



I-006 - UTILIZAÇÃO DE DIÓXIDO DE CLORO COMO AGENTE DESINFETANTE NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO – UM ESTUDO DE CASO

Arlindo Soares Räder⁽¹⁾

Graduado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Engenheiro Químico Responsável Técnico pelo Tratamento de Água e Esgoto da **COMUSA – Serviços de Água e Esgoto de Novo Hamburgo**.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Coronel Travassos, n.º 287 – Bairro Rondônia – Novo Hamburgo – RS – CEP 93.415-000 – Brasil – Tel.: +55 (51) 3036 1124 – Fax: +55 (51) 3036 1129 – E-mail: arader@comusa.com.br

RESUMO

Normalmente, as Estações de Tratamento de Água (ETA's) destinadas ao consumo humano usam produtos químicos à base de cloro, tais como cloro gás (Cl_2), hipoclorito de sódio (NaClO) e/ou hipoclorito de cálcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) para promover a desinfecção química. Esses produtos, quando adicionados à água, apresentam concentrações residuais de cloro, responsáveis pela inativação (ou destruição) de microorganismos patogênicos que podem estar presentes na água. Desta forma, funcionam como uma espécie de barreira química contra microorganismos indesejáveis, garantindo o padrão microbiológico da mesma. Entretanto, sob determinadas condições da água e/ou da dosagem aplicada, esses produtos (à base de cloro) podem gerar compostos químicos prejudiciais à saúde humana e ao meio-ambiente, denominados organoclorados. Neste contexto, o **dióxido de cloro (ClO_2)** mostra-se um agente desinfetante alternativo muito adequado pois apresenta elevado poder bactericida, não contribui para a geração dos compostos organoclorados, não causa odores nem sabores contribuindo para a remoção dos mesmos, quando adicionado à água. Outra característica do dióxido de cloro é que o mesmo deve ser gerado no local de aplicação não podendo ser armazenado. O presente trabalho relata a experiência da **COMUSA – Serviços de Água e Esgoto de Novo Hamburgo**, com relação à implantação e uso da tecnologia de desinfecção química baseada no dióxido de cloro, abordando questões técnicas e uma breve discussão sobre os custos envolvidos. Os resultados estudados e apresentados permitem concluir, claramente, que a qualidade da água tratada com o dióxido de cloro (agente desinfetante principal), combinado com o hipoclorito de sódio (agente desinfetante auxiliar), cumpre integralmente os padrões e exigências determinadas pela **Portaria n.º 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde**, legislação que regulamenta o padrão de potabilidade de água destinada ao consumo humano no Brasil. A ETA em questão produz aproximadamente $0,720\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ de água tratada. É responsável pelo abastecimento público de água potável para o município de Novo Hamburgo – RS. Em função das características físico-químicas do manancial abastecedor (Rio dos Sinos), o tratamento é do tipo físico-químico completo, composto das etapas principais de coagulação/floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação.

PALAVRAS-CHAVE: dióxido de cloro, agentes desinfetantes alternativos, tratamento de água, desinfecção de água.

1. INTRODUÇÃO

As Estações de Tratamento de Água (ETA's) destinadas ao consumo humano têm a finalidade de transformar a água denominada bruta (isenta de tratamento e imprópria ao consumo humano) em água denominada potável (tratada e adequada ao consumo humano). Nesse processo, a qualidade da água do manancial abastecedor exerce influência direta no tipo de tratamento a ser adotado pelas ETA's, a fim de que a mesma, ao final do processo, esteja dentro dos padrões de potabilidade adequados ao consumo humano, conforme legislação específica. No Brasil, a legislação que regulamenta o padrão de potabilidade de água para consumo humano é a **Portaria n.º 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde**. Esta Portaria “*estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências*”. Para o caso específico do Estado do Rio Grande do Sul, torna-se importante mencionar também a **Portaria n.º 10, de 16 de agosto de 1999, da Secretaria de Saúde do Estado do Rio Grande do Sul**, a qual “*Define teores de concentração do íon fluoreto nas águas para consumo humano fornecidas por Sistemas Públicos de Abastecimento*”. Desta forma, a água é



considerada potável e, conseqüentemente adequada ao consumo humano, quando estiver dentro dos padrões físico-químicos e microbiológicos definidos conforme as portarias supramencionadas. Adicionalmente, tem-se o **Decreto nº5440, de 04 de maio de 2005, da Presidência da República**. Este decreto “*estabelece as definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano*”. Por meio deste Decreto, os dados relativos à qualidade da água tratada e distribuída são disponibilizados à população sob a forma de um relatório anual denominado “**Relatório Anual da Qualidade da Água**”.

Para a garantia da qualidade microbiológica da água, há a necessidade de utilização de produtos químicos denominados agentes desinfetantes. Esses produtos químicos são adicionados à água com o objetivo de destruir ou inativar os microorganismos patogênicos responsáveis pela transmissão de várias doenças. Assim sendo, os agentes desinfetantes funcionam como uma espécie de barreira química contra microorganismos indesejáveis evitando possíveis contaminações da água.

Com relação aos vários produtos químicos disponíveis atualmente no mercado, os mais conhecidos e utilizados são os produtos à base de cloro, tais como o cloro gasoso (Cl_2), o hipoclorito de sódio (NaClO) solução aquosa e o hipoclorito de cálcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) sólido. Outros agentes desinfetantes disponíveis, porém menos conhecidos e utilizados são o ozônio (O_3) e a radiação ultravioleta. A grande vantagem da utilização dos produtos químicos à base de cloro como agentes desinfetantes é que os mesmos, quando adicionados à água, apresentam concentrações residuais de cloro que permanecem na água até esta chegar à casa do consumidor final garantindo, desta forma, o padrão microbiológico da mesma. Isto não acontece com o ozônio e com a radiação ultravioleta, por exemplo. Outras vantagens que podem ser mencionadas é que os produtos à base de cloro são adquiridos prontos para utilização sob a forma líquida (através de soluções aquosas), sólida (através de pastilhas) e/ou gasosa (confinados em cilindros), além de apresentarem relação custo/benefício adequada. Entretanto, sob determinadas condições da água a ser tratada e/ou da dosagem aplicada, esses produtos quando adicionados à água, podem gerar compostos químicos secundários prejudiciais à saúde humana e ao meio-ambiente. Isto acontece porque os produtos à base de cloro possuem, além da ação bactericida, ação oxidante com relação à matéria orgânica presente na água. Em outras palavras, esses produtos podem reagir com a matéria orgânica combinando-se com a mesma formando compostos químicos indesejáveis e, muitas vezes, prejudiciais à saúde humana. Por exemplo, de acordo com SANCHES *et al.* (2003) a cloração de águas contendo grande quantidade de matéria orgânica favorece à formação de compostos denominados trihalometanos (THM's). Estes compostos são assim denominados por apresentarem em sua estrutura molecular um átomo de carbono, um de hidrogênio e três de halogênios. Dentre os vários compostos THM's que podem se formar na água, quatro apresentam posição de destaque, devido à ocorrência em concentrações mais significativas. São eles: o clorofórmio (CHCl_3), o diclorobromometano (CHBrCl_2), o dibromoclorometano (CHBr_2Cl) e o bromofórmio (CHBr_3). Alguns dos compostos THM's são considerados cancerígenos, como exemplo, o clorofórmio (CHCl_3). Neste contexto, o **dióxido de cloro (ClO_2)** solução aquosa vem ganhando espaço, sendo um agente desinfetante alternativo altamente eficaz. O seu grande diferencial é, além do elevado poder bactericida com eliminação de vírus, bactérias, algas, protozoários e outros, não contribuir para a geração de compostos secundários prejudiciais à saúde humana e ao meio-ambiente, tais como compostos THM's e ácidos haloacéticos (AHA's), quando adicionado à água. Adicionalmente, não causa odores nem sabores contribuindo para a remoção dos mesmos (não reage com a amônia possivelmente presente na água não formando cloraminas e promove a destruição de compostos fenólicos e sulfetos), quando adicionado à água. Outra característica particular do dióxido de cloro é que o mesmo deve ser gerado no local de utilização na medida em que é adicionado à água, não podendo ser armazenado (devido a questões técnicas e de segurança).

