

OPÇÕES DE CONTROLE DE SUBPRODUTOS DA DESINFECÇÃO NA REGIÃO AQUÍFERA DO GRANDE VANCOUVER

Bruce W. Long
Engenheiro da Black & Veatch
Kansas City, Missouri 64114

Gary S. Logsdon
Engenheiro da Black & Veatch
Cincinnati, Ohio 45242

Douglas G. Neden
Região Aquífera do Grande Vancouver
Burnaby, British Columbia V5H 4G8

INTRODUÇÃO

A Região Aquífera do Grande Vancouver (GVWD) abastece 17 cidades que apresentam juntas uma população total de 1,6 milhão de habitantes. As três nascentes (águas superficiais) da GVWD estão localizadas nas Costas Montanhosas imediatamente ao norte do Grande Vancouver. A água é normalmente de alta qualidade sendo a desinfecção com cloro o único tratamento geralmente aplicado. O constante aumento do interesse sobre a qualidade da água da GVWD conduziram, em 1984, ao início de uma série de estudos que culminaram, em 1990, na adoção do Plano de Melhoria da Qualidade de Água (WQIP), reportado previamente (Neden, 1991).

O WQIP recomendou a realização de estudos na planta piloto, tendo como principais tópicos o potencial de desenvolvimento de doenças hídricas (giardiasis) e os níveis de turbidez que excedendo a 5 NTU poderiam reduzir a eficácia da desinfecção. Para controlar os cistos de *Giardia*, a desinfecção da água não filtrada que proporcione uma inativação de 3 logs (99,9%) dos cistos de *Giardia* foi considerada apropriada. Para tanto, seria necessária uma desinfecção adicional, se comparado com o que vinha sendo praticado.

A GVWD realizou os processos mais rigorosos de desinfecção, o que poderia acarretar altos níveis de subprodutos (DBPs) na água para ingestão oferecida aos consumidores. Com isso, foram planejados estudos sobre os DBPs. Estes estudos tiveram maior importância em abril de 1992 com a liberação do documento de conferência (Health and Welfare Canada, 1992), que propunha uma redução na Concentração Máxima Permitida (MAC) para trihalometanos de 0,350 mg/L para 0,050 mg/L.. Por esta razão, o principal aspecto relativo à avaliação da filtração na planta piloto foi a inclusão do teste para avaliar a formação de DBPs tanto na água filtrada como na não-filtrada.

A avaliação de algumas alternativas de desinfecção e seus respectivos efeitos sobre os subprodutos da desinfecção foi adotada com o objetivo de fornecer informações que poderiam ser empregadas caso o Canadian Guidelines fosse estendido para a inclusão de outros DBPs (além dos THMs) e se o MAC para THMs fosse reduzido de 0,350 mg/L.. Por causa da morte de peixes acarretada pelos testes de cloramina, foi necessária a realização de uma avaliação completa das propostas de desinfecção secundária (sistema

de distribuição), que irá auxiliar na avaliação do impacto ambiental gerado pela desinfecção secundária que é empreendida para a GVWD.

Este trabalho descreve os equipamentos da planta piloto e os procedimentos, além de apresentar o estudo e os resultados relativos a DBPs conduzidos de março a setembro.

PROGRAMA PILOTO DE TESTE

Recursos disponíveis

As plantas piloto têm a capacidade de 19L/min no Reservatório Capilano e 30L/min no Reservatório Seymour. Os esquemas de processo da planta piloto Capilano e planta piloto Seymour são apresentados nas Figuras 1 e 2, respectivamente. Os processos de tratamento foram similares para cada planta, consistindo em:

. Mistura e armazenamento de soluções químicas, bombas de alimentação química, e dois misturadores rápidos com velocidades variadas em série para adição sequenciada dos compostos químicos, se necessário. Aproximadamente meio minuto de tempo de retenção foi fornecido em cada reservatório de mistura rápida.

. Estabilizador, floculação em três estágios, cada estágio equipado com agitadores rotacionais com velocidades variadas e eixo vertical. O tempo total de retenção variou de aproximadamente 20 a 45 minutos.

. Sedimentação (opcional), utilizando uma unidade de decantação de prato inclinado.

. Ozonação com medidor de fluxo para a adição de ozônio e uma coluna para tempo de contato após a adição de ozônio. Ambas as plantas piloto foram operadas empregando uma pré-ozonação anterior à coagulação, quando o ozônio foi utilizado.

. A planta piloto Capilano tem dois filtros monomedia (1,5 m por 1,2 mm de tamanho efetivo [e.s.] antracite, e 1,5 m por 1,5 mm e.s. antracite) e um filtro dual media (duplo) (0,6 m por 1,3 mm e.s. antracite sobre 0,3 m por 0,60 mm e.s. areia). A planta piloto Seymour tem dois filtros monomedia (2,0 m por 1,2 mm e.s. antracite, e 2,0 m por 1,5 mm e.s. antracite) e dois filtros dual media (duplo) (0,6 m por 1,3 mm e.s. antracite sobre 0,3 m por 0,60 mm e.s. areia e 0,6 m por 1,0 mm e.s. antracite sobre 0,3 m por 0,45 mm e.s. areia). As taxas de filtração variam de 7 a 37 m/h (3 a 15 US gpm/sf).

A turbidez da água filtrada foi registrada a cada 15 minutos durante a primeira hora de funcionamento do filtro, permitindo aos operadores da planta piloto avaliar o primeiro período de funcionamento do filtro. Posteriormente, a turbidez da água foi registrada a cada hora durante o funcionamento do filtro.

Quando as plantas forem operadas para avaliar o desempenho do filtro em um modo direto de filtração, o tempo de funcionamento com eficiência varia de 20 a 30 horas, dependendo da turbidez da água (sem tratamento) e da taxa de filtração. O final do funcionamento do filtro é alcançado quando a turbidez filtrada ultrapassa 0,2 NTU ou excede 1 por cento da turbidez da água sem tratamento (às vezes quando a turbidez da água sem tratamento excede 20 NTU).

Nas plantas piloto, o pH foi medido eletricamente com soluções com pH 4 e pH 7. A turbidez foi medida por turbidímetros de fluxo contínuo Hach 1720 C e Turbidímetro Ratio modelo bancada, que foi calibrado pela assessoria da GVWD. O fluxo foi medido através de um medidor de fluxo magnético. As dosagens dos compostos químicos foram determinadas através da preparação destes compostos com concentrações conhecidas, determinação dos volumes de alimentação em períodos de tempo conhecidos e cálculo das concentrações resultantes da diluição do composto químico no volume de água sem tratamento processado no mesmo tempo. O ozônio foi medido através do método que utiliza trissulfonato indigo, empregando o colorímetro Hach e reagentes apropriados.

Testes de Subprodutos da Desinfecção (DBP) e Precursores de DBP

Os métodos descritos por Koch et al. (1991) foram usados para obter amostras de água para o teste SDS. Nas plantas piloto, as amostras foram coletadas em recipientes de 1 litro Wheaton com tampas de Teflon. Os recipientes são preenchidos até que não sobre espaço, e toma-se o cuidado durante o preenchimento de minimizar a turbulência, para evitar a perda de compostos voláteis. As amostras foram transportadas sob resfriamento, em refrigeradores, até a Universidade de Alberta, onde os testes de DBPs foram conduzidos. Os procedimentos empregados na Universidade de Alberta estão descritos em outro trabalho WQTC (Andrews e Huck, 1992). Os DBPs medidos na Universidade de Alberta foram THMs, hidrato de cloral (CH), cloreto de cianogênio (CNCl), ácido dicloroacético (DCAA) e ácido tricloroacético (TCAA). Os potenciais de formação do THM, DCAA e TCAA foram determinados para certas amostras.

Além dos testes realizados nos laboratórios da Universidade de Alberta, a medição da qualidade da água relativa a compostos orgânicos (TOC, coloração verdadeira e absorção UV_{254}) foi executada. Foi avaliada a remoção dos precursores de DBPs através de análises da água sem tratamento e água tratada no que diz respeito a coloração, absorção UV_{254} e carbono orgânico total (TOC). A avaliação de várias propostas de pré-tratamento e filtração para reduzir os compostos precursores teve início no inverno e continuou durante o verão de 1992. Se comparado com as análises de DBPs, a medição da coloração, UV e TOC em amostras de água não-tratada e tratada era relativamente de baixo custo; logo, mais amostras foram incluídas no programa de teste.

Os procedimentos de análise de TOC e coloração verdadeira seguiram os *Métodos Padrões*. Absorção UV_{254} foi medida pela filtração de cada amostra através de uma membrana 0,45 μ m e tamponamento da amostra a pH 7. A absorção foi medida em uma célula de 1 cm a 254 nm em um espectrofotômetro UV/VIS utilizando água deionizada/destilada como referência (ponto zero).

