

Critérios de qualidade da água para reuso

JAMES CROOK
PH. D., P. E.

TRADUÇÃO

Hilton Felício dos Santos

Coordenador de Projetos I - GE/Sabesp

O reuso de água, para qualquer fim, depende de sua qualidade física, química e microbiológica. A maioria dos parâmetros de qualidade físico-químicos são bem compreendidos, tendo sido possível estabelecer critérios de qualidade orientadores para o reuso. Os limites microbiológicos relativos a saúde são mais difíceis de serem quantificados, como evidenciado pela multiplicidade de parâmetros e orientações de uso, variáveis em termos mundiais. Este trabalho apresenta os limites de qualidade existentes para os vários reusos e compara os critérios para reuso da água na Califórnia — típicos dos padrões seguidos por países industrializados para proteção da saúde —, com as orientações para o reuso segundo a Organização Mundial da Saúde-OMS, dirigidas especialmente para os países em desenvolvimento.

A regulamentação da Califórnia é consideravelmente mais restritiva do que a orientação da OMS.

Este trabalho não aborda critérios de qualidade para o reuso potável da água, porque prevalecem incertezas referentes à presença, identificação, concentração e significância para a saúde, de muitos constituintes químicos que podem estar presentes na água destinada ao reuso.

O reuso planejado das águas residuárias municipais não é um conceito novo e já é praticado há muitos anos em todo o mundo. Com o crescimento concomitante do binômio demanda de água-população, o reuso intencional de água será cada vez mais considerado no planejamento e na exploração de novos mananciais.

O reuso da água reduz a demanda sobre os mananciais de água bruta devido à substituição da fonte, isto é, pela substituição da água potável por uma água de qualidade inferior onde tal substituição for possível, tendo em vista a qualidade requerida para o consumo. Em muitos casos ocorre uma proteção natural das águas dos mananciais, uma vez que eliminam-se as descargas de esgotos nas águas superficiais.

A decisão de recuperar a qualidade da água para novo uso emergiu como uma opção realista de manancial, necessária para fazer face às demandas de água para as cidades e para os campos cultivados. O Quadro 1 lista os tipos de reuso da água que têm sido praticados em países industrializados. Dependendo das condições locais, os tipos de reuso relacionados podem ser considerados para aplicação pelos países em desenvolvimento.

CONSIDERAÇÕES SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA

A aceitabilidade do reuso da água para qualquer fim específico é dependente da sua qualidade física, química e microbiológica.

Os fatores que afetam a qualidade da água para reuso incluem a qualidade na fonte geradora, o tratamento da água residuária, a confiabilidade no processo de tratamento, o projeto e a operação dos sistemas de distribuição. Os programas de controle das fontes industriais podem limitar o ingresso de constituintes químicos capazes de afetar adversamente a qualidade da água. A garantia da confiabilidade no tratamento, embora uma medida óbvia de controle da qualidade, é muitas vezes negligenciada. O projeto dos sistemas de distribuição e os métodos de operação dos sistemas de água para reuso são importantes para garantir que a qualidade pretendida não seja agravada antes do seu destino, ou para assegurar que a água será utilizada para a finalidade prevista. A reservação a céu aberto pode resultar na degradação da qualidade por microorganismos, algas, ou material particulado, podendo ser causa de odores objeccionáveis e causar cor na água destinada ao reuso.

Dependendo da utilização, os critérios para a qualidade da água incluem os seguintes aspectos:

Proteção à saúde da população: A água para reuso deve ser segura para o fim pretendido. A maioria dos critérios de qualidade desta água são voltados principalmente para a proteção da saúde da população e muitos são norteados apenas por preocupações com a segurança microbiológica.

Requisitos de uso: Muitos usos industriais e algumas outras utilizações têm requisitos físico-químicos de qualidade que estão relacionados com a saúde da população. As qualidades físicas, químicas e microbiológicas podem limitar a aceitabilidade da água para reuso.

Efeitos da irrigação: Devem ser considerados os efeitos dos constituintes individuais ou parâmetros em culturas e outras vegetações, bem como no solo e no aquífero.

Considerações ambientais: A fauna e a flora naturais, dentro e no entorno da área receptora, não devem ser afetadas adversamente pela água distribuída para reuso.

Aspectos estéticos: Para usos mais nobres, como por exemplo para a irrigação urbana ou para a descarga de vasos sanitários, a aparência da água não deve ser diferente daquela apresentada pela água potável, ou seja, deve ser clara, sem cor e sem odor. Em represas que se destinam à recreação, a água recuperada não deve estimular o crescimento de algas.

Percepção da população e/ou do usuário: A água deve ser percebida como segura e aceitável para o uso pretendido e os órgãos de controle devem divulgar tal garantia. Esta diretriz pode ocasionar a imposição de limites conservadores para a qualidade da água por parte dos órgãos de controle.

Realidades políticas: As decisões regulamentadoras são algumas vezes fundamentadas por conjunturas políticas, pela percepção da população, por crenças ou tendências pessoais e pelos aspectos de custo.

Para os usos não potáveis da água recuperada, os efeitos de

muitos constituintes químicos são relativamente bem compreendidos e, portanto, os limites de qualidade podem ser prontamente determinados. Os efeitos dos constituintes orgânicos na água para irrigação de culturas podem merecer atenção especial, particularmente se a fração de despejos industriais na água residuária for significativa. São mais difíceis de serem avaliados os riscos para a saúde devido aos agentes microbiológicos. Isto é enfatizado pela ampla variedade de requisitos para o reuso da água em todo o mundo.

