
Usos do Cloro na Engenharia Sanitária e Ambiental- Novas Tecnologias de Aplicação e Quantificação dos Impactos Associados

PROF. IVANILDO HESPANHOL
PROF. J.M. DE AZEVEDO NETTO
ENG. M.H.C. BOTELHO

INTRODUÇÃO

Provavelmente, não existe um processo mais difundido do que a desinfecção das águas pelo cloro. No Brasil, o processo vem sendo aplicado continuamente há mais de 50 anos com resultados que se evidenciam pelos dados estatísticos vitais.

Não obstante essa longa experiência, não estão sendo aproveitadas, no Brasil, muitas outras formas de utilização desse elemento e seus compostos, tanto para desinfecção como para outras finalidades na área da Engenharia Sanitária.

Pelo fato do cloro vir sendo utilizado no País em quantidades crescentes e face às controvérsias levantadas em todo o mundo com relação aos efeitos colaterais do cloro e seus compostos, sobre os ecossistemas aquáticos e a saúde pública dos usuários dos sistemas de distribuição de água, reconheceu-se a conveniência de um estudo bibliográfico amplo, em nível mundial, a fim de orientar e servir como referência ao meio técnico brasileiro.

A pesquisa feita, abrangendo um grande número de publicações nacionais e internacionais, durante largo período de tempo, foi conduzida pelo Prof. Ivanildo Hespagnol, com a consultoria do Prof. José M. de Azevedo

Netto e colaboração do Eng. Manoel H. Campos Botelho, todos do CNEC.

1. USOS DE CLORO NA ENGENHARIA SANITÁRIA

Embora apenas em torno de 1880 ficou demonstrado que determinadas bactérias eram causadoras de doenças específicas, dispõe-se de informações que, a partir de 1823, se utilizavam soluções de cloro como desinfetante em hospitais e que houve uma larga utilização de cloro durante a grande epidemia de cólera que ocorreu na Europa em 1831 (1).

Mesmo sendo difícil estabelecer com precisão a data em que se realizou, pela primeira vez, a cloração de águas para abastecimento público, diversas referências indicam o trabalho de alguns pioneiros, que atuaram quase que simultaneamente na Europa e nos Estados Unidos. Em 1897, Sims Woodhead utilizou soluções de cloro no sistema de distribuição de água de Maidstone, Inglaterra; em 1902, Maurice Duyk aplicou cal clorada em conjunto com sais de ferro, como coagulantes, em Middlekerke, Bélgica; William M. Jewell e George W. Fuller, em 1896, aplicaram experimentalmente gás cloro na Estação Experimental de Louisville.

Entretanto, o primeiro sistema que empregou cloro de maneira contínua

e sistemática, com a finalidade de desinfecção, foi o da cidade de Lincoln, na Inglaterra, através de orientação de Sir Alexander H. Hounston, que é hoje chamado por muitos técnicos de o "Pai da cloração da água".

Nos Estados Unidos, a primeira aplicação do cloro em sistemas de distribuição foi efetuada em 1908 por G. A. Johnson que utilizou cal clorada no Sistema de Abastecimento de Bubbly Creek, da Union Stock Yards, de Chicago.

Em São Paulo, uma das cidades brasileiras pioneira na desinfecção de águas de abastecimento, a utilização de cloro vem sendo efetuada continuamente desde 1926.

Embora a utilização de cloro em engenharia sanitária tenha sido iniciada para desinfecção de águas de abastecimento, diversos e variados usos foram se desenvolvendo à medida que as características e qualidades do cloro e o controle de sua aplicação foram se tornando conhecidos e consolidados.

Além da cloração de águas de abastecimento que, praticamente, erradicou dos sistemas públicos as bactérias e vírus causadores das doenças de veiculação hídrica, os usos mais significativos do cloro ou de seus compostos são os seguintes (2, 3, 4).

a) Desinfecção de esgotos brutos e tratados. A cloração de esgotos brutos

permite uma redução da DBO proporcional (embora não linear) à dose de cloro aplicada. Quando aplicado em emissários longos, o cloro evita a ocorrência de condições sépticas; previne a formação de sulfetos através da inibição da atividade bacteriana na redução de sulfatos ($\text{SO}_4^- \rightarrow \text{S}^-$), ou exerce oxidação de sulfetos previamente formados, evitando a formação de H_2SO_4 e a conseqüente corrosão dos condutos; oxida os compostos orgânicos (dimetil sulfeto, metil mercaptan, metil amina, indol, escatol, cadaverina e ácidos voláteis de cadeias curtas) que provocam maus odores nas estações de tratamento (5).

A desinfecção de efluentes de ERQs tem por finalidade destruir os organismos patogênicos que podem infectar o homem através de usos diretos e indiretos de águas dos corpos receptores (abastecimento, esportes de contato, pesca, irrigação). De um modo geral, o tratamento secundário de esgotos domésticos reduz a concentração de coliformes, de um fator variável entre 10 e 10^3 . Como os esgotos brutos podem conter aproximadamente 10 coliformes por 100 ml, estima-se que os efluentes de tratamento secundário cheguem a conter de 10^5 a 10^7 coliformes/100 ml (3).

b) Aplicação de cloro como coadjuvante de operações em estações de tratamento de esgotos ou estações recuperadoras de qualidade das águas (ERQs).

O cloro constitui-se em um elemento de bastante utilidade na manutenção de condições ideais de diversas operações unitárias que integram sistemas biológicos de tratamento.

O controle de moscas (*Psychoda Alternata*), que se desenvolvem em filtros biológicos (principalmente em filtros de baixa taxa, de aplicação, operando em climas quentes), é efetuado com sucesso através de aplicação de soluções de cloro nos períodos em que as moscas se apresentam nas fases de larvas ou pupas.

Também em filtros biológicos, a utilização periódica de soluções de cloro é bastante útil para limpar os interstícios do meio filtrante, quando estes se entopem, devido à acumulação excessiva de sólidos ou de colônias filamentosas.

Esta prática é normalmente utilizada no começo da primavera para promover o deslocamento do material acumulado durante os meses mais frios.

Em sistemas de lodos ativados, a prática tem demonstrado que a

maneira mais eficiente para o controle de entumescimento do lodo ("bulking") é efetuar uma cloração contínua do lodo de retorno, a fim de oxidar as formas filamentosas que crescem excessivamente para fora dos flocos biológicos. Este efeito é devido a uma ação seletiva do cloro que atua mais ativamente sobre os organismos filamentosos do que sobre os não filamentosos.

Quando o excesso de lodo biológico, antes de ser encaminhado a uma fase de digestão (aeróbia ou anaeróbia), passa por uma fase de espessamento, condições sépticas podem ocorrer, havendo produção de gases, prejudicando consideravelmente o adensamento. A Aplicação de uma pequena dose de cloro ao lodo na entrada do adensador, ou pouco abaixo da superfície do sobrenadante, evita o aparecimento de condições sépticas, permitindo o adensamento desejado.

Nos sistemas biológicos de tratamento, é prática comum misturar o sobrenadante dos digestores aos esgotos brutos na entrada das ERQs. Isso, evidentemente, representa uma carga adicional de BOD que pode ser reduzida com aplicação do cloro. As dosagens necessárias são normalmente elevadas, quando aplicadas diretamente ao supernadante. Chega-se, porém, a uma oxidação quase completa, mudando a cor do sobrenadante de quase negro para cinza claro.

Um outro uso de cloro em ERQs, que parece estar ganhando importância, em função da tendência de se utilizarem os gases produzidos na digestão anaeróbia de esgotos, é efetuar a lavagem desses gases ("scrubbing") com uma solução concentrada de cloro para remover H_2S (6). Esse cuidado reduz a corrosividade e as características poluidoras dos gases de digestão, o que é de grande importância quando os mesmos são utilizados em motores de combustão interna ou na geração de vapor.

c) Utilização de cloro na indústria para controle da poluição e reuso das águas.

Uma grande variedade de indústrias utiliza cloro para permitir o reuso de águas servidas dentro dos próprios processos de produção ou para abater a carga poluidora dos efluentes, em termos de desinfecção, para oxidação química dos compostos orgânicos presentes ou para ambos os fins.

A cloração pode permitir uma estabilização completa dos componentes ativos ou servir como pré-tratamento, permitindo um tratamento final mais econômico, através de processos químicos ou biológicos.