Programa de Teste de DBP

Os testes de formação de subprodutos da desinfecção sob as condições SDS foram realizados no começo de Maio, Julho e Setembro, 1992, após uma avaliação da comparabilidade do procedimento SDS e os dados de campo para THMs, que foi conduzida no final de Março. Os testes SDS foram conduzidos com o objetivo de se estimar a extensão na qual os subprodutos da desinfecção podem ser formados no sistema de distribuição como resultado de diversos tratamentos de desinfecção e filtração que poderiam ser utilizados no futuro. A formação de DBPs foi avaliada para uma acentuada desinfecção primária com cloro livre (suficiente para inativar 99,9% ou 3 log dos cistos de *Giardia*), seguida por uma desinfecção secundária e manutenção dos

resíduos de desinfetante no sistema de distribuição, utilizando cloro livre ou cloramina. É esperado que a filtração seja utilizada (no futuro) nos Reservatórios Seymour e Capilano; logo, a formação de DBPs em águas filtradas foi avaliada para estas fontes de água. Para o teste de DBP em águas filtradas, foram utilizados ozônio e cloro livre em filtros separados como desinfetantes primários, e cloro livre ou cloramina como desinfetantes secundários. Devido à necessidade de se elevar o pH da água tratada nas plantas GVWD para um valor entre 8,0 e 8,5 com o objetivo de se controlar a corrosão, foi utilizado o pH 8,25 para desinfecção secundária na maioria dos casos.

RESULTADOS

Modelo de Avaliação SDS

Testes preliminares de DBPs foram conduzidos com a cooperação da Universidade de Alberta, durante o mês de Março de 1992, para verificar se a formação de DBPs no sistema de distribuição simulado retratava o comportamento atual do sistema de distribuição. Os resultados dos testes apresentados na Tabela 1 indicam que a formação de THMs no sistema de distribuição GVWD estava corretamente modelada pelos testes laboratoriais SDS. As amostras utilizadas para a avaliação do modelo foram coletadas num período de 20 horas nos dias 25 e 26 de Março. Durante este período o clima estava seco, e não haviam razões para que a qualidade da água do Reservatório Seymour sofresse modificações. Acreditava-se que a condução do teste do modelo quando as condições da água e o clima estivessem estabilizados ajudaria reduzir a variação entre os resultados do sistema de distribuição e os resultados dos testes SDS. As condições dos testes SDS foram baseadas nas condições da qualidade da água observadas nas amostras do sistema de distribuição no momento da amostragem.

A boa relação entre os THMs do sistema de distribuição e a concentração de THMs nas amostras SDS era coerente com a literatura (Koch et al., 1991), indicando que as condições simuladas do sistema de distribuição poderiam ser empregadas para estimar a formação de subprodutos da desinfecção no sistema de distribuição.

Evidências indiretas adicionais foram obtidas na avaliação de DBP de Maio, na qual dados selecionados são apresentados na Tabela 2. Esta comparação pode ser feita porque as amostras SDS foram mantidas em pH 6,0 quando o cloro livre foi utilizado como desinfetante secundário, que foi similar ao pH do sistema de distribuição. O tempo de retenção do sistema de distribuição não foi definido com precisão para os dados de Maio, como ocorreu com a avaliação do modelo de Março; entretanto, quando os dados SDS para DCAA e TCAA são comparados com as concentrações de DCAA e TCAA que foram encontradas no sistema de distribuição no momento no qual se desenvolvia o programa de teste de DBP de Maio, os dados foram consistentes. Os resultados dos testes SDS para amostras com 1 hora para a água do Reservatório Capilano foram surpreendentemente baixos, quando comparados com os resultados de 1 hora de Seymour e Coquitlam; entretanto, as concentrações de DBPs na amostra do sistema de distribuição proveniente do Stanley Park (#10) foram inferiores aos valores do SDS 6 horas; assim, foi notada coerência nesta consideração. A comparação dos dados da Tabela 2 aumenta a confiança no que diz respeito à utilização do procedimento de teste de DBP SDS para estimar não somente os DBPs presentes no sistema de distribuição, mas também aqueles que poderão vir a serem formados caso hajam modificações no tratamento, tais como ajuste do pH no sistema de distribuição ou filtração da água.

Após a conclusão da checagem no modelo SDS (Fase 1), o restante do programa de teste de DBP foi conduzido no início de Maio, finais de Julho e Setembro. Em cada caso, as plantas piloto de Capilano e Seymour foram operadas sem e com ozônio, e foram obtidas amostras de água sem tratamento e água filtrada para serem expedidas para a Universidade de Alberta, para o teste SDS de DBP.

Teste de DBP, Fase 2

A Fase 2 dos Testes de DBP foram conduzidos nos dias 4 e 5 de Maio. Os dados relativos às condições de operação da planta e qualidade da água são apresentados na Tabela 3 para ambas as plantas piloto. As plantas estavam operando bem com filtração direta sem ozônio, mas a operação da filtração direta com ozônio não tinha sido aperfeiçoada, e neste momento o pré-tratamento com polímero catiônico e sem alumínio foi mais efetivo quando o ozônio era usado. Esta proposta de pré-tratamento não é efetiva para remoção de TOC, como indicado na Tabela 3. As condições para o teste SDS de Maio são fornecidas na Tabela 4.

Os resultados relativos ao teste SDS de DBP de Maio são fornecidos da Tabela 5 a 7. A Tabela 5 apresenta os dados relativos aos resíduos de DBPs e desinfetantes para água não-filtrada proveniente do Reservatório Coquitlam com desinfecção primária com cloro livre para alcançar o CT de 90, seguido por uma desinfecção secundária com cloro livre e cloramina. O uso de cloramina como desinfetante secundário resultou em baixas concentrações de subprodutos da desinfecção, quando comparadas com o emprego de cloro livre. Esta tendência foi geralmente observada nos resultados dos Reservatórios Seymour e Capilano. As concentrações de cloreto de cianogênio formadas foram pequenas, como indicado pelos resultados na Tabela 5.

Praticamente todos os trihalometanos estavam presentes como clorofórmio. Logo, os dados relativos aos potenciais de formação estão apresentados nas Tabelas 6 e 7 como a concentração de clorofórmio resultantes das condições THMFP. As concentrações iniciais de cloro livre para os potenciais de formação do clorofórmio variaram de 9 a 10 mg/L. Os resíduos ao final de 7 dias variaram de 4,5 e 6,0 mg/L. Estes resíduos foram consideravelmente superiores aos resíduos que poderiam ser usados no sistema de distribuição, mas os dados relativos ao potencial de formação de clorofórmio indicam uma maior faixa de concentrações de clorofórmio do que a que poderia ser observada no sistema de distribuição do Grande Vancouver, caso a recloração seja praticada para manter um resíduo livre em todas as partes do sistema.

Uma comparação entre os resultados dos testes da filtração direta precedida por ozônio com cloro livre sendo o desinfetante secundário e os resultados da filtração direta com cloro livre usado como desinfetante primário e secundário indica que o tratamento sem o emprego de ozônio era mais efetivo, ou mais ainda, prevenia a formação de DBPs. A filtração direta com o emprego de ozônio não havia sido aperfeiçoada em Maio; assim, os resultados de DBPs provavelmente poderiam ser melhores caso o tratamento com ozônio tivesse sido aperfeiçoado. Por esta razão, os resultados de Maio não deveriam ser considerados indicativos do efeito do ozônio com filtração direta.

Teste de DBP, Fase 3

A amostragem para a Fase 3 do Teste SDS para DBP foi completada entre 28 e 30 de Julho de 1992. O Teste para DBPs em Julho foi realizado sob condições um pouco

diferentes daquelas observadas no início de Maio. A Tabela 8 mostra que a temperatura da água sem tratamento foi superior e a concentração de TOC foi inferior à observada em Maio. O tratamento que emprega ozônio como desinfetante primário na Fase 3 utiliza alumínio como coagulante para otimizar a remoção de TOC. Este fato permite uma comparação válida entre os desinfetantes primários para amostras filtradas.

As condições de ocorrência da fase 3 são demonstradas nas Tabelas 9a e 9b. Quando o cloro livre é usado como desinfetante primário, o pH da água se altera para 6,0. Após a desinfecção primária, o pH da água é modificado para 8,25 para a desinfecção secundária, que é realizada através da utilização de cloro livre ou cloramina. Todas as amostras SDS provenientes da Fase 3 do estudo foram mantidas sob condições similares às do sistema de distribuição após o controle de corrosão e execução da desinfecção; logo, estes resultados podem ser muito convenientes no que diz respeito à prognósticos futuros das concentrações de DBP. O potencial de formação das amostras (THMFP, DCAA FP e TCAA FP) foram estabelecidos e analisados para fornecer dados sobre as concentrações máximas daqueles DBPs que podem ser encontradas no sistema de distribuição do Grande Vancouver caso o sistema de distribuição de água seja rechlorado com cloro livre, mantendo assim um nível de resíduos livres.

