

## **I-159 - ESTUDO DE VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO LÍQUIDO EM SUBSTITUIÇÃO AO CLORO GASOSO COMO OXIDANTE NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO**

**Bartholomeu Siqueira Júnior** <sup>(1)</sup>

Engenheiro Químico pela Universidade Federal de Pernambuco. Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE/UFPE). Analista de Saneamento da Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA.

**Simone Francisco da Silva** <sup>(2)</sup>

Licenciada em Química pela Universidade Federal Rural de Pernambuco. Especialista pela Faculdade Fransinetti do Recife (UFRPE/FAFIRE). Técnica Operacional – Especialidade Química da Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA.

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Av. Cruz Cabugá, 1387- Santo Amaro - Recife - PE - CEP: 50040-905- Brasil - Tel: (81) 3412-9000 - e-mail: [bartholomeus@compesa.com.br](mailto:bartholomeus@compesa.com.br)

### **RESUMO**

As águas brutas que chegam às estações de tratamento podem apresentar inúmeras substâncias dissolvidas (ferro, manganês, compostos orgânicos, etc.) e partículas em suspensão (pedras, areia, bactérias, etc.), das mais diversas fontes e que dependem de muitas variáveis: tipo de solo da região e de vegetação nas margens dos cursos de água, desejos de efluentes nos rios, etc. Alguns dos compostos presentes podem transferir características indesejadas à água, tais como cor, odor, sabor, entre outros e devem ser retirados para que a água atenda aos padrões de potabilidade preconizados na legislação vigente. Muitos processos e técnicas são utilizados para realizar o tratamento das águas e em muitos destes são utilizados produtos químicos para realizar várias funções. Nos tratamentos de águas para abastecimento público os produtos mais usados são os coagulantes, oxidantes e desinfetantes e a escolha dos produtos mais adequados dependerá, principalmente, das características das águas brutas, da concepção do tratamento e das características do produto, e para avaliar corretamente cada produto são necessários testes de bancada e na operação da estação.

Deste modo, o presente trabalho apresenta um estudo de viabilidade técnica e econômica da substituição de Cloro Gasoso por Peróxido de Hidrogênio na estação de tratamento de água (ETA) de Várzea de Una que utilizava o Cloro gasoso como oxidante e desinfetante no seu processo.

Os estudos realizados nessa estação demonstraram a viabilidade técnica e econômica da substituição do Cloro pelo Peróxido na etapa de pré-oxidação de alguns compostos presentes na água e também mostrou que o produto apresenta algumas vantagens: tais como menor redução no pH da água ao longo do tratamento e a capacidade de não formar compostos organoclorados (trihalometanos), contribuindo para manter alguns parâmetros dentro dos padrões exigidos pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde.

**PALAVRAS-CHAVE:** Peróxido de Hidrogênio, Cloro, Tratamento de água, Oxidação de Ferro, Formação de Trihalometanos.

### **INTRODUÇÃO**

As estações de tratamento de água utilizam várias substâncias químicas em seu processo de tratamento para retirar os poluentes presentes na água bruta e distribuir para a população uma água tratada que atenda aos padrões da Portaria do Ministério da Saúde Nº 2914/2011. Entre os principais produtos podemos citar os coagulantes (Sulfato de Alumínio, PAC, etc.), coadjuvantes de coagulantes de coagulação de floculação (polímeros, etc.), desinfetantes (Cloro, Ozônio, etc.), oxidantes (Cloro gasoso, Permanganato de Potássio, etc.). A escolha do uso de um produto dependerá das características da água a ser tratada, das propriedades do produto e seu mecanismo de ação, das características físicas e operacionais de sua estação de tratamento, entre outros parâmetros. Desta forma para avaliar a viabilidade técnica e econômica de uso de um produto químico é necessário realizar vários testes em bancada e principalmente na ETA em estudo, pois os testes em bancada simulam apenas uma parte das características da estação. Com estes testes pode-se determinar se um novo

produto químico atende aos parâmetros de eficiência, qualidade da água produzida, e de custos para ser usado de forma contínua nos processo de tratamento de uma ETA.