Essas aplicações industriais de cloro são principalmente as seguintes:

- Oxidação de cianetos e cianatos em efluentes de indústrias de aço e de acabamentos de metais;
- Oxidação de fenóis (após recuperação) em efluentes de coquearias, produção de gases, etc.;
- Como coagulante ou auxiliar de coagulação, para descoloração ou para oxidação da matéria orgânica em indústrias têxteis;
- Cloração das águas claras na indústria de papel para controle da formação de limos, quando esta água é reutilizada;
- No tratamento de efluentes de curtumes para controle de odor e eventualmente como auxiliar de coagulação;
- Para controle de odor, redução parcial da DBO e para desinfecção de efluentes de indústrias processadoras de alimentos;
- Nas torres de resfriamento utilizadas em diversos tipos de indústrias e em termoelétrica para o controle de septicidade e formação de limos;
- Nas colunas barométricas utilizadas nas indústrias de açúcar e álcool, como auxiliar no controle da septicidade, de fungos e leveduras que se formam nos sistemas de recirculação (7).

Diversas outras aplicações de cloro poderiam ainda ser relatadas, incluindo-se o controle de algas em reservatórios e em unidades de tratamento de água e a remoção de ferro e manganês de água de abastecimento, por oxidação, em valores baixos de pH (8).

2. EFEITOS BENÉFICOS DO CLORO

Os esgotos domésticos e industriais contêm uma complexa variedade de compostos orgânicos e inorgânicos dissolvidos, sólidos suspensos, e matéria viva (principalmente bactérias e vírus) que causam um grande número de inconvenientes nos corpos hídricos onde são lançados, podendo vir a comprometer ou dificultar os usos posteriores de suas águas.

Conforme já mencionado, o cloro e seus compostos ocupam um lugar de destaque na engenharia sanitária, uma vez que a sua aplicação como desinfetante, como oxidante, ou como amebocida, traz inúmeros benefícios tanto no que concerne à preservação dos recursos hídricos, proteção dos grandes condutos coletores de esgotos, proteção da saúde dos usuários dos sistemas

públicos de abastecimento de água, como no que se refere à participação nos processos e operações unitárias de tratamentos de efluentes líquidos domésticos e industriais.

2.1. DESTRUIÇÃO E INATIVAÇÃO DE BACTÉRIAS, CISTOS E VÍRUS

Os organismos patogênicos que podem estar presentes nos esgotos domésticos são basicamente os seguintes: (9, 10, 11, 12).

vírio cholera; bactérias da febre tifóide e paratífóide (salmonella); bactéria desintérica (Shigella); bactéria da disenteria amebiana (Endamoeba histolytica); bactéria da tuberculose (Mycobacterium tuberculosis); vermes (Helmintos, Ascaris e Schistosoma) e possivelmente bactéria formadora de esporos (Bacillus anthracis); vírus responsáveis pela poliomielite paralisante, meningite ascéptica e perturbações gastrointestinais (Poliovírus); vírus da hepatite infecciosa; vírus responsáveis por meningite ascéptica, pleurodinia e miocardite e diarreias infantis (Cocksackie vírus), vírus causadores de meningite ascéptica e doenças respiratórias (Echovírus); vírus causadores de pneumonias atípicas, crupe, bronquites, resfriados e gripes (Adenovírus e Reovírus).

A literatura técnica é bastante ampla no que se refere à inativação ou destruição de bactérias e cistos através da aplicação de cloro (9,10, 13, 14, 15, 16). A tecnologia da cloração visando a destruição de vírus também já está bastante desenvolvida (17, 18, 19, 20, 21). Culp (22), por exemplo, especifica as quatro condições fundamentais para que se obtenha remoção ou inativação de vírus através da cloração:

- A turbidez da água deve ser menor do que 1,0 UJT (preferivelmente menor que 0,1 UJT);
- O pH da água deve estar em torno de 7,5 para águas que contenham amônia ou menor que 7,0 para águas sem amônia;
- Deve-se proporcionar uma mistura rápida e dispersão uniforme entre o cloro e a água;
- Deve ser mantida uma concentração de 0,5 a 1,0 mg/l de ácido hipocloroso (HOCl) na água a ser tratada por um período de contato de pelo menos 30 minutos.

2.2. OXIDAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA E REMOÇÃO DE DBO

A técnica de utilizar cloro para remoção da demanda bioquímica de oxigênio vem sendo utilizada desde a década de 20. Estudos efetuados em 1929 e 1933 (23,24) descrevem níveis de remoção de até 40% da DBO₅ como resultado da aplicação de cloro.

Embora haja na literatura uma referência (25) cuja conclusão é: "dentro dos limites de precisão em que a pesquisa se desenvolveu não ocorreu a redução de DBO por ação de cloro", estudos mais recentes (1, 5, 26, 27) demonstram que, verdadeiramente, não só ocorre uma remoção aparente (isto é devido à ação tóxica do cloro sobre as bactérias, reduzindo a demanda), mas também real da DBO.

Esta remoção real é da ordem de 2 ppm de DBO por ppm de cloro absorvido pela matéria orgânica presente nos esgotos.

Além dos efeitos benéficos anteriormente relacionados, essa remoção da DBO pode ser de grande importância econômica no dimensionamento dos sistemas de tratamento biológico (quando aplicada a esgotos brutos), ou na melhoria dos corpos de água receptores, no que concerne à depleção do oxigênio, exercida pela DBO dos esgotos tratados (quando aplicada a efluentes de ERQs).

2.3. OXIDAÇÃO DE COMPOSTOS QUE PROVOCAM ODORES

Segundo White (21) "Se os esforços combinados de projetistas e

operadores de um sistema de coleta e tratamento de esgotos resultarem em odores desagradáveis, o público considerará o projeto um completo fracasso. Não existe, provavelmente, nenhum outro tipo de processo no qual os odores sejam utilizados tão rapidamente pelo público em geral, para medir sucesso ou fracasso. Não importa se o processo produz um efluente que atende aos requisitos mais severos de qualidade. O importante é que nenhum odor objetável seja emitido."

As substâncias que causam odor nos esgotos podem ser classificadas como orgânicas e inorgânicas (27). Os gases inorgânicos são provocados unicamente por atividade biológica nos sistemas de coleta ou nas estações de tratamento e incluem sulfeto de hidrogênio (H₂S), amônia (NH₃), nitrogênio (N₂), oxigênio (O₂) e hidrogênio (H₂). Desses, apenas os dois primeiros apresentam problemas de odores, sendo os demais inodoros.

Os gases orgânicos, embora possam ser provocados por compostos químicos, gerados em atividades industriais, são geralmente oriundos da decomposição anaeróbia de compostos contendo nitrogênio e enxofre.

Nessas condições, podem ser produzidos ácidos graxos voláteis, mercaptanas, indol, escatol, leucina, tirosina, etc. . .

A TABELA n.º 1, a seguir, apresenta uma relação de compostos que podem estar presentes em esgotos domésticos associados à sua concentração limite (diluição máxima no ar, que ainda permite a detecção do odor).

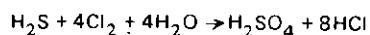
TABELA 1
Substâncias causadoras de odores em esgotos, suas características e concentrações-limite (28)

SUBSTÂNCIA	FÓRMULA	CONCENTRAÇÃO LIMITE (mg/l)	CARACTERÍSTICAS DO ODO
ALIL MERCAPTANA	CH ₂ .CH.CH ₂ .SH	0,00005	Odor de Alho, Muito Desagradável
AMÔNIA	NH ₃	0,037	Odor Agudo, Pungente
BENZIL MERCAPTANA	C ₆ H ₅ CH ₂ .SH	0,00019	Odor Desagradável
CLORO	Cl ₂	0,010	Odor Irritante, Pungente
CLOROFENOL	Cl.C ₆ H ₄ .OH	0,00018	Odor Medicinal
CROFIL MERCAPTANA	CH ₃ .CH:CH.CH ₂ .SH	0,000029	Odor de "Gambá"
DIFENIL SULFETO	(C ₆ H ₅) ₂ S	0,000048	Odor Desagradável
ETIL MERCAPTANA	CH ₃ .CH ₂ .SH	0,00019	Odor de Repolho Podre
ETIL SULFETO	(C ₂ H ₅) ₂ S	0,00025	Odor Nauseante
SULFETO DE HIDROGÊNIO	H ₂ S	0,0011	Odor de Ovos Podres
METIL MERCAPTANA	CH ₃ .SH	0,0011	Odor de Repolho Podre
METIL SULFETO	(CH ₃) ₂ S	0,0011	Odor de Vegetais Podres
PIRIDINA	C ₅ H ₅ N	0,0037	Odor Desagradável, Irritante
ESCATOL	C ₉ H ₉ N	0,0012	Odor Fecal, Nauseante
DIOXÍDO DE ENXOFRE	SO ₂	0,009	Odor Irritante, Pungente
TIOCRESOL	CH ₃ .C ₆ H ₄ .SH	0,0001	Odor Rançoso, de Gambá
TIOCRENOL	C ₆ .H ₅ .SH	0,000062	Odor Pútrico, Nauseante

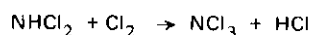
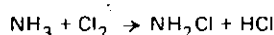
A prática de aplicação de compostos químicos clorados para controle de odores em esgotos vem sendo utilizada desde 1911 (29) e o seu uso tornou-se tão disseminado que White (21) considera a aplicação de cloro para este fim tão importante como para a desinfecção.