Para o tratamento da água não-filtrada, a desinfecção primária utilizando cloro livre foi dosada para fornecer um resíduo de 1,0 mg/L ao final de 60 minutos, quando a água desinfetada poderia entrar no sistema de distribuição. O valor de CT de 60 excedeu o CT para 3 log de inativação da *Giardia* a 18°C e pH 6. A desinfecção primária foi seguida por uma desinfecção secundária usando cloro livre ou cloramina. Os resultados para água não-filtrada do Reservatório de Coquitlam são demonstrados na Tabela 10. Quando a cloramina foi usada como desinfetante secundário, as concentrações SDS de DBP 48 horas depois foram substancialmente reduzidas quando comparadas com as concentrações de DBP quando o cloro foi usado como desinfetante secundário. A concentração de clorofórmio foi reduzida em aproximadamente 70%, de 85 para 24 µg/L, e a concentração de DCAA foi reduzida em mais de 40 por cento, de 30 para 17 µg/L.

Os resultados para cloração e cloraminação de água não-filtrada proveniente dos Reservatórios Seymour e Capilano são mostrados nas Tabelas 11 e 12 respectivamente. Quando amostras filtradas foram tratadas com cloro livre para desinfecção primária e cloro livre ou cloramina para desinfecção secundária, todas as concentrações SDS de DBP 48 horas depois foram inferiores a 10 µg/L com exceção do clorofórmio, que variou de 20 a 30 µg/L. A menor produção de DBP ocorreu quando utilizou-se ozônio para a desinfecção primária antes da filtração seguida por uma desinfecção secundária usando cloramina. Com tratamento usando este roteiro as concentrações SDS de DBP 48 horas depois foram inferiores a 5µg/L para DBPs individuais.

O tratamento com ozônio foi mais efetivo na Fase 3 do que na Fase 2, como indicado pela remoção de TOC. Assim, os resultados de DBPs para ozonação foram melhores em Julho do que em Maio. Os resultados de Julho indicaram que os DBPs SDS para a filtração direta com ozônio foram similares ou um pouco inferiores àqueles obtidos para filtração direta sem ozônio. Entretanto, existiu uma pequena diferença no potencial de formação para clorofórmio, DCAA ou TCAA, sendo ou não o ozônio usado antes da filtração.

Os potenciais de formação do clorofórmio para água filtrada foram iguais ou superiores a 50 µg/L quando cloro livre foi usado com desinfetante secundário, independente se ozônio ou cloro livre era utilizado como desinfetante primário.

Teste de DBP, Fase 4

As amostras para a Fase 4 dos testes SDS de DBPs foram coletadas entre 21 e 23 de Setembro de 2002. Os testes de DBPs de Setembro foram realizados sob condições similares às de Julho, exceto no que diz respeito aos níveis de TOC presentes na água sem tratamento do Reservatório Seymour, que foram superiores. A Tabela 13 contém os dados relativos à qualidade da água filtrada e sem tratamento e as condições de tratamento. A proposta de tratamento foi similar àquela usada anteriormente em Capilano, à exceção de quando se empregada pré-ozônio, onde a taxa de filtração foi 15m/h. Em Seymour, foi usada uma coluna de filtração adicional contendo 1 m por 0,65 mm de carbono ativado granulado (GAC) com o objetivo de se avaliar qual a máxima remoção de precursores de DBPs que pode ser alcançada e, desta forma, as quantidades mínimas de DBPs que podem ser formadas pela desinfecção. As taxas de filtração deste filtro foram de aproximadamente 8 m/h durante os dois testes de DBPs, sendo o tempo de contato com o fundo do filtro vazio de 7 a 8 minutos.

As condições de execução dos testes SDS de DBPs para a Fase 4 foram similares às da Fase 3 e são demonstradas nas Tabelas 9a e 9b. Quando o cloro livre foi usado como desinfetante primário, o pH da água foi tamponado em 6,0. Após a desinfecção primária, a água foi tamponada em pH 8,25 para a execução da desinfecção secundária, seja com cloro livre, seja com cloramina. Todas as amostras SDS para a Fase 4 foram mantidas sob condições similares às do sistema de distribuição, após o controle de corrosão e completa desinfecção. Os potenciais de formação das amostras (THMFP, DCAA FP e TCAA FP) foram novamente estabelecidos e analisados para fornecer dados relativos às máximas concentrações destes DBPs que podem ser encontrados no sistema de distribuição do Grande Vancouver, caso este sistema seja rechlorado para manter um resíduo de cloro livre.

Para o tratamento da água não-filtrada, a dosagem de cloro livre para a desinfecção primária foi realizada para gerar um resíduo de 1,0 mg/L ao final de 60 minutos. O valor para CT de 60 excedeu o CT para inativação de 3 log de *Giardia* a 18°C e pH 6. A desinfecção primária foi seguida por uma desinfecção secundária com cloro livre ou cloramina.

Os resultados para água não-filtrada são demonstrados na Tabela 14 (Reservatório Coquitlam) e nas duas primeiras linhas das Tabelas 15 (Reservatório Seymour) e 16 (Reservatório Capilano). O potencial de formação do clorofórmio variou de 110 a 115 µg/L para as três águas (aproximadamente 15 a 30 por cento inferior à Fase 3). Quando cloro livre é usado como desinfetante primário e secundário, as concentrações de clorofórmio SDS 48 horas depois para água não-filtrada proveniente dos três reservatórios variaram de 63 a 66 µg/L (aproximadamente 15 a 25 por cento inferior à Fase 3). Estes resultados sugeriram que as concentrações de clorofórmio poderiam ser aproximadas, mas não poderiam exceder 100 µg/L caso tenha se praticado a rechloração. As concentrações de DCAA relativos à Fase 4 (28 a 33 µg/L) foram similares às observadas na Fase 3. Já as concentrações de TCAA relativos à Fase 4 (41 a 45 µg/L) foram aproximadamente o dobro das observadas na Fase 3 (16 a 25 µg/L).

Quando a cloramina foi usada como desinfetante secundário, as concentrações de DBP SDS 48 horas depois para água não-filtrada foram substancialmente reduzidas em relação às concentrações de DBPs observadas quando cloro livre foi usado como desinfetante secundário. A concentração de clorofórmio SDS 48 horas depois foi de 23 µg/L em cada uma das águas. As concentrações de DCAA SDS 48 horas depois variaram de 14 a 16 µg/L, o que foi muito similar à Fase 3. As concentrações de TCAA SDS 48 horas depois variaram de 7 a 10 µg/L, sendo novamente muito similar àquelas observadas na Fase 3.

Adicionou-se a filtração com antracite como uma etapa com o objetivo de reduzir a formação de DBP na água proveniente de Seymour (Tabela 15) e Capilano (Tabela 16). Quando as amostras filtradas foram tratadas com cloro livre para desinfecção primária e cloro livre ou cloramina para desinfecção secundária, as concentrações de DCAA e TCAA SDS 48 horas depois foram inferiores a 11 µg/L. A concentração de clorofórmio variou de 24 a 30 µg/L quando cloro livre foi o desinfetante secundário e de 14 a 24 µg/L quando a cloramina foi o desinfetante secundário.

Quando o ozônio foi o desinfetante primário e foi seguido por uma desinfecção secundária utilizando cloro livre, os DBPs SDS 48 horas depois foram similares àqueles observados para água filtrada com cloro livre atuando como desinfetante primário e secundário. A formação de DBP SDS foi inferior ainda que o ozônio foi usado como desinfetante primário anterior à filtração, seguido por uma desinfecção secundária empregando cloramina. O tratamento com este roteiro resultou em concentrações de DBPs SDS 48 horas depois inferiores a 2µg/L para DBPs individuais. Não foi detectado clorofórmio 48 horas depois nas amostras de água provenientes tanto de Seymour como Capilano.

Outra opção de filtração, a filtração com membrana de antracite seguida por uma filtração GAC (usado como adsorvente pós-filtro), foi avaliada no Reservatório Seymour na Fase 4. Em Junho, o Filtro 4 na planta piloto de Seymour foi preenchido com 1,0 m de Calgon Filtrasorb 400. Esta coluna de filtro foi operada em Julho, Agosto e Setembro, tanto no modo filtro-adsorvente (sem filtração com antracite antes de GAC) como no modo adsorvente pós-filtro, para facilitar o desenvolvimento e manutenção da população biológica no GAC.