Com relação à tecnologia de desinfecção de água adotada pela **COMUSA - Serviços de Água e Esgoto de Novo Hamburgo**, até o ano 2000 aplicava-se o cloro gasoso na água para promover a desinfecção química da água. Neste mesmo ano houve a troca da tecnologia de desinfecção, a qual deixou de ser via cloro gasoso para ser via dióxido de cloro. A troca de tecnologia foi motivada pelas constantes reclamações com relação ao gosto e odor da água tratada (com cloro gasoso) aliada à determinação de se modernizar e melhorar o processo de desinfecção da água tratada. O sistema de dosagem de cloro gasoso existente na **COMUSA** encontrava-se em estado precário de conservação e apresentava inúmeros problemas de natureza técnico-operacional e de segurança. Optou-se pela escolha do dióxido de cloro por ser a tecnologia mais viável e segura, à época, em substituição ao cloro gasoso. A **COMUSA** utiliza o dióxido de cloro como agente desinfetante principal para



fins de desinfecção da água destinada ao consumo humano desde o ano 2000 até a presente data. Como agente desinfetante auxiliar, a **COMUSA** utiliza uma solução de hipoclorito de sódio à concentração mínima de 12%.

A **COMUSA** produz atualmente em média $1.870.000\text{m}^3$ de água potável por mês ($\sim 0,720\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$). Em função das características da água do manancial abastecedor (Rio dos Sinos), o qual é muito rico em substâncias húmicas e despejos de esgoto doméstico, o tratamento utilizado na ETA da **COMUSA** é do tipo físico-químico completo, ou seja, apresenta as etapas denominadas coagulação/floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação. É responsável pelo abastecimento público de água potável para o município de Novo Hamburgo, atendendo aproximadamente 96% da população urbana, ou seja, ± 244.000 habitantes.

O município de Novo Hamburgo está localizado no Estado do Rio Grande do Sul, especificamente na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, rio que serve de manancial abastecedor para a ETA da **COMUSA**.

Na sequência, têm-se a descrição dos objetivos, geral e específico, do presente trabalho.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho consiste em proporcionar uma visão do processo de tratamento de água destinada ao consumo humano, relatando a experiência da **COMUSA** na utilização do **dióxido de cloro** como agente desinfetante principal.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

O objetivo específico consiste em apresentar dados reais de processo (médias mensais), expressos em termos de concentrações de dióxido de cloro residual (DCR), porcentagem de presença de coliformes totais (CT) e fecais (CF), referentes aos anos de 2006, 2007 e 2008. Demonstrar como foram determinados os parâmetros de controle e fixados os valores de DCR. Adicionalmente, tem-se uma breve discussão sobre os custos envolvidos no tratamento da água com o uso do dióxido de cloro como agente desinfetante principal.

3. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

A seguir, tem-se a descrição da metodologia utilizada pela **COMUSA** para a implantação e uso da tecnologia de desinfecção de água baseada no dióxido de cloro. Esta descrição trata sobre as legislações pertinentes, faixas de dosagens e de concentrações residuais, rota química usada para a produção de dióxido de cloro, análises de rotina para o monitoramento e controle da qualidade da água, bem como sobre a forma de apresentação dos dados de processo utilizada neste trabalho.

3.1 COM RELAÇÃO À LEGISLAÇÃO QUE REGULAMENTA O PADRÃO DE POTABILIDADE DE ÁGUA NO BRASIL E EM OUTROS PAÍSES

O produto químico dióxido de cloro enquadra-se, de acordo com o **Artigo 13, parágrafo único da Portaria nº518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde**, como sendo "*outro agente desinfetante*". Para facilitar a leitura e interpretação, tem-se a transcrição do Artigo 13:

"Art. 13. Após a desinfecção, a água deve conter um teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L, sendo obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L em qualquer ponto da rede de distribuição, recomendando-se que a cloração seja realizada em pH inferior a 8,0 e tempo de contato mínimo de 30 minutos.

Parágrafo único. Admite-se a utilização de outro agente desinfetante ou outra condição de operação do processo de desinfecção, desde que fique demonstrado pelo responsável pelo sistema de tratamento uma eficiência de inativação microbiológica equivalente à obtida com a condição definida neste artigo."

Nota-se que o Artigo 13 estabelece os valores de concentrações residuais para o cloro livre na água (obtido através da cloração com cloro gás, hipoclorito de sódio e/ou hipoclorito de cálcio). Entretanto, o Ministério da



Saúde Brasileiro nesta Portaria não fixa os valores de concentrações residuais para "*outro agente desinfetante*" em água potável, bem como não estabelece os valores de concentrações residuais para o dióxido de cloro.

Na inexistência de uma legislação brasileira específica que regule os limites mínimos e máximos de concentração de dióxido de cloro em água destinada ao consumo humano, torna-se importante mencionar que o dióxido de cloro é usado já há anos em outros países, tais como os Estados Unidos. Segundo SANCHES *et al.* (2003), a primeira aplicação de dióxido de cloro como agente desinfetante e oxidante ocorreu em 1944, na ETA da cidade de Cataratas do Niágara, Estados Unidos. Dentro deste contexto, pode-se referenciar a legislação americana específica denominada *United States Environmental Protection Agency (USEPA) – 2006 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories*, a qual estabelece os limites máximos de dióxido de cloro em águas destinadas ao consumo humano.

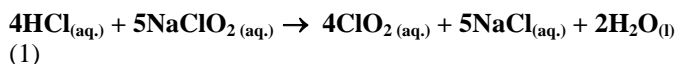
3.2 COM RELAÇÃO ÀS CONCENTRAÇÕES DE DIÓXIDO DE CLORO NA ÁGUA DESTINADA AO CONSUMO HUMANO

Desta forma, com base na legislação brasileira e americana e, em reunião realizada junto à Vigilância Sanitária, à época, fixou-se o valor igual a **0,15mg.L⁻¹ de DCR** no ponto mais distante da rede de abastecimento de água. A comprovação do poder bactericida deste DCR é efetuada via análise microbiológica de amostras de água coletadas na saída da ETA e em vários pontos de controle de qualidade de água presentes na rede de distribuição estrategicamente distribuídos pelo município de Novo Hamburgo.

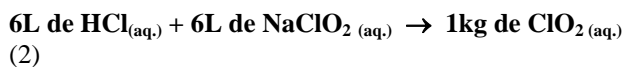
3.3 COM RELAÇÃO À TECNOLOGIA UTILIZADA PARA A GERAÇÃO DE DIÓXIDO DE CLORO – ROTA QUÍMICA ESPECÍFICA

Conforme a *United States Environmental Protection Agency (USEPA) – Alternative Desinfectants and Oxidants Guidance Manual*, há várias tecnologias distintas para gerar o dióxido de cloro, baseada em diferentes produtos químicos reagentes.

O dióxido de cloro em estudo é gerado na ETA da **COMUSA**, através da reação química entre o ácido clorídrico (HCl) e o clorito de sódio (NaClO₂), ambos à concentração aproximada de 30% peso/peso, em meio aquoso, de acordo com a equação (1).



Na geração de um quilograma de dióxido de cloro são necessários aproximadamente seis litros de ácido clorídrico (~30%) e seis litros clorito de sódio (~30%), conforme a equação (2).



Se as densidades do ácido clorídrico e do clorito de sódio forem iguais a 1,16 e 1,22kg.L⁻¹, respectivamente, tem-se a equação (3).



O custo de geração do dióxido de cloro, baseado no consumo dos reagentes químicos utilizados para a sua geração, pode ser calculado através da equação (4).

$$C_{\text{ClO}_2} = (V_{\text{HCl}} \times \rho_{\text{HCl}} \times C_{\text{HCl}}) + (V_{\text{NaClO}_2} \times \rho_{\text{NaClO}_2} \times C_{\text{NaClO}_2})$$

(4)

Onde V, ρ e C representam o volume (L), a densidade (kg.L⁻¹) e o custo unitário (R\$.kg⁻¹) dos reagentes químicos, respectivamente.



A **COMUSA** possui dois sistemas geradores de dióxido de cloro, com capacidades de produção iguais a 6.000 e 1.500g.h⁻¹ de solução aquosa de dióxido de cloro cada. A Figura 1, a seguir, mostra uma fotografia dos dois sistemas geradores de dióxido de cloro pertencentes à ETA da **COMUSA**.