Na condição de agente fortemente oxidante, o cloro reage rapidamente com diversos compostos existentes nos esgotos. As reações mais importantes do cloro com compostos causadores de odores são as seguintes:

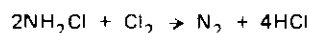
Com o sulfeto de hidrogênio



Com a amônia



Se houver excesso de cloro, as monocloramíneas se decompõem, ocorrendo a formação de gás nitrogênio (denitrificação química).

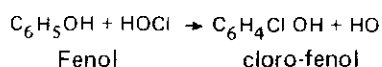


O cloro reage também com diversos agentes redutores inorgânicos. Ferro, na forma ferrosa (Fe^{+2}), é oxidado à forma férrica (Fe^{+3}) e manganês, na forma manganosa (Mn^{+2}), é oxidado para a forma mangânica (Mn^{+4}).

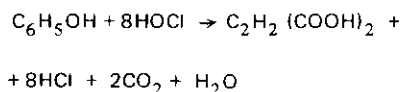
A reação de cloro ocorre, simultaneamente, com os compostos orgânicos presentes.

Eventualmente, a reação de cloro com alguns compostos orgânicos pode vir a gerar compostos orgânicos que produzem cheiros desagradáveis. Nesse sentido, uma das maiores críticas à aplicação de cloro é a sua utilização em resíduos que contenham fenóis.

Nesse caso, a reação que ocorre permite a formação de clorofenol, cujo odor é extremamente desagradável, mesmo a concentrações muito baixas (odor-limite à concentração de 0,00018 mg/l, mesmo a concentrações muito baixas (odor-limite à concentração de 0,00018 mg/l, conforme mostrado na TABELA n.º 1).



Entretanto, se a dosagem de cloro aplicada for elevada, ocorrerá uma ruptura no anel benzênico, dando origem a uma cadeia linear que não produz odores desagradáveis.



Do ponto de vista de remoção de odores desagradáveis, a mais efetiva e eficiente atuação do cloro é o efeito de inibidor do crescimento bacteriano (mesmo em quantidades muito baixas e insuficientes para atender à demanda), principalmente das bactérias redutoras de enxofre.

2.4. PREVENÇÃO DA CORROSÃO EM CONDUTOS DE ESGOTOS

Em condutos de esgotos, escoando por gravidade, a velocidades relativamente baixas, ocorre a formação de lodos e limos junto às paredes das partes submersas dos condutos. Quando condições anaeróbias prevalecem nesses limos, ocorre a formação bioquímica de H_2S nos condutos, por ação das bactérias redutoras de sulfato (vibrio desulfurican, Spirillum desulphurican e Microspira aestaurii) (30,31).

As condições ideais para o crescimento de bactérias redutoras são evidentemente aquelas que propiciam potenciais Redox bem baixos, isto é, com alta concentração de redutores (em torno de -200 a -300 mv), temperaturas elevadas (ótimas em torno de 38°C) e pH entre 7,5 e 8,0 (32).

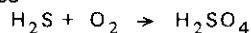
Após a redução dos sulfatos presentes, e formado o H_2S , este se ioniza na água apresentando as seguintes formas:



Como se nota pelas equações acima, aqui também o pH tem uma influência preponderante na formação de H_2S . Uma redução do pH (isto é, um aumento na concentração de íons hidrogênio) provoca um aumento da concentração de H_2S e vice-versa. Essa condição é de extrema importância, uma vez que apenas o gás H_2S é capaz de deixar a fase líquida, passando para a parte livre dos condutos.

Além dos problemas de odores intoleráveis que acarreta, o H_2S apresenta as seguintes características:

- Na parte livre dos condutos, na presença de umidade e sob a ação de bactérias do gênero Thiobacillus, é rapidamente oxidado a ácido sulfúrico



- Este ácido ataca cimento, concreto, ferro e aço causando séria corrosão nas tubulações, nas tampas dos poços de visita, estribos de escadas de marinho, etc.

- É um gás altamente venenoso que tem causado a morte de grande número de operadores de sistemas de coleta. A morte pode ocorrer após poucos minutos de exposição em concentrações tão baixas como 2.000 ppm, por volume, na atmosfera (21).

- É explosivo a uma concentração de 4,3%, por volume, na atmosfera.

De uma maneira genérica, qualquer composto químico, que forneça uma fonte preferencial de oxigênio para as bactérias redutoras de sulfato ou que converta H_2S livre em um composto não volátil, pode ser utilizada para o controle de sulfetos (33).

Três categorias básicas de controle podem ser consideradas:

- Preventiva
Através da inibição do crescimento das bactérias redutoras de sulfato ou da provisão de uma fonte de oxigênio que seja preferencialmente utilizada por essas bactérias.

- Curativa
Através da oxidação química ou destruição do sulfeto.

- Supressiva
Conversão do sulfeto em um forma não volátil (precipitação ou ionização).

A ação do cloro é preventiva, uma vez que sendo um poderoso agente oxidante provoca um aumento no potencial de oxidação redução, inibindo o desenvolvimento bacteriano.

É também curativa, uma vez que provoca uma rápida oxidação do sulfeto, não permitindo que o mesmo abandone a fase líquida.

3. EFEITOS POTENCIALMENTE DETRIMENTAIS DA CLORAÇÃO

Com base nas pesquisas feitas em 1974, pela Lower Mississippi River Supply na "New Orleans Area Water Supply", demonstrando a existência de compostos halogenados após a cloração das águas coloridas do baixo Rio Mississippi, diversos estudos vêm sendo realizados procurando caracterizar tanto os efeitos sobre o meio ambiente aquático como os sobre a saúde pública, desses compostos, e também do próprio cloro.

3.1. TOXIDEZ DO CLORO SOBRE OS ECOSISTEMAS AQUÁTICOS

Resíduos de cloro, livres ou combinados, podem ser, sob certas condi-

ções, altamente tóxicos a peixes e à vida aquática de uma maneira geral.

Existe na literatura técnica uma quantidade considerável de estudos e pesquisas efetuadas tanto em laboratórios como "in situ", demonstrando que o cloro e os produtos de reação de cloro com esgotos são tóxicos, mesmo em concentrações muito baixas, a muitos tipos de organismos de água doce, salgada e de estuários.

É importante salientar que a toxicidade do cloro e seus compostos no meio aquático não é dependente da quantidade de cloro adicionada mas sim da concentração e da composição do cloro residual (livre ou combinado).

Esta toxicidade depende ainda de uma série de outros fatores ambientais, tais como presença de compostos orgânicos, pH, temperatura e tempo de contato.

Uma grande parte dos estudos de toxicidade encontrada na literatura, é relativa aos efeitos das descargas de águas de resfriamento de usinas térmicas que utilizam cloro para evitar a formação de condições sépticas e placas no lodo nas tubulações.

Os ensaios de toxicidade, de uma maneira geral, consideram dosagens contínuas ou intermitentes de cloro, uma vez que essas usinas têm esquemas variados de aplicação de cloro. Em cinco usinas da Pacific Gas and Electric Company, estudadas na Califórnia, as quais lançam suas águas de resfriamento em água doce (Rio Sacramento), estuário (Baía de São Francisco) e costa da Califórnia (Oceano Pacífico), a aplicação de cloro era feita desde uma vez por semana até quatro vezes por dia e com duração da aplicação variando entre 15 a 40 minutos. As dosagens aplicadas era suficientes para manter 0,5 mg/l de cloro na entrada dos condensadores (35). Esse trabalho demonstrou uma considerável toxicidade, tanto crônica como aguda aos organismos existentes na área de estudo.

