

Manual de produção de água segura por reúso de águas usadas

Organização Mundial da Saúde - 2017

Título original: Potable Reuse: Guidance for Producing Safe Drinking-water

Tradutor livre: Paulo Afonso da Mata Machado

“This translation was not created by the World Health Organization (WHO). WHO is not responsible for the content or accuracy of this translation. The original English edition shall be the binding and authentic edition”.

<http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/258715/1/9789241512770-eng.pdf?ua=1>

É permitida a cópia, a redistribuição e a adaptação desta tradução para propósitos não comerciais.

“Água deve ser julgada por sua qualidade, não por sua história.” (Lukas van Vuuren)



Manual de produção de água segura por reúso de águas usadas

Organização Mundial da Saúde - 2017

Revisores internacionais: Eva Agus, Robert Bastian, Mary Rose Bayer, Robert B Brobst, Jo Burgess, Lesley D'Anglada, Jennifer De France, Ana Maria de Roda Husman, Jörg E Drewes, John Fawell, Cranfield University, Naoyuki Funamizu, Michèle Giddings, Karina Gin, Bruce Gordon, Willie Grabow, Jiangyong Hu, Bruce J Kobelski, Josef Lahnsteiner, Ian Law, Greg Leslie, Jean-Francois Loret, Mike Markus, Michael J McGuire, Rory Moses McKeown, Kate Medicott, Jeff Mosher, Mike Muse, Sharon Nappier, Blair Nancarrow, Greg Oliver, Philip S Oshida, Cedric Robillot, Clemencia Rodriguez, Michael Rouse, Mark Sobsey, Melita Stevens, Mel Suffet, Jason Todd, Ben van der Merwe.

Revisores brasileiros: Ana Maria de Roda Husman (National Institute of Public Health and the Environment, Países Baixos), Jamyle Calencio Grigoletto (Ministério da Saúde), Marcos von Sperling (Escola de Engenharia da UFMG) e Paulo Rubens Guimarães Barrocas (Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz).



Prefácio do tradutor

Em 2014, São Paulo enfrentou a maior crise hídrica dos últimos tempos. O Rio Tietê provocou grandes inundações nas partes baixas da cidade, causando transtornos imensuráveis no tráfego, por si só já tão complicado. Por outro lado, o Sistema Cantareira, responsável por grande parte do abastecimento da cidade, entrou em seu volume morto, provocando um racionamento de água sem precedentes nas últimas décadas.

Essa situação ressuscitou o antigo projeto de transposição de águas da bacia do Rio Paraíba do Sul. Desse modo, São Paulo passaria a receber água de duas bacias externas: a bacia do Piracicaba, que abastece o Sistema Cantareira, e a bacia do Rio Paraíba do Sul, que já abastece a cidade do Rio de Janeiro. Sobre isso, assim se manifestou Hespanhol (2014):

A política de importar água de bacias cada vez mais distantes para satisfazer o crescimento da demanda começou há mais de dois mil anos com os romanos, dando origem aos seus famosos aquedutos. A prática ainda persiste, resolvendo, precariamente, o problema de abastecimento de água de uma região, em detrimento daquela que a fornece. As soluções mais modernas em termos de gestão de recursos hídricos consistem em tratar e reusar os esgotos já disponíveis nas próprias áreas urbanas para complementar o abastecimento público.

Hespanhol (2012) já havia dito:

A sistemática atual é pré-histórica e irracional, resolvendo precariamente o problema de abastecimento de água em uma região, em detrimento daquela que a fornece. Há, portanto, necessidade de adotar um novo paradigma que substitua a versão romana de transportar sistematicamente grandes volumes de água de bacias cada vez mais longínquas e de dispor os esgotos, com pouco ou nenhum tratamento, em corpos de água adjacentes, tornando-os cada vez mais poluídos.

A notícia do colapso hídrico na capital paulista passou a ser tema diário dos telejornais e ultrapassou as fronteiras do país. A pesquisadora da Universidade Stanford, na Califórnia, Newsha Ajami, comentou a crise hídrica com espanto ao se dar conta que o problema não é de falta de água: - Tem um rio passando na cidade e vocês estão sem água? Nós (na Califórnia) realmente não temos água, pois não está chovendo e os nossos rios estão secos.

Hespanhol (2014) faz a seguinte previsão:

É inexorável que, dentro de no máximo uma década, a prática do reúso potável direto, utilizando tecnologias modernas de tratamento e sistemas avançados de gestão de riscos e de controle operacional, será, apesar das reações psicológicas e institucionais que a constroem, a alternativa mais plausível para fornecer água realmente potável. Além de resolver o problema de qualidade, o reúso potável direto estaria fortemente associado à segurança do abastecimento, pois utilizaria fontes de suprimento disponíveis nos pontos de consumo, eliminando, por exemplo, a necessidade da construção de longas e custosas adutoras, que, geralmente, transferem água para grandes centros urbanos, coletada de áreas afetadas por estresse hídrico.

É possível que a incoerência verificada em São Paulo tenha estimulado a Organização Mundial da Saúde a dar mais atenção às fontes hídricas, especialmente àquelas originadas pelas águas usadas. O certo é que, em 2017, surgiu o manual “Potable Reuse – Guidance for Producing Safe Drinking-water”, cuja tradução livre está sendo entregue ao público.

Nessa obra, os profissionais da Organização Mundial de Saúde (OMS) deixam claro que o reúso potável, ou seja, a transformação de águas usadas em água potável é algo que já ocorre em vários países e não apresenta nenhuma tecnologia nova, pois todos os processos de tratamento utilizados são do conhecimento dos profissionais da Engenharia Sanitária.

Por outro lado, para a OMS (ou WHO, conforme a sigla em inglês), a principal dificuldade para implantação do reúso potável não é técnica, mas psicológica. Os usuários precisam entender como funciona o ciclo hidrológico que atua constantemente na natureza. Tanto a água do mar como as águas mais contaminadas, ao se evaporarem, transformam-se em vapor de água, isento de sais e de qualquer tipo de poluição. A chuva que alimenta as nascentes dos rios, das quais bebemos sem nenhum tratamento prévio, pode ter sido resultado da evaporação de pântanos, atoleiros, efluentes hospitalares etc. A transformação das águas usadas em água potável nada mais é que o homem participando ativamente do ciclo hidrológico.

Por isso, todo o capítulo 7 do manual, intitulado “The art of public engagement” (traduzido por “A arte do engajamento público”) é dedicado a explicar aos profissionais hidrossanitários como convencer o público de que o reúso potável representa uma fonte segura de abastecimento de água e que, mais que isso, é uma fonte que não sofre influência do clima e não passa por crises de abastecimento decorrentes de longos períodos de estiagem.

Estão certos os profissionais da Organização Mundial de Saúde. No Brasil, a resistência ao reúso potável tem contestações as mais diversas. Tomamos a liberdade de acrescentar a este prefácio algumas das contestações feitas, muitas delas por pessoas diretamente ligadas ao abastecimento público de água.

Perguntas e respostas

1. O reúso potável do esgoto é insuficiente para abastecer a população.

É verdade. Os compêndios de Engenharia Sanitária indicam que, mesmo as águas usadas em uma dada localidade forem completamente captadas, a vazão fica em torno de 80% da vazão de água que é distribuída. Por isso, o reúso potável precisa ser complementado por uma vazão adicional. Entretanto, como esse complemento vai passar pelos mesmos tratamentos do reúso potável, seus critérios de seleção são muito menos restritivos que aqueles que norteiam a seleção da água bruta para ETAs convencionais.