Figura 1. Fotografia dos dois sistemas geradores de dióxido de cloro usados pela COMUSA (à esquerda, tem-se o gerador de capacidade igual a 6.000g.h⁻¹; à direita, tem-se o gerador de capacidade igual a 1.500g.h⁻¹ de geração de solução de dióxido de cloro).

De acordo com SANCHES *et al.* (2003), o dióxido de cloro não forma quantidades significativas de subprodutos de desinfecção, tais como ácidos haloacéticos (AHA's), halocetonas e haloaldeídos, exceto a formação de íons clorito e clorato em determinadas faixas de pH.

Desta forma, pode-se mencionar que a desinfecção de água com dióxido de cloro pode produzir alguns subprodutos, tais como cloritos e cloratos. De acordo com o **Artigo 14, Tabela 3 da Portaria nº518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde**, o **valor máximo permitido (VMP)** para o clorito é igual a **0,2mg.L⁻¹**. Adicionalmente, elevados custos são associados ao monitoramento de cloritos e cloratos na água tratada. A luz solar decompõe o dióxido de cloro. Essas são algumas das poucas desvantagens que o dióxido de cloro apresenta. Entretanto, pode-se elencar uma série de vantagens, tais como:

1. Oxidação da matéria orgânica (presente na água) sem haver formação dos subprodutos denominados THM's, ácidos haloacéticos, halocetonas, haloaldeídos e organoclorados. De acordo com o **Artigo 14, Tabela 3 da Portaria nº518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde**, o **VMP** para THM's total é igual a **0,1mg.L⁻¹**.
2. Redução de carbono orgânico total (COT).
3. Apresenta elevado poder bactericida eliminando vírus, bactérias, algas, protozoários entre outros. O poder oxidante do dióxido de cloro é aproximadamente 2,5 vezes maior do que o do cloro gás. Desta forma, pode-se dizer que com uma dosagem menor de dióxido de cloro, pode-se ter o mesmo poder oxidante, quando comparado à dosagem que seria necessária considerando o cloro gás.



4. Destruição de fenol e sulfeto (controle de odores e sabores).
5. Precipitação de ferro e de manganês solúveis.
6. Não reage com a amônia (não forma cloraminas). De acordo com o **Artigo 14, Tabela 3 da Portaria nº518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde**, o VMP para a substância **monocloramina** é igual a **3mg.L⁻¹**.
7. Apresenta maior estabilidade em soluções aquosas quando comparado a outros produtos clorados.

Por todo o exposto, nota-se que as vantagens do dióxido de cloro como agente oxidante e desinfetante no tratamento de água para consumo humano superam, com certeza, algumas das poucas desvantagens que o mesmo apresenta e que devem ser mencionadas.

3.4 COM RELAÇÃO ÀS ANÁLISES REFERENTES AO CONTROLE DE QUALIDADE DA ÁGUA TRATADA

As análises para a determinação das concentrações residuais de dióxido de cloro e de cloro residual livre são efetuadas com frequência horária (de uma em uma hora) pelo Laboratório Operacional pertencente à ETA. Em outras palavras, têm-se 24 análises para monitoramento e controle da concentração de dióxido de cloro residual ao longo de um dia. As análises para a determinação das concentrações residuais de cloro total são efetuadas com frequência de duas em duas horas, tendo-se 12 análises para monitoramento e controle da concentração de cloro total ao longo de um dia.

As metodologias analíticas utilizadas nos Laboratórios Central e Operacional da **COMUSA** para a determinação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos atendem às especificações das normas nacionais, bem como a edição mais recente da publicação **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, de autoria das instituições *American Public Health Association (APHA)*, *American Water Works Association (AWWA)* e *Water Environment Federation (WEF)*, ou das normas publicadas pela *International Standardization Organization (ISO)*.

3.5 COM RELAÇÃO À FORMA DE APRESENTAÇÃO DOS DADOS DE PROCESSO SOB ESTUDO

Torna-se importante mencionar que se optou por apresentar, neste trabalho, valores médios mensais dos parâmetros analisados, a saber: concentração de dióxido de cloro residual (DCR), porcentagem de presença de coliformes totais (CT) e fecais (CF) para os anos de 2006, 2007 e 2008, e não uma distribuição dos dados ao longo do mês, por três motivos principais:

1. *Os valores dos dados médios mensais, calculados a partir das médias diárias, representam, para os objetivos propostos neste trabalho, adequadamente as características físico-químicas e microbiológicas da água observadas para o respectivo mês em estudo tendo-se, conseqüentemente, uma distribuição anual.*
2. *No caso da apresentação de uma distribuição dos dados ao longo do mês ao invés de valores médios, haveria um número excessivo de informações, podendo acarretar, conseqüentemente, tabelas e gráficos “poluídos visualmente”. Este fato poderia dificultar a correta interpretação das características da água, o que não ocorre com a apresentação dos valores médios.*
3. *Os valores dos dados médios mensais, calculados a partir das médias diárias, e que representam, para os objetivos propostos neste trabalho, adequadamente as características físico-químicas e microbiológicas da água observadas para o respectivo mês em estudo, são os valores informados mês a mês às casas dos usuários na conta de água e no “Relatório Anual da Qualidade da Água”, de acordo com o Decreto nº5440, de 04 de maio de 2005, da Presidência da República.*

Na próxima secção, tem-se a apresentação dos resultados e discussões.



4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 COM RELAÇÃO À FREQUÊNCIA DE ANÁLISE DAS CONCENTRAÇÕES RESIDUAIS DOS AGENTES DESINFETANTES

Como referência, utilizou-se a frequência mínima de análises conforme exigência do **Artigo 18, Tabelas 6, 7 e 8 da Portaria nº518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde.**

Atualmente, a frequência de análise para os parâmetros cloro residual livre (devido ao hipoclorito de sódio) e dióxido de cloro é de uma em uma hora na saída da ETA. Para o parâmetro cloro residual total, a frequência é de duas em duas horas. Percebe-se que esta frequência de análise é superior à mínima exigida pela **Portaria nº518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde.** Para o caso específico da ETA da **COMUSA**, optou-se por trabalhar com esta maior frequência de análises, ao longo de vários meses sob estudo, sendo a melhor alternativa para o monitoramento e controle das faixas de dosagens dos residuais de dióxido de cloro e de cloro (livre e total).

Torna-se importante ressaltar, novamente, que o **Rio dos Sinos** é muito rico em substâncias húmicas e apresenta grande quantidade de despejos de esgoto de origem doméstico-sanitária (principalmente à montante do ponto de captação de água bruta da **COMUSA**). Este fato justifica uma maior frequência nas análises de monitoramento e controle de determinados parâmetros físico-químicos, principalmente com relação aos parâmetros pertinentes à água bruta que chega à ETA, tais como: cor aparente, turbidez, condutividade elétrica, alcalinidade, pH, matéria-orgânica (MO), oxigênio dissolvido (OD), entre vários outros.

4.2 COM RELAÇÃO AOS DADOS DE PROCESSO SOB ESTUDO

A Tabela 1, na sequência, apresenta os valores médios mensais para a concentração de dióxido de cloro residual (DCR), cloro residual livre (CRL) e a porcentagem de presença de coliformes totais (CT) e fecais (CF) para os anos de 2006, 2007 e 2008. Dados estes extraídos dos respectivos **“Relatórios Anuais da Qualidade da Água”** de cada ano em questão.



Tabela 1. Valores médios mensais para a concentração de dióxido de cloro residual (DCR), cloro residual livre (CRL) e porcentagem de presença de coliformes totais (CT) e fecais (CF) para os anos de 2006, 2007 e 2008.