Diversos outros estudos podem ser relacionados, caracterizando a toxicidade dos efluentes clorados de usinas termoeletricas aos organismos do meio aquático e são apresentados a seguir:

- Efeitos sobre invertebrados em águas de estuário (36).
- Efeitos sobre o fitoplâncton marinho (37,38).
- Efeitos sobre peixes em estuários (39), mostrando que devido à diluição no rio considerado e à decomposição do cloro, não se constatou qualquer efeito sobre peixes e outros organismos aquáticos.

- Efeitos sobre peixes de água doce (40). Este trabalho também merece consideração à parte, uma vez que demonstra que os peixes tendem a evitar os locais de concentração significativa de cloro, porém retornando aos locais, uma vez que o efeito da dosagem intermitente é dissipado.

- Efeitos sobre peixes e invertebrados de água doce (41), relatando que nenhuma morte de peixes foi constatada como efeito da descarga de cloro, mas que pequenos invertebrados (lesmas) apresentaram sintomas de toxicidade na água sob a ação de cloro, ainda que em pequenas dosagens.

- Efeitos sobre larvas de peixes em estuários (White Perch ou Morone americana) (42).

- Efeitos sobre o fitoplâncton de água doce (Clorofila).

- Efeito de doses elevadas de cloro sobre o Peixe Mosquito (Mosquito Fish, *Gambusia affinis*) (44).

De toda a literatura analisada, não há dúvida de que o cloro possui uma toxicidade tanto aguda como crônica sobre os organismos aquáticos, de uma maneira geral. Entretanto, muitos aspectos deveriam ser investigados com mais cuidado. Entre esses, os efeitos dos choques térmicos provocados pela temperatura elevada das descargas, isoladamente e sinergeticamente com as concentrações de cloro consideradas (36). Um outro aspecto importante que não pode ser marginalizado são os efeitos de outros compostos e elementos que são comuns às águas de resfriamento. No trabalho de Dickson (41), é claramente explicitado que a toxicidade constatada em peixes de água doce não pode ser atribuída unicamente ao cloro, mas também ao cobre presente, atuando isoladamente ou sinergeticamente com o cloro.

Com relação à cloração de esgotos domésticos e industriais, a literatura técnica especializada também é bastante profícua, indicando que os resíduos líquidos clorados são significativamente tóxicos aos organismos aquáticos de uma maneira geral. Dentre os trabalhos mais importantes, foram selecionados os seguintes:

- Efeitos sobre peixes, fito e zooplâncton de estuários (3,45).
- Efeitos sobre peixes de água doce (46, 47, 48, 49).
- Efeitos sobre peixes e larvas de ostras em estuários (50,51).
- Efeitos mutagênicos em macroinvertebrados bentônicos (52). Esse é um trabalho de importância, uma vez que demonstra a exis-

tência de níveis baixos de atividade mutagênica em macroinvertebrados bentônicos no Sheep River em Alberta, Canadá, especialmente em lugares onde ocorria a descarga de esgotos clorados.

- Formação de Clorobifenis e Bifenilas Policloradas na desinfecção de efluentes secundários (53).

Para um estudo mais detalhado, que relaciona inclusive concentrações e os efeitos específicos nos organismos aquáticos, torna-se importante analisar os trabalhos de Mattice e Zihel (54) e de Irving e Solbe (55). Essas investigações apresentam uma análise crítica dos métodos utilizados para estabelecer a toxicidade do cloro e relacionam as diversas espécies aquáticas, concentrações de cloro utilizadas, tempos de contato e efeitos correspondentes, apresentados em todos os trabalhos publicados, até 1980.

3.2. EFEITOS SOBRE A SAÚDE DOS CONSUMIDORES DOS SISTEMAS PÚBLICOS ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Além dos efeitos sobre os ecossistemas aquáticos, é importante considerar também os efeitos dos produtos formados através da interação do cloro com compostos orgânicos, tanto na cloração de águas de abastecimento como na cloração de esgotos domésticos e industriais, que são lançados em corpos receptores que servem como mananciais para sistemas de abastecimento público de água.

Esses compostos denominados Trihalometanos, THMs (Triclorometano ou Clorofórmio, CHCl_3 ; Diclorobromometano, CHCl_2Br ; Dibromoclorometano, CHClBr_2 ; Tribromometano, CHBr_3) são formados através da ação do cloro sob compostos orgânicos sintéticos (oriundos da atividade industrial) ou naturais (ácidos húmicos, fúlvicos e himatomelânicos).

O clorofórmio, que é o THM de maior frequência em sistemas de abastecimento de água em todo o mundo, é considerado como carcinogênico a animais de testes entre os limites de 90 a 447 miligramas por quilo de peso (56).

Diversos outros estudos epidemiológicos desenvolvidos, associaram a cloração ou níveis elevados de THMs na água potável com riscos crescentes de câncer da bexiga, estômago, reto, intestino grosso, esôfago, seios pulmonares (57, 58).

Esses trabalhos levantaram a opinião pública e dos cientistas (59,60),

principalmente na Europa e Estados Unidos (59, 60), levando a EPA-Environmental Protection Agency, deste último país, a estabelecer um padrão de 0,1 mg/l de THMs na água potável, distribuída pelos sistemas públicos de abastecimento.

Entretanto, diversos estudos divulgados, incluindo um relatório da Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos (61), consideraram esses resultados como "tentativos", apresentando características meramente ecológicas e não relacionando os fatores sócio-demográficos e relativos ao comportamento individual, que são considerados associados aos riscos de câncer (62, 63).

A descoberta de novos tipos de compostos em sistemas de abastecimento de água parece haver se transformado em rotina, nos últimos anos. Ainda, recentemente, a Revista Science (Edição de 24/04/81, página 431) publicou que uma nova classe de compostos, os Dihaloacetoneitrilos (DHANS) foram caracterizados nas águas de abastecimento público nos Estados Unidos. Esses compostos, também considerados como oriundos da ação de cloro em aminoácidos e outros compostos orgânicos, foram preliminarmente considerados como mutagênicos e capazes de se decompor em clorofórmio.

É evidente que, à medida que as técnicas de detecção evoluírem, novos e cada vez mais exóticos compostos continuarão a ser caracterizados no meio aquático e em sistemas públicos de abastecimento de água.

Por outro lado, as operações e processos de tratamento e as técnicas de aplicação de cloro e seus compostos vêm sendo continuamente estudadas e pesquisadas, principalmente no que se refere à minimização da formação de compostos que possam ser prejudiciais aos ecossistemas aquáticos e aos usuários dos sistemas de distribuição de água potável (64).

Como será mostrado mais adiante, neste trabalho, a moderna metodologia de tratamento se encontra hoje bastante evoluída no sentido de minimizar os efeitos potencialmente detrimenais da cloração, tanto no que se refere a esgotos domésticos ou industriais como as águas de consumo humano.

4. CLORAÇÃO: EFEITOS BENÉFICOS VERSUS EFEITOS DETRIMENTAIS

Conforme relacionado na introdução deste trabalho, o papel da clora-

ção no controle das doenças de origens hídricas (através da desinfecção de água de distribuição e de esgotos domésticos e industriais) foi estabelecido durante várias décadas. Mesmo em tempos recentes, grandes surtos de cólera e febre tifóide poderiam ter sido evitados se uma cloração adequada pudesse vir a ser aplicada a tempo (65).

Na Segunda Conferência sobre Cloração de Água realizada em Glatinsburg, Tennessee, em 1977, patrocinada pela EPA — Departamento de Energia dos Estados Unidos e Laboratório Nacional de Oak Ridge — o Dr. J. Carrel Morris da Universidade de Harvard e Dr. Hind Gorchev da EPA, sumariando os trabalhos, concluíram que "a desinfecção da água potável, incluindo cloração, é possível em uma larga escala de dosagens, com riscos muito baixos de doenças, tanto infecciosas como crônicas" e que "o cloro continuará a ser o principal desinfetante para água potável" (66).