É preciso destacar que, se hoje o reúso potável não é necessário como fonte de água, no futuro poderá vir a ser. À medida que a vazão de distribuição de água potável aumenta, maiores são as necessidades de água bruta e poderá haver necessidade de outras fontes de água.

As águas usadas são uma fonte permanente de água, pois um aumento no consumo de água potável implica aumento em sua geração. Sua vazão não sofre variação tão grande com o clima como ocorre com a variação de fontes superficiais e subterrâneas de água.

Finalmente, é preciso destacar que a variação na qualidade da água das fontes superficiais e subterrâneas afeta a produção de água potável em estações convencionais, enquanto a variação na composição das águas usadas não afeta a produção de reúso potável, cujo tratamento biológico é muito superior ao das ETAS convencionais.

2. O reúso potável é mais caro que o tratamento de águas superficiais.

É verdade. A transformação de água usada em água potável é mais cara que a potabilização de água de rios, lagos ou lençóis subterrâneos.

Acontece que a comparação está incompleta. Ao se fazer o reúso potável, está-se praticando duas atividades: o tratamento das águas usadas e a produção de água potável.

Sem dúvida alguma, o reúso potável é mais barato que a soma dos custos de ambos os tratamentos devido à economia de escala. Ressalte-se que essa diferença de custos é ainda mais

marcante nos períodos de escassez hídrica em que, muitas vezes, é necessário buscar água a longa distância.

3. Uma estação de reúso potável não conseguirá tratar o esgoto de forma adequada.

No Brasil, essa contestação é feita até mesmo por engenheiros sanitaristas, que desconhecem o processo que é utilizado desde 1968, quando foi introduzido em Windhoek, na Namíbia (Seção 8.2). A estação pioneira do país africano está até hoje em funcionamento.

Na realidade, o reúso potável produz água de melhor qualidade que muitas estações de tratamento convencionais, pois tem tratamento físico (retenção em grades, decantação, filtração por membranas, adsorção em carvão ativado), químico (adição de peróxido de hidrogênio e cloração) e biológico (ocorre em praticamente toda a estação).

As estações de tratamento convencionais trabalham, muitas vezes, com coagulação, floculação, decantação, filtração e cloração, o que nem sempre consegue eliminar todos os poluentes da água bruta.

4. O povo rejeitará a água que foi esgoto.

Esta é, sem dúvida, uma questão que deve ser abordada com o máximo cuidado. O problema do reúso potável não é técnico, mas de comunicação. Reproduzimos o texto original do item 7.4 do manual para que o leitor aprecie, antes de iniciar a leitura de sua tradução, como esse assunto tem preocupado os profissionais da Organização Mundial de Saúde:

In some instances, officials have called off plans to implement potable reuse after they faced public opposition and outcry. Although these projects were well designed with sound engineering principles, supported by extensive laboratory tests to ensure water quality, the lack of a well thought out public communications programme combining science/technology and art/social science considerations to garner public support dealt them a huge blow. Headlines like “toilet to tap,” that play on the psychological and emotional aspects of the human mind, were shown to cloud logical reasoning. The result was public resistance to potable reuse. But slowly, things are changing. In recent years, more cities are implementing schemes, fuelled in part by prolonged dry spells and droughts.

A tradução livre é a seguinte:

Em algumas vezes, autoridades têm cancelado planos para utilizar o reúso potável depois de terem faceado oposição e clamor público. Embora esses projetos fossem bem feitos, de acordo com os princípios de Engenharia e sustentados por testes de laboratório extensivos para assegurar a qualidade da água, a falta de um bem desenvolvido programa de comunicação pública combinando ciência/tecnologia e arte/considerações de ciência social para colher apoio público levaram a um grande fracasso. Frases feitas como “do toalete à torneira” que provocam aspectos psicológicos e emocionais na mente humana, encobriram o raciocínio lógico. O resultado foi resistência pública ao reúso potável. Mas, devagar, as coisas vão mudando. Nos últimos anos, mais cidades têm desenvolvido projetos, levadas, em parte, por períodos de seca e estiagens.

É importante destacar que, na estação de reúso potável de Orange County, Califórnia, os visitantes são convidados a tomar um copo de água de reúso potável. Muitos são aqueles que se recusam a fazê-lo.

Portanto, a rejeição ao consumo de água obtida pelo reúso potável é seu maior obstáculo, mas pode ser contornada por uma boa campanha publicitária.

5. O rejeito da filtração por membrana será altamente poluente.

No caso do reúso potável, não há esse problema, pois antes de chegar às membranas de ultrafiltração, o líquido passa por wetlands construídos, reator aeróbio e decantador secundário. O rejeito da ultrafiltração é encaminhado a um wetland construído, destinado a receber o efluente do decantador secundário. Uma pequena parcela do rejeito da ultrafiltração é lançada em valas de filtração para evitar que eventuais partículas inertes possam circular indefinidamente entre o wetland e os ultrafiltros. Essa parcela, depois de filtrada, é devolvida às membranas de ultrafiltração. Não há, portanto, risco de contaminação do meio ambiente por parte do rejeito da ultrafiltração, porque não é lançado para fora da estação.

Destaque-se que um dos grandes problemas de uma ETA convencional é a disposição do lodo contido na água de lavagem de filtros, problema que não existe em uma estação de reúso potável.

6. Como as primeiras unidades de reúso potável diferem do projeto de uma ETE, não é possível transformar as ETEs existentes em estações de reúso potável.

As primeiras etapas do reúso potável repetem, com algumas modificações, os processos convencionais de uma ETE. Em muitos casos, o reúso potável aproveita ETEs existentes, pois substituí-las pode aumentar o custo do investimento e apresentar dificuldades durante a construção. Se uma ETE não estiver bem operada, pode haver problemas na qualidade do produto final e, portanto, essa ETE deve ser corrigida antes de ser transformada em estação de reúso potável. Se a ETE está com funcionamento adequado, bastará adaptá-la para que seu efluente venha a se tornar água potável.

Exemplo típico é a ETE de Ibirité-MG, que produz água de reúso não potável. Suas unidades são:

- a) Grade média mecanizada
- b) Desarenador
- c) Peneiramento
- d) Desodorização
- e) Decantadores primários circulares
- f) Reatores biológicos
- g) Decantadores secundários
- h) Mistura rápida
- i) Mistura lenta
- j) Sedimentação terciária
- k) Filtração terciária
- l) Biodiscos
- m) Desinfecção por UV

O tratamento sólido se compõe de:

- a) Adensamento do lodo primário por gravidade;
- b) Adensamento dos lodos secundário e terciário por flotação;
- c) Estabilização anaeróbia dos lodos;
- d) Desaguamento dos lodos por centrifugação;
- e) Cogeração com secagem térmica dos lodos para combustão.

As modificações na ETE para transformá-la em estação de reúso potável seriam tão somente:

- i) A jusante dos biodiscos: oxidação; wetland construído horizontal; e membranas filtrantes de ultrafiltração;
- ii) A jusante da desinfecção por UV: carvão ativado granulado; cloração, fluoretação e correção do pH.