O uso de GAC como um adsorvente pós-filtro foi muito efetivo na prevenção da formação de DBPs (Tabela 15). Para todas as combinações do tratamento, as concentrações de TCAA SDS 48 horas depois foram inferiores a 1 µg/L, e as de DCAA SDS 48 horas depois foram iguais ou inferiores a 2 µg/L. Quando o cloro livre foi o desinfetante secundário, as concentrações de clorofórmio SDS 48 horas depois foram de 5 a 6 µg/L. O nível de clorofórmio foi inferior ao limite de detecção nas amostras SDS 48 horas depois quando cloramina foi usada como desinfetante secundário.

Os potenciais de formação dos DBP foram substancialmente reduzidos quando usou-se o GAC como o adsorvente pós-filtro. Os potenciais de formação do clorofórmio para a água filtrada através de membrana de antracite variou de 43 a 55 µg/L quando foi usado cloro livre como desinfetante secundário, ozônio como desinfetante primário e cloro livre como desinfetante primário. Quando utilizou-se o GAC como adsorvente pós-filtro os potenciais de formação do clorofórmio na água de Seymour foram de 5 µg/L quando não se aplicou ozônio e de 7 µg/L quando o mesmo foi aplicado. Os potenciais de formação do DCAA e

TCAA para água filtrada através de membrana de antracite variaram de 12 a 15 µg/L para Seymour e Capilano, não sendo notado efeito aparente ocasionado pelo emprego de ozônio. Os potenciais de formação de DCAA e TCAA para a água proveniente de Seymour foram de 3 e 0,6 µg/L respectivamente, para tratamento com adsorvente pós-filtro (GAC) e sem o emprego de ozônio, e 2 e 0,4 µg/L respectivamente para tratamento com adsorvente pós-filtro (GAC) e utilização de ozônio. Os potenciais de formação de DBP foram minimizados pelo uso do GAC.

DISCUSSÃO

Substitutos para DBPs

O emprego de medidas substitutas para estimar os subprodutos da desinfecção é desejável devido ao elevado custo das análises de DBPs. Neste trabalho, as amostras de água foram coletadas e analisadas para absorção ultravioleta a 254 nanômetros (UV_{254}) e carbono orgânico total (TOC), podendo então os valores de métodos de teste serem avaliados no contexto de THMs (para propostas práticas, clorofórmio, DCAA e TCAA). Os dados relativos aos DBPs, TOC e UV_{254} foram expostos nas tabelas que apresentaram os resultados das Fases 2, 3 e 4. A filtração tem a capacidade de remover compostos orgânicos precursores; assim, foram calculadas e compiladas na Tabela 17 as reduções percentuais de turbidez, TOC, potencial de formação de clorofórmio, potencial de formação de DCAA e potencial de formação de TCAA. Os dados relativos à absorção UV_{254} não foram incluídos pois o ozônio foi utilizado em alguns testes, e este pode alterar a absorção UV natural dos compostos orgânicos (Chang e Singer, 1991). Os dados pertinentes aos potenciais de formação foram utilizados para esta tabela pois os processos de incubação foram coerentes nas Fases 3 e 4. Não se esperava que a remoção da turbidez estivesse diretamente relacionada à remoção de precursores, mas foi incluída para fornecer uma medida convencional da eficiência do filtro. A remoção de TOC demonstrou ser irregular no que diz respeito à remoção de precursores para os três DBPs em questão.

Foi observada uma tendência no que diz respeito ao grau de remoção de diferentes DBPs: para quaisquer condições de teste, como por exemplo a Fase 4 em Capilano, a menor redução de DBPs devido à filtração foi a do clorofórmio (de 50 a 60 por cento), e a maior redução foi a do TCAA (de 75 a 95 por cento). O percentual de remoção do DCAA, que foi de 60 a 70 por cento, estava entre o do clorofórmio e do TCAA. Este fato ocorreu em 9 de 10 casos para os quais estavam disponíveis os dados relativos aos potenciais de formação para todos os três DBPs. A única exceção foi a Fase 4 de Seymour, com filtração com antracite seguida de filtração com GAC, sem ozônio. Neste caso, a redução do potencial de formação de DBPs foi superior a 90 por cento para todos os três DBPs.

A filtração da água antes que a mesma fosse substancialmente desinfetada reduziu as concentrações de clorofórmio, DCAA e TCAA, se comparada com a água não-filtrada desinfetada dos Reservatórios Seymour e Capilano. Os resíduos de cloro livre ao final de 48 horas foram baixos (0,4 e 0,5 mg/L), e poderia ser necessária a recloração para manter níveis residuais no sistema de distribuição por maiores períodos de tempo. Este fato poderia gerar níveis de DBPs em pontos distantes do sistema de distribuição que excederiam aos valores observados para os testes 48 horas SDS. O limite máximo de clorofórmio sob as condições de recloração poderiam ser alcançados pelo potencial de formação do clorofórmio, o qual excedeu 0,050 mg/L nas águas de Seymour e Capilano após filtração, tanto com o emprego como na não utilização de pré-ozônio. Enquanto

houver cloro residual livre no sistema de distribuição, as reações químicas que produzem DBPs irão continuar, podendo haver reação de 100 por cento do material precursor até que a água alcance a torneira dos consumidores.

Caso a Health and Welfare Canada adote a Concentração Máxima Permitida (MAC) igual a 0,050 mg/L, o emprego do cloro livre tanto para desinfecção primário como para a secundária para água não-filtrada pode resultar num resultado superior ao MAC. Mesmo com a filtração da água de Seymour e Capilano, a utilização de cloro livre como desinfetante primário e secundário, com o emprego de estações de reclusão para a manutenção de um nível desejável de cloro residual livre no sistema, pode resultar em um excesso de trihalometanos (superior a 0,050 mg/L). Estas descobertas acarretam sérias implicações para as futuras práticas de desinfecção do Grande Vancouver.

SUMÁRIO

Os estudos de melhoria da qualidade da água foram direcionados à Região Aquífera do Grande Vancouver desde Agosto de 1991, com plantas piloto começando a funcionar no Reservatório Capilano e Reservatório Seymour em Setembro de 1991 e Dezembro de 1991, respectivamente, com final de Setembro de 1992. Algumas observações preliminares podem ser feitas:

- . As maiores concentrações de DBPs foram observadas na água não filtrada. As concentrações de clorofórmio nesta água poderiam exceder 100 µg/L se o cloro livre fosse usado para desinfecção primária e secundária e caso a reclusão fosse praticada no sistema de distribuição.

- . Para água filtrada, as concentrações de clorofórmio poderiam exceder 50 µg/L se o cloro livre fosse usado para desinfecção primária e secundária e caso a reclusão fosse praticada no sistema de distribuição.

- . O uso da cloramina resultou num decréscimo substancial na concentração de clorofórmio.

- . A filtração reduziu substancialmente os precursores de DBPs, gerando um decréscimo de aproximadamente 50% nos níveis de clorofórmio, 67% para DCAA e 80% para TCAA.

- . Sob as condições de tratamento e do sistema de distribuição avaliados neste estudo, as concentrações de DCAA e TCAA foram inferiores às concentrações de clorofórmio.

- . O uso da cloramina como desinfetante secundário reduziu substancialmente as concentrações de DCAA e TCAA formados na água filtrada e não filtrada, se comparado com água tratada somente com cloro livre.

REFERÊNCIAS

Andrews, S.A., and P.M. Huck. 1992. Analysis of Haloacetic Acids, Cyanogen Chloride and Chloral Hydrate in Drinking Water Using the Simulated Distribution System. Presented at AWWA Water Quality Technology Conference, Toronto, Ontario, Canada.

APHA-AWWA-WPCF. 1991. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 17th Ed.

Chang, S.D., and Singer, P.C. 1991. The Impact of Ozonation on Particle Stability and the Removal of TOC and THM Precursors. *Journal AWWA*, 3, 71-79.

Health and Welfare Canada. 1989. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality, Fourth Edition. Canadian Government Publishing Centre, Supply and Services Canada, Ottawa, Canada.

Health and Welfare Canada. 1992. Consultation Package on Trihalomethanes.

Koch, B., S.W. Krasner, M.J. Sclimenti, and W.K. Schimpff. 1991. Predicting the Formation of DBPs by the Simulated Distribution System. *Journal AWWA*, 10, 62-70.

Neden, D.G. 1991. GVWD Water Quality Improvement Plan – A Case History. In *Water Quality for the New Decade, 1991 Annual Conference Proceedings*, AWWA, Denver, Colorado.