O presente trabalho contém estudos realizados na estação de tratamento de água de Várzea do Una em São Lourenço da Mata/Pernambuco, com objetivo de determinar se a substituição do Cloro gasoso pelo Peróxido de Hidrogênio na pré-oxidação era uma ação viável do ponto de vista técnico e econômico, pois a estação utilizava muito Cloro Gasoso, pois aplicava tanto na água bruta para oxidar compostos, quanto na água tratada para desinfecção e garantia do residual de Cloro na rede de distribuição. Durante o período do teste foram monitorados vários parâmetros físicos químicos para determinar as características das águas brutas e águas tratadas, de modo que fosse possível avaliar a eficiência de remoção de vários compostos (Ferro, manganês, trihalometanos, etc).

O trabalho foi executado em várias etapas consecutivas: na primeira, realizou-se em laboratório ensaios de floculação com reatores estáticos “jar-test” para determinar a dosagem inicial de Peróxido de Hidrogênio que seria usada na ETA. Posteriormente paralisamos a aplicação de Cloro na pré-oxidação e iniciamos uso do Peróxido de Hidrogênio Líquido á 50%, e monitoramos alguns parâmetros físicos químicos ao longo do tratamento. Na etapa seguinte encerramos a aplicação do Peróxido e reiniciamos aplicação do cloro no ponto de pré-oxidação mantendo o monitoramento nos parâmetros determinados.

O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio e a participação da Companhia de Pernambucana de Saneamento (COMPESA-PE).

## MATERIAIS E MÉTODOS

A Estação de tratamento de Várzea do Una utilizava os produtos químicos Sulfato de Alumínio (coagulante) e Cloro Gasoso (oxidante e desinfetante) e tem concepção convencional, constituída de floculadores, decantadores, filtros ascendentes e tanques de armazenamento. No início do estudo foram realizados ensaios de jar-test, conforme ensaios recomendados por Di Bernardo *et al.*(2002), para determinar a dosagem teórica ideal de Peróxido de Hidrogênio Líquido a 50% necessária para oxidar compostos presentes na água bruta e garantir o mínimo possível de Peróxido na água filtrada pois o produto reage com o Cloro, consumindo o residual necessário para a desinfecção.

Os ensaios de jar-test determinaram dosagem inicial de aplicação na estação e com esta informação aplicamos o Peróxido de Hidrogênio Líquido na ETA no período de 26/06/12 até 13/07/12, no mesmo local onde era aplicado o Cloro gasoso, no tanque de chegada de água bruta, e aplicamos Cloro na água filtrada para garantir o residual necessário para desinfecção. No dia 14/07/12 encerramos o uso do Peróxido e retornamos a aplicação do Cloro no início do tratamento e o monitoramento continuou até o dia 31/07/14.

Foram realizadas análises visando a comparação em termos de eficiência de remoção dos parâmetros físicos químicos (Turbidez, Cor Aparente, pH, Ferro, Manganês e Trihalometanos Totais) e Hidrobiológicos (cianobactérias e cianotoxinas) nos períodos de uso do Peróxido e Cloro . A tabela 1 apresenta os parâmetros físicos químicos avaliados, com os pontos de amostragem e periodicidade das análises, juntamente com as informações das técnicas analíticas usadas:

**Tabela 1: Parâmetros e Técnicas Analíticas utilizadas no monitoramento dos parâmetros da qualidade.**

Parâmetro/Unidade/ Periodicidade/	Amostras de Água	Técnica Analítica	Equipamento
Turbidez (NTU) (cada 2 h)	Bruta, decantada, filtrada, tratada	Nefelométrico	Turbidímetro Hach 2110 P
Cor Aparente (uC) (cada 2 h)	Bruta, decantada, filtrada, tratada	Método Colorimétrico	Colorímetro Visual DLNH-100 Del Lab
pH (cada 2 h)	Bruta, Decantada, filtrada, tratada	Método Colorimétrico	Kit pH -Modelo 17N Hach
Ferro (mg/L) (3 X/dia)	Bruta, Tratada	Método Colorimétrico	Kit Ferro-Microquant 14759
Manganês (mg/L) (2 X/dia)	Bruta, Tratada	Método Colorimétrico	Kit Manganês Aquaquant
Residual de Cloro (mg/L) (cada 2 h)	Tratada	Método Colorimétrico	Kit DPD Hach
Residual de Peróxido (mg/L) (cada 2 h)	Decantada, filtrada	Método Colorimétrico	Colorímetro Hach DR/890
Cianobactérias (cél/mL)	Bruta	Método Sedgewick-Rafter	Microscópio
Cianotoxinas (µg/L) (5 amostras)	Tratada	Método ELISA	Espectrofotômetro
Trihalometanos Totais (mg/L) (3 amostras)	Filtrada, tratada	VOC:POP PA 075(Ver.04)/USEPA- SW846 82060C,5021A	Cromatógrafo