Como existe tratamento sólido na estação, a parcela do rejeito da ultrafiltração que iria para as valas de filtração (cerca de 10%) deve ser encaminhada ao adensamento por flotação, enquanto o restante deve retornar ao wetland horizontal. O efluente da cloração será água própria para consumo humano.

7. Empresas que trabalham com produtos químicos podem lançar metais pesados na rede de esgoto.

Tal prática não é permitida pela legislação e, em Minas Gerais, nos municípios em que a COPASA tem concessão para coleta e tratamento das águas usadas, há o programa PRECEND, que impede o lançamento de efluentes de características não domésticas na rede pública coletora. Outros estados devem ter programas semelhantes.

Entretanto, não se pode descartar a possibilidade de descarga de resíduos tóxicos, que, para passarem despercebidos pelas autoridades sanitárias, devem estar em quantidade pequena em relação ao volume de águas usadas.

Uma estação de reúso potável possui barreiras sanitárias em maior número que uma estação de tratamento de água. Se uma ETA, com o conjunto coagulação-floculação-decantação-filtração elimina os metais pesados, desde que não estejam em concentrações elevadas, uma estação de reúso potável tem barreiras em maior número, incluindo wetlands construídos e membranas de ultrafiltração, que fazem essa remoção com maior eficiência.

8. Um derrame de material tóxico poderá contaminar a rede de esgoto.

As tubulações de águas usadas são dotadas de anéis de vedação para dificultar tanto a entrada como a saída de líquido, embora possa ocorrer infiltração quando o nível do lençol freático estiver acima da geratriz superior da tubulação. Na eventualidade de um derramamento tóxico na superfície, a contaminação somente atingirá a rede coletora de forma indireta, pois terá de passar pelas barreiras naturais do solo, diluindo-se na água do lençol freático. Além disso, admitindo-se uma eventual inserção de material tóxico em uma estação de reúso potável, seus efeitos serão atenuados pelas muitas barreiras sanitárias da estação.

9. Seria melhor o uso do esgoto tratado para fins não potáveis, servindo para economizar água potável.

Não há razão para a concessionária vender ao público água de reúso não potável, pois o tratamento deficiente pode acarretar sério problema sanitário.

A SABESP tem comercializado água de reúso não potável, recomendando que não seja usada para consumo humano. Entretanto, trata-se de um risco muito grande. Ao vender qualquer tipo de água, a companhia não tem mais controle sobre ele. Se o usuário quiser utilizá-la para regar uma horta ou para encher uma piscina, não há como impedi-lo. Daí à proliferação de

doenças de veiculação hídrica é um passo curto. Chernicaró (2015) chama atenção para o risco de se utilizar águas tratadas de forma deficiente:

Os ovos de helmintos mantêm-se viáveis no solo durante longos períodos, embora variáveis de espécie para espécie. Sabe-se, por exemplo, que os ovos de A. lumbricoides e de T. saginata podem sobreviver no solo por períodos superiores àquele necessário para o nascimento das plantas. As culturas vegetais irrigadas com águas residuais provenientes de regiões onde a ascaríase e a teníase são endêmicas constituem um risco potencial da transmissão da doença.

Além do critério sanitário, o reúso potável tem sobre o reúso não potável vantagens para a empresa de saneamento. O faturamento com a entrega do reúso potável é muito maior que com a entrega do reúso não potável, de vez que, para conseguir vender água de segunda categoria, a empresa precisa vendê-la mais barata. Por outro lado, há toda uma logística de entrega, empregando caminhões pipa, com o gasto inevitável de combustível.

Se o volume a ser entregue ultrapassar a capacidade dos caminhões pipa, o reúso não potável necessita de um sistema de distribuição, com reservatório e rede própria. Tudo isso, além do custo, envolve uma logística muito grande, com projeto, compra de materiais, escavação etc.

Do ponto de vista do consumidor, este precisa ter um reservatório próprio além de cuidados especiais para manipulação de água de qualidade inferior.

A reciclagem de água usada é comum no meio rural para se aproveitar os nutrientes que ela contém. Contudo, não há fornecimento no meio rural de água de reúso potável ou não potável por parte de uma empresa de saneamento. Em geral, as propriedades fazem seu próprio sistema de reúso, usando tratamento próprio.

O fornecimento de água de reúso não potável se justifica para o setor industrial, onde há maior controle e, por conseguinte, são menores os riscos de contaminação. Entretanto, a maioria das indústrias vem reutilizando sua própria água, diminuindo a demanda. Fazem exceção os polos petroquímicos, onde a demanda por água não potável é muito grande, estimulando as empresas de saneamento a fornecer o reúso não potável.

10. No Brasil, não existem leis que disciplinem o reúso potável direto.

Essa contestação tem, inquestionavelmente, origem na preguiça. Com receio de que processos de reúso potável possam não dar certo, há quem se escude numa possível falta de ordenamento legal.

De fato, não há leis que disciplinem o reúso potável direto, como não há leis que disciplinem qualquer tipo de tratamento que faça com que a água se torne potável. A Organização Mundial de Saúde assim se refere a esse assunto (Seção 8.1):

The content of regulations should be consistent with those developed for other types of drinking-water supply. Development of a single set of regulations for drinking-water including potable reuse should be considered. Tradução livre: O conteúdo das regulamentações deve ser consistente com aquelas desenvolvidas para outros tipos de fonte para água potável. O desenvolvimento de um único conjunto de regulamentações para água potável, incluindo o reúso potável, deve ser considerado.

No Brasil, a determinação de que determinada água tenha qualidade para ser considerada potável está a cargo do Ministério da Saúde que emite, periodicamente, uma portaria estabelecendo as condições mínimas para que a água possa ser considerada potável e possa ser usada por consumo humano. Atualmente, a Portaria em vigor é a de número 2.914, de 12 de dezembro de 2011 (doravante denominada apenas Portaria), que estabelece, no inciso II de seu art. 5º, que água potável é aquela que atende ao padrão de potabilidade por ela estabelecido e

que não oferece riscos à saúde. No inciso I do mesmo artigo, define água para consumo humano como a água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem.

Portanto, para que determinada água seja considerada potável e possa ser usada para consumo humano, é suficiente atender ao padrão de potabilidade definido pela Portaria e não oferecer riscos à saúde, não importando sua origem.

“Water should be judged by its quality, not by its history.” (Lukas van Vuuren) Tradução livre: Água deve ser julgada por sua qualidade, não por sua história.

11. Os agrotóxicos e demais substâncias orgânicas presentes no esgoto trarão danos à saúde dos consumidores.

A Portaria seleciona os tipos de substâncias orgânicas e de agrotóxicos que representam risco à saúde, cuja concentração máxima permitida é indicada em microgramas por litro.

A presença desses poluentes orgânicos é muito mais provável nas águas superficiais e, se a água bruta contiver pesticidas organoclorados, nem sempre as ETAS conseguirão colocá-la no padrão exigido pela Portaria (LIBÂNIO, M.).

Por dispor de unidades que oxidam a matéria orgânica, inclusive de oxidação avançada, mesmo que tais substâncias estivessem presentes em concentrações elevadas, o que não ocorre no meio urbano, elas não chegariam ao efluente final, pois seriam degradadas nas diversas etapas do tratamento biológico.

12. Não há como impedir a presença de enterovírus, de cistos de *Giárdia* e de oocistos de *Cryptosporidium* no esgoto potabilizado.