TABELA 1. COMPARAÇÃO ENTRE OS THMs SDS E THMs PRESENTES NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO PARA A ÁGUA DO RESERVATÓRIO SEYMOUR (FASE 1)					
Condições SDS:		.pH 6.1, 9.0°C .1.2 mg/L Cl ₂ (limite residual de 0,6 mg/L após 0,5 h) .volume nominal da amostra: 500 mL		Tempo de Detecção SDS(h)	
		0 ¹	1.5	4	15
Clorofórmio, µg/L	SDS	0.5	13.1	14.4	22.8
	Sistema de Distribuição	NA	15.3	16.7	21.1
	SDS como % da Amostra do Sistema de Distribuição	NA	86	86	108
Bromodicloro- metano, µg/L	SDS	ND	0.21	0.27	0.28
	Sistema de Distribuição	NA	0.27	0.26	0.29
	SDS como % da Amostra do Sistema de Distribuição	NA	79	107	97
Dibromocloro- metano, µg/L	SDS	ND	ND	ND	ND
	Sistema de Distribuição	NA	ND	ND	ND
	SDS como % da Amostra do Sistema de Distribuição	NA	NA	NA	NA
Bromofórmio, µg/L	SDS	ND	ND	ND	ND
	Sistema de Distribuição	NA	ND	ND	ND
	SDS como % da Amostra do Sistema de Distribuição	NA	NA	NA	NA
NOTAS:					
(1) Água crua antes da cloração (Amostrada em 25 de Março de 1992 @ 1515 horas).					
(2) ND = Não Detectado (o limite de detecção para o clorofórmio é aproximadamente 0,5 µg/L; para outros THMs, 0,1 µg/L).					
(3) NA = Não Aplicável.					
(4) Amostra do sistema de distribuição com 1,5 horas obtida de Seymour no Lago Rice em 26 de Março de 1992 @ 1200 horas.					
(5) Amostra do sistema de distribuição com 4,0 horas tomada na Estação de Bombeamento no Central Park em 26 de Março de 1992 @ 0910 horas.					
(6) Amostra do sistema de distribuição com 15 horas obtida do Reservatório de Pebble Hill em 26 de Março de 1992 @ 1020 hours.					

TABELA 2. COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS RELATIVOS A DBPs SDS E DADOS PERTINENTES ÀS AMOSTRAS OBTIDAS NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO (FASE 2)					
Local	# 8	# 10	# 12	# 54	# 361*
Fonte	Seymour	Capilano	Coquitlam	Seymour/ Coquitlam	Seymour/ Coquitlam
Tempo de Retenção Est., horas	1.5 - 3	1 - 2	1.2 – 2.5	6 – 48	6 – 48
Sistema de Distrib. DCAA, µg/L	24	26	25	28	49
DCAA, 1 h SDS	22	3.4	21.3		
DCAA, 6 h SDS	32	30	31		
DCAA, 24 h SDS	31	35	31		
DCAA, 48 h SDS	51	48	44		
Sistema de Distrib. TCAA, µg/L	13	15	14	26	49
TCAA, 1 h SDS	9	1.4	9		
TCAA, 6 h SDS	24	26	26		
TCAA, 24 h SDS	31	36	36		
TCAA, 48 h SDS	60	60	60		
* Reclorado no Sistema de Distribuição.					

TABELA 3. DADOS RELATIVOS À QUALIDADE DA ÁGUA E FUNCIONAMENTO DO FILTRO PARA A FASE 2 DOS TESTES DE DBPs		
Condições de Operação para Seymour sem a aplicação de ozônio: Filtração direta a 22m/h; alumínio, 4 mg/L; LT-31 catiônico, 2 mg/L; LT-20 não-iônico, 0,1 mg/L; pH 6,3, 9° C.		
	Sem Tratamento	Filtrada
Turbidez, NTU	1,5 – 1,7	0,09
UV ₂₅₄ abs., cm ⁻¹	0,111	0,027
TOC, mg/L	2,2	0,89
Condições de Operação para Seymour com pré-ozônio: Filtração direta a 22 m/h; alumínio, 0; LT-31 catiônico, 4 mg/L; LT-20 não-iônico, 0,1 mg/L; pH 6,2; 10° C; dosagem de ozônio, 1,5 mg/L		
	Sem Tratamento	Filtrada
Turbidez, NTU	1,3 – 1,6	0,10
UV ₂₅₄ abs., cm ⁻¹	0,112	0,029
TOC, mg/L	2,1	1,43
Condições de Operação para Capilano sem a aplicação de ozônio: Filtração direta a 22m/h; alumínio, 3 mg/L; LT-31 catiônico, 2,5 mg/L; LT-20 não-iônico, 0,2 mg/L; pH 6,3 – 6.4, 10° C.		
	Sem Tratamento	Filtrada
Turbidez, NTU	2,3	0,08
UV ₂₅₄ abs., cm ⁻¹	0,102	0,031
TOC, mg/L	2,3	1,53
Condições de Operação para Capilano com a aplicação de ozônio: Filtração direta a 22 m/h; alumínio, 0 mg/L; LT-31 catiônico, 3 mg/L; LT-20 não-iônico, 0,2 mg/L; pH 6,3; 10° C; dosagem de ozônio, 1,5 mg/L		
	Sem Tratamento	Filtrada
Turbidez, NTU	2,0	0,28
UV ₂₅₄ abs., cm ⁻¹	0,101	0,037
TOC, mg/L	1,0	1,88

**TABELA 4. MATRIZ DAS CONDIÇÕES DAS AMOSTRAS
PARA OS DBPs SDS (FASE 2)**

Tratamento da água e desinfetante	Trihalometanos	HAA's e hidrato de cloral	Cloreto de Cianogênio
Não-Filtrada, Cloro livre	SDS a 6, 24, e 48 horas *THMFP a pH 8.25, 7° C, 7 d	6, 24 e 48 horas	Não Analisado
Não-Filtrada, cloro, e depois cloramina	No final do cloro livre e 6 e 48 horas	No final do cloro livre e 6 e 48 horas	No final do cloro livre e 6 e 48 horas
Filtrada, sem O ₃ Cloro Livre	SDS a 6, 24, e 48 horas *THMFP a pH 8.25, 7° C, 7 d	6, 24 e 48 horas	Não Analisado
Filtrada, sem O ₃ cloro, e depois cloramina	No final do cloro livre e 6 e 48 horas	No final do cloro livre e 6 e 48 horas	No final do cloro livre e 6 e 48 horas
Filtrada, ozônio Cloro Livre	SDS a 6, 24, e 48 horas *THMFP a pH 8.25, 7° C, 7 d	6, 24 e 48 horas	Não Analisado
Filtrada, ozônio Cloramina	Antes da cloramina, em 6 e 48 horas	Antes da cloramina, em 6 e 48 horas	Antes da NH ₂ Cl, e em 6 e 48 horas

NOTAS SOBRE AS CONDIÇÕES SDS: O cloro foi dosado nas amostras que foram tamponadas em pH 6,0. No momento propício, a amônia foi adicionada para desinfecção secundária pela cloramina, sendo as amostras tamponadas em pH 8,25 e mantidas no mesmo. Mantendo a temperatura em 7 °C. Para água não-filtrada, o ideal de cloro residual livre ao final de 60 minutos era de 1,5 mg/L. Para água filtrada não tratada com ozônio, aplicou-se um tempo de 60 minutos para desinfecção primária. A dosagem de cloro livre deveria ser adequada para se obter um resíduo de 0,8 mg/L em 60 minutos. Aplicou-se a mesma dosagem de cloro livre para água filtrada sem tratamento com ozônio. Medir os resíduos de cloro livre no momento da dosagem e 6, 24 e 48 horas depois. Quando se utilizou cloramina, mediu-se a concentração de cloramina no momento da conversão à cloramina (60 minutos), 6 e 48 horas depois..

* Exceto para os THMFP's observados, todas as amostras devem ser estabelecidas como amostras SDS.

TABELA 5. DADOS SIMULADOS DE SUBPRODUTOS DA DESINFECÇÃO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO PARA O RESERVATÓRIO DE COQUITLAM, ÁGUA NÃO-FILTRADA (FASE 2)			
Desinfecção Primária e Secundária por Cloro Livre			
Constituinte	Tempo de Manutenção, horas		
	6 horas	24 horas	48 horas
Clorofórmio, µg/L	10	46	44
Bromodiclorometano, µg/L	0,39	0,35	0,50
Ácido Dicloroacético, µg/L	30,7	31,1	43,9
Ácido Tricloroacético, µg/L	26,3	34,5	61,2
Hidrato de Cloral, µg/L	6,5	10,5	15,3
Cloro Residual Livre, mg/L	1,0	0,6	0,4
* Dosagem de Cloro Livre de 1,9 mg/L gerou um resíduo de 1,5 mg/L em 1 hora			
Desinfecção Primária por Cloro Livre; Desinfecção Secundária por Cloramina			
	1 hora	6 horas	48 horas
Clorofórmio, µg/L	11	15	37
Bromodiclorometano, µg/L	0,27	0,28	0,27
Ácido Dicloroacético, µg/L	21,3	24,6	27,8
Ácido Tricloroacético, µg/L	9,4	11,1	11,6
Hidrato de Cloral, µg/L	1,7	2,4	2,5
Cloreto de Cianogênio, µg/L	ND	0,1	0,17
Cloro residual livre, mg/L	0,0	0,3	0,1
Resíduo de Cloramina, mg/L	1,9	1,7	1,6
* Dosagem de Cloro Livre de 1,9 mg/L gerou um resíduo de 1,5 mg/L em 1 hora. Cloro e Amônia foram adicionados para formar cloramina em 1 hora. A dose de cloro e resíduos foram baseados nos testes de demanda de cloro realizados um dia antes do estabelecimento da amostra SDS.			
As condições SDS são fornecidas na Tabela 4. O potencial de formação do clorofórmio para pH 8,25, 7 °C, 7 dias = 210 µg/L. TOC da água crua (sem tratamento) = 1,5 mg/L.			