A própria Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos, no seu relatório de 1977 sobre Água Potável e Saúde (67), relata:

"Demonstration that a pollutant is carcinogenic, and application of nonthreshold risk estimates of it, do not imply that its use must be prohibited. Such a proscription might itself give rise to even greater risks to health or other disadvantages. In some cases, a net risk must be estimated, and society must attempt to use the pollutant in such a way as to minimize risk and maximize benefit. Nowhere is this better illustrated than in the use of chlorination to disinfect water. Chlorination controls pathogenic organisms, but introduces Chloroform, which is carcinogenic in animal-test systems. Methods must be devised to minimize concentrations of Chloroform and Chlorinated hydrocarbons, from whatever source in drinking water. But before alternative methods for control of pathogenic organisms are instituted, toxicological studies must show that they are as effective as, and pose no greater risk than Chlorination. We perceive that society is willing to accept some risks to health if the attendant benefits are demonstrably greater".

Creemos que as mesmas considerações poderão ser extrapoladas para a desinfecção de esgotos domésticos e industriais, tanto no que concerne aos impactos do cloro sobre os ecos-

sistemas aquáticos como sobre a saúde pública dos consumidores que se utilizem de águas oriundas de mananciais que recebem esses efluentes.

5. USOS ATUAIS E POTENCIAIS DO CLORO E TECNOLOGIAS CORRELATAS PARA MELHORIA E PRESERVAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS E PROTEÇÃO DA SAÚDE PÚBLICA

Face aos problemas ambientais e de saúde pública considerados e às regulamentações existentes em diversos países desenvolvidos e que, certamente, virão a se estabelecer em futuro próximo no Brasil, a tecnologia da cloração deverá obrigatoriamente ser orientada para duas finalidades fundamentais:

a) Atendimento dos objetivos específicos pretendidos, no que concerne à remoção de compostos patogênicos, remoção de odores, remoção da DBO, controle de sulfetos, etc., através da maximização da relação benefício/custo.

b) Minimização dos impactos ambientais e sobre a saúde pública através da utilização da melhor tecnologia disponível no que concerne à geração de compostos potencialmente tóxicos ou carcinogênicos.

Nesse sentido, serão abordados os usos mais significativos do cloro associados às tecnologias correlatadas, visando ao atendimento dos objetivos acima relacionados. Esses princípios e normas deverão posteriormente ser estendidos e transformados em um manual de operação a fim de que as entidades que operam sistemas de cloração possam fazer o melhor uso deles, visando também ao atendimento das duas finalidades fundamentais acima relacionadas.

5.1. CLORAÇÃO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS

A Portaria/GM/Nº 0013, de 15 de janeiro de 1976, do Ministério de Minas e Energia, que classifica as águas interiores do Território Nacional, estabelece que às águas de Classe 2 (destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional; à irrigação de hortaliças ou plantas frutíferas; à recreação de contato primário) "não poderá exceder um limite de 1.000 coliformes fecais por 100 ml . . .".

As águas de Classe 3 (destinadas ao abastecimento doméstico, após

tratamento convencional, à preservação de peixes em geral e de outros elementos da fauna e da flora; à dessedentação de animais) o "número de coliformes fecais não poderá exceder 4.000 por 100 ml . . .".

Para as águas da Classe 4 (destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento avançado; à navegação; à harmonia paisagística; ao abastecimento industrial; à irrigação e a usos menos exigentes), não foi fixado um limite de coliformes, embora seja estabelecido que, se essas águas possuíssem (índices de coliformes superiores aos da Classe 3, elas somente poderão ser utilizadas para abastecimento público se métodos especiais de tratamento forem empregados, a fim de garantir a sua potabilização.

Como as águas de Classes, 2, 3 e 4 podem receber efluentes tratados, não há dúvidas de que, dependendo das características dos esgotos considerados e das condições de diluição prevalentes, ocorrerá a necessidade de desinfecção para a manutenção dos parâmetros de qualidades estabelecidas na Portaria referida.

Como no Brasil não há restrições legais com relação à cloração de efluentes, não ocorrerão problemas associados à manutenção dos índices de coliformes relacionados para cada classe de água.

Nos Estados Unidos, porém, o problema parece ser de solução mais difícil face às restrições que vêm sendo estabelecidas ultimamente.

O Federal Water Pollution Control Act (FWPCA) aprovado pelo Congresso Americano em outubro de 1972, visando "restaurar e manter a integridade física, química e biológica das águas da nação americana", estabelece que o nível mínimo de tratamento necessário para atingir tal objetivo é o de nível secundário (68).

O "Secondary Treatment Information Regulation" foi promulgado pela EPA em agosto de 1973 recebendo o Número 133 do Título 40 do "Code of Federal Regulations" (40 CFR 133) e incluiu na definição de tratamento secundário: limites de DBO, Sólidos Suspensos, pH e coliformes fecais.

O estabelecimento do parâmetro coliformes fecais exigia a implantação de sistemas separados de desinfecção em adição aos outros processos biológicos ou físico-químicos necessários para remoção da DBO e Sólidos Suspensos.

Posteriormente, em julho de 1976, face aos problemas relacionados aos efeitos tóxicos do cloro e seus compostos, o "Secondary Treatment Informa-

tion Regulation" foi reformulado, eliminando-se a exigência relativa a coliformes fecais.

Entretanto, embora se tenha restringido a desinfecção, os padrões federais, relativos à qualidade das águas, se mantiveram inalterados, o que vem provocando problemas sérios para a obediência das leis estaduais que em muitos Estados Americanos são bastante rígidas, em termos de coliformes.

Para contornar o problema, a EPA estabeleceu a política de "determinar, caso por caso, a necessidade de desinfecção dos esgotos, com base nos seus efeitos sobre os corpos receptores e os usos correspondentes" (69).

No Brasil, a prática de desinfecção de esgotos domésticos ou industriais é ainda pouco utilizada. Mesmo adotando-se o critério de se estudar "caso por caso" a fim de auferir os inestimáveis benefícios da desinfecção, sem os prejuízos potenciais inerentes ao ambiente aquático, ter-se-á, ainda, um grande trabalho a realizar.

Uma grande parte dos esgotos que são lançados através de grandes emissários em corpos de água, alguns urbanos, que a pequena distância não sejam utilizados como mananciais para abastecimento público, e cuja vida aquática já não mais existe, teriam uma grande parcela de seus efeitos poluentes minimizadas, com uma desinfecção adequada.

Essa possibilidade inclui os emissários submarinos existentes e os planejados (Guarujá, Praia Grande e Itanhaém, para citar os do Estado de São Paulo), uma vez que os níveis de diluição estabelecidos no mar não provocam, provavelmente, efeitos negativos sobre as comunidades marinhas (70).

Há ainda outro aspecto importante a considerar no que tange à desinfecção pelo cloro.

A tecnologia atual se desenvolveu a nível de permitir uma grande segurança com relação, tanto ao controle das dosagens utilizadas (evitando que excessos de cloro desnecessários atuem sobre os organismos aquáticos) com na limitação da formação de compostos secundários potencialmente tóxicos.

Os aspectos técnicos a serem considerados nos projetos são basicamente os seguintes:

a) Estudo do fator Ro (Produto entre a dosagem de cloro e o tempo de contato) permitindo variar qualquer um dos parâmetros visando a manutenção de um residual final, não prejudicial ao corpo receptor (3,71).

b) Escolha de um reator apropriado para a desinfecção (72, 73) (compartimentação adequada ou reatores do tipo "plug-flow").

c) Intensidade de mistura e escalas de turbulência apropriadas (74, 75, 76, 77).

d) pH ideal para a dissociação do Cl_2 em porcentagens maiores de HOCl (78).

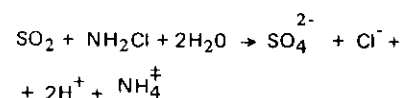
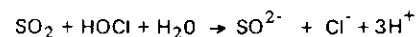
Um modelo matemático, denominado CHLOR I, foi desenvolvido pela Utah State University sob o patrocínio da EPA para otimizar a cloração de efluentes secundários (68). Esse modelo é bastante útil para projetos de sistemas de desinfecção com cloro, pois inter-relaciona os seguintes parâmetros: densidade de coliformes, cloro residual, tempo de contato, temperatura, concentração de sulfetos, demanda química de oxigênio e sólidos suspensos.

Um outro modelo matemático, desenvolvido por Tikhe (79), também é muito útil para o projeto de sistemas de desinfecção de água e de esgotos domésticos, utilizando cloro.

No que se refere à cloração intermitente (usada em certos lugares para proteger os corpos receptores e de uso normal na desinfecção de águas de resfriamento), os estudos desenvolvidos por Hostgaard-Jensen na Dinamarca (80) levam a sugerir que, devido aos efeitos catalíticos da radiação ultra-violeta na degradação do cloro e seus compostos, em um meio aquático, é recomendável que a aplicação de cloro seja efetuada no período diurno, de maior insolação.