CRITÉRIOS DE QUALIDADE **Padrões e orientações existentes**

Estão bem documentados os problemas de saúde devidos ao reuso do esgoto bruto ou insuficientemente tratado (Feachem *et al.*, 1980; Shuval *et al.*, 1986). Em decorrência, os padrões e orientações para reuso da água preocupam-se principalmente com a proteção da saúde pública, sendo geralmente baseados no controle de microorganismos patogênicos. Diversos países de climas árido e semiárido possuem critérios ou orientações visando assegurar que o reuso da água residuária não apresente riscos incontroláveis para a saúde. Nos EUA, inexistem padrões federais disciplinando o reuso, embora a Agência de Proteção Ambiental do país tenha publicado orientações para o reuso em 1980 (EPA, 1980). Correntemente, essas orientações estão sendo atualizadas e ampliadas. As regulamentações que existem nos EUA foram desenvolvidas em âmbito estadual.

Califórnia

O estado da Califórnia tem uma longa tradição de reuso, tendo desenvolvido suas primeiras regulamentações em 1918, as quais têm sido modificadas e expandidas ao longo dos anos. Os critérios do estado vigentes para Recuperação da Qualidade das Águas Residuárias (Estado da Califórnia, 1978) foram adotados em 1979 e têm servido de base para os padrões de reuso em outros estados e países. Os critérios de recuperação da qualidade incluem os padrões de qualidade da água, os processos de tratamento requeridos, os requisitos operacionais e os critérios de avaliação de confiabilidade no tratamento. Os critérios de qualidade e de tratamento aparecem no Quadro 2.

Os níveis de coliforme do Quadro 2 não são níveis-limite definitivos, justificados por documentação rigorosa e taxas de ocorrência de doenças. Quando essas regulamentações foram desenvolvidas, o Depto. de Serviços de Saúde da Califórnia concluiu que estudos epidemiológicos da população exposta nas áreas de reuso teriam confiabilidade limitada, e que não seria possível atribuir valores numéricos, com qualquer grau de confiabilidade, às estimativas de risco para a recuperação da qualidade da água residuária. Por conseguinte, os critérios de recuperação da qualidade foram baseados:

— na capacitação de estações de tratamento de água residuárias bem projetadas e operadas capazes de garantir, de uma forma consistente, o atendimento dos limites específicos para a qualidade do efluente;

— na experiência operacional da disposição e do reuso de efluentes;

— na avaliação de pesquisas pertinentes e de dados relacionados aos efeitos na saúde e

— no desejo de não permitir riscos não razoáveis provocados pelo reuso da água.

Como indicado no Quadro 2, o grau de tratamento requerido e a qualidade microbiológica aumentam na medida em que seja mais provável o contato humano com água para reuso. Se for esperado um contato direto íntimo com a água destinada ao reuso, tal como natação, ou se o contato indireto por provável, tal como no consumo de produtos irrigados com água de qualidade recuperada, as regulamentações especificam processos para o tratamento e a qualidade da água que objetivam produzir um efluente essencialmente livre de patógenos, incluindo proteção virótica. Foi tomada a decisão fundamental de que o padrão de qualidade a ser seguido deveria garantir a ausência de níveis mensuráveis de enterovirus, fundamentada nas presunções de que:

— um número muito pequeno de vírus pode iniciar processos infecciosos e de que

— os processos de tratamento de efluentes capazes de controlar enterovirus produziram uma água recuperada livre de qualquer patógeno para humanos, sendo portanto, segura para os usos pretendidos (Crook, 1985).

A seleção da seqüência de tratamento especificada nos Critérios para Recuperação da Qualidade das Águas Residuárias para produção de efluentes essencialmente livres de patógenos, isto é, a oxidação, a coagulação química, a clarificação, a filtração e a desinfecção a níveis de coliformes inferiores a 2,2/100ml, foi preconizada por estudos que datam de muitos anos e que determinaram a capacidade de remoção de vírus em processos avançados de tratamento de efluentes. Estudos mais recentes (County Sanitation Districts de Los Angeles, 1977); Engineering-Science, 1987), indicaram que uma remoção equivalente de vírus pode ser conseguida por filtração direta de efluentes secundários de alta qualidade, empregando-se dosagens baixas de coagulantes e/ou polímeros. *Esta cadeia abreviada de tratamento, atuando em conjunto com projeto e controle operacional específicos, foi julgada ser equivalente à seqüência de tratamento especificada nas regulamentações* [grifo do tradutor]. O projeto requerido e os controles operacionais necessários para as instalações de filtração incluem:

■ Adição de coagulante, salvo se a turbidez do efluente secundário for menos do que 5 (cinco) NTU.

■ Taxa de filtração máxima de 12 (doze) m/h (5 gpm/sqft).

■ Turbidez média do efluente filtrado igual ou menos do que 2 (dois) NTU.

■ Mistura de claro, rápida e de alta energia.

■ Tempo de contato teórico de cloro de, no mínimo, 2 (duas) horas. Tempo real do modelo de pelo menos 90 (noventa) minutos.

■ Mínimo residual de cloro de 5 (cinco) mg/l após o tempo de contato requerido.

■ Razão do comprimento para a largura da câmara de contato de cloro igual no mínimo a 40:1 (quarenta para um).

■ Média de sete dias para o número total de organismos coliformes no efluente igual ou menos do que 2,2/100 ml, não podendo exceder a 23/100 ml em nenhuma das amostras.

Outros estados

Os critérios para reuso da água adotados na Califórnia não são nem os mais restritivos nem os mais permissivos padrões dos EUA.