## RESULTADOS

Durante todo o teste foram realizadas análises na água bruta e ocorreram variações nos parâmetros físicos químicos, porém estas mudanças não tiveram nenhuma influência negativa nos testes porque na maior parte do tempo do experimento, de 03/07 até 30/07, as variações foram muito pequenas, desta foram os dois oxidantes tiveram que atuar em condições de qualidade de água bruta semelhantes contribuindo para uma justa comparação entre as eficiências dos compostos.

A tabela 2 apresenta os valores mínimos e máximos dos parâmetros analisados.

**Tabela 2: Variação dos parâmetros analisados durante os testes.**

Parâmetro	Valores		
	De 01/06 até 02/07	De 03/07 até 13/07	De 14/07 até 30/07
pH	6,5-6,5	6,5-6,5	6,5-6,5
Turbidez (NTU)	4,00-10,3	9,54-19,00	11,0-20,0
Cor Aparente (uH)	50-60	60-100	80-100
Ferro (mg/L)	0,8-1,2	1,2-1,5	1,2-1,5
Manganês (mg/L)	0,06-0,3	0,03-0,25	0,05-0,25
Cianobactérias (cél/mL)	1955-113.710	0-2702	0-6661

Os ensaios de jar-test, realizados no início do estudo, evidenciaram algumas informações importantes: indicaram uma dosagem mínima de 1,5 mg/L para ocorrer remoção de Ferro e valores residuais de Peróxido altos para dosagem acima de 2,7 mg/L. No início do Teste foi aplicada uma dosagem de 2,7 mg/L de Peróxido de Hidrogênio e durante todo o teste foi almejado dosar uma quantidade de Peróxido que garantisse a oxidação dos compostos (ferro, manganês, matéria orgânica, e outros) e que permanecesse com o mínimo residual possível na água filtrada, abaixo de 0,5mg/L, pois cada 1mg/L de Peróxido residual consome de 1-2 mg/L de Cloro.

Ao longo do teste foi diminuída gradativamente a concentração aplicada do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, de modo que a ETA se adaptasse à variação de dosagem, com o objetivo de conseguir melhoria na eficiência do tratamento e produzir água dentro dos padrões normais da estação e da Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde.

A figura 1 apresenta as concentrações médias diárias de Peróxido, tanto a dosagem aplicada quanto residual nas etapas do processo.