Ano de referência	Mês	Dióxido de cloro residual DCR (mg.L ⁻¹)	Cloro residual livre CRL (mg.L ⁻¹)	Coliformes totais CT (%)	Coliformes fecais CF (%)	Observações
2006	Janeiro	0,18	0,11	6,47	0,97	A rede de distribuição de água potável do município de Novo Hamburgo é composta basicamente dos materiais: fibro-cimento, ferro fundido e PVC Os valores de CT acima de 5% e os valores de CF, sempre inferiores a 1% (Artigo 11, Tabela 1, Portaria nº518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde) estão geralmente associados a problemas na rede de abastecimento (fugas, vazamentos) exigindo consertos e manutenções periódicas na rede de distribuição de água
	Fevereiro	0,19	0,42	5,73	0,64	
	Março	0,26	0,21	2,76	0,61	
	Abril	0,35	0,20	2,77	0	
	Maiο	0,40	0,19	1,24	0	
	Junho	0,33	0,41	1,25	0	
	Julho	0,30	0,47	2,19	0,31	
	Agosto	0,44	0,54	1,57	0,31	
	Setembro	0,42	0,50	1,25	0	
	Outubro	0,37	0,48	2,17	0,93	
	Novembro	0,34	0,41	3,11	0	
	Dezembro	0,31	0,47	1,55	0,31	
2007	Janeiro	0,45	0,45	3,12	0	Atualmente, os trechos da rede de distribuição confeccionados em fibro-cimento e PVC estão sendo substituídos por tubulações de PEAD
	Fevereiro	0,38	0,41	1,55	0	
	Março	0,30	0,47	1,55	0	
	Abril	0,27	0,52	0,62	0	
	Maiο	0,38	0,48	3,11	0	
	Junho	0,48	0,68	2,48	0,31	
	Julho	0,49	0,67	1,56	0	
	Agosto	0,47	0,62	1,55	0	
	Setembro	0,37	0,38	0,93	0	
	Outubro	0,34	0,38	2,47	0,31	
	Novembro	0,29	0,39	3,02	0,31	
	Dezembro	0,28	0,35	1,56	0	
2008	Janeiro	0,31	0,41	3,74	0,34	
	Fevereiro	0,21	0,45	3,45	0	
	Março	0,15	0,47	1,54	0	
	Abril	0,28	0,43	1,24	0	
	Maiο	0,25	0,51	3,72	0	
	Junho	0,30	0,55	2,78	0	
	Julho	0,32	0,52	3,43	0,31	
	Agosto	0,29	0,52	1,85	0,31	
	Setembro	0,29	0,55	1,54	0	
	Outubro	0,32	0,46	3,12	0	
	Novembro	0,31	0,46	0,92	0	
	Dezembro	0,34	0,43	1,54	0	

Para efeitos de interpretação dos resultados apresentados na Tabela 1, com relação aos parâmetros DCR, CT e CF, as Figuras 2 a 7 mostram, a seguir, os valores médios dos parâmetros estudados sob a forma de gráficos de barras verticais. O eixo das abscissas representa o período de tempo estudado, quantificado em meses. Entretanto, como há diferença nas ordens de grandeza dos valores dos parâmetros comparados, optou-se em trabalhar com gráficos de duas escalas. Desta forma, faz-se a leitura no eixo das ordenadas à esquerda e à direita para cada parâmetro comparado.

As Figuras 2, 3 e 4 mostram os valores de DCR e CT da água da rede de abastecimento para os anos de 2006, 2007 e 2008, respectivamente (RÄDER, 2009).



Concentração de dióxido de cloro residual (DCR) e presença de coliformes totais (CT) - Água tratada rede abastecimento - Ano 2006

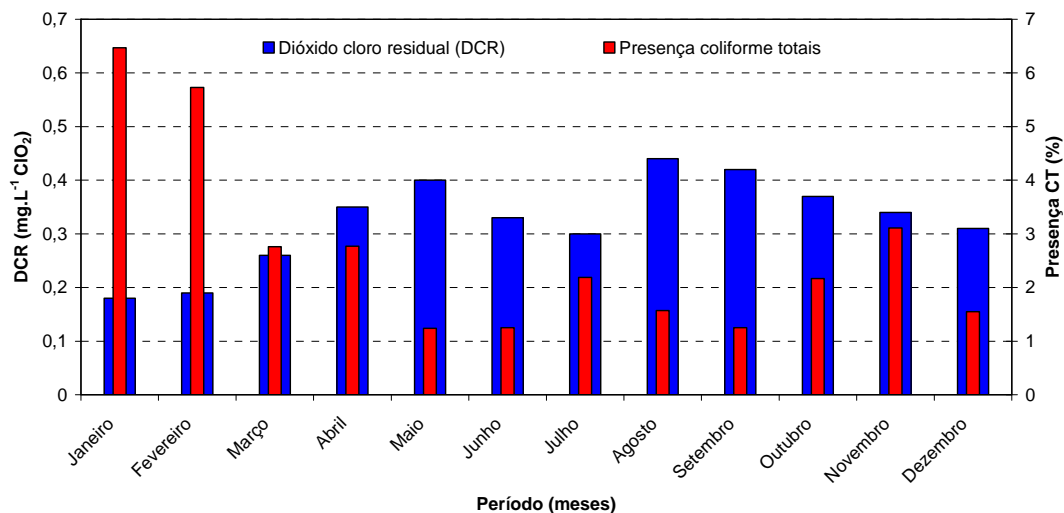


Figura 2. Concentração de DCR e CT na água da rede de abastecimento – ano 2006.

Concentração de dióxido de cloro residual (DCR) e presença de coliformes totais (CT) - Água tratada rede abastecimento - Ano 2007

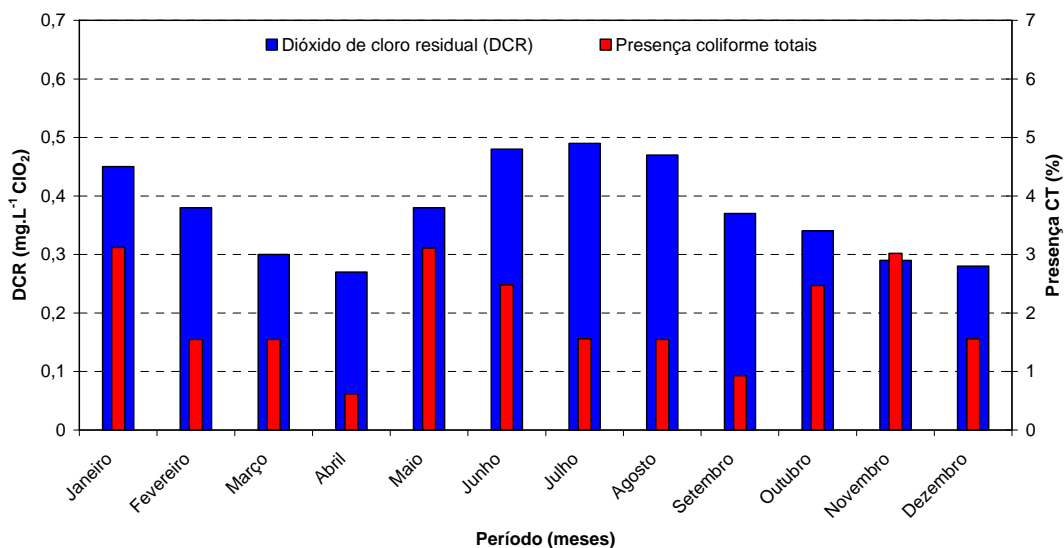


Figura 3. Concentração de DCR e CT na água da rede de abastecimento – ano 2007.

**Concentração de dióxido de cloro residual (DCR) e presença de coliformes totais (CT) -
Água tratada rede abastecimento - Ano 2008**

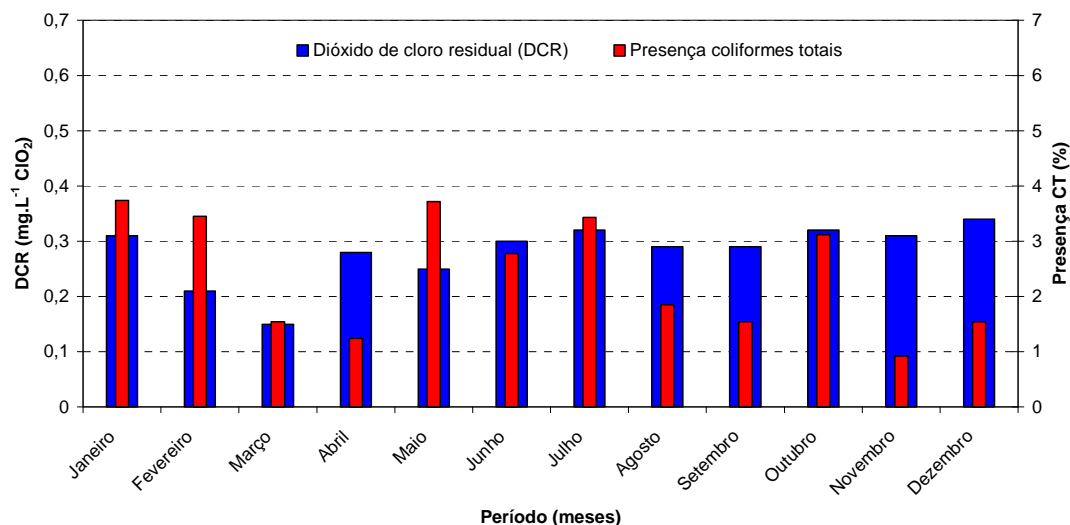


Figura 4. Concentração de DCR e CT na água da rede de abastecimento – ano 2008.