Na Flórida, por exemplo, para a irrigação de áreas de acesso público restrito e de culturas não destinadas ao consumo humano, são feitas as seguintes exigências (Estado da Flórida, 1989):

— tratamento secundário, isto é, DBO e SST não excedentes a 20 mg/l, seguido de
— desinfecção, para obtenção de um afluente apresentando um nível de coliformes fecais inferior a 200 (duzentos) organismos/100 ml.

Para a irrigação de culturas alimentícias, para a descarga de vasos sanitários em edifícios — onde o público não tenha acesso à instalação predial para fins de reparos ou modificações — e para a irrigação de áreas acessíveis à população, inclusive gramados residenciais, são exigidos na Flórida:

— tratamento secundário seguido de desinfecção e filtração com os limites para o efluente de 20 mg/l de DBO, 5 (cinco) mg/l de SST e nenhum coliforme fecal detectável em 100 ml.

Na Flórida não é permitida a irrigação de culturas comestíveis, salvo aquelas que para serem consumidas exijam a raspagem, ou a retirada da casca, ou o cozimento ou o processamento térmico industrial.

O Arizona é o único estado americano que possui padrões de reuso incluindo limites para vírus e parasitas. Por exemplo, quando o reuso da água é feito para irrigar, por aspersão, culturas que serão consumidas cruas, as regulamentações do Arizona incluem os seguintes limites para a qualidade da água:

— 2,2 organismos coliformes fecais/100 ml, turbidez de 1 NTU, 1 vírus entérico/40 ml e ausência de detecção de *Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia* e *Ascaris lumbricoides* (Estado do Arizona, 1987).

Diretrizes da OMS

Em 1971, a OMS patrocinou uma reunião de especialistas no reuso de efluentes e subsequentemente publicou um relatório técnico (OMS, 1973) sugerindo processos e tratamento para atendimento dos critérios protetores à saúde nos reusos voltados para a irrigação, aquacultura, usos industriais, reusos municipais potáveis e não potáveis. A maioria das recomendações do relatório foram posteriormente modificadas pela OMS e não necessitam ser aqui apresentadas. Os critérios de saúde para o reuso potável incluem:

— nenhum coliforme fecal em 100 ml;
— nenhuma partícula virótica em 1000 ml e
— nenhum efeito tóxico para humanos,

dentre outros critérios de potabilidade da água. Embora os especialistas tenham sugerido que os processos de tratamento poderiam ser aplicáveis ao reuso potável da água, reconheceram ao mesmo tempo as incertezas associadas à prática e concluíram que:

— os padrões convencionais de potabilidade eram totalmente inadequados para determinação da segurança no consumo de água de qualidade recuperada para fins potáveis e que
— os efeitos agudos e a longo prazo de constituintes químicos demandariam a realização de pesquisas.

Em 1985 foi realizada em Engelberg, Suíça, uma reunião de cientistas e epidemiologistas com o objetivo de discutir os riscos para a saúde decorrentes da irrigação com águas residuárias. O encontro, patrocinado pela OMS e outras entidades internacionais, reviu aspectos relacionados à saúde e outras pesquisas cujos resultados se tornaram disponíveis após a publicação, pela OMS, em 1973, das orientações para o reuso da água. Foi desenvolvida uma nova abordagem para os riscos à saúde provenientes do reuso da água na agricultura e na aquacultura. Foi concluído serem mínimos os riscos para a saúde devido à irrigação com águas residuárias tratadas; foi também concluído que os padrões bacteriológicos vi-

gentes eram injustificadamente restritivos (IRCWD, 1985). O resumo publicado do encontro, conhecido como *Relatório Engelberg*, inclui um conjunto tentativo de orientações para o reuso da água na irrigação. Foi recomendado que o número de nematodos intestinais não excedesse a 1 (um) ovo viável/litro na irrigação de árvores, culturais industriais, árvores frutíferas e pastagens. Para a irrigação de culturas comestíveis, campos desportivos e parques públicos, foi recomendado que o número de organismos coliformes não excedesse a 1000/100 ml.

Em 1987, um grupo científico da OMS, especialista em efeitos na saúde decorrentes do uso de águas residuárias tratadas na agricultura e na aquacultura, realizou um encontro em Genebra, tendo produzido um relatório publicado pela OMS em 1989 (OMS, 1989). Estas últimas orientações da OMS reafirmaram as recomendações do *Relatório Engelberg*. As orientações recomendadas para a qualidade microbiológica da água reusada na agricultura e na irrigação urbana estão sumarizadas no Quadro 3.

As orientações (*guidelines*) do Quadro 3 estão baseadas na conclusão de que os riscos à saúde humana nos países em desenvolvimento são devidos a doenças provocadas por helmintos e, por conseguinte, uma alta remoção de helmintos é necessária para o reuso seguro da água na agricultura e na aquacultura. Embora as orientações não façam menção específica a todos os helmintos significativos para a saúde pública, a menção aos nematodos intestinais é feita para que sirvam como organismos indicadores para todos os patógenos grandes que possam ser removidos por sedimentação. Fica subentendido que todos os ovos de helmintos cistos de protozoários serão removidos com igual eficácia. As orientações indicam que outros patógenos de interesse aparentemente tornam-se não viáveis em sistemas de lagoas tendo um longo período de detenção. As orientações para os ovos de helmintos tencionam servir como norma de projeto e não como um padrão para verificação rotineira do efluente.