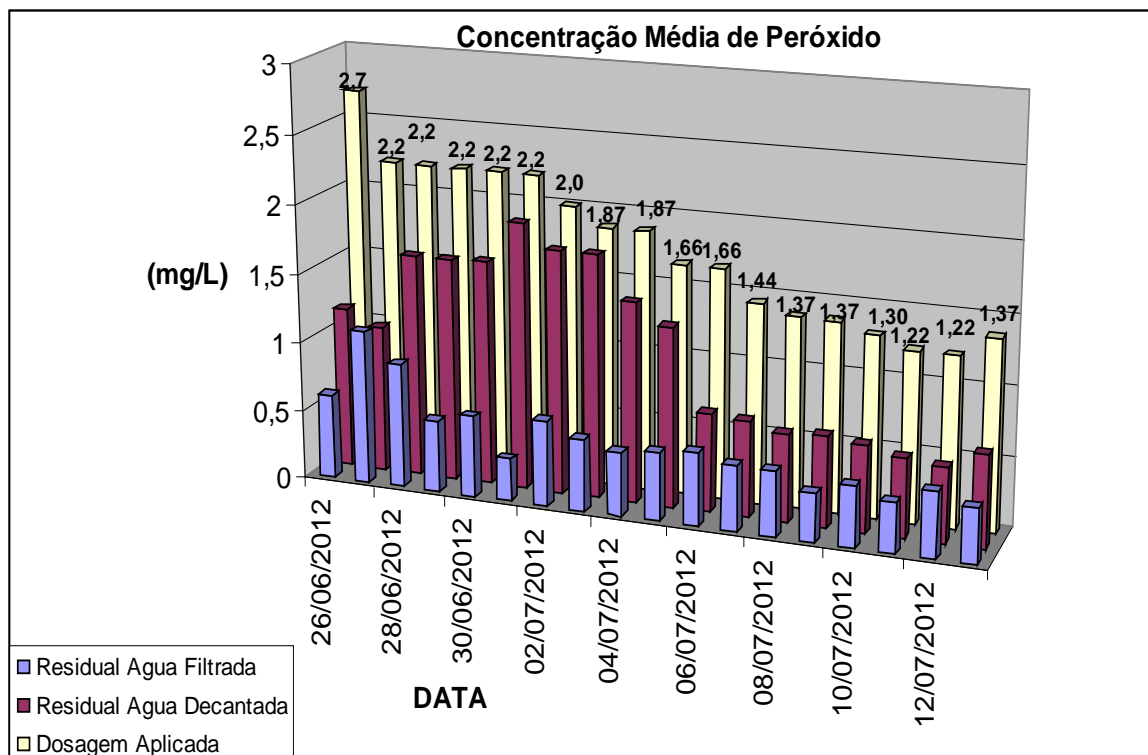


Figura 1: Concentração Média de Peróxido de Hidrogênio.

Com a dosagem aplicada de 1,22 mg/L de Peróxido encontrou-se a menor concentração residual de Peróxido (0,35 mg/L na água filtrada). Nos parâmetros analisados foram constatadas eficiências médias de remoção semelhantes, tanto com uso do Cloro Gasoso quanto Peróxido de Hidrogênio como pré-oxidante, na maioria dos requisitos analisados, porém em alguns parâmetros houve uma melhor performance de um oxidante específico.

A Tabela 3 apresenta os valores de remoção média para os parâmetros avaliados durante o período do teste:

Tabela 3: Remoção média dos parâmetros analisados.

OXIDANTE: PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO		Oxidante: CLORO GASOSO	
Parâmetro	Remoção Média (%)	Parâmetro	Remoção Média (%)
Turbidez	95,92	Turbidez	96,66
Cor	96,99	Cor	97,33
Ferro	95,24	Ferro	96,22
Manganês	33,05	Manganês	62,55

A Tabela 4 apresenta os valores de redução média de pH durante o período do teste:

**Tabela 4: Redução média de pH.**

OXIDANTE: PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO		Oxidante: CLORO GASOSO	
Parâmetro	Redução Média (%)	Parâmetro	Redução Média (%)
pH	10,67	pH	11,09

Nos parâmetros analisados foram constatadas eficiências médias de remoção semelhantes, tanto com uso do Cloro Gasoso quanto Peróxido de Hidrogênio como pré-oxidante, na maioria dos requisitos analisados, porém em alguns parâmetros houve uma melhor eficiência de um oxidante específico, como no caso do Manganês onde o Cloro teve uma remoção bem superior á do Peróxido e no parâmetro pH , no qual o Peróxido teve menor influencia na redução do pH, situação desejada para que não ocorra corrosão na rede de distribuição.

A tabela 5 apresenta os valores encontrados nas águas em estudo nos parâmetros hidrobiológicos.

**Tabela 5: Análises hidrobiológicas de cianobactérias e cianotoxina nas águas brutas e tratadas.**

Data da Coleta	Amostra	Parâmetro	
		Cianobactéria (cél/mL)	Microcistina (µ/L)
18/06/12	Água bruta	113710	-----
18/06/12	Água tratada	-----	<0,1
26/06/12	Água bruta	1965	-----
26/06/12	Água tratada	-----	<0,1
02/07/12	Água bruta	2702	-----
02/07/12	Água tratada	-----	<0,1
09/07/12	Água bruta	0	-----
09/07/12	Água tratada	-----	<0,1
16/07/12	Água bruta	6661	-----
16/07/12	Água tratada	-----	<0,1

Observação: O limite de detecção do método utilizado para microcistina é 0,1 µ/L.

Os resultados das análises de cianobactérias mostraram um decréscimo no número destes microrganismos ao longo do mês de junho e julho na água bruta, contudo apenas um resultado obteve contagem zero. Não podemos determinar se as cianobactérias produziram cianotoxinas, mas podemos verificar pelos resultados que em nenhuma amostra de água tratada tinha microcistina, logo podemos concluir que ocorreu uma das seguintes situações: As cianobactérias não liberaram toxinas ou então liberaram para a água bruta, porém estes compostos foram degradados pelo processo de tratamento, tanto com uso do Cloro quanto de Peróxido. Dentro das condições de operação da ETA todos os resultados estavam dentro do limite máximo da Portaria Nº 2914, que é 1,0 µ/L, logo não apresentavam nenhum risco à saúde da população.