Um outro aspecto que deve ser considerado com relação à proteção dos recursos hídricos naturais que recebem efluentes clorados é o que se relaciona com a prática em expansão da descloração de efluentes, após os tempos de contato preestabelecidos.

A tecnologia da utilização de dióxido de enxofre (SO_2) para a remoção de cloro já está firmemente estabelecida. Este composto é rapidamente dissolvido na água, formando ácido sulfuroso (H_2SO_3) que reage instantaneamente com os residuais livres e combinados de cloro (1), segundo as seguintes reações:



As reações indicam a formação de pequenas quantidades de ácidos clorídrico e sulfúrico, os quais são rapida-

mente neutralizados pela alcalinidade presente nos esgotos.

O mais importante efeito da descloração é a eliminação da maior parte da toxidez eventualmente introduzida durante a aplicação de cloro (1,3,5, 49).

A descloração pode também ser efetuada em leitos de carvão ativado granular (81).

5.2. CLORAÇÃO DE CORPOS DE ÁGUA POLUÍDOS

São conhecidos os graves inconvenientes de rios, lagos e outras massas de água sujeitas à intensa poluição, principalmente com a presença de matéria orgânica, bactérias, vírus e parasitas.

Essas situações ocorrem freqüentemente quando grandes volumes de água de esgoto são vertidas em corpos de água de reduzida capacidade de diluição.

A deficiência de Oxigênio, nesses casos, e a presença de organismos patogênicos põem em risco a saúde da população residente nas proximidades e também das pessoas que entram em contato com as águas. Por outro lado, em condições anaeróbicas, poderá ocorrer a formação e desprendimento de gases corrosivos e de mau cheiro que molestam sobremaneira a população.

Em situações como a descrita, já tem sido feita a aplicação de Cloro, com o propósito de oxidar a matéria orgânica, reduzindo a DBO e provocando a conseqüente elevação do OD, inativar os organismos perigosos e controlar odores desagradáveis.

A tecnologia moderna de cloração de corpos naturais de água requer uma série de cuidados que compreendem:

- Determinação da demanda de Cloro, sua variação e determinação das quantidades a aplicar.
- Escolha do ponto ou dos pontos onde será feita a aplicação de Cloro.
- Projeto do sistema de difusão.
- Estudo das condições de dispersão e de mistura.
- Estudo das condições a jusante.
- Condições de controle e de avaliação dos efeitos e resultados.

Para que isso seja possível é necessário, preliminarmente, analisar as condições do corpo de água a ser beneficiado, tendo-se em consideração as suas características físicas, químicas, bioquímicas e hidrológicas.

A quantidade de Cloro a ser aplicada depende da demanda química e bioquímica por esse elemento (característica variável das águas). Essa de-

manda pode ser facilmente determinada em laboratório, ou no próprio campo, através de testes padronizados. De um modo geral e preliminar, estima-se que a demanda esteja compreendida entre 1 e 8 mg/litro (86,4 a 691,2 kg/dia para cada m³/s da corrente líquida).

A escolha do ponto de aplicação depende de aspectos topológicos, de vizinhança, de profundidade e agitação das águas, de pontos de utilização ou retirada de água, etc.

O Cloro deve ser aplicado sob a forma de solução concentrada, comumente da ordem de 3.500 ppm, através de canalizações perfuradas, adequadamente dispostas e fixas no fundo do leito.

Deve-se avaliar as condições de mistura levando-se em conta os efeitos de jatos, a velocidade das águas e as condições naturais de mistura a jusante.

A homogeneidade e a persistência de residuais são determinadas em seções estabelecidas a jusante.

Os benefícios trazidos pela aplicação de Cloro podem ser avaliados mediante análises para determinação de Coliformes e DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio). Essas determinações não medem, entretanto, uma série de benefícios "intangíveis", tais como a redução de odores desagradáveis.

5.3. CLORAÇÃO DE CANAIS ARTIFICIAIS (DE DRENAGEM)

Os canais de drenagem, construídos para realizar o rebaixamento do lençol de água e o dessecamento de terrenos alagadiços, são feitos com o propósito de recuperação de terras para aproveitamento urbano ou agrícola.

Exemplo típico é o dos canais de Santos e São Vicente concebidos pelo ilustre engenheiro Saturnino de Brito, no início do século. Naquela ocasião, Santos era considerada uma cidade inóspita com tantas enfermidades que chegaram a prejudicar o comércio exterior do Brasil.

Esses canais foram projetados com comportas a jusante para permitir condições de autolimpeza. Atualmente, ao que parece, foi abandonada a operação das comportas.

Os canais recebem a descarga de drenos e de galerias de águas pluviais, as quais, por sua vez, recebem efluentes de esgotos através de ligações clandestinas e também de extravasões de fossas em vias públicas desprovidas de redes sanitárias.

Em conseqüência disso, as águas

nesses canais geralmente apresentam elevados índices de contaminação, passando a poluir as praias nas suas desembocaduras no oceano.

Já há algum tempo o Governo do Estado, através dos órgãos de Saneamento, realizou campanhas de cloração das águas dos canais, não existindo, porém, dados publicados a respeito daquelas aplicações.

Como o Governo Estadual, através da SABESP, concluiu e pôs em operação um moderno sistema de disposição oceânica dos efluentes das redes de esgotos de Santos e São Vicente, eliminando praticamente a contaminação das praias por esses efluentes, justifica-se o retorno à questão da desinfecção dos canais, como medida complementar, para melhoria de qualidade das praias.

5.4. CLORAÇÃO EM CONDUTOS DE ESGOTOS VISANDO O CONTROLE DA FORMAÇÃO DE SULFETOS

As linhas coletoras, interceptores e emissários constituem uma porcentagem significativa dos sistemas de coleta e tratamento de esgotos urbanos. Porém, enquanto as unidades de tratamento são acessíveis para manutenção, permitindo controlar a corrosão, os coletores permanecem enterrados, podendo ser precariamente inspecionados.

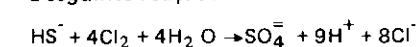
Embora a corrosão seja minimizada em coletores curtos ou onde a velocidade de escoamento é elevada, geralmente ocorre a formação de sulfeto de hidrogênio que, mesmo em quantidades muito pequenas (em torno de 1,0 mg/l) (82,83), pode causar problemas sérios às instalações, conforme descrito no início deste trabalho.

A utilização de cloro é o mais antigo e o mais conhecido processo químico de controle de sulfetos em canalizações de esgotos (84).

Para esta finalidade, o cloro pode ser aplicado diretamente em coletores, em estações elevatórias ou na entrada das estações de tratamento de esgotos.

O cloro reage não apenas com o sulfeto mas também com as mercaptanas.

Se um excesso de cloro é adicionado a um esgoto contendo sulfeto, este é oxidado a sulfato, conforme a seguinte reação:



Esta reação mostra que são necessárias, 8,87 partes em peso de cloro para cada parte de sulfeto.

Como o cloro reage também com outros constituintes presentes nos esgotos, são necessárias de 10 a 15 partes de cloro para a conversão a sulfato.

O uso eficiente de cloro requer uma mistura rápida e completa com os esgotos, como se exige para a desinfecção. O ideal seria dosar o cloro em uma pequena câmara com um tempo de detenção bem reduzido (alguns segundos apenas). Isso seria fácil de se obter em uma estação elevatória, instalando uma pequena caixa sob a boca de entrada dos esgotos, no poço de sucção. Com uma queda de aproximadamente 30 centímetros e a aplicação do cloro diretamente na caixa, ter-se-ia uma mistura eficiente (82).

Para a manutenção do cloro em coletores ou emissários muito longos, torna-se necessária a aplicação em diversos pontos, ao longo da linha.

A experiência em duas cidades australianas (85) mostrou que a dosagem inicial, a montante, deverá satisfazer totalmente à demanda de cloro do esgoto.

A cada intervalo de 1,5 a 3 quilômetros devem ser aplicadas outras doses de cloro, cada uma equivalente a um terço de dosagem inicial.

5.5. CLORAÇÃO CORRETIVA EM ERQs

Das aplicações de cloro como coadjuvante dos processos de tratamentos biológicos, convém salientar que o controle do entumescimento dos lodos ("bulking") em sistemas dos lodos ativados, controle de septicidade em adensadores de lodo e redução da carga orgânica de sobrenadantes de digestores são as que mais atraem a atenção dos projetistas e operadores.