O grupo científico concluiu que nenhuma orientação bacteriológica deveria ser feita se a população exposta fosse constituída apenas de trabalhadores rurais, devido à ausência de evidência indicando riscos à saúde dos trabalhadores provenientes de bactérias. A orientação bacteriológica recomendada para que a média geométrica de coliformes fecais ficasse em 1000/100 ml fundamentou-se na evidência epidemiológica mais recente, sendo considerada viável para países em desenvolvimento. O grupo científico concluiu que os riscos potenciais à saúde associados ao reuso da água para a irrigação de gramados e parques podiam trazer riscos à saúde do que aqueles associados à irrigação de vegetais que são consumidos crus e, portanto, recomendou o limite para coliformes fecais de 200/100 ml para tal irrigação urbana.

As orientações reconhecem que existem poucos dados sobre efeitos na saúde relativos ao reuso da água na aquacultura e não recomendam padrões definitivos de qualidade bacteriológica para esta aplicação. O limite tentativo de 1000/100 ml para a média geométrica de coliformes fecais é recomendado nas orientações com a intenção de prevenir a intrusão na musculatura dos peixes. O mesmo padrão para coliformes fecais é recomendado para a água de represas onde cresçam vegetais aquáticos (macrofitos). Devem ser garantidos altos padrões de higiene durante a limpeza de peixes, devido ao risco de existirem patógenos no trato digestivo e no fluido intraperitoneal, com probabilidade de contaminação acidental da carne se altos padrões de higiene não forem mantidos durante o manuseio e a limpeza. Para a aquacultura com água de reuso é recomendada a ausência total de ovos viáveis de trema-

todos, como orientação de qualidade para a água com relação a helmintos, e isto pode ser garantido pelo tratamento em lagoas de estabilização.

As orientações da OMS em 1989 reconhecem as lagoas de estabilização de esgotos como método de escolha usual em climas quentes, sempre preferido quando existir terra disponível a um custo razoável. As orientações recomendadas para a qualidade microbiológica podem ser alcançadas com confiabilidade através de lagoas em série. Uma remoção adequada de helmintos pode ser conseguida com um tempo de detenção de 8 a 10 dias, mas no mínimo duas vezes este tempo é requerido em climas quentes para redução de bactérias recomendado nas orientações. O tratamento terciário de efluentes de tratamentos secundários convencionais também pode ser empregado para atender às orientações recomendadas quanto aos limites microbiológicos.

OUTROS CRITÉRIOS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Irrigação

A irrigação de culturas é a principal forma de reuso da água nos países em desenvolvimento e ainda é uma modalidade em muitos países industrializados. O reuso da água para a irrigação paisagística de parques, campo de golfe, áreas de cinturões verdes, campos desportivos, gramados residenciais etc., está bem estabelecido em países industrializados e a tendência ao emprego mais frequente de sistemas duplos de distribuição em áreas urbanas tende a aumentar o reuso da água para todos os tipos de irrigação paisagística.

Constituintes químicos

Os efeitos mais constituintes químicos são bem conhecidos, tendo sido possível recomendar limites para constituintes inorgânicos e para outros parâmetros. Os problemas potenciais da irrigação podem ser classificados em função da salinidade, permeabilidade, toxicidade específica de íons e efeitos diversos. O Quadro 4 traz orientações que podem ser seguidas para avaliação da qualidade da água de irrigação com base nestes critérios. Os valores para a taxa de adsorção de sódio (SAR - *sodium adsorption ratio*) naquele quadro devem ser ajustados no caso do reuso da água, no sentido de incluir estimativas mais precisas de cálcio na água do solo, após a irrigação (Wescot e Ayers, 1984).

O Quadro 5 apresenta os limites recomendados para alguns elementos-traço na água de irrigação. Na maioria dos casos esses elementos acumulam-se nas plantas e no solo e podem, a longo prazo, apresentar riscos à saúde humana e animal ou fitotoxicidade às plantas.

A salinidade é uma preocupação específica do reuso da água na irrigação porque a água residual geralmente possui um conteúdo de sal maior do que a água doce. Quando os SDT forem altos, o problema se agrava quando houver baixa permeabilidade do solo e altas taxas de evapotranspiração. Culturas alimentícias são geralmente mais sensíveis aos SDT do que pastos ou gramados.

Se quantidades excessivas de sais solúveis forem acumuladas na zona das raízes a pressão osmótica do solo em solução torna-se excessivamente alta e a água torna-se menos disponível para as plantas. Na medida em que a quantidade de sais dissolvidos na

água de irrigação aumenta, o rendimento da cultura diminui, eventualmente atingindo-se um ponto acima do qual a vida da planta-se torna-se inviável. As concentrações limites dependem da planta, do tipo do solo, das condições climatológicas e da quantidade de água aplicada. Devido ao efeito da pressão osmótica dos sais na água, irrigações mais frequentes se fazem necessárias do que seriam feitas sob condições não salinas normais.

Muitas plantas são sensíveis aos sais, os quais podem prejudicar o crescimento, causar queima e queda das folhas e morte do caule. Algumas plantas são particularmente suscetíveis à toxicidade de certos íons, como os dos cloretos, de boro e do sódio. Os cloretos estão presentes em praticamente todas as águas. Eles não são necessários ao crescimento das plantas e, quando em concentrações excessivas, acarretam taxas de crescimento subnormais e queima das folhas. Em sistemas de irrigação por aspersão, os cloretos — mesmo quando em concentrações razoavelmente baixas — podem causar danos às plantas devido à adsorção pelas folhas do vegetal. O íon de sódio também pode ser tóxico a certos arvoredos. Tem sido observada uma adsorção excessiva pelas folhas e dano a culturas sensíveis devido à irrigação por aspersão suspensa, quando a umidade estava abaixo de 30% e as concentrações de sódio ou cloreto eram maiores do que, respectivamente, 70 ou 100 mg/l. A água possuindo uma concentração alta de sódio é prejudicial à estrutura física de solos argilosos porque dispersa seus colóides. Isto retarda o movimento da água e a percolação dos sais, dificultando o trabalho do solo.