A tabela 6 demonstra os resultados das análises de trihalometanos nas águas ao longo do processo de tratamento em diferentes datas.

**Tabela 6: Resultados das análises de trihalometanos totais.**

Amostra	Data de Coleta	Oxidante	Resultados (mg/L)
Água Filtrada	12/07/12	Peróxido	<0,004
Água Tratada	12/07/12	Peróxido	0,043
Água Tratada	02/08/12	Cloro	0,074

Observação: O limite de detecção do método utilizado é 0,004mg/L.

Os resultados das análises de Trihalometanos demonstraram que a reação do Peróxido de Hidrogênio com a matéria orgânica presente na água bruta não produziu tais compostos, ao contrário do Cloro, que reagiu e formou trihalometanos em todas as etapas do processo em que foi aplicado, mesmo na água filtrada onde a quantidade de matéria orgânica deveria ser inferior ao da água bruta. Em nenhuma das águas analisadas o resultado excedeu o limite da Portaria 2914/2011 que é 0,1mg/L.

Os resultados das análises dos últimos dias de uso do Peróxido, de 08/07 a 12/07, mostraram que a dosagem aplicada de 1,22mg/L estabilizou a estação nos parâmetros Turbidez, Cor e Ferro e apresentou o mínimo possível de residual de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na água filtrada. No dia 13/07 aplicamos a dosagem de 1,37mg/L para tentar reproduzir os valores de Peróxido residual alcançados no dia 09/07 que teve média na água filtrada de 0,35mg/L. No entanto não houve redução do residual e confirmamos a dosagem ótima de aplicação de 1,22 ppm. A vazão de água bruta na ETA várzea do Una varia ao longo do dia então estimamos o consumo diário de Peróxido com base no dia 12/07, que foi um dos dias com o processo estabilizado dosando 1,22ppm.

A tabela 7 apresenta a Vazão horária de água bruta e o consumo horário e diário de Peróxido.

**Tabela 7: Vazão horária de água bruta e consumo de Peróxido.**

Hora	Vazão (L/s)	Kg/h	ppm
01:00	225	1,98	1,22
02:00	225	1,98	1,22
03:00	225	1,98	1,22
04:00	225	1,98	1,22
05:00	225	1,98	1,22
06:00	416	3,65	1,22
07:00	416	3,65	1,22
08:00	416	3,65	1,22
09:00	416	3,65	1,22
10:00	416	3,65	1,22
11:00	416	3,65	1,22
12:00	416	3,65	1,22
13:00	416	3,65	1,22
14:00	416	3,65	1,22
15:00	416	3,65	1,22
16:00	416	3,65	1,22
17:00	416	3,65	1,22
18:00	416	3,65	1,22
19:00	416	3,65	1,22
20:00	416	3,65	1,22
21:00	416	3,65	1,22
22:00	225	1,98	1,22
23:00	225	1,98	1,22
24:00	225	1,98	1,22
<b>Total/dia</b>		<b>74,28</b>	

Para realizar comparação dos custos com produtos químicos no teste é necessário determinar também a quantidade de Cloro gasoso gasto durante o período com o Peróxido, no qual foi usado Cloro somente para desinfecção, e no período posterior quando foi usado como oxidante e desinfetante. Durante uso do peróxido o consumo de Cloro será estimado pelas ultimas 24horas do teste, entre os dias 12/07 e 13/07.

A tabela 8 apresenta o consumo de Cloro nas últimas 24 horas do teste com peróxido.



**Tabela 8. Consumo de cloro nas 24 horas finais do teste.**

DATA	Hora	Kg/h	ppm aplicado	ppm Cl Residual
12/jul	12:30	16	10,6	5,00
12/jul	14:30	16,0	10,6	4,00
12/jul	16:30	14,0	9,3	3,00
12/jul	18:30	14,0	9,3	2,80
12/jul	20:30	15,0	9,9	3,00
12/jul	22:30	15,0	9,9	3,00
13/jul	0:30	15,0	9,9	4,00
13/jul	2:30	15,0	9,9	4,00
13/jul	4:30	15,0	9,9	4,50
13/jul	6:30	15,0	9,9	4,50
13/jul	8:30	14,0	9,3	3,50
13/jul	10:30	14,0	9,3	4,00
<b>Media</b>		<b>14,83</b>	<b>9,80</b>	<b>3,78</b>
<b>Consumo Diário (Kg/dia)</b>		<b>355,92</b>		

O consumo de Cloro nos dias em que este produto foi usado na pré-oxidação foi medido diretamente nos rotâmetros dos cloradores. A tabela 9 demonstra o consumo médio diário de Cloro no período citado.