Quanto aos vírus, sua resistência fora do hospedeiro é muito baixa. A Portaria (art. 31º) sugere que, quando a concentração de ***Cryptosporidium*** na água da fonte for maior ou igual a 3,0 oocistos/L, a turbidez do efluente da água que passar por filtração rápida não ultrapasse 0,3 uT em pelo menos 95% das amostras e 1,0 uT de turbidez máxima nas demais amostras. Isso significa que uma boa filtração é capaz de reter enterovírus, oocistos de *Cryptosporidium* e, também, cistos de *Giárdia*, que são maiores que os oocistos de *Cryptosporidium*.

Como a filtração rápida é capaz de reter tais microrganismos, em uma estação de reúso potável, a ultrafiltração, muito mais eficiente que a filtração rápida, retém vírus entéricos e cistos e oocistos de protozoários.

Acrescente-se que, se houver microrganismos patogênicos que ultrapassem a barreira da ultrafiltração, passarão radiação ultravioleta, onde ficarão esterilizados. Sem poder se reproduzir, os vírus ficam inócuos.

13. O esgoto hospitalar será um foco transmissor de doenças.

A legislação não permite que empreendimentos hospitalares, laboratórios de análises, consultórios e demais serviços de atendimento à saúde, inclusive veterinários, lancem seus resíduos na rede de águas usadas. Por outro lado, os microrganismos presentes no efluente de hospitais não são mais resistentes que a *Escherichia coli*. A Portaria considera que, sempre que não se constatar a presença de tais coliformes fecais, a água está própria para o consumo e, portanto, isenta de microrganismos patogênicos.

A presença de tais substâncias é muito mais provável em uma estação de reúso potável que em uma ETA, onde não existe aeração prolongada nem oxidação avançada.

14. O lodo gerado na estação de reúso potável será causa de proliferação de doenças.

O lodo é gerado no reator aeróbio. Contudo, numa estação de reúso potável, é usado o processo de aeração prolongada, que gera lodo já digerido, o qual é encaminhado de volta ao reator, sendo o excesso enviado ao wetland para lodo. Não há descarte de lodo para o meio ambiente.

15. O Brasil tem muita água. Por enquanto, não precisa utilizar o esgoto tratado.

Essa objeção está sendo cada vez menos frequente após a crise hídrica que assolou o sudeste do Brasil desde 2014 e vem atingindo a região semiárida do país.

Além da ocorrência da crise hídrica, nossos mananciais estão ficando cada vez mais poluídos. Até o aquífero Guarani, o terceiro maior reservatório de água subterrânea do mundo, já mostra sinais de contaminação em vários locais. A prevalecer o descaso com um tratamento eficiente para as águas usadas, em breve teremos todos os nossos corpos de água contaminados.

Com o reúso potável, as águas usadas deixarão de ser um problema e se tornarão matéria prima para obtenção de água potável.

16. Será melhor usar água de chuva que esgoto tratado.

A questão da água de chuva ganhou destaque após a criação dos piscinões em São Paulo e no Rio de Janeiro. De fato, a interceptação da drenagem pluvial e sua posterior liberação sem lixo e sem areia traz benefício para os corpos de água receptores.

Entretanto, não se pode fazer um abastecimento de água contando unicamente com a água de chuva, pois para isso seriam necessários grandes reservatórios. No semiárido brasileiro, em que o período de estiagem é muito longo, utilizam-se açudes para acumulação de água de chuva, mas estes têm dimensões gigantescas.

Destaque-se que, como a relação entre a coleta de águas usadas e a água distribuída, em geral, não ultrapassa 80%, sempre que o reúso potável for a única fonte de água potável, torna-se necessária uma vazão complementar, o que pode ser feito com captação e armazenamento de água de chuva.

17. O esgoto pode ser foco de esquistossomose.

Na transmissão da esquistossomose, as fezes do doente liberam os ovos do esquistossomo, que se rompem ao atingir rios, lagos, lagoas, canais de irrigação etc. Dos ovos, saem os miracídeos, que vivem na água não mais que 24 horas. Após esse intervalo, os vermes somente sobreviverão se tiverem encontrado o caramujo, no qual se desenvolverão até atingir o estágio de vida em que são conhecidos como cercárias. Deixarão, então, o hospedeiro e retornarão à água, à procura do hospedeiro definitivo, o homem ou animais superiores. Contudo, se não encontrarem esse hospedeiro em 72 horas, não sobreviverão.

Como o caramujo, que é o hospedeiro do esquistossomo, não sobrevive nas águas usadas, não há risco de transmissão de esquistossomose por reúso potável.

18. A cloração do esgoto, ainda que tratado, poderá resultar na formação de trihalometanos, que são compostos cancerígenos.

Para a formação de trihalometanos, há a necessidade de seus precursores, os ácidos húmicos ou fúlvicos. Mesmo que ocorra a presença de tais ácidos na entrada da estação, serão oxidados juntamente com as demais substâncias orgânicas.

A cloração é feita após o líquido haver passado por tratamento por radiação ultravioleta, o que restringe a formação de trihalometanos. Portanto, a incidência de trihalometanos é muito maior nas ETAs convencionais que nas estações de reúso potável. Prova disso é o limite máximo permitido na concentração de trihalometanos na estação de Windhoek (Namíbia): 40 µg/L (Tabela 8.1, Seção 8.2.6.1) ou 0,04 mg/L. A Portaria tolera concentração de trihalometanos em até 0,1 mg/L.

19. Eventual falha no tratamento pode fazer com que o público consuma água contaminada.

Uma falha no tratamento deve ser considerada tanto nas estações de reúso potável como nas estações convencionais de tratamento de água. Nestas, o problema maior é a mudança na qualidade da água bruta. No caso de uma estação de reúso potável, mudanças na composição da vazão de entrada dificilmente trazem maiores consequências. No entanto, é preciso estar atento a eventuais falhas nas unidades de tratamento.

No Brasil, as estações de reúso potável devem ter gerador próprio para fazer frente a eventuais quedas no fornecimento de energia. Contudo, nunca se deve descartar a possibilidade de um aerador funcionar inadequadamente ou de haver falha no motor da bomba de recirculação de lodo, o que pode, de certa forma, afetar o produto final.

Se a falha for responsável pela presença de substâncias químicas acima da concentração permitida, isso não acarretará maiores consequências, pois as análises do efluente acusarão a falha para ser providenciada a correção. O problema maior se dá com relação à contaminação de patógenos, pois a frequência das análises de cloro residual prevista na Portaria é de duas vezes por semana. No intervalo entre duas análises pode ocorrer contaminação, com consequências para a saúde humana. Desse modo, recomenda-se que a análise do cloro residual ocorra com intervalo nunca superior ao tempo de retenção nos reservatórios e, pelo menos, a cada 12 horas.

Havendo concentração nula de cloro residual no efluente, a remessa da água para a rede de distribuição deve ser imediatamente interrompida e interrompida também a entrada da vazão complementar. O restante das operações deve continuar funcionando da forma mais rotineira possível, descartando-se o efluente para o corpo de água receptor. Essa situação deve permanecer até que a falha seja corrigida e o efluente volte a conter cloro residual.

Esse cuidado deveria ser tomado também nas estações de tratamento de água convencionais, que são muito mais sensíveis a mudanças na qualidade da água bruta.

