Tratamento de Água Bom Jardim.
- DMAE-DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO DE UBERLÂNDIA. Boletim de Coletas de Dados, 2016 a. Estação de Tratamento de Água Bom Jardim.
- DMAE-DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO DE UBERLÂNDIA. Boletim de Coletas de Dados, 2017. Estação de Tratamento de Água Bom Jardim.



- FONTANIVE, S. (2005). Estudo de análise de risco do cloro em Estações de Tratamento de Água. Dissertação (Mestrado em Engenharia de processos térmicos e químicos). Universidade federal do Paraná, Curitiba.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2017). Densidade Demográfica.
- OLIVEIRA, S.Z. (2009). Adaptação de equipamento de geração de gases oxidantes para aplicação na desinfecção de água. Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola). Universidade Federal de Viçosa.
- PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº 5. "Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. " Anexo XX (dispõe sobre o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade). Diário Oficial da União, Brasília, 28 de set. de 2017, 825 p.
- APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 22th Edition. American Public Health Association Washington, DC, USA, 2012.