Os valores de CT acima de 5% (**Artigo 11, Tabela 1, Portaria nº518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde**) observados na Figura 2, janeiro e fevereiro de 2006, estão associados a problemas de vazamentos e consertos na rede. Um aumento no DCR para valores acima de 0,2 até 0,5mg.L⁻¹, resultou na presença de CT abaixo de 5%, conforme Figura 2 a partir de março de 2006, e Figuras 3 e 4, respectivamente.

Dando continuidade à interpretação dos resultados apresentados na Tabela 1, as Figuras 5, 6 e 7 exibem os valores de DCR e CF da água da rede de abastecimento para os anos de 2006, 2007 e 2008, respectivamente (RÄDER, 2009).

**Concentração de dióxido de cloro residual (DCR) e presença de coliformes fecais (CF) -
Água tratada rede abastecimento - Ano 2006**

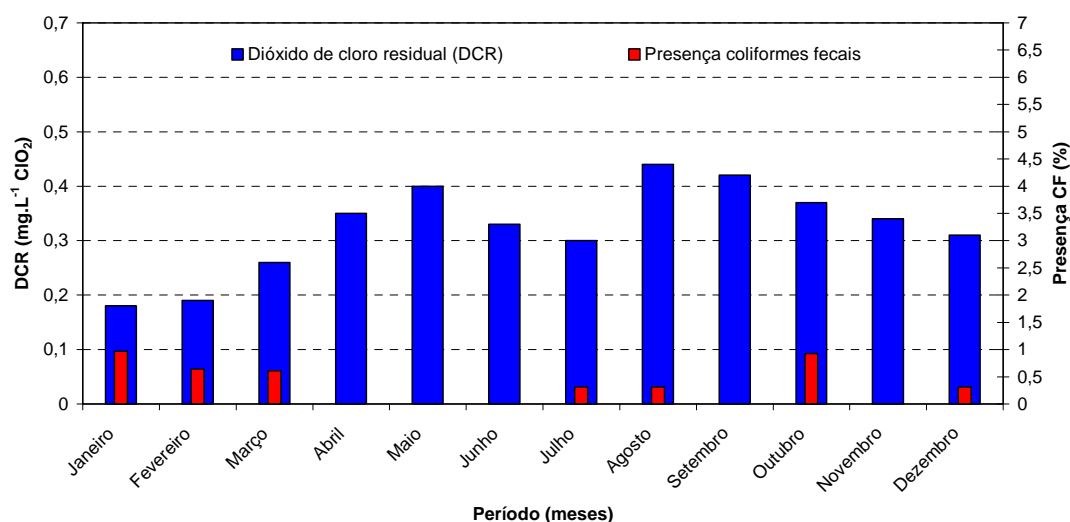


Figura 5. Concentração de DCR e CF na água da rede de abastecimento – ano 2006.



Concentração de dióxido de cloro residual (DCR) e presença de coliformes fecais (CF) - Água tratada rede abastecimento - Ano 2007

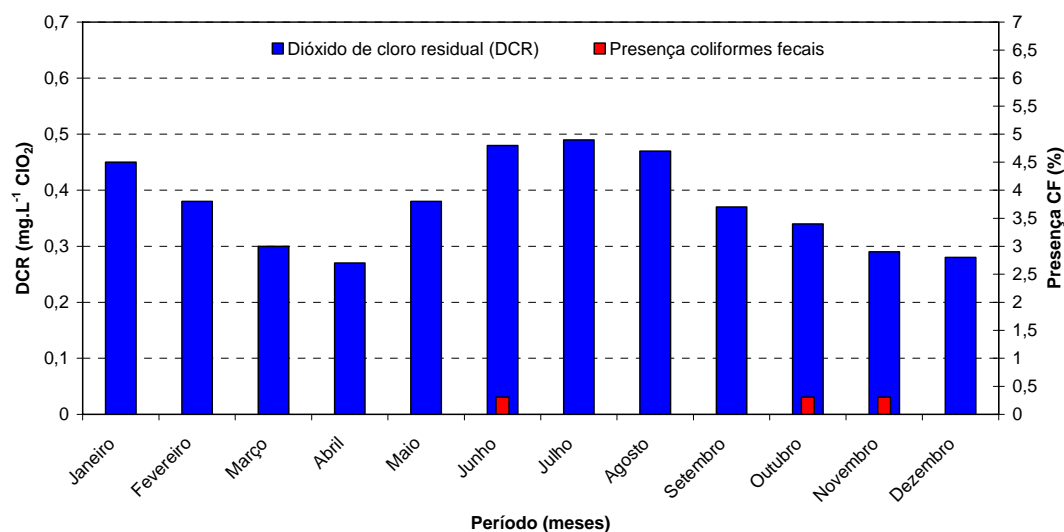


Figura 6. Concentração de DCR e CF na água da rede de abastecimento – ano 2007.

Concentração de dióxido de cloro residual (DCR) e presença de coliformes fecais (CF) - Água tratada rede abastecimento - Ano 2008

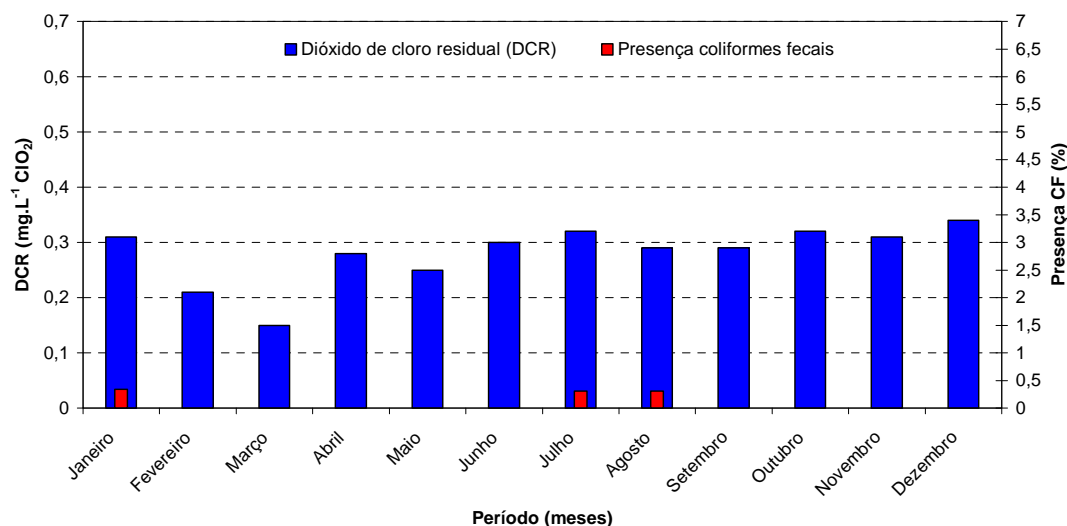


Figura 7. Concentração de DCR e CF na água da rede de abastecimento – ano 2008.