20. A recirculação permanente das águas usadas fará com que aumente progressivamente a concentração de sais que não se precipitam.

É preciso lembrar que nem toda a água fornecida à população retorna como água usada: uma parte é usada em lavagem de carros e de calçadas, na rega de jardins ou em outra atividade e não é conduzida à rede de coleta, sendo compensada pela água complementar, com menor quantidade de sais. Além disso, parte dos sais é retida na estação, principalmente no carvão ativado. Desse modo, sua concentração tenderá a um valor de equilíbrio.

Fato semelhante se dá com relação à fluoretação da água. A água retorna à estação de reúso potável contendo sais de flúor, reduzindo-se a quantidade necessária à fluoretação da água.

21. Por que ainda não existe uma única estação de reúso potável em toda América Latina?

Ainda não existe reúso potável na América Latina, mas existem estações de reúso potável na América do Norte, na Europa, na Ásia, na África e na Oceania.

Não existir nenhuma estação de reúso potável ao sul do Rio Grande, na fronteira entre o México e os Estados Unidos, é um incentivo para nós. Onde será construída a primeira estação de reúso potável entre o México e a Patagônia? Será aqui no Brasil?

Há outros questionamentos de menor importância que não foram mencionados. O importante é observar-se que está comprovado ser o reúso potável uma forma segura e eficiente de produção de água potável, como consta no item 7.1.2 do manual:

- Potable reuse is a safe, reliable and sustainable source of drinking-water. (Tradução livre: O reúso potável é seguro, confiável e uma fonte sustentável de água potável.)
- Using recycled water is good for the environment. (Tradução livre: O uso de água reciclada é bom para o meio ambiente.)
- Potable reuse is a valuable and drought-proof water supply source capable of strengthening water supply resilience, especially against weather extremities like dry spells and droughts. (Tradução livre: O reúso potável é uma valiosa fonte de água potável à prova de estiagem, capaz de fortalecer a resiliência do suprimento de água especialmente contra as extremidades climáticas como períodos secos e estiagens.)

A publicação deste manual pela Organização Mundial de Saúde e sua tradução livre para a língua portuguesa será um importante passo para a aceitação do reúso potável no Brasil, contribuindo para o fim de problemas de escassez hídrica em um país, que é, entre todos, o mais aquinhoado com água doce.

Belo Horizonte, 11 de janeiro de 2018.

Paulo Afonso da Mata Machado

Siglas e abreviações

AOP – processo de oxidação avançada (H₂O₂ + UV ou ozônio + UV)
ETA – estação de tratamento de água (sigla em inglês: WSP)
ETE (sigla em inglês: WWTP) – estação de tratamento de esgoto; o texto sugere a substituição de “esgoto” por águas usadas
GDWQ – Guidelines for Drinking-water Quality (Diretrizes para a Qualidade da Água Potável)
LRV – redução de valor a logaritmo decimal
MF - microfiltração
NDMA – N-dimetil amino nitroso
NEWATER – sistema de reúso potável de Singapura
NIWR – National Institute for Water Research
NF - nanofiltração
OR (sigla em inglês: RO) – osmose reversa
RPI (sigla em inglês: IPR) – reúso potável indireto
RPD (sigla em inglês: DPR) – reúso potável direto
SCADA – controle supervisonal e aquisição de dados
UF – ultrafiltração
UV – radiação ultravioleta
WHO – sigla em inglês da Organização Mundial de Saúde

Nota do tradutor (1)

O texto original apresenta uma longa lista de siglas e abreviações. Como muitas delas são abreviações em inglês, não conhecidas do grande público, foram listadas apenas as abreviações e siglas mais repetidas. Com relação às outras, a preferência foi pelo texto integral.

Conteúdo

Prefácio do tradutor.....	5
Siglas e abreviações.....	14
Nota do tradutor (1).....	14
Conteúdo.....	16
1. Introdução.....	21
1.1 Objetivo deste manual.....	21
Nota do tradutor (2).....	21
Nota do tradutor (3).....	21
1.2 Diretrizes para reúso potável.....	21
1.3 Desafios do reúso potável.....	24
1.4 Reúso potável direto e indireto.....	25
1.5 Reúso potável não planejado.....	25
Nota do tradutor (4).....	26
1.6 Execução do reúso potável.....	26
1.7 Montagem do grupo de trabalho e engajamento público.....	26
1.7.1 Montagem do grupo de trabalho.....	26
Nota do tradutor (5).....	26
1.7.2 Engajamento público.....	27
Nota do tradutor (6).....	27
1.8 Escopo deste manual.....	27
Nota do tradutor (7).....	28
2. Identificação de riscos e controle de medidas.....	28
2.1 Riscos microbiológicos.....	28
Nota do tradutor (8).....	28
Nota do tradutor (9).....	29
Nota do tradutor (10).....	29
Nota do tradutor (11).....	29
2.2 Substâncias químicas perigosas presentes nas águas usadas.....	30
2.3 Riscos radiológicos.....	32

Nota do tradutor (12).....	32
2.4 Elementos de aceitação: gosto, odor e aparência.....	32
2.4.1 Gosto e odor.....	33
Nota do tradutor (13).....	33
2.4.2 Cor e turbidez.....	34
Nota do tradutor (14).....	34
2.4.3 Salinidade.....	34
Nota do tradutor (15).....	34
2.5 Medidas de controle.....	34
2.5.1 Proteção da fonte de água.....	34
2.5.2 Tratamento.....	35
Nota do tradutor (16).....	36
Nota do tradutor (17).....	37
2.5.2.1 Tratamento de águas usadas.....	38
Nota do tradutor (18).....	39
2.5.2.2 Tratamento no aquífero subterrâneo.....	39
Nota do tradutor (19).....	39
2.5.2.3 Processos oxidativos.....	39
2.5.2.4 Adsorção por carvão ativado.....	39
2.5.2.5 Filtração.....	40
2.5.2.6 Filtração por membranas a baixa pressão.....	40
Nota do tradutor (20).....	40
2.5.2.7 Filtração por membranas a alta pressão.....	40
2.5.2.8 Desinfecção.....	41
Nota do tradutor (21).....	41
Nota do tradutor (22).....	42
2.5.3 Armazenamento em reservatórios naturais ou construídos.....	42
2.5.4 Mistura, armazenamento e distribuição.....	43
Nota do tradutor (23).....	44
Nota do tradutor (24).....	45
Nota do tradutor (25).....	46
Nota do tradutor (26).....	46

2.5.5 Confiabilidade, redundância, robustez e resiliência.....	46
Nota do tradutor (27).....	47
2.6 Validação das medidas de controle.....	48
Nota do tradutor (28).....	48
3. Monitoramento.....	50
Nota do tradutor (29).....	50
3.1 Medidas de controle de monitoramento operacional.....	51
3.1.1 Parâmetros de monitoramento operacional.....	51
3.1.1.1 Monitoramento operacional das medidas de controle de patógenos.....	52
3.1.1.2 Testes físicos e químicos.....	52
3.1.1.3 Produtos secundários da desinfecção.....	54
3.1.1.4 Monitoramento operacional de medidas de controle químico.....	54
3.1.2 Monitoramento operacional de avaliação de longo prazo.....	56
3.2 Verificação.....	56
3.2.1 Qualidade microbiológica da água.....	56
Nota do tradutor (30).....	57
3.2.2 Qualidade química da água.....	57
4. Monitoramento e comunicação: protocolos de incidência.....	57
4.1 Entendimento organizacional.....	58
4.2 Estrutura dos protocolos de incidência.....	58
4.3 Maiores incidências e emergências.....	59
4.4 Comunicação.....	59
4.5 Rotina e revisões pós-incidente.....	60
5 Padrões sanitários.....	60
5.1. Desempenho da remoção microbiológica.....	60
5.1.1 Cálculo do desempenho da remoção microbiológica.....	61
Nota do tradutor (31).....	61
5.1.1.1 Desempenho com concentrações de patógenos como referência.....	61
5.1.1.2 Concentrações padrão.....	62
Nota do tradutor (32).....	62
5.2 Desempenho da remoção química.....	62
5.2.1 Determinação dos valores limites.....	63