TABELA 6. EFEITOS DO TRATAMENTO SOBRE OS SUBPRODUTOS DA CLORAÇÃO, RESERVATÓRIO SEYMOUR (FASE 2)							
Tratamento				Concentração do DBP, mg/L			
Filtração	Uso de Ozônio	Disinf. Prim.	Disinf. Sec.	CHCl ₃ F.P.*	SDS** CHCl ₃	SDS** DCAA	SDS** TCAA
NÃO	NAO	Cloro Livre	Cloro Livre	226	116	51	60
NÃO	NAO	Cloro Livre	Cloramina		24	35	13
SIM	NAO	Cloro Livre	Cloro Livre	79	6	12	14
SIM	NAO	Cloro Livre	Cloramina		2	11	7
SIM	SIM	Ozônio	Cloro Livre	113	48	19	15
SIM	SIM	Ozônio	Cloramina		14	7	0,8

* Condições do Potencial de Formação: pH 8.25, 7° C, cloro residual livre variando de 4.5 a 5.5 mg/L num tempo de retenção de 7 dias.
** As condições simuladas do sistema de distribuição são apresentadas na Tabela 4.

TABELA 7. EFEITOS DO TRATAMENTO SOBRE OS SUBPRODUTOS DA CLORAÇÃO, RESERVATÓRIO CAPILANO (FASE 2)							
Tratamento				Concentração do DBP, mg/L			
Filtração	Uso de Ozônio	Disinf. Prim.	Disinf. Sec.	CHCl ₃ F.P.*	SDS** CHCl ₃	SDS** DCAA	SDS** TCAA
NÃO	NAO	Cloro Livre	Cloro Livre	232	41	48	60
NÃO	NAO	Cloro Livre	Cloramina		20	31	11
SIM	NAO	Cloro Livre	Cloro Livre	92	7	19	23
SIM	NAO	Cloro Livre	Cloramina		9	12	7
SIM	SIM	Ozônio	Cloro Livre	113	74	24	22
SIM	SIM	Ozônio	Cloramina		29	6	0,9

* Condições do Potencial de Formação: pH 8.25, 7° C, cloro residual livre variando de 4.5 a 5.5 mg/L num tempo de retenção de 7 dias.
** As condições simuladas do sistema de distribuição são apresentadas na Tabela 4.

TABELA 8. DADOS RELATIVOS À QUALIDADE DA ÁGUA E FUNCIONAMENTO DO FILTRO PARA A FASE 3 DOS TESTES DE DBPs		
Condições de Operação para Seymour sem a aplicação de ozônio: Filtração direta a 22 m/h; alumínio, 4,8 mg/L, LT-31 catiônico, 1,1 mg/L; LT-20 não-iônico, 0,10 mg/L; pH 6,2, 16° C.		
	Sem Tratamento	Filtrada
Turbidez, NTU	0,5	0,10
UV ₂₅₄ abs., cm ⁻¹	0,059	0,01
TOC, mg/L	1,39	0,59
Condições de Operação para Seymour com Pré-Ozônio: Filtração direta a 22 m/h; alumínio, 5,2 mg/L, LT-31 catiônico, 1,2 mg/L; LT-20 não-iônico, 0,11 mg/L; pH 6,2, 17° C; dosagem de ozônio, 1,7 mg/L..		
	Sem Tratamento	Filtrada
Turbidez, NTU	0,5	0,06
UV ₂₅₄ abs., cm ⁻¹	0,060	0,009
TOC, mg/L	1,93	1,09
Condições de Operação para Capilano sem a aplicação de ozônio: Filtração direta a 21 m/h; alumínio, 4,4 mg/L, LT-31 catiônico, 0,75 mg/L; LT-20 não-iônico, 0,1 mg/L; pH 6,2, 12° C.		
	Sem Tratamento	Filtrada
Turbidez, NTU	0,4	0,09
UV ₂₅₄ abs., cm ⁻¹	0,058	0,019
TOC, mg/L	1,39	0,69
Condições de Operação para Capilano com Pré-Ozônio: Filtração direta a 21 m/h; alumínio, 4,3 mg/L, LT-31 catiônico, 1,1 mg/L; LT-20 não-iônico, 0,09 mg/L; pH 6,2, 12° C; dosagem de ozônio, 1,1 mg/L..		
	Sem Tratamento	Filtrada
Turbidez, NTU	0,4	0,06
UV ₂₅₄ abs., cm ⁻¹	0,051	0,012
TOC, mg/L	1,44	0,74

TABELA 9 a. MATRIZ DAS CONDIÇÕES PARA DBPs SDS E TESTES DE POTENCIAL DE FORMAÇÃO PARA AS ÁGUAS DE SEYMOUR E CAPILANO (FASES 3 E 4)

Tratamento da água e desinfetante	THMs	HAA's e Hidrato de cloral	Cloreto de Cianogênio
Não-filtrada, Cloro livre	SDS a 6 e 48 horas *THMFP a pH 8.25, 18°C, 7 d	SDS a 6 e 48 horas *HAAFP a pH 8.25, 18°C, 7 d	Não Analisadp
Não-filtrada, cloro, e depois cloramina	SDS ao final do cloro livre e 48 horas	SDS ao final do cloro livre e 48 horas	SDS ao final do cloro livre e 48 horas
Filtrada, sem O ₃ Cloro livre	SDS a 6 e 48 horas *THMFP a pH 8.25, 18°C, 7 d	SDS a 6 e 48 horas *HAAFP a pH 8.25, 18°C, 7 d	Não Analisado
Filtrada, sem O ₃ cloro, e depois cloramina	SDS ao final do cloro livre e 48 horas	SDS ao final do cloro livre e 48 horas	SDS ao final do cloro livre e 48 horas
Filtrada, ozônio Cloro livre	SDS a 6 e 48 horas *THMFP a pH 8.25, 18°C, 7 d	SDS a 6 e 48 horas *HAAFP a pH 8.25, 18°C, 7 d	Não analisado
Filtrada, ozônio Cloramina	SDS a 6 e 48 horas	SDS a 6 e 48 horas	SDS a 6 e 48 horas

NOTAS SOBRE AS CONDIÇÕES SDS: Dosar cloro livre nas amostras não-ozonadas que foram tamponadas em pH 6,0. Ao final de uma hora, tamponar todas as amostras não-ozonadas em pH 8,25. (Tamponar as amostras ozonadas em pH 8,25 antes da cloração ou cloraminação) Manter as amostras a 18°C. As concentrações dos desinfetantes são: 2,0 mg/L de cloramina em todas as amostras cloraminadas; para água não-filtrada, 1,0 mg/L de cloro livre ao final de 60 minutos; para água filtrada não-ozonada, 0,8 mg/L de cloro livre. Medir os resíduos de cloro livre no momento da dosagem e 6 e 48 horas depois. Quando se aplica cloramina, medir a concentração de cloramina no momento da conversão à cloramina e 48 horas depois. Medir o pH em cada amostra ao final do tempo de retenção, quando o resíduo de desinfetante é medido. Estabelecer dois recipientes SDS extras para THM e HAA para água não-filtrada com cloro livre. Estabelecer dois recipientes SDS extras para CNCl para água não-filtrada com cloramina. Executar duas análises extras da água para THM, HAA e CNCl, preferencialmente das amostras SDS. Estabelecer dois THMFP's extras e dois HAAFP's extras, preferencialmente com água filtrada.