A utilização de cloro em filtros biológicos vem decrescendo em função de suas novas características de projeto e construção. Devido aos novos materiais de enchimento, principalmente plásticos, disponíveis no mercado, já não há a ocorrência de entupimentos, como acontecia com os leitos de pedra britada. Por outro lado, as elevadas taxas hidráulicas atualmente utilizadas, principalmente nas chamadas torres biológicas, provocam uma contínua remoção das larvas de *Psychoda alternata*, não permitindo a proliferação dessas moscas.

Os usos mais significativos restringem-se portanto àqueles acima mencionados, os quais serão em seguida comentados resumidamente:

a) Controle de "Bulking"

A aplicação deve ser efetuada no lodo de retorno, na própria linha de recalque, num ponto onde se obtenha um tempo de contato entre 2 a 3 minutos antes da mistura do lodo com o esgoto afluente à câmara de aeração.

A dosagem deve ser determinada por tentativas e com muito cuidado para não causar problemas à cultura bacteriana presente no próprio lodo de retorno, ou à massa celular em atividade na câmara de aeração.

b) Controle de septicidade em adensadores de lodo.

O melhor ponto de aplicação de cloro é na tubulação de entrada de lodo no adensador.

A aplicação deve ser cuidadosamente monitorada, uma vez que dosagens excessivas de cloro poderão causar uma dispersão do lodo adensado, impedindo a sedimentação.

A manutenção de um residual total de cloro de 1,0 mg/l no sobrenadante é suficiente para manter o lodo em boas condições.

c) Sobrenadante de digestores

A demanda de cloro dos sobrenadantes de digestores pode atingir valores em torno de 300 a 500 mg/l.

São indicadas, entretanto, utilizações de dosagens entre 20 a 80 mg/l, com a finalidade única de reduzir uma parte da carga adicional provocada pelo retorno desses sobrenadantes.

Para se obter uma oxidação completa do sobrenadante, o que é utilizado em certas estações de tratamento americanas, a dose necessária pode atingir até 1.000 mg/l de cloro.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

1. No estado atual de desenvolvimento tecnológico, o cloro representa a melhor opção, tanto do ponto de vista técnico como econômico, para a desinfecção de águas de abastecimento e residuárias.
2. No estado atual de conhecimento dos efeitos ambientais da aplicação de cloro, há um consenso de que este elemento e seus compostos, principalmente quando aplicados em excesso, são tóxicos aos organismos integrantes dos ecossistemas aquáticos.
3. Os estudos de toxidez aguda e crônica desenvolvidos até o presente não são suficientes para

demonstrar que os compostos formados pela ação do cloro sobre componentes orgânicos, sintéticos ou naturais existentes nas águas de abastecimento ou residuárias (principalmente Trihalometanos) sejam causadores de câncer no homem.

4. A moderna tecnologia da aplicação de cloro foi desenvolvida no sentido de minimizar e, em alguns casos, de eliminar os efeitos tóxicos ambientais e de reduzir a formação dos compostos que possam ser causadores de problemas à saúde pública e particularmente aos usuários dos sistemas públicos de abastecimento de água.

5. Conforme demonstrado, neste trabalho, o cloro oferece inúmeras aplicações em engenharia sanitária, além daquelas relativas à desinfecção de águas de abastecimento e residuárias.

Os diversos e importantes usos do cloro, relacionados neste trabalho e que em muito contribuem para a redução de cargas orgânicas, melhoria de condições estéticas, preservação e manutenção de sistemas coletores e de tratamento, melhor eficiência das operações e processos unitários de estações recuperadoras de qualidade, etc., não são utilizados no Brasil, provavelmente por falta de conhecimento de projetistas e operadores de sistemas públicos e industriais.

Recomenda-se que esses estudos sejam consubstanciados em um manual de usos do cloro e divulgados para as entidades técnicas afins, tanto oficiais como privadas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SLETTEN, O. — Halogens and their role in disinfection. *Journal of the American Water Works Association*, 66(12): 690-692, Dec. 1974.
2. WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION — Chlorination of wastewater. Washington, DC, WPCF, 1976. 111 p. ilus. (Manual of practice, 4).
3. SELLECK, R. E. — Wastewater chlorination and induced toxicity. Presented at the Symposium on San Francisco Bay-Delta Water Quality, March 8, 1972.
4. CHAMBERS, C. W. — Chlorination for control of bacteria and viruses in treatment plant effluents. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 43 (2): 228-241, Feb. 1971.

5. SNOW, W. B. — Biochemical oxygen demand of chlorinated sewage. *Sewage Industrial Wastes*, 24 (4): 689-704, Apr. 1952.
6. HENRY, C. R. — Hydrogen sulfide in digester gas. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 33 (2): 136, Feb. 1961.
7. HESPANHOL, I. — Efeitos ambientais do programa nacional do álcool. *Energia*, 1 (5), dez. 1979.
8. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION — Water quality and treatment. 2 ed. New York, AWWA, 1950. 451p. ilus. tab.
9. GELDREICH, E. E. — Aspectos microbiológicos dos esgotos e dos seus processos de tratamento. In: *Desinfecção das águas*. São Paulo, Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, 1970.
10. ——— — Qualidade imicrobiológica de águas potáveis. In: *Desinfecção das águas*. São Paulo, Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, 1970.
11. COOKSON JR., J. T. — Virus and water supply. *Journal of the American Water Works Association*, 66 (12): 707-711, Dec. 1974.
12. McDERMOTT, J. H. — Virus problems and their relation to water supplies. *Journal of the American Water Works Association*, 66 (12): 693-698, Dec. 1974.
13. SELLECK, R. E. & SAUNIER, B. — Kinetics of bacterial deactivation with chlorine. *Transactions of the American Society of Civil Engineerin*, 144: 536, 1979.
14. TIKHE, M. L. — Optimal design of chlorination systems. *Transactions of the American Society of Civil Engineering*, 142: 502, 1977.
15. STRINGER, R. & KRUSE, C. W. — Amoebic cysticidal properties of halogens in water. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 138: 98, 1973.
16. KOTT, Y. — Chlorination dynamics in wastewater effluents. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 137: 828, 1972.
17. OLIVIERI, V. P. et al. — Inactivation of virus in sewage. *Journal of the Sanitary Engineering Divison*, ASCE, 97 (SA5): 661-675, oct. 1971.
18. VARMA, M. M. et al. — Inactivation of Sabin oral poliomyelitis type I virus. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 46 (5): 987-992, May 1974.
19. BOARDMAN, G. D. & SPROL, O. J. — Protection of viruses during disinfection by adsorption to particulate matter. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 49 (8): 1857-1861, Aug. 1977.
20. DRYDEN, F. D. et al. — Virus removal in advanced wastewater treatment systems. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 51 (8): 2098-2109, Aug. 1979.
21. WHITE, G. C. — Disinfection: the last line of defense for potable water. *Journal of the American Water Works Association*, 67 (8): 410-413, Aug. 1975.
22. CULP, R. L. — Breakpoint chlorination for virus inactivation. *Journal of the American Water Works Association*, 66 (12): 699-702, Dec. 1974.
23. BAITY, H.G. et al. — Reduction of the BOD of sewage by chlorination. *Journal of the Sewage Works*, 1: 279, 1929.
24. ——— — Some effects of sewage chlorination upon the receiving stream. *Journal of the Sewage Works*, 5: 429, 1933.
25. ZALOUM, R. & MURPHY, K. L. — Reduction of oxygen demand of treated wastewater by chlorination. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 46 (12): 2770-2777, Dec. 1974.
26. GRIFFIN, A. E. et al. — Exploring the effects of heavy dosages of chlorine. *Journal of the Sewage Works*, 17 (4): 730, July 1945.
27. WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION — Operation of wastewater treatment plants. Washington, DC, WPCF, 1976. 531p. (Manual of practice, 11).
28. DAGUE, R. R. — Fundamentals of odor control. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 44 (4): 583-594, Apr. 1972.
29. JONES, F. W. — What are offensive odors about a sewage works? *Journal of Sewage Works*, 4: 60, 1932.
30. HEUKELEKIAN, H. — Sewage chlorination for odor control. *Water Works & Sewerage*, 89: 302, 1942.
31. SANTRY JR., I. W. — Hydrogen sulfide in sewers. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 35: 1580, 1963.
32. PROMEROY, R. & BOWLUS, F.D. — Progress report on sulphide control research. *Journal of the Sewage Works*, 18: 597, 1946.
33. MURRAY, A. & SIMS, A. F. E. — The control of septicity by chemical methods. *s.n.t./*
34. BRUNGS, W.A. — Effects of residual chlorine on aquatic life. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 45 (10): 2180, Oct. 1973.
35. HERGOTT, S. et al. — Power plant cooling water chlorination in northern California. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 50 (11): 2590-2601, Nov. 1978.
36. McLEAN, R. I. — Chlorine and temperature stress on estuarine invertebrates. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 45 (5): 837-841, May 1973.
37. GOLDMAN, J. C. & DAVIDSON, J.A. — Physical model of marine phytoplankton chlorination at coastal power plants. *Environm. Science & Technology*, 11 (9): 908-913, Sep. 1977.
38. ——— & QUINBY, H. L. — Phyto plankton recovery after power plant entrainment. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 51 (7): 1916-1823, July 1979.
39. LEE, G. F. — Persistence of chlorine in cooling water from electric generation station. *Journal of the Environmental Engineering Division*, 105 (EE4): 757-773, Aug. 1977.
40. SCHUMACHER, P. D. & NEY, J.J. — Avoidance response of rainbow trout (*Salmo Gairdneri*) to single-dose chlorination in a power plant discharge canal. *Water Research*, 14: 651-655, 1980.
41. DICKSON, K.L. — Effects of intermittently chlorinated cooling tower blow-down on fish and invertebrates. *Environm. Science & Technology*, 8 (9): 845-849, Sep. 1974.
42. HALL, L. W. et al. — The effects of chlorine, elevated temperature and exposure duration of power plant effluents on larval with perch *Morone americana* (Gmelin). *Water Resources Bulletin*, AWWA, 15 (5): 1365-1373, Oct. 1979.
43. BROOKS, A. S. — The effect of intermittent chlorination on freshwater phytoplankton. *Water Research*, 13: 49-52, 1979.
44. KATZ, B. & COHEN, G. M. — Toxicities of "excessively" chlorinated organic compounds. *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology*, 15 (6): 644-650, 1976.
45. ESVELT, L. et al. — Toxicity assessment of treated municipal wastewaters. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 45 (7): 1558-1572, July 1973.
46. KATZ, B. M. — Chlorine dissipation and toxicity presence of nitrogenous compounds. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 49 (7): 1627-1635, July 1977.
47. WARD, R. W. & DeGRAEVE, G.M. — Residual toxicity of several disinfectants in domestic and industrial wastewaters. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 50 (12): 2703-2722, Dec. 1978.
48. ——— — Residual Toxicity of several disinfectants in domestic wastewaters. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 50 (1): 46-60, Jan. 1978.
49. ZILLICH, J. A. — Toxicity of combined chlorine residuals to freshwa-