Nota do tradutor (33).....	63
5.2.2 Nanopartículas.....	63
Nota do tradutor (34).....	64
5.2.2 Controle de fármacos.....	64
5.2.3 Misturas químicas.....	64
5.3 Radioatividade.....	64
6. Regulamentações para qualidade da água.....	65
6.1 Regulamentações.....	65
6.1.1 Responsabilidades.....	66
6.1.2 Planos de segurança hídrica e sanitária.....	66
6.1.3 Padrões de qualidade da água.....	66
6.1.4 Solicitações de testes.....	67
Nota do tradutor (35).....	67
Nota do tradutor (36).....	68
6.1.5 Fiscalização.....	68
6.1.5.1 Auditoria dos planos de segurança hídrica e sanitária.....	69
6.1.5.2 Acompanhamento da fiscalização.....	70
6.1.5.3 Comunicação dos resultados da fiscalização.....	70
6.1.5.4 Ações após a fiscalização.....	70
6.1.6 Inspeções aleatórias e correções da evidência de água insegura.....	71
6.1.7 Comunidade e consumidores.....	71
6.1.8 Revisão periódica das regulamentações.....	71
6.2 Políticas, regulamentações e orientações para o reúso potável.....	71
7. A arte do engajamento público.....	72
7.1 Programa de engajamento.....	72
7.1.1 Validade da informação.....	72
Nota do tradutor (37).....	73
7.1.2 Plano de informação.....	74
7.1.3 Estratégia de comunicação.....	75
7.1.3.1 Engajamento da mídia.....	75
7.1.3.2 Testemunho de especialistas independentes.....	76
7.1.3.3 Outros meios como forma de aprendizado.....	76

7.1.3.4 Como sugerir que bebam a água de reúso potável.....	76
7.1.3.5 Comunicação on line.....	76
7.2 Preparação da informação para atrair atenção.....	77
7.3 Avaliação das informações e dos programas de engajamento.....	77
7.4 A comunicação como fonte de sucesso.....	77
8. Conclusões.....	77
8.1 Sumário das mensagens chave.....	77
Nota do tradutor (38).....	78
8.2 Estudo de caso: Windhoek, Namibia, estação de Goreangab.....	79
8.2.1 Visão geral.....	79
8.2.2 Razões do reúso potável em Windhoek.....	79
8.2.3 História e situação atual.....	80
8.2.4 Estação piloto.....	80
8.2.5 Medidas de controle.....	80
8.2.5.1 Estratégias de controle.....	81
8.2.5.2 Identificação e monitoramento das medidas de controle.....	81
8.2.5.3 Verificação de evidência epidemiológica.....	81
8.2.5.4 Reservatório natural.....	82
8.2.6 Monitoramento da qualidade da água.....	83
8.2.6.1 Operação e verificação.....	83
8.2.7 Gestão dos incidentes.....	84
8.2.7.1 Protocolos.....	85
8.2.7.2 Experiências.....	85
8.2.8 Divulgação pública.....	85
8.2.8.1 Engajamento público.....	85
8.2.9 Governança.....	86
8.2.9 O futuro da estação.....	87
8.3 Lacunas de conhecimento e futuras pesquisas.....	88
Nota do tradutor (39).....	89
Nota do tradutor (40).....	89
Referências.....	92

1. Introdução

1.1 Objetivo deste manual

O reúso potável pode representar uma realística e prática fonte de água potável em muitas circunstâncias. O objetivo deste manual é descrever como aplicar sistemas de gestão apropriados à produção de água potável segura a partir de águas usadas. Em reuniões de especialistas em água potável na Organização Mundial de Saúde (WHO, na sigla em inglês) em 2013 e em 2014, foi acordado que orientação posterior é necessária para assistir os profissionais de fornecimento de água potável e os encarregados de sua regulação em como planejar, projetar e operar sistemas de reúso potável. A necessidade de orientação se baseia no crescente interesse e no desenvolvimento de sistemas de reúso potável em resposta à crescente pressão por recursos hídricos disponíveis. O escopo deste manual inclui tanto direto como indireto reúso potável (RPD e RPI ou DPR e IPR, nas siglas em inglês) e, a menos que especificado de outro modo, a expressão “reúso potável” se refere tanto a RPD como a RPI.

Os princípios descritos em WHO Guidelines for Drinking-water Quality (GDWQ) se aplicam a reúso potável, mas sua adoção envolve a consideração de questões associadas à qualidade da água da fonte e à complexidade dos esquemas de reúso potável.

Este documento apresenta as diretrizes de qualidade necessárias à água potável (GDWQ) e sua obtenção por reúso potável (WHO, 1975), incluindo a qualidade e a proteção de fontes de água, os processos de tratamento, algumas considerações adicionais sobre monitoramento e uso potencial de reservatórios de armazenamento. Finalmente, faz considerações sobre a aceitação pública.

Nota do tradutor (2)

WHO Guidelines for Drinking-water Quality (GDWQ) corresponde, no Brasil, à Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde (doravante denominada apenas Portaria).

Este manual segue uma proposta similar ao GDWQ no fornecimento de informações de qualidade da água e de gestão efetiva no desempenho de esquemas de reúso potável, mas não provê detalhados critérios de projeto para as tecnologias usadas no reúso potável e não introduz parâmetros de dimensionamento ou novos princípios de obtenção de água potável segura.

Direciona-se este manual aos provedores e reguladores de água potável familiares com o GDWQ, em particular com as diretrizes para obtenção de água potável segura e com as estações de água segura, pois, para o processo de reúso potável, águas usadas são a matéria prima, o que enseja a aplicação de planos de segurança sanitária (WHO, 2015a).

Contudo, será também útil a quem se interesse por reúso potável, como os profissionais de saúde ambiental e de recursos hídricos.

Nota do tradutor (3)

O GDWQ é substituído, no Brasil, pela já citada Portaria.

1.2 Diretrizes para reúso potável

As pressões pelo aumento de consumo de água potável se devem ao crescimento populacional, ao incremento da urbanização, ao aumento das áreas de escassez hídrica e aos impactos das mudanças climáticas, o que resulta na necessidade de se identificarem fontes novas ou fontes alternativas para suprimento de água.

Entre 2014 e 2050, estima-se o aumento de 33% na população da Terra, de 7,2 bilhões de habitantes para 9,6 bilhões (UNDESA, 2014).