Valores de DCR entre 0,2 a 0,5mg.L⁻¹, mínimo igual a 0,15mg.L⁻¹, resultou ainda na presença de CF (em todos os casos inferiores a 1%) durante alguns meses (janeiro, fevereiro, março, julho, agosto, outubro e dezembro de 2006) conforme Figura 5. Em 2007, de acordo com a Figura 6, o DCR foi mantido entre 0,3 a 0,5mg.L⁻¹ (apenas os meses de abril, novembro e dezembro de 2007 apresentaram DCR inferior a 0,3mg.L⁻¹) acarretando na completa eliminação de CF, com exceção dos meses de junho, outubro e novembro de 2007, onde houve presença de CF inferior a 0,5%. Em 2008, segundo a Figura 7, tem-se a presença de CF apenas em janeiro, julho e agosto de 2008 (sempre inferior a 0,5%), com o DCR mantido entre 0,15 e 0,40mg.L⁻¹.



Torna-se importante mencionar que em todos os casos estudados neste trabalho, conforme apresentado na Tabela 1, a água da rede de abastecimento sempre continha DCR e CRL simultaneamente. Enquanto que os valores de DCR foram mantidos entre 0,15 a 0,5mg.L⁻¹ de ClO₂, com valor médio igual a 0,33mg.L⁻¹ de ClO₂, os valores de CRL foram mantidos entre 0,11 a 0,68mg.L⁻¹ de cloro livre, com valor médio igual a 0,44mg.L⁻¹ de cloro livre.

Para fins de explicação da presença de CF na água detectada em alguns meses, conforme mostrado na Tabela 1, a equipe técnica do Laboratório de Controle de Qualidade de Água da **COMUSA** realiza em média, por mês, aproximadamente 300 análises de coliformes em amostras coletadas na rede de abastecimento de água. Para o caso específico do ano de 2008, os valores de CF detectados nos meses de janeiro, julho e agosto foram 0,34, 0,31 e 0,31%, respectivamente (Tabela 1). Isto significa que em janeiro de 2008, das 294 análises de coliformes realizadas, apenas uma única amostra apresentou contaminação por CF, o que representa 0,34% do total de análises efetuadas no respectivo mês. Em julho de 2008, das 321 análises de coliformes realizadas, apenas uma única amostra apresentou contaminação por CF, o que representa 0,31% do total de análises efetuadas no mês em questão. Por fim, em agosto de 2008, das 324 análises de coliformes realizadas, apenas uma única amostra apresentou contaminação por CF, o que representa 0,31% do total de análises efetuadas. Assim sendo, das 3.843 análises de coliformes realizadas no ano de 2008, apenas três amostras (uma em janeiro, uma em julho e uma em agosto) apresentaram contaminação por CF. Para os anos de 2006 e 2007, tem-se a mesma frequência de análises para a água tratada e distribuída. Os resultados de análises acusando a presença de coliformes estão (normalmente) associados a problemas de fuga, consertos e manutenções na rede de distribuição de água.

Ressalta-se que bactérias do grupo coliforme são utilizadas como indicadores de contaminação das águas. A análise que acusa a presença de coliformes ainda não indica necessariamente água contaminada por bactérias patogênicas ou vírus, mas a probabilidade é muito grande. Com relação ao parâmetro bacteriológico coliformes, atualmente é prática comum a diferenciação entre coliformes de origem fecal e aqueles coliformes de origem não fecal, ou seja, originados de outras fontes de contaminação. *As bactérias do grupo coliforme que estão presentes nas fezes são capazes de fermentar a lactose com formação de gás, num meio de cultura próprio em temperatura de 44,5°C ± 0,5°C. Organismos do grupo coliformes provenientes de outras fontes não podem produzir gás dessa maneira.* Geralmente é utilizado a *Escherichia coli* (*E. Coli*) como representante dos coliformes fecais. Sua unidade de medida é expressa em número mais provável em cem mililitros de amostra (NMP.100mL⁻¹).

4.3 COM RELAÇÃO ÀS QUANTIDADES E CUSTOS ENVOLVIDOS NO TRATAMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO-SE O DIÓXIDO DE CLORO

A Tabela 2 apresenta as quantidades e os custos médios mensais e anuais com relação aos produtos químicos usados no processo de desinfecção da água tratada pela **COMUSA**, para os anos de 2006, 2007 e 2008.

Tabela 2. Quantidades e custos médios mensais e anuais com relação aos produtos químicos utilizados na desinfecção da água tratada, para os anos de 2006, 2007 e 2008.

Ano de referência	Mês	Produtos químicos – agentes desinfetantes					
		Produtos químicos usados na geração do dióxido de cloro (ClO ₂)				Hipoclorito de sódio (NaClO)	
		Ácido clorídrico (HCl) ~30%, ρ = 1,16kg.L ⁻¹		Clorito de sódio (NaClO ₂) ~30%, ρ = 1,22kg.L ⁻¹		~12%, ρ = 1,20kg.L ⁻¹	
		Quantidade (kg)	Custo (R\$)	Quantidade (kg)	Custo (R\$)	Quantidade (kg)	Custo (R\$)
2006	Janeiro	14.700	12.238,93	14.500	57.180,20	46.300	37.511,10
	Fevereiro	14.000	11.580,16	13.400	52.997,15	42.900	34.763,58
	Março	14.500	12.046,58	18.100	71.684,21	36.900	29.916,33
	Abril	16.142	13.397,86	16.911	66.798,45	25.467	20.628,27
	Maiο	14.926	12.388,41	14.550	57.472,50	23.623	19.134,63
	Junho	9.452	7.845,16	9.240	36.498,00	32.520	26.341,20



	Julho	10.075	8.362,25	9.666	38.180,70	34.489	27.936,09
	Agosto	15.310	11.021,62	14.500	63.122,85	32.120	25.693,60
	Setembro	15.370	11.066,54	14.468	62.935,80	27.512	22.009,60
	Outubro	16.124	11.609,28	14.528	63.196,80	40.274	32.219,20
	Novembro	16.067	11.568,24	15.036	65.406,60	43.308	31.614,84
	Dezembro	13.623	9.808,56	14.433	62.783,55	39.138	28.570,74
Média anual 2006		14.191	11.077,80	14.111	58.188,07	35.379	28.028,27
2007	Janeiro	14.300	10.296,00	15.236	66.276,60	45.896	33.504,08
	Fevereiro	16.494	11.875,68	17.237	74.980,95	43.296	30.032,32
	Março	11.558	8.321,76	11.469	49.890,15	89.439	57.240,96
	Abril	11.037	7.946,64	12.078	52.539,30	50.507	32.324,48
	Maio	17.325	12.474,00	17.882	77.786,70	54.265	34.729,60
	Junho	16.938	12.195,36	17.332	75.394,20	68.494	43.836,16
	Julho	15.327	11.035,44	15.539	67.594,65	64.525	41.296,00
	Agosto	13.812	12.568,92	14.339	56.639,05	60.507	38.724,48
	Setembro	15.800	14.378,00	16.355	64.602,25	52.899	33.855,36
	Outubro	16.189	14.731,99	16.629	64.853,10	40.254	20.195,43
	Novembro	15.925	14.491,75	16.380	63.882,00	45.578	22.333,22
	Dezembro	17.620	16.034,20	18.237	71.124,30	35.054	17.176,46
Média anual 2007		15.194	12.195,81	15.726	65.463,60	54.226	33.770,71
2008	Janeiro	17.492	15.917,72	18.291	71.334,90	31.487	15.428,63
	Fevereiro	10.194	9.276,54	11.027	43.005,30	35.584	17.436,16
	Março	9.440	8.590,40	10.017	39.066,30	43.313	21.223,37
	Abril	12.183	11.086,53	13.183	47.464,74	38.178	18.707,22
	Maio	7.658	6.968,78	9.077	28.501,78	35.699	17.492,51
	Junho	9.821	8.937,11	10.815	33.959,10	39.864	19.533,36
	Julho	11.189	10.181,99	11.686	36.694,04	41.081	20.129,69
	Agosto	12.051	10.966,41	11.888	37.328,32	35.668	17.477,32
	Setembro	9.452	7.284,80	9.350	29.359,00	31.661	15.513,89
	Outubro	13.527	9.198,36	13.306	41.780,84	40.491	23.789,61
	Novembro	10.172	6.916,96	10.468	32.869,52	41.673	31.671,48
	Dezembro	15.204	10.338,72	15.192	47.702,88	38.560	29.305,60
Média anual 2008		11.532	9.638,69	12.025	40.755,56	37.772	20.642,40



Com relação aos dados da Tabela 2, a **COMUSA** utiliza aproximadamente 800 a 1.500 quilogramas de hipoclorito de sódio por dia em situações típicas (normais) de operação. Esses valores representam aproximadamente 24.000 a 45.000 quilogramas de hipoclorito de sódio por mês. Eventualmente, em situações atípicas, já houve necessidade de utilização de aproximadamente 3.000 quilogramas de hipoclorito de sódio por dia ou aproximadamente 90.000 quilogramas de hipoclorito de sódio por mês (março de 2007, conforme Tabela 2).