TABELA 9 b. MATRIZ DAS CONDIÇÕES PARA DBPs SDS E TESTES DE POTENCIAL DE FORMAÇÃO PARA A ÁGUA DE COQUITLAM (FASES 3 E 4)

Tratamento da água e Desinfetante	THMs	HAA's e Hidrato de cloral	Cloreto de Cianogênio
Não-filtrada, Cloro livre	SDS a 6 e 48 horas *THMFP a pH 8.25, 18°C, 7 d	SDS a 6 e 48 horas *HAAFP a pH 8.25, 18°C, 7 d	Não Analisado
Não-filtrada, cloro, e depois e cloramina	SDS no final do cloro livre e 48 horas	SDS no final do cloro livre e 48 horas	SDS no final do cloro livre e 48 horas

NOTAS SOBRE AS CONDIÇÕES SDS: Dosar cloro livre na amostra tamponada em pH 6,0. Após uma hora, tamponar em pH 8,25. Manter as amostras a 18°C. As concentrações dos desinfetantes são: 2,0 mg/L para cloramina em todas as amostras cloraminadas; para água não-filtrada, 1,0 mg/L de cloro livre após 60 minutos. Medir a concentração de cloro residual livre no momento da dosagem e após 6 e 48 horas. Quando a cloramina for aplicada, medir a concentração da mesma no momento da conversão à cloramina e 48 horas depois. Medir o pH de cada amostra após o tempo de retenção, quando o resíduo de desinfetante é medido. Estabelecer dois recipientes SDS extras para THM e HAA para água não-filtrada com cloro livre. Estabelecer 2 recipientes SDS extras para THM e HAA para água não-filtrada, com cloro livre. Estabelecer 2 recipientes SDS extras para CNCl para água não-filtrada, com cloramina. Executar duas análises extras da água para THM, HAA e CNCl, preferencialmente com amostras SDS. Estabelecer dois THMFP's extras e dois HAAFP's extras, preferencialmente com água filtrada.

TABELA 10. DADOS SIMULADOS DE SUBPRODUTOS DA DESINFECÇÃO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO PARA O RESERVATÓRIO DE COQUITLAM, ÁGUA NÃO-FILTRADA (FASE 3)		
Desinfecção Primária e Secundária por Cloro Livre		
Constituinte	Tempo de Retenção, horas	
	6 horas	48 horas
Clorofórmio, µg/L	52	85
Bromodiclorometano, µg/L	0,84	1,09
Ácido Dicloroacético, µg/L	18,6	30,1
Ácido Tricloroacético, µg/L	9,9	16,5
Hidrato de cloral, µg/L	9,0	20,3
Cloro residual livre, mg/L	0,5	0,1
* Dosagem de cloro em mg/L que produziu um resíduo em mg/L em 1 hora		
Desinfecção Primária com Cloro Livre; Desinfecção Secundária com Cloramina		
	Tempo de Retenção, horas	
	1 hora	48 horas
Clorofórmio, µg/L	23	24
Bromodiclorometano, µg/L	0,58	0,63
Ácido Dicloroacético, µg/L	14,4	16,8
Ácido Tricloroacético, µg/L	5,2	8,1
Hidrato de cloral, µg/L	2,9	3,1
Cloreto de cianogênio, µg/L	0,21	1,19
Cloro residual livre, mg/L	0,2	0,0
Cloramina residual, mg/L	2,2	1,3
* Uma concentração de cloro livre em mg/L produziu um resíduo em mg/L em 1 hora. Cloro e amônia foram adicionados para formar cloramina em 1 hora. A dose de cloro e resíduos foram baseados nos testes de demanda de cloro realizados um dia antes do estabelecimento da amostra SDS.		
As condições SDS são fornecidas na Tabela 9 b. O potencial de formação do clorofórmio para pH 8,25, 7 °C, 7 dias = 162 µg/L; DCAA, 43 µg/L; TCAA, 32 µg/L. TOC da água sem tratamento = 1.5 mg/L.		

TABELA 11. EFEITOS DO TRATAMENTO SOBRE OS SUBPRODUTOS DA DESINFECÇÃO, RESERVATÓRIO SEYMOUR (FASE 3)						
Tratamento				DBP, mg/L (SDS a 48 h e FP a 7 dias)		
Filtração	Uso de O ₃	Disinf. Prim.	Disinf. Sec.	CHCl ₃	DCAA	TCAA
NÃO	NÃO	Cloro Livre	Cloro Livre	SDS 81 FP 136	SDS 24 FP 36	SDS 25 FP 52
NÃO	NÃO	Cloro Livre	Cloramina	SDS 25	SDS 15	SDS 7
SIM	NÃO	Cloro Livre	Cloro Livre	SDS 23 FP 50	SDS 7,8 FP 12	SDS 3,7 FP 6,4
SIM	NÃO	Cloro Livre	Cloramina	SDS 7,4	SDS 4,3	SDS 1,7
SIM	SIM	Ozônio	Cloro Livre	SDS 18 FP 56	SDS 4,5 FP 12	SDS 2,2 FP 4,6
SIM	SIM	Ozônio	Cloramina	SDS 3,8	SDS 1,6	SDS 0,4

* Condições do Potencial de Formação: pH 8.18 – 8.30, 7°C, cloro residual livre 1,0 – 1,3 mg/L com tempo de retenção de 7 dias.
** Condições Simuladas do Sistema de Distribuição são fornecidas na Tabela 9 a.

TABELA 12. EFEITOS DO TRATAMENTO SOBRE OS SUBPRODUTOS DA DESINFECÇÃO, RESERVATÓRIO CAPILANO (FASE 3)						
Tratamento				DBP, mg/L (SDS e FP)		
Filtração	Uso de O ₃	Disinf. Prim.	Disinf. Sec.	CHCl ₃	DCAA	TCAA
NÃO	NAO	Cloro Livre	Cloro Livre	SDS 75 FP 136	SDS 24 FP 38	SDS 25 FP 54
NÃO	NAO	Cloro Livre	Cloramina	SDS 22	SDS 15	SDS 6.1
SIM	NAO	Cloro Livre	Cloro Livre	SDS 27 FP 63	SDS 9.0 FP 15	SDS 5.8 FP 14
SIM	NAO	Cloro Livre	Cloramina	SDS 8.2	SDS 5.7	SDS 2.1
SIM	SIM	Ozônio	Cloro Livre	SDS 22 FP 80	SDS 6.5 FP 14	SDS 0.6 FP 12
SIM	SIM	Ozônio	Cloramina	SDS 4.1	SDS 2.3	SDS 0.3

* Condições do Potencial de Formação: pH 8.24 – 8.26, 7°C, cloro residual livre 1,1 – 1,45 mg/L com tempo de retenção de 7 dias.
** Condições Simuladas do Sistema de Distribuição são fornecidas na Tabela 9 a

TABELA 13. DADOS RELATIVOS À QUALIDADE DA ÁGUA E FUNCIONAMENTO DO FILTRO PARA A FASE 4 DOS TESTES DE DBPs			
Condições de Operação para Seymour sem a Aplicação de Ozônio: Filtração direta; alumínio, 4,9 mg/L, LT-31 catiônico, 0,39 mg/L; LT-20 não-iônico, 0,10 mg/L; pH 6,4, 15°C.			
	Sem Tratamento	Filtrada a 23 m/h através de Antracite	Filtro antracite + 7,6 m/h através de GAC
Turbidez, NTU	0,5	0,07	0,07
UV ₂₅₄ abs., cm ⁻¹	0,045	0,004	< 0,001
TOC, mg/L	1,7	1,35	1,01
Condições de Operação para Seymour com Pré-ozônio: Filtração direta; alumínio, 5,4; LT-31 catiônico, 1,1 mg/L; LT-20 não-iônico, 0,11 mg/L; pH 6,4, 15°C; dosagem de ozônio, 1,6 mg/L.			
	Sem Tratamento	Filtrada a 23 m/h através de Antracite	Filtro antracite + 8,1 m/h através de GAC
Turbidez, NTU	0,4	0,05	0,05
UV ₂₅₄ abs., cm ⁻¹	0,035	< 0,001	< 0,001
TOC, mg/L	1,7	0,36	0,35
Condições de Operação para Capilano sem a Aplicação de Ozônio: Filtração direta a 22 m/h; alumínio, 4,4 mg/L, LT-31 catiônico, 0,26 mg/L; LT-20 não iônico, 0,10 mg/L; pH 6,3, 17°C.			
	Sem Tratamento	Filtrada	
Turbidez, NTU	0,7	0,07	
UV ₂₅₄ abs., cm ⁻¹	0,059	0,003	
TOC, mg/L	1,66	0,73	
Condições de Operação para Capilano com Pré-Ozônio: Filtração direta a 15 m/h; alumínio, 4,5 mg/L, LT-31 catiônico, 1,1 mg/L; LT-20 não-iônico, 0,06 mg/L; pH 6,2, 17°C; dosagem de ozônio, 1,5 mg/L.			
	Sem Tratamento	Filtrada	
Turbidez, NTU	0,7	0,06	
UV ₂₅₄ abs., cm ⁻¹	0,026	< 0,001	
TOC, mg/L	1,66	0,70	