Nesse período, projeta-se o crescimento da população urbana em 61%, de 3,9 bilhões de habitantes para 6,3 bilhões, com maior crescimento esperado para a Ásia e a África, o que aumentará o percentual de pessoas vivendo em áreas urbanas de 54% para 66%, com a urbanização em 89 países sendo superior a 80% (UNDESA, 2014). Nesse período, também exercerão pressão sobre as fontes de água as estiagens e enchentes devidas às mudanças climáticas (World Water Assessment Programme, 2009; IPCC, 2014; UNESCO, 2017).

Para combater o aumento da vulnerabilidade das fontes de recursos hídricos devido a tais impactos, é preciso aumentar a resiliência, a diversidade, a adaptabilidade e a sustentabilidade das fontes de água potável. Deve ser prioritário o desenvolvimento de fontes de recursos hídricos independentes das variações de clima nos maiores centros populacionais.

Nesse contexto, destacam-se o reúso potável e, nas áreas costeiras, a dessalinização da água do mar. O reúso potável pode produzir grandes volumes de água potável a partir das águas usadas, tanto na costa como no interior. Adicionalmente, evita os impactos negativos do descarte de perigosos microrganismos e de nutrientes no corpo receptor, que pode ser tanto água do mar como água doce (Tabela 1.1) (UNESCO, 2017).

Tabela 1.1
Vantagens e desvantagens do reúso potável

Vantagens	Desvantagens
O suprimento de água independe do clima. Existem, em geral, próximo aos centros populacionais, sistemas coletores de águas usadas e, em alguns casos, sistemas de tratamento dessas águas. Evita os impactos negativos do descarte de perigosos microrganismos e de nutrientes no corpo receptor. É tipicamente mais barato que a dessalinização da água do mar. Há uma crescente aceitação pelo público.	As águas usadas contêm grande quantidade de microrganismos patogênicos, além da possibilidade de conterem contaminação química. Em geral, há necessidade de complexos processos de tratamento e de mão de obra especializada. As consequências de falhas no tratamento podem ser danosas. Embora a aceitação por parte do público venha aumentando, é preciso haver uma campanha de conscientização, principalmente nas escolas.

Os aglomerados urbanos representam a principal fonte de poluição tanto de águas marinhas como de águas fluviais, o que ocorre principalmente devido às águas usadas (World Water Assessment Programme, 2009; UNESCO, 2017).

O número de sistemas de reúso potável vem aumentando. Desde os sistemas pioneiros nos anos 1960 de RPI em Montebello Forebay (USEPA, 2012a) e RPD em Windhoek in 1969 (Du Pisani,

2006), o reúso potável vem-se estabelecendo em muitos continentes, incluindo África, Ásia, Austrália, Europa e América do Norte (Tabela 1.2).

Tabela 1.2
Exemplos de sistemas de reúso potável: Adaptado de Drewes & Khan (2011), USEPA (2012), Gerrity et al (2013b), Burgess (2015), Onyango et al (2015).

Sistema	Tipo	Reservatório de acumulação (se RPI)	Entrada em operação	Processos de tratamento terciários
Montebello Forebay, Los Angeles County, Califórnia, USA	RPI	Água subterrânea	1962	Filtração lenta, tratamento da água subterrânea, cloração
Old Goreangab plant, Windhoek, Namíbia	RPD		1969 (reformada em 2002)	Flotação de algas, clarificação, filtração lenta, carvão ativado granulado, cloração
New Goreangab plant, Windhoek, Namíbia	RPD		2002	Ozônio, filtração rápida, ozônio novamente, leito de carvão ativado em pó, carvão ativado granulado, ultrafiltração, cloração
Water Factory 21, Orange County, Califórnia, USA	RPI	Água subterrânea	1976 (reformada em 2004)	Clarificação com coagulante, filtração lenta, cloração, osmose reversa, oxidação avançada (UV/H ₂ O ₂)
Sistema de reabastecimento de água subterrânea, Orange County, Califórnia, USA	RPI	Água subterrânea	2008	Cloração, microfiltração, osmose reversa, oxidação avançada (UV/H ₂ O ₂)
Alto Occoquan Service Authority, Fairfax County, Virgínia, USA	RPI	Água de superfície	1978	Clarificação com coagulante, filtração lenta, carvão ativado granulado, cloração, cloraminação
Projeto de recarga do Hueco Bolson, El Paso Water Utilities, Texas, USA	RPI	Água subterrânea	1985	Leito de carvão ativado em pó, clarificação com coagulante, filtração lenta, ozônio, carvão ativado granulado, ozônio novamente, cloração
Clayton County Water Authority, Geórgia, USA	RPI	Água de superfície	1985	Aplicação no solo, radiação UV, cloração
Sistema de reúso de água da bacia do West, Califórnia, USA	RPI	Água de superfície	1995	Microfiltração, osmose reversa, oxidação avançada (UV/H ₂ O ₂), cloraminação

Sistema de reúso de água de Langford, Chelmsford, Inglaterra	RPI	Água subterrânea	1997	Radiação ultravioleta
Gwinnett County, Geórgia, USA	RPI	Água subterrânea	1999	Remoção química de fósforo, ultrafiltração, ozônio, carvão ativado granulado
Scottsdale Water Campus, Arizona, USA	RPI	Água de superfície	1999	Filtração lenta, microfiltração, osmose reversa, cloração
Torreele, Wulpen, Bélgica	RPI	Água subterrânea	2002	Ultrafiltração, osmose reversa, radiação ultravioleta
NEWater, Singapura	RPI	Água de superfície	2003	Ultrafiltração, osmose reversa, radiação ultravioleta
Reabastecimento de água de Los Alimitos, Distrito do Sudoeste da Califórnia, USA	RPI	Água subterrânea	2005	Microfiltração, osmose reversa, radiação ultravioleta
Projeto de recarga da bacia subterrânea do Chino, Inland Empire Utility Agency, Califórnia, USA	RPI	Água subterrânea	2007	Filtração lenta, tratamento da água subterrânea, cloração
Arapahoe County/Cottonwood, Colorado, USA	RPI	Água subterrânea	2009	Filtração lenta, osmose reversa, oxidação avançada (UV/H ₂ O ₂), cloração
George, África do Sul	RPI	Água de superfície	2009/2010	Ultrafiltração, cloração
Projeto de águas da pradaria, Aurora, Colorado, USA	RPI	Água subterrânea	2010	Filtração rápida, oxidação avançada (UV/H ₂ O ₂), leito de carvão ativado em pó, carvão ativado granulado, cloração
Beaufort West, África do Sul	RPD		2010	Filtração lenta, ultrafiltração, osmose reversa, oxidação avançada (UV/H ₂ O ₂), cloração
Bacia do Permian, Distrito Municipal de Águas do Rio Colorado, Texas, USA	RPI	Água de superfície	2012	Ultrafiltração, osmose reversa, oxidação avançada (UV/H ₂ O ₂), cloração
Dominguez Gap Barrier, Los	RPI	Água subterrânea	2012	Microfiltração, osmose reversa

Angeles, Califórnia, USA				
Big Spring, Texas, USA	RPD		2013	Microfiltração, osmose reversa, oxidação avançada (UV/H ₂ O ₂), mistura, filtração lenta, cloração
Sistema de reabastecimento de água do subsolo de Beenyup, Perth, Austrália	RPI	Água subterrânea	2016	Ultrafiltração, osmose reversa, radiação UV
Cloudcroft, New México, USA	RPD		(em construção)	Membrana (realçando o tratamento secundário), cloração, osmose reversa, oxidação avançada (UV/H ₂ O ₂), mistura, ultrafiltração, radiação UV, carvão ativado em pó, cloração

A maioria dos sistemas de reúso potável foi desenvolvida no século 21 e se espera que seu número aumente enquanto as populações e as pressões pelos recursos de água continuam a crescer.