Dando continuidade à análise dos dados da Tabela 2, com relação aos produtos químicos utilizados na geração do dióxido de cloro, pode-se mencionar que em situações típicas de operação, a **COMUSA** utiliza aproximadamente 2,5 a 3,0 quilogramas de dióxido de cloro por hora. Esses valores representam aproximadamente 60 a 72 quilogramas de dióxido de cloro por dia, ou ainda, 1.800 a 2.160 quilogramas de dióxido de cloro por mês. Eventualmente, em situações atípicas, já houve necessidade de utilização de aproximadamente 6,0 quilogramas de dióxido de cloro por hora, que representa aproximadamente 144 quilogramas de dióxido por dia, ou ainda, aproximadamente 4.320 quilogramas de dióxido de cloro por mês. Como se tratam de valores médios, os quais dependem das características físico-químicas e microbiológicas da água bruta a ser tratada, bem como da vazão de água aduzida à ETA (produção de água tratada), ocasionalmente, poderá haver algumas oscilações nos valores médios declarados anteriormente.

Por conseguinte, a Figura 8 apresenta as médias anuais de consumo (em quilogramas) de produtos químicos desinfetantes na ETA da **COMUSA**, conforme mostradas na Tabela 2.

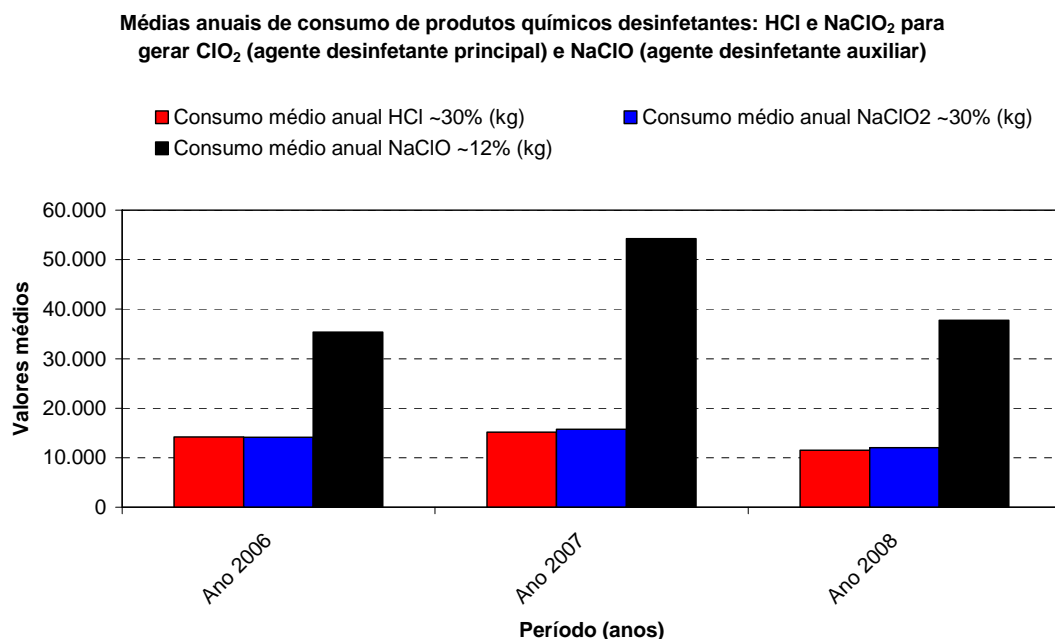


Figura 8. Médias anuais de consumo de produtos químicos desinfetantes na ETA da COMUSA.

A Figura 9 apresenta as médias anuais dos custos de produtos químicos desinfetantes utilizados na ETA da **COMUSA**, conforme mostradas na Tabela 2.

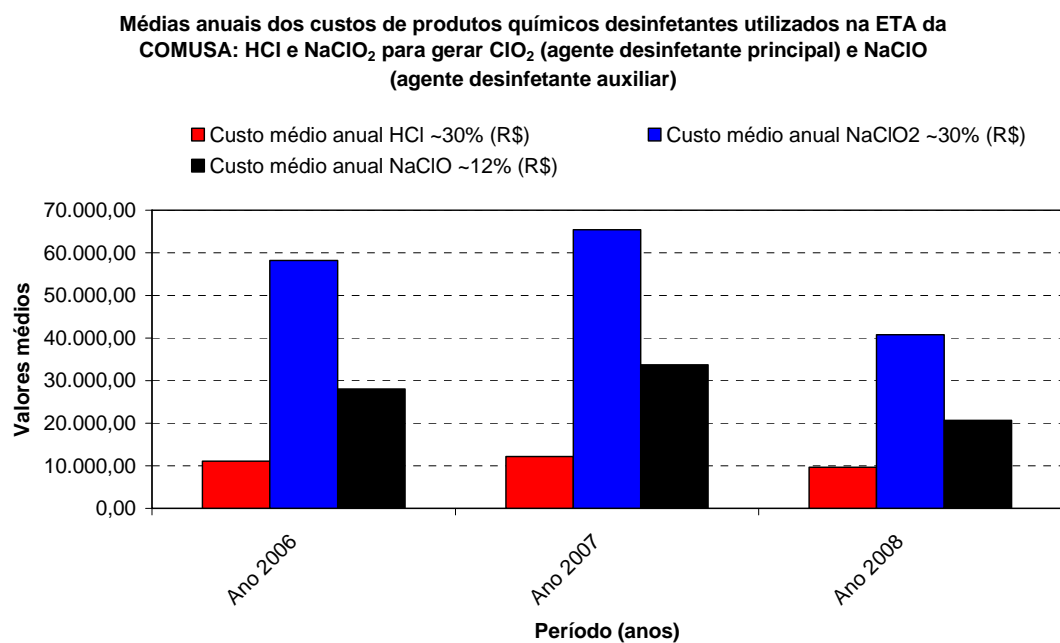


Figura 9. Médias anuais dos custos de produtos químicos desinfetantes utilizados na ETA da COMUSA.

A Tabela 3 exibe os resultados de vazão média mensal e anual de água tratada para os anos de 2006, 2007 e 2008.



Tabela 3. Vazão média mensal e anual de água tratada para os anos de 2006, 2007 e 2008. Vazão média da ordem de $0,720\text{m}^3.\text{s}^{-1}$.

Ano de referência	Mês	Produção média de água mensal (milhões de $\text{m}^3.\text{mês}^{-1}$)
2006	Janeiro	1,800
	Fevereiro	1,632
	Março	1,780
	Abril	1,690
	Maio	1,680
	Junho	1,610
	Julho	1,670
	Agosto	1,690
	Setembro	1,620
	Outubro	1,711
	Novembro	1,652
	Dezembro	1,777
Média anual 2006		1,693
2007	Janeiro	1,802
	Fevereiro	1,619
	Março	1,744
	Abril	1,750
	Maio	1,706
	Junho	1,663
	Julho	1,702
	Agosto	1,677
	Setembro	1,643
	Outubro	1,693
	Novembro	1,677
	Dezembro	1,788
Média anual 2007		1,705
2008	Janeiro	1,846
	Fevereiro	1,740
	Março	1,884
	Abril	1,654
	Maio	1,689
	Junho	1,567
	Julho	1,630
	Agosto	1,664
	Setembro	1,655
	Outubro	1,776
	Novembro	1,761
	Dezembro	1,829
Média anual 2008		1,725

A Figura 10 apresenta as médias anuais de vazão de água tratada, mostradas na Tabela 3.