O valor fertilizante dos nutrientes da água residual é considerado geralmente benéfico, mas altas concentrações de nitrogênio podem ser prejudiciais. As concentrações aceitáveis de nitrogênio situam-se abaixo de 5 mg/l; acima de 30 mg/l podem causar graves problemas. As concentrações de nitrogênio podem originar crescimento excessivo da vegetação em detrimento da produção de frutas, atrasar a maturidade, abaixar os níveis de açúcar ou de carboidratos em algumas culturas alimentícias e afetar desfavoravelmente o sabor e a textura de plantas comestíveis. Por outro lado, as forragens usualmente se beneficiam com grandes quantidades de nitrogênio.

O entupimento dos sistemas de irrigação pode ocorrer como resultado dos sólidos em suspensão, da preelpitação química ou do crescimento biológico. A deposição de sedimentos não somente reduz a capacidade dos sistemas na condução e distribuição da água mas também pode diminuir a capacidade dos reservatórios. Os sólidos em suspensão podem ser responsáveis pelo desgaste indevido de bombas e tubulações de sistemas de irrigação, pelo entupimento dos bocais de aspersão ou dos aplicadores por gotejamento, reduzindo portanto a eficiência da irrigação. Geralmente o material particulado que passa na peneira de 200 mesh não causa problemas de entupimento, mesmo em sistemas de gotejamento (WPCF, 1989). A manutenção do residual de cloro pode controlar o crescimento de bactérias e de algas nas tubulações de irrigação.

Não está bem documentado quanto dos químicos orgânicos na água para reuso pode ser absorvido pelas plantas. Sabe-se que as plantas absorvem muitos pesticidas pelas raízes, os quais se deslocam na estrutura vegetal. Aparentemente os constituintes orgânicos da água residual não têm efeito adverso nas culturas, na vegetação ou nos consumidores, salvo se quantidades anormalmente altas desses constituintes forem provenientes de descargas industriais. Não existem entretanto informações confiáveis nessa área.

Concentrações de cloro livre tão pequenas quanto 0,05 mg/l podem queimar folhas e afetar algumas plantas sensíveis, embora

algumas culturas e gramíneas sejam resistentes a concentrações muito mais altas. As concentrações usuais de cloro residual combinado que se encontram na água residuária tratada, normalmente existente na água para reuso, não causam danos às plantas.

Usos industriais

Os reusos industriais da água incluem água para resfriamento, processamento, alimentação de caldeiras, lavagem, transporte de material, podendo também integrar o produto da indústria. Os requisitos de qualidade da água para muitos reusos industriais (v. g., água de processamento) são função da aplicação específica, sendo impossível de serem generalizados. Aproximadamente 75% de todo reuso industrial destina-se a refrigeração.

Água de refrigeração

Os maiores problemas decorrentes do reuso da água para reposição de água de refrigeração são a tuberculização, a corrosão, os entupimentos pela proliferação biológica. Alguns parâmetros de interesse e os problemas que podem causar aparecem no Quadro 6. Um alto grau de desinfecção da água para proteção do público e dos empregados da indústria pode ser requerido pelos órgãos ambientais, quando for praticada a aspersão da água durante o reuso ou quando existir risco de contaminação por aerossóis.

No mínimo o tratamento secundário é indispensável para a água de refrigeração, sendo preferível o tratamento terciário, incluindo filtração e um alto nível de desinfecção. Frequentemente a indústria faz tratamento adicional para os sistemas de recirculação da água de refrigeração, muitas vezes incluindo clarificação com cal ou precipitação com sulfato de alumínio para remoção de nutrientes. A troca iônica é eficaz na remoção da dureza da água. O ácido sulfúrico pode ser usado para controle do pH e da alcalinidade, os polifosfatos para controle da corrosão, os fosfanatos ou os fosfatos de cálcio para desestabilização, os poliacrilatos para a dispersão de sólidos em suspensão, o cloro para controle biológico e agentes antiespumantes para a dispersão das espumas causadas pelos fosfatos e por alguns compostos orgânicos.

Uma alta taxa de purga diminuirá as concentrações de contaminantes, mas aumentará a demanda de água de reposição e aumentará significativamente os custos dos produtos químicos. Na prática, é comum para torres de refrigeração que haja um aumento das concentrações de cinco a oito vezes, entre as operações de reposição e de purga. Os critérios recomendados de qualidade da água de reposição com cinco ciclos de concentração são apresentados no Quadro 7.

Os requisitos de qualidade da água para torres de refrigeração que não fazem recirculação são consideravelmente menos restritos do que os exigidos para as que usam água de reposição. Usualmente são aceitáveis os efluentes secundários desinfetados ou filtrados. Os problemas principais são os crescimentos de limos no sistema de refrigeração e os depósitos da matéria em suspensão na água. Salvo em situações inusitadas, os problemas de corrosão e de incrustação não causam preocupações em sistemas de refrigeração que não fazem recirculação (WPCF, 1989).