**Tabela 9: Consumo médio de cloro.**

DATA	Kg/h	Kg/dia	ppm
14/jul	19,1	458,4	12,63
15/jul	18,8	451,2	12,43
16/jul	17,3	415,2	11,44
17/jul	17	408	11,24
18/jul	16,7	400,8	11,04
19/jul	20,6	494,4	13,62
20/jul	20,6	494,4	13,62
21/jul	19,7	472,8	13,02
22/jul	17,9	429,6	11,83
23/jul	16,3	391,2	10,77
24/jul	18	432	11,90
25/jul	17,6	422,4	11,63
26/jul	17,8	427,2	11,77
27/jul	15,6	374,4	10,31
28/jul	18,1	434,4	11,96
29/jul	18,1	434,4	11,96
30/jul	19,1	458,4	12,63
31/jul	19,6	470,4	12,96
<b>Media</b>	<b>18,22</b>	<b>437,2</b>	<b>12,04</b>

Diante das estimativas de consumo diários dos produtos químicos e dos custos destes compostos, cotados na época de realização dos testes, podemos compará-los e verificar a viabilidade do uso do Peróxido de Hidrogênio á 50%. A tabela 10 mostrará a comparação entre os custos dos produtos químicos para um tempo estimado de um mês.

**Tabela 12. Consumo e custos dos produtos aplicados.**

	Produto	Consumo (Kg/dia)	Consumo (kg/mês)	Preço Unitário (R\$/Kg)	Custo/ produto (R\$/Kg)	Custo Total (R\$/mês)	Redução de Custo R\$ (%)
<b>OPERAÇÃO NORMAL</b>	Cloro (pré-oxidação e desinfecção)	437,20	13.116,00	5,00	65.580,00	65.580,00	-----
<b>TESTE</b>	Peróxido (pré-oxidação)	74,28	2.228,40	2,80	6.239,50	59.627,52	<b>5.952,70 (9,08%)</b>
	Cloro (desinfecção)	355,92	10.677,60	5,00	53.388,00		

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado conclui-se que:

Ambos os produtos utilizados (Cloro gasoso e Peróxido de Hidrogênio) foram eficientes como pré-oxidantes no processo de tratamento de água da ETA Várzea do Una, fato comprovado pelos altos resultados de Remoção nos parâmetros analisados além de apresentarem similaridade nas eficiências de remoção.

O uso do Peróxido de Hidrogênio foi vantajoso, pois apresentou facilidade e segurança na operação, além de apresentar uma menor quantidade de Trihalometanos formados e menor variação do pH da água tratada, contudo o Cloro demonstrou maior eficiência na remoção de Manganês.

A análise econômica do teste indicou que os custos utilizando como oxidante o Peróxido de Hidrogênio foram menores que utilizando o Cloro Gasoso, com uma diminuição de 9% (R\$5.952,70).

O Peróxido de Hidrogênio Líquido á 50% mostrou ser um produto viável para uso em Estações de Tratamento de Água para abastecimento público em substituição ao Cloro Gasoso como oxidante dos compostos presente na água bruta.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P.L. Ensaios de Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água. São Carlos. RIMA, p. 17 – 117, 2002
2. APHA, AWWA, WPCF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21ª ed. Washington: American Public Health Association, 2005.
3. PEROXIDOS BRASIL. Disponível em: <<http://www.peroxidos.com.br>>.
4. LUIZ, I.; ANTONELLI, K.; DELPHINI, A.; ROBERTO, J.. Peróxido de Hidrogênio: Importância e Determinação. Revista Química Nova, Vol.26, Nº.3,373-380, 2003.
5. MOZUZZI, R.; REALI, M.. Oxidação e Remoção de Ferro e Manganês em águas para abastecimento público ou industrial. Revista de Engenharia e Tecnologia Química. Vol.4, Nº.1, abril 2012.
6. DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L P. Seleção de Tecnologia de Tratamento de Água. São Carlos. Editora LDIBE LTDA, p. 17 – 120, 2008.