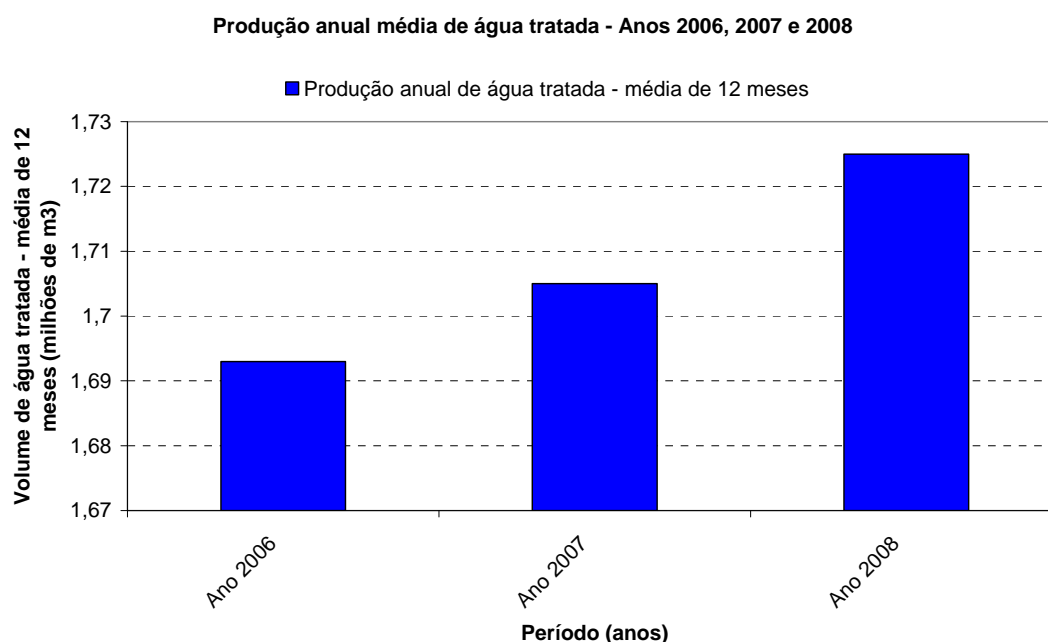


Figura 10. Valores médios anuais de vazão de água tratada.

A próxima secção apresenta as conclusões do presente trabalho.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve por objetivo apresentar uma ETA que utiliza o dióxido de cloro como agente desinfetante principal. O uso do dióxido de cloro torna-se permitido, conforme **Artigo 13, parágrafo único, da Portaria nº518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde**. A comprovação do poder bactericida é comprovada via análise microbiológica da água tratada e distribuída. Na ausência de legislação brasileira que regulamente as concentrações de dióxido de cloro em água destinada ao consumo humano, adotou-se como referência a legislação americana *United States Environmental Protection Agency (USEPA) – 2006 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories*, que estabelece valores de concentração de dióxido de cloro em águas para consumo humano.

O custo do dióxido de cloro pode ser maior se comparado a outros agentes desinfetantes (tais como cloro gás, hipoclorito de sódio e hipoclorito de cálcio), pois a tecnologia de desinfecção baseada no dióxido de cloro exige a aquisição e instalação de todo um sistema gerador (composto basicamente de bombas dosadoras para os reagentes químicos + reator/gerador para a produção de dióxido de cloro + comando lógico programável (CLP)), serviços de manutenção periódica, somado à aquisição de produtos químicos reagentes (conforme rota química específica) para a produção do dióxido de cloro com qualidade, quantidades e segurança adequadas ao tratamento. Para o período em estudo, os custos associados às quantidades de ácido clorídrico (HCl) e clorito de sódio (NaClO_2), ambos à concentração aproximada de 30%, utilizados para a geração de dióxido de cloro, bem como os custos associados às quantidades de hipoclorito de sódio (NaClO), à concentração mínima de 12%, utilizados no tratamento de água da **COMUSA**, encontram-se presentes na Tabela 2. A produção média de água mensal e anual encontra-se presente na Tabela 3.

Como o dióxido de cloro não reage com a amônia (ou compostos amoniacais) que podem estar presentes na água não formando (conseqüentemente) cloraminas e, adicionalmente, promove a destruição de compostos fenólicos e sulfetos, tem-se o controle de odor e sabor da água. Evita a formação de compostos organoclorados, tais como compostos THM's e AHA's.

Assim sendo, pode-se salientar que as *vantagens de natureza técnico-operacionais compensam as desvantagens* associadas ao custo mais elevado.



Conforme mencionado anteriormente, a troca de tecnologia foi motivada pelas constantes reclamações com relação ao gosto e odor da água tratada (com cloro gasoso) aliada à determinação de se modernizar e melhorar o processo de desinfecção da água tratada. Na ocasião, o sistema de dosagem de cloro gasoso existente na **COMUSA** encontrava-se em estado precário de conservação e apresentava muitos problemas (técnicos e de segurança). Desta forma, optou-se pela escolha do dióxido de cloro por ser a tecnologia mais viável e segura, à época, em substituição ao cloro gasoso.

O DCR entre 0,15 e 0,5mg.L⁻¹ de ClO₂, com valor médio igual a 0,33mg.L⁻¹ de ClO₂, é suficiente para promover a desinfecção da água. A presença de CT (acima de 5% em alguns casos) e CF (sempre inferior a 1%) está associada a problemas de vazamentos e consertos na rede de abastecimento água. Para manter o valor mínimo de DCR igual 0,15mg.L⁻¹ de ClO₂ no ponto mais distante da rede de distribuição de água da **COMUSA**, a dosagem de dióxido de cloro à saída da ETA atinge valores da ordem de 0,6 a 0,8mg.L⁻¹ (valor máximo utilizado). Com esses valores de DCR à saída da ETA, torna-se possível a manutenção de DCR médio igual a 0,33mg.L⁻¹ de ClO₂ na rede de distribuição.

Adicionalmente ao dióxido de cloro, responsável pela manutenção do valor mínimo de DCR, a **COMUSA** utiliza uma solução de hipoclorito de sódio à concentração mínima de 12%, com o objetivo de manter uma concentração residual mínima de cloro livre na rede de distribuição de água igual a 0,2mg.L⁻¹, de acordo com a **Portaria nº518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde**. Conforme mencionado na seção anterior, os valores de CRL foram mantidos entre 0,11 a 0,68mg.L⁻¹ de cloro livre, com valor médio igual a 0,44mg.L⁻¹ de cloro livre.

A utilização da solução de hipoclorito de sódio reduz a quantidade de dióxido de cloro que deve ser dosada na água minimizando, conseqüentemente, os custos associados à geração do dióxido de cloro (o reagente químico clorito de sódio apresenta elevado custo), somado ao fato de ter-se, sempre presente na água da rede de distribuição, residuais de dióxido de cloro e de cloro livre garantindo, desta forma, o padrão microbiológico da água tratada pela **COMUSA** destinada ao consumo humano.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th Edition. Washington DC. APHA-WEF, 1195p. 1998.
2. BRASIL. Portaria nº10, de 16 de agosto de 1999, que define teores de concentração do íon fluoreto nas águas para consumo humano fornecidas por Sistemas Públicos de Abastecimento. **Secretaria de Saúde do Estado do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, RS, 1999.
3. BRASIL. Portaria nº518, de 25 de março de 2004, que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. **Ministério da Saúde**, Brasília, DF, 2004.
4. BRASIL. Decreto Presidencial: nº5440, de 04 de maio de 2005, que estabelece as definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano. **Presidência da República**, Brasília, DF, 2005. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos.
5. RÄDER, A. S. *Desinfecção de Água Potável via Dióxido de Cloro – Um Estudo de Caso*. In: ASSEMBLÉIA NACIONAL DA ASSEMAE, 39ª, 2009, Gramado, Rio Grande do Sul, Brasil. **Anais...** Gramado: ASSEMAE, 2009. 1 CD-ROM.
6. SANCHES, S. M.; SILVA, C. H. T. P.; VIEIRA, E. M., Agentes Desinfetantes Alternativos para o Tratamento de Água, *Química Nova na Escola*, 17 (2003) 8 – 12.
7. USEPA (United States Environmental Protection Agency). 1999. *Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual*. Washington, DC, April.
8. USEPA (United States Environmental Protection Agency). 2006. *2006 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories*. EPA 822-R-06-013. Washington, DC, August.