Água de alimentação de caldeiras

O reuso da água para alimentação de caldeiras requer um rigoroso tratamento adicional e não é recomendável, usualmente. Os sais

de cálcio e magnésio são os principais responsáveis pelas incrustações e depósitos em aquecedores e a água de alimentação deve ser tratada para eliminação da dureza. A alcalinidade excessiva contribui para a formação de espumas e resulta em depósitos nos aquecedores, trocadores de calor e em umidades de turbina. A sílica e a alumina formam uma crosta dura nas superfícies dos trocadores de calor e altas concentrações de potássio e sódio podem causar espumas excessivas nos aquecedores. Os requisitos de qualidade são dependentes da pressão de operação no aquecedor, como indicado no Quadro 8.

Recarga de aquíferos

A recarga de aquíferos é feita com os objetivos de evitar a intrusão de cunhas salinas no aquífero de água doce, de armazenar água de qualidade recuperada para uso futuro, de evitar a depleção dos níveis d'água do lençol subterrâneo, de controlar ou de prevenir a ocorrência de recalques do solo e de aumentar a reserva do aquífero potável ou não potável. A recarga de aquíferos pode ser feita por irrigação superficial, por injeção direta, por infiltração no solo dos barrancos ou de leito dos rios resultante do aumento da vazão dos cursos d'água. A infiltração no solo dos barrancos ou de leito dos rios não é comum nos EUA, mas é extensivamente praticada na Europa, onde a água resultante é captada para fins potáveis após tratamento por filtros de carvão ativado granular, usualmente combinado com filtração em areia e ozonização.

Dependendo das características da água para reuso, do tipo de solo, da profundidade da zona aeróbica e das práticas de irrigação da superfície, a percolação no solo pode prover tratamento adicional da água. Nas camadas superiores do solo, altos níveis de microorganismos e alguns constituintes químicos podem ser removidos por adsorção, decomposição, precipitação, troca iônica, oxidação, redução, dentre outras reações químicas. Alguns destes processos retardam a taxa de movimentação de constituintes químicos específicos no ambiente do subsolo, com relação à taxa de movimento da água. Os solos têm capacidade de reter grandes quantidades de elementos metálicos traço.

O tratamento de águas residuárias e os critérios de qualidade para a recarga de aquíferos variam em função de características hidrogeológicas locais específicas, do tipo de recarga e do uso planejado subsequente para a água. A injeção direta requer uma alta qualidade do efluente para evitar a obstrução do solo por partículas durante a injeção e para que não ocorram precipitações químicas ou proliferações biológicas.

Podem ser requeridos critérios bastante restritivos, por exemplo, os de potabilidade, para o reuso potável indireto da água subterrânea recarregada. Os critérios de potabilidade não definem adequadamente a qualidade química da água para reuso potável. Devido às incertezas quanto aos efeitos sobre a saúde relativos à presença de muitos constituintes químicos que podem estar presentes na água para reuso, pode ser necessário o tratamento avançado da água residuária antes da recarga de aquíferos potáveis, seja por injeção no solo, seja por irrigação superficial.

EM RESUMO

Os critérios de qualidade para reuso da água são baseados em requisitos de usos específicos, em considerações estéticas e ambientais e na proteção da saúde pública. Os efeitos de muitos constituintes químicos são bastante conhecidos para a maioria dos reusos

não potáveis e têm sido recomendados limites para tais constituintes, embora restem algumas questões não respondidas relativas à significância para a saúde de organismos traço nos reusos da água para a agricultura e para a aquicultura.

Os riscos para a saúde provocados pelos patógenos microbiológicos são mais difíceis de quantificar.

Os critérios de qualidade diferem bastante quando se comparam países industrializados com países em desenvolvimento, diferença que pode ser parcialmente atribuída a fatores como viabilidade econômica, tecnologia disponível, nível geral da saúde das populações e características políticas e sociais. Os critérios da Califórnia para recuperação da qualidade da água e outros critérios conservadores semelhantes garantem um alto grau de segurança de proteção à saúde, como almejado pelas autoridades de saúde que o julgam necessário e apropriado para as condições daqueles estados ou países para os quais tais critérios foram desenvolvidos, onde as bactérias e os vírus são considerados os agentes patogênicos mais importantes.

Para países em desenvolvimento, onde as infecções parasitárias são endêmicas, as orientações recomendadas pela OMS para o reuso da água são consideravelmente menos restritivas, sendo dirigidas principalmente para a remoção de helmintos. As orientações da OMS podem ser facilmente seguidas por processos de baixo custo, tratando-se as águas residuárias em sistemas de lagoas de estabilização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Asano, T., Mujeriego, R., and Parker, J.D. (1988). Evaluation of Industrial Cooling Systems Using Reclaimed Municipal Wastewater. *Wat. Sci. Tech.*, 20(10), 163-174.
2. County Sanitation Districts of Los Angeles County (1977). *Pomona Virus Study: Final Report*. California State Water Resources Control Board, Sacramento, Califórnia.
3. Crook, J. (1985). Water Reuse in California. *Jour AWWA*, 77, 60-71.
4. Engineering-Science (1987). *Monterey Wastewater Reclamation Study for Agriculture: Final Report*. Prepared for Monterey Regional Water Pollution Agency by Engineering-Science, Berkeley, California.
5. EPA (1980). Guidelines for Water Reuse. EPA-600/8-80-036,

prepared by Camp Dresser & McKee Inc. for the U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.

6. Feachem, R.G., Bradley, D.J., Garelick, H., and Mara, D.D. (1980). *Appropriate Technology for Water Supply and Sanitation. Volume 3: Health Aspects of Excreta and Sullage Management — A State-of-the-Art Review*. The World Bank, Washington, D.C.