- ter fish. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 44 (2): 212-220, Feb. 1972.
50. BELLANCA, M. A. & BAILEY, D. S. — Effects of chlorinated effluents on aquatic ecosystem in the lower James River. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 49 (4): 639-645, April 1977.
 51. INGOLS, R. S. — Chlorination of water — potable, possibly: wastewater, no! *Water & Sewage Works*, 122 (2): 82-83, Feb. 1975.
 52. MOORE, R. L. et al. — The mutagenic activity in a section of the sheep river, Alberta receiving a chlorinated sewage effluent. *Water Research*, 14: 917-920, 1980.
 53. GAFFNEY, P. E. — Chlorobiphenyls and PCB's: formation during chlorination. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 49 (53): 401-404, Mar. 1977.
 54. MATTICE, G. S. et al. — Site-specific evaluation of power plant chlorination. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 48 (10): Oct. 1976.
 55. IRVING, T. E. & SOLBÉ, J. F. de L. G. — Chlorination of sewage and effects of marine disposal of chlorinated sewage: a review of the literature. Medmenham, Water Research Centre, 1980, 54p.
 56. TUTHILL, R. W. & MOORE, G. S. — Drinking water chlorination: a practice unrelated to cancer mortality. *Journal of the American Water Works Association*, 72 (10): 570-573, Oct. 1980.
 57. PAGE, T. et al. — Drinking water and cancer mortality in Louisiana. *Science*, 193: 4247, 1945.
 58. CANTOR, K. P. et al. — Association of cancer mortality with halomethanes in drinking water. *Journal of the National Cancer Institute*, 61: 979.
 59. DALLAIRE, G. — Are cities doing enough to remove cancer-causing chemicals from drinking water? *Civil Engineering, ASCE*, 47 (9): 88-94, Sep. 1977.
 60. Bellar, T. A. et al. — The occurrence of organohalides in chlorinated drinking waters. *Journal of the American Water Works Association*, 66 (12): 703-706, Dec. 1974.
 61. Epidemiological studies of cancer frequency and certain organic constituents of drinking water — a review of recent literature. Washington, DC, Published and Unpublished NAS, 1978.
 62. PENDYGRAFT, G. W. et al. — Organics in drinking water: a health perspective. *Journal of the American Water Works Association*, 71 (3): 118-126, Mar. 1979.
 63. MARIENFELD, C. J. et al. — Cancer mortality and public drinking water in St. Louis city and county. *Journal of the American Water Works Associations*, 72 (11): 649-654, Nov. 1980.
 64. HESPANHOL, I. — Remoção de compostos orgânicos e águas de consumo humano. *Revista DAE*, 40 (123): 34-44, jan. 1980.
 65. PIECUCH, P. J. — The chlorination controversy. Editorial. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 46 (12): 2637, Dec. 1974.
 66. WIRKLEHAUS, C. — Chlorination: assessing its impact. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 46, Dec. 1977.
 67. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES — Drinking water and health. Washington, DC, 1977.
 68. HAIS, A. B. & VENOSA, A. D. — EPA overview of municipal wastewater disinfection. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 50(11): 2470-2476, Nov. 1978.
 69. ESTADOS UNIDOS: OFFICE OF THE FEDERAL REGISTER — Rules and regulations. Title 40 — Protection of environment Chap. 1 — Environmental Protection Agency, Subchap. D — Water programs, Part. 133 — Secondary treatment information. Federal Register, 41, 144, July 26, 1976.
 70. DEWLING, R. T. et al. — Effect of seasonal effluent chlorination on coliforms in Jamaica bay. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 42 (7): 1351-1361, Jul. 1970.
 71. KOTT, Y. — Chlorination dynamics in wastewater effluents. *Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE*, 97 (SA5): 647-659, Oct. 1971.
 72. HART, F. L. — Improved hydraulic performance of chlorine contact chambers. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 51 (12): 2868-2876, Dec. 1979.
 73. KOTHANDARAMAN, V. & EVANS, R. L. — Hydraulic model studies of chlorine contact tanks. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 44 (4): 625-633, Apr. 1972.
 74. LONGLEY, K. E. — Turbulence factors in chlorine disinfection on wastewater. *Water Research*, 12: 813-822, 1978.
 75. WHITE, G. C. — Disinfection practices in the San Francisco Bay area. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 46 (1): 89-101, Jan. 1974.
 76. KOTHANDARAMAN, V. et al. — Performance characteristics of chlorine contact tanks. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 45 (4): 611-619, April 1973.
 77. TRUSSEL, R. R. et al. — Rational design of chlorine contact facilities. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 49 (4): 659-667, Apr. 1977.
 78. KOKOROPOULOS, P. — Designing post-chlorination by chemical reactor approach. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 45 (10): 2155-2165, Oct. 1973.
 79. TIKHE, M. L. — Optimal desing of chlorination systems. *Journal of the Environmental Engineering Division*, 102 (EE5): 1019-1028, Oct. 1976.
 80. HOSTGAARD-JENSEN, P. et al. — Chlorine decay in cooling water and discharge into seawater. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 49 (8): 1833-1841, Aug. 1977.
 81. SUIDAN, M. T. & CROSS, W. H. — Extented dechlorination studies with granular activated carbon filters. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 52 (11): 2634-2646, Nov. 1980.
 82. PROCESS design manual for sulfide control in sanitary sewerage system. O. S. Environmental Protection Agency, Oct. 1973.
 83. MEYER, W. J. — Case study of prediction of sulfide generation and corrosion in sewers. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 52 (11): 2666-2674, Nov. 1980.
 84. POMEROY, R. D. — Problems of odors in the proposed Barueri sewage disposal system.
 85. THISTLETHWAYTE, D. K. B. — The control of sulphides in sewerage systems. Butterworths, 1972.