Econômica e praticamente, o reúso potável se compara favoravelmente à dessalinização da água do mar, cujo uso vem também crescendo. Em alguns casos, como em Singapura e em Perth (Austrália), a dessalinização da água do mar é usada juntamente com o reúso potável. Contudo, a dessalinização se restringe à área costeira e demanda alto consumo de energia. Exceto para os sistemas envolvendo bombeamento para ambientes distantes, o reúso potável é mais barato que a dessalinização da água do mar (Freeman et al, 2008; Law, 2008; NRC, 2012; ATSE, 2013; Tchobanoglous et al, 2015).

1.3 Desafios do reúso potável

O reúso potável envolve a produção de água potável segura. Devido à má qualidade microbiológica das águas usadas, o reúso potável é, frequentemente, uma atividade complexa, envolvendo, geralmente, processos de tratamento avançado e substancial especialização operacional (Quadro 1.1). Pode envolver coordenação de tratamento da água de entrada e de sua potabilização separadamente. Ao se optar por um sistema de reúso potável, é necessário estar certo de que há recursos suficientes e capacidade financeira, técnica e operacional para programá-lo de forma segura e sustentável. As consequências de um mau projeto ou de falhas de controle das medições são cruciais.

1.4 Reúso potável direto e indireto

Ambos RPD e RPI geralmente envolvem tratamento terciário. A principal diferença entre RPD e RPI é o uso da descarga para o ambiente no caso de RPI. Os benefícios para o meio

ambiente variam e incluem diluição, mistura, atenuação dos contaminantes adicionais, tempo de resposta a falhas de tratamento e redução do impacto negativo por parte do público.

Desde o início do reúso potável planejado nos anos 1960, a maior parte dos projetos tem envolvido RPI (Quadro 1.2). Os projetos de reúso potável indireto têm sido desenvolvidos para diferentes tipos de reservação em águas superficiais ou subterrâneas e para diferentes configurações de tratamento. São bem estabelecidos, aceitos e têm longa história de operação bem sucedida (NRC, 1998; 2012). Entretanto, nos últimos anos, tem aumentado o apoio de diferentes órgãos para o RPD, inclusive do American National Research Council (Leverenz et al, 2011; NRC, 2012; ATSE, 2013; Tchobanoglous et al, 2015; TWDB, 2015; NWRI, 2016; Olivieri et al, 2016). O número de sistemas de RPD aumentou com os pequenos projetos de Beaufort West (África do Sul), Cloudcroft (Novo México, USA) e Big Spring (Texas, USA) (Burgess, 2015; Dahl, 2014; Drewes & Horstmeyer, 2015).

Tal qual RPI, RPD pode envolver diferentes configurações com água purificada e fontes convencionais de água misturadas antes ou depois do tratamento (ATSE, 2013; Tchobanoglous et al, 2015; Drewes & Horstmeyer, 2015; Olivieri et al, 2016).

Entre as vantagens do RPD, está o de se evitar a contaminação potencial da água purificada no reservatório de acumulação, principalmente quando se trata de água superficial. O reúso potável direto também evita questões de direito sobre acesso à água, reduz os custos de bombeamento e de transporte e pode ser aplicado em localidades onde reservatórios de acumulação não são viáveis (Leverenz et al, 2011; ATSE, 2013).

Uma desvantagem perceptível do RPD, se comparado com o RPI, é que a falta de uma barreira ambiental reduz o tempo de resposta de falhas no tratamento e de outros incidentes que possam impactar a água potável. Nesse caso, o RPD é semelhante às estações de tratamento de água convencionais. Entretanto, a falta de acumulação no ambiente pode ser compensada com a construção de reservatórios para estocar a água e monitorar sua qualidade depois do tratamento e antes de sua distribuição. Embora os tempos de detenção sejam muito menores que em estocagem no ambiente, reservatórios construídos (ESB) podem proporcionar aumento na capacidade de acessar e questionar os resultados operacionais, bem como de programar as correções antes da distribuição de água (Tchobanoglous et al, 2011; Leverenz et al, 2011; ATSE, 2013; Cotruvo, 2014). Esses reservatórios, como tradicionalmente ocorre, são importantes devido à variação na demanda de água.

1.5 Reúso potável não planejado

Tem aumentado a discussão sobre as similaridades entre RPI planejado e não planejado, sendo este as antigas práticas de produção de água potável a partir de água bruta que recebe descargas de águas usadas e que se trata de reúso potável não planejado (Asano et al, 2007; NRC, 2012). A expressão reúso potável não planejado é aqui usada mesmo que as águas usadas lançadas ao manancial de abastecimento representem perigo para o consumidor final, o que é uma realidade comum (Asano et al, 2007; Rice & Westerhoff, 2015; WHO, 2017a). Entretanto, usando-se os métodos de tratamento adequados, mesmo nessas situações, é possível obter-se água potável segura.

Conquanto o reúso potável não planejado seja comum, há vantagens importantes associadas ao reúso potável planejado. O reúso potável planejado inclui tipicamente o monitoramento extensivo do recebimento de águas, o que é menos comum ou menos frequente em reúso potável não planejado. Embora o volume de contribuição de reúso não planejado seja

frequentemente baixo, há exemplos onde as águas usadas representam proporção substancial da vazão dos rios, particularmente durante o período de estiagem (Swayne et al, 1980; NRC, 2012; Rice & Westerhoff, 2015). O impacto dessa parcela de vazão na qualidade da água que adentra os suprimentos de água potável frequentemente não é quantificado, particularmente em relação à qualidade microbiológica. Outros processos naturais de atenuação dos contaminantes microbiológicos (distância, diluição, perda da infectividade, predação, inativação e outros) têm recebido atenção limitada, o que compromete a comparação entre o reúso potável planejado e o não planejado.

Nota do tradutor (4)

No Brasil, o reúso potável não planejado é a regra, na medida em que os mananciais superficiais são quase todos poluídos e mesmo nos mananciais subterrâneos a carga poluidora vem aumentando.

O ponto importante é que qualquer que seja a fonte de água, o produto final deve atender aos requisitos de qualidade exigidos para a água potável. Isso pode ser obtido com estações de tratamento de água seguras que incorporem medições de controle baseadas na abordagem de barreiras múltiplas e que lidem, de forma global, com os riscos identificados, fazendo com que tais requisitos sejam cumpridos. Isso se aplica tanto a reúso potável planejado como a não planejado.

Embora a influência das descargas de águas usadas no reúso potável não planejado seja, frequentemente, pouco estimada, (Hrudey & Hrudey, 2004; 2014), se operados adequadamente, tanto o reúso potável planejado como o não planejado podem produzir água potável segura.

1.6 Execução do reúso potável

Para garantia de um suprimento consistente de água potável segura, independente de sua origem, é necessária a aplicação de estruturas de tratamento que levem aos resultados descritos no GDWQ. Essas estruturas incluem três componentes:

- Padrão de saúde: Incluem parâmetros microbiológicos, químicos e radiológicos que indicam