7. IRCWD (1985). *Health Aspects of Wastewater and Excreta Use in Agriculture and Aquaculture: The Engelberg Report. IRCWD News No. 23 (December 1985)*, International Reference Centre for Waste Disposal, Dubendorf, Switzerland.

8. Lund, E. (1980). *Health Problems Associated with the Re-Use of Sewage: I. Bacteria, II. Viruses, III. Protozoa and Helminths*. Working papers prepared for WHO Seminar on Health Aspects of Treated Sewage Re-Use, 1-5 June 1980, Algiers.

9. Shuval, H.I., Adin, A., Fattal, B., Rawitz, E., and Yekutieli, P. (1986). *Wastewater Irrigation in Developing Countries — Health Effects and Technical Solutions. World Bank Technical Paper Number 51*, The World Bank, Washington, D.C.

10. State of Arizona (1987). *Regulations for the Reuse of Wastewater*. Arizona Administrative Code, Chapter 9, Article 7, Arizona Department of Environmental Quality, Phoenix, Arizona.

11. State of California (1978). *Wastewater Reclamation Criteria*. California Administrative Code, Title 22, Division 4, California Department of Health Services, Sanitary Engineering Section, Berkeley, California.

12. State of Florida (1989). *Reuse of Reclaimed Water and Land Application*. Chapter 17-610, Florida Administrative Code, Florida Department of Environmental Regulation, Tallahassee, Florida.

13. Westcot, D.W., and Ayers, R.S. (1984). *Irrigation Water Quality Criteria*. In: *Irrigation With Reclaimed Municipal Wastewater — A Guidance Manual*. G. S. Pettygrove and T. Asano (Eds.), California State Water Resources Control Board, Sacramento, California.

14. WHO (1973). *Reuse of Effluents: Methods of Wastewater Treatment and Health Safeguards. WHO Technical Report Series No. 517*, World Health Organization, Geneva, Switzerland.

15. WHO (1989). *Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. WHO Technical Report Series 778*, World Health Organization, Geneva, Switzerland.

16. WPCF (1989). *Water Reuse — Manual of Practice SM-3*. Water Pollution Control Federation, Alexandria, Virginia.

Quadro 1

Tipos de Reuso da Água

- Irrigação Paisagística: Parques, cemitérios, campos de golf, faixas de domínio de autoestradas, campos universitários, cinturões verdes, gramados residenciais.
- Irrigação de Campos para Cultivos: Plantio de forrageiras, plantas fibrosas e de grãos, plantas alimentícias, viveiros, proteção contra geadas.
- Usos Industriais: Refrigeração, alimentação de caldeiras, lavagem de gases, água de processamento.
- Recarga de Aquíferos: Recarga de Aquíferos potáveis, controle da intrusão de cunhas salinas, controle de recalques de subsolos.
- Usos Urbanos Não Potáveis: Irrigação paisagística, combate ao fogo, descarga de vasos sanitários, sistemas de ar condicionado, lavagem de veículos, lavagem de ruas.
- Represamentos: Orçamentais, recreacionais.
- Finalidades Ambientais: Aumento da vazão de cursos d'água, aplicação em pântanos, alagadós, indústrias de pesca.
- Usos Diversos: Aquicultura, fabricação de neve, construções, controle de poeira, dessedentação de animais.

Quadro 2

Critérios da Califórnia para Tratamento e Reuso da Água (a)

Tipo de Uso Coliformes totais	Limite para	Tratamento Requerido
Cultivo de forrageiras, plantas fibrosas e grãos, irrigação superficial de árvores frutíferas e parreirais.	—	Primário
Pasto para animais leiteiros, Represamentos paisagísticos. Irrigação paisagística (campos de golf, cemitérios, etc)	23/100 mL	Oxidação e desinfecção
Irrigação superficial de culturas alimentícias (b). Represamentos recreacionais restritos	2.2/100mL	Oxidação e desinfecção
Irrigação (aspersão) de culturas alimentícias (b). Irrigação paisagística (parques, playgrounds, etc)	2.2/100 mL	Oxidação Coagulação, Clarificação, Filtração (c) e Desinfecção
Represamentos recreacionais não restritos	N.T.: (não constam limites no original)	

(a) Fonte: Estado da Califórnia (1978)

(b) Podem ser feitas exceções nos requisitos para culturas que serão processadas industrialmente

(c) A turbidez do efluente filtrado não pode exceder uma média de duas unidades de turbidez durante qualquer período de 24 horas.

QUADRO 3
Qualidade Microbiológica Recomendada para o Reuso da Água na Agricultura (a, b)

Categoria	Condições de Reuso	Grupo Exposto	Nematodos intestinais (c) (média aritmética nº de ovos/L (d))	Coliformes Fecais (média geométrica por 100 ml (d))	Tratamento necessário para atingir a qualidade microbiológica requerida
A	Irrigação de culturas prováveis de serem consumidas cruas, campos desportivos, parques públicos (e).	Trabalhadores, consumidores, público	1	1000 (d)	Lagoas de estabilização em série, projetadas para a qualidade microbiológica requerida, ou tratamento equivalente
B	Irrigação de culturas de cereais, culturas industriais, culturas de forrageiras, pastos, árvores (f).	Trabalhadores	1	Nenhuma padrão recomendado	Retenção em lagoas de estabilização durante 8 a 10 dias ou remoção equivalente de helmintos e coliformes fecais.
C	Irrigação localizada de culturas na categoria B, não ocorrendo a exposição de trabalhadores e de público	Nenhum	Não Aplicável	Não Aplicável	Prétratamento indicado pela tecnologia de irrigação, mas não inferior a à sedimentação primária.