TABELA 14. DADOS SIMULADOS DE SUBPRODUTOS DA DESINFECÇÃO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO PARA O RESERVATÓRIO DE COQUITLAM, ÁGUA NÃO-FILTRADA (FASE 4)		
Desinfecção Primária e Secundária por Cloro Livre		
Constituinte	Tempo de Retenção, horas	
	6 horas	48 horas
Clorofórmio, µg/L	42	66
Bromodiclorometano, µg/L	1,1	1,5
Ácido Dicloroacético, µg/L	20,5	27,8
Ácido Tricloroacético, µg/L	18,9	45
Hidrato de cloral, µg/L	8,0	17,3
Cloro residual livre, mg/L*	0,8	0,4
Desinfecção Primária por Cloro Livre; Desinfecção Secundária por Cloramina		
	Tempo de Retenção, horas	
	1 hora	48 horas
Clorofórmio, µg/L	25	23
Bromodiclorometano, µg/L	0,91	0,62
Ácido Dicloroacético, µg/L	16,0	15,6
Ácido Tricloroacético, µg/L	8,1	9,4
Hidrato de cloral, µg/L	2,3	2,4
Cloreto de cianogênio, µg/L	0,32	1,19
Cloro residual livre, mg/L		0
Cloramina residual, mg/L	1,2	1,1
<p>* A dose de cloro livre de 1.9 mg/L produziu um resíduo de 0.9 mg/L em 1 hour. Adicionou-se amônia para formar cloramina em 1 hora. A dose de cloro e resíduos foram baseados nos testes de demanda de cloro realizados um dia antes do estabelecimento da amostra SDS. As condições SDS são fornecidas na Tabela 9 a. O potencial de formação para pH 8.24, cloro residual livre 1.1 mg/L, 18°C, 7 dias foi: clorofórmio, =115 µg/L; DCAA, 42 µg/L; TCAA, 24 µg/L. TOC = 1.54 mg/L.</p>		

TABELA 15. EFEITOS DO TRATAMENTO SOBRE OS SUBPRODUTOS DA DESINFECÇÃO, RESERVATÓRIO SEYMOUR, FASE 4						
Tratamento				DBP, mg/L (SDS a 48 hr e FP a 7 days)		
Filtrada	Uso de O ₃	Disinf. Prim.	Disinf. Sec.	CHCl ₃	DCAA	TCAA
NAO	NÃO	Cloro Livre	Cloro Livre	SDS 66 FP 116	SDS 31 FP 45	SDS 41 FP 57
NAO	NÃO	Cloro Livre	Cloramina	SDS 23	SDS 14	SDS 7,4
Anth	NÃO	Cloro Livre	Cloro Livre	SDS 30 FP 51	SDS 11 FP 15	SDS 9,0 FP 7,7
Anth	NÃO	Cloro Livre	Cloramina	SDS 14	SDS 6,2	SDS 3,1
Anth	SIM	Ozônio	Cloro Livre	SDS 24 FP 43	SDS 5,8 FP 12	SDS 3,9 FP 2,3
Anth	SIM	Ozone	Cloramina	SDS ND #	SDS 1,8	SDS 0,2
Anth GAC	NÃO	Cloro Livre	Cloro Livre	SDS 5.1 FP 5	SDS 1,7 FP 3	SDS 0,5 FP 0,6
Anth GAC	NÃO	Cloro Livre	Cloramina	SDS ND	SDS 2,1	SDS 0,4
Anth GAC	SIM	Ozone	Cloro Livre	SDS 5.6 FP 7	SDS 1,2 FP 2	SDS 0,4 FP 0,4
Anth GAC	SIM	Ozone	Cloramina	SDS ND	SDS 2,1	SDS 0,2

* Condições do Potencial de Formação: pH 8,18 – 8,28, 18°C, cloro residual livre 1,0 – 1,5 mg/L com tempo de retenção de 7 dias.
** Condições Simuladas do Sistema de Distribuição são fornecidas na Tabela 9 a.
ND: não-detectado.

TABELA 16. EFEITOS DO TRATAMENTO SOBRE OS SUBPRODUTOS DA DESINFECÇÃO, RESERVATÓRIO CAPILANO, FASE 4						
Tratamento				DBP, mg/L (SDS e FP)		
Filtração	Uso de O₃	Disinf. Prim.	Disinf. Sec.	CHCl₃	DCAA	TCAA
NAO	NÃO	Cloro Livre	Cloro Livre	SDS 63 FP 110	SDS 33 FP 39	SDS 44 FP 50
NAO	NÃO	Cloro Livre	Cloramina	SDS 23	SDS 16	SDS 10
SIM	NÃO	Cloro Livre	Cloro Livre	SDS 24 FP 46	SDS 8,7 FP 12	SDS 7,5 FP 7
SIM	NÃO	Cloro Livre	Cloramina	SDS 11	SDS 5,0	SDS 2,5
SIM	SIM	Ozônio	Cloro Livre	SDS 20 FP 47	SDS 8,1 FP 15	SDS 6,3 FP 3
SIM	SIM	Ozônio	Cloramina	SDS ND #	SDS 1,8	SDS 0,2
<p>* Condições do Potencial de Formação: pH 8.19 – 8.25, 18°C, cloro residual livre 0.9 – 1.3 mg/L com tempo de retenção de 7 dias. ** Condições Simuladas do Sistema de Distribuição são fornecidas na Tabela 9 a. # ND: não-detectado.</p>						

TABELA 17. MODIFICAÇÕES SOFRIDAS PELOS SUBPRODUTOS DA DESINFECÇÃO E PELA QUALIDADE DA ÁGUA DECORRENTES DA FILTRAÇÃO

Resultados relativos a Capilano	Redução Percentual Observada				
	Turbidez	TOC	CHCl ₃ FP	DCAA FP	TCAA FP
Fase 2	97	33	60	--	--
Fase 2 com Ozônio	86	6	51	--	--
Fase 3	78	50	54	61	74
Fase 3 com Ozônio	85	48	41	63	78
Fase 4	90	56	58	69	86
Fase 4 com Ozônio	91	58	57	61	94
Resultados relativos a Seymour					
Fase 2	94	60	65	--	--
Fase 2 com Ozônio	93	32	50	--	--
Fase 3	80	58	63	67	88
Fase 3 com Ozônio	88	43	59	67	91
Fase 4	86	22	53	69	87
Fase 4 com Ozônio	87	42	63	73	96
Fase 4 + GAC	86	79	96	93	99
Fase 4 com Ozônio + GAC	87	79	94	96	> 99

**Planta Piloto de Capilano
(19 Litros por Minuto)**

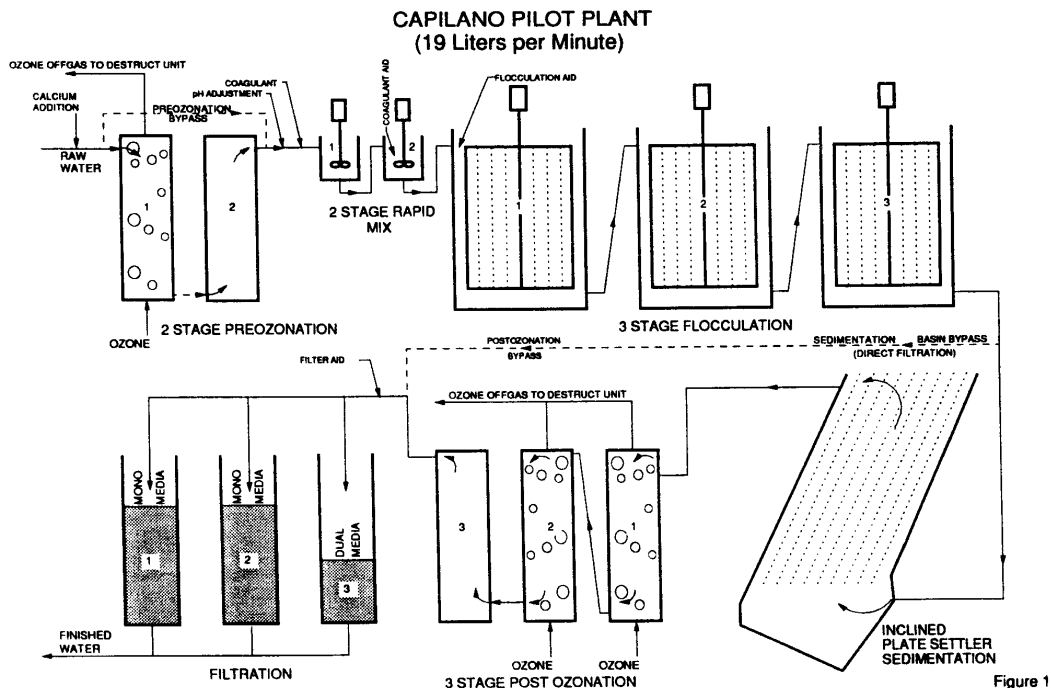


Figure 1

Figura 1