(a) Fonte: OMS (1989)

(b) Em casos específicos as orientações devem ser modificadas em função de levantamentos epidemiológicos locais, fatores sócio culturais e ambientais.

(c) Espécies de *Ascaris*, *Trichiurus* e lombrigas

(d) Enquanto durar o período de irrigação.

(e) Para gramados públicos é recomendável uma orientação mais restrita (menos do que 200 coliformes fecais por 100 mL), como por exemplo para gramados de hotéis, um dos casos em que o público pode vir a ter contato direto.

(f) No caso de árvores frutíferas a irrigação deve cessar duas semanas antes da fruta ser colhida e nenhuma fruta deve ser apanhada do chão. A irrigação por aspersão não deve ser empregada.

QUADRO 4
Orientações para Avaliação da Qualidade da Água de Irrigação (a)

Problemas Potenciais na Irrigação	Unidades	Nenhum	Ligeiros a Moderados	Graves
Salinidade				
Condutividade elétrica	mho/cm	0,7	0,7 - 3,0	3,0
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	450	450 - 2000	2000
Permeabilidade				
SAR (b) = 0 - 3 e condutividade		0,7	0,7 - 0,2	0,2
3 - 6		1,2	1,2 - 0,3	0,3
6 - 12		1,9	1,9 - 0,5	0,5
12 - 20		2,9	2,9 - 1,3	1,3
20 - 40		5,0	5,0 - 2,9	2,9
Toxicidade específica de íons				
Da absorção pelas raízes				
Sódio	SAR	3	3 - 9	9
Cloretos	mg/L	140	140 - 350	350
Boro	mg/L	0,7	0,7 - 3,0	3,0
Da absorção foliar				
Sódio	mg/L	70	70	
Cloretos	mg/L	100	100	
Efeitos Diversos				
Nitrogênio (total N)	mg/L	5	5 - 30	30
Bicarbonato (HCO ₃)	mg/L	90	90 - 500	500
pH		faixa normal	6,5 - 8,4	
Cloro residual (irrigação por aspersão)	mg/L	1,0	1,0 - 5,0	5,0

(a) Adaptado de: Westcot e Ayers (1984)

(b) SAR = taxa de adsorção de sódio ("sodium adsorption ratio") = Na/(Ca + Mg)/2²

QUADRO 5
Limites Recomendados para Elementos — Traço na Água de Reuso para Irrigação (a)

Constituinte	Uso a Longo Prazo (b)	Uso a Curto Prazo (c)
Alumínio	5,0	20,0
Arsênio	0,10	2,0
Berílio	0,10	0,5
Boro	0,75	2,0
Cádmio	0,01	0,05
Cromo	0,1	1,0
Cobalto	0,05	5,0
Cobre	0,2	5,0
Fluoreto	1,0	15,0
Ferro	5,0	20,0
Chumbo	5,0	10,0
Lítio	2,5	2,5
Manganês	0,2	10,0
Molibdenio	0,01	0,05
Níquel	0,2	2,0
Selenio	0,02	0,02
Vanádio	0,1	1,0
Zinco	2,0	10,0

(a) Adaptado de: National Academy of Sciences — National Academy of Engineering (1973)

(b) Para uso contínuo da água em todos os solos.

(c) Para uso da água por um período de até 20 anos em solos neutros de textura fina ou em solos alcalinos

QUADRO 6
Fatores a Observar quanto à Qualidade da Água para Reuso Industrial

Resíduos Orgânicos	Reflorescimento bacteriológico Depósitos de limo e incrustações Escumas
Amônia	Corrosão de ligas baseadas em cobre Estímulo do crescimento microbiológico Interferência com a desinfecção
Sólidos em Suspensão	Deposições Entupimentos
Cálcio, Magnésio, Ferro, Silica	Tuberculização

QUADRO 7
Critérios Recomendados para a Água de Reposição em Torres de Refrigeração (a)

Parâmetro	Limite Recomendado (b)
Silica (SiO ₂)	50
Cloreto (Cl)	500
Sólidos dissolvidos totais	500
Dureza (CaCO ₃)	650
Alcalinidade (CaCO ₃)	350
Sólidos em suspensão totais	100
Amônia (NH ₃)	1.0
Alumínio (Al)	0.1
Ferro (Fe)	0.5
Manganês (Mn)	0.5
Cálcio (Ca)	50
Magnésio (Mg)	30
Bicarbonato (HCO ₃)	24
Sulfato (SO ₄)	200
Fósforo	1.0
pH (unidades)	6.8 - 7.2
Coliformes totais (NMP/100mL)	2.2

QUADRO 8
Critérios de Qualidade da Água Recomendados para Água de Alimentação de Aquecedores (a, b)

Parâmetro	Baixa Pressão	Alta Pressão
Silica (SiO ₂)	30	0.7
Alumínio (Al)	5	0.01
Ferro (Fe)	1	0.05
Manganês (Mn)	0.3	0.01
Amônia (NH ₃)	0.1	0.1
Sólidos dissolvidos totais	700	200
Cobre (Cu)	0.5	0.05
Dureza (CaCO ₃)	350	0.07
Alcalinidade (CaCO ₃)	350	40
Oxigênio dissolvido	2.5	0.007
Sólidos em suspensão	10	0.05

(a) Adaptado da National Academy of Sciences - National Academy of Engineers (1973)

(b) Limites recomendados em mg/L.

(a) Adaptado da WPCF (1989) e de Asano *et al* (1988)
(b) Em mg/L, salvo observada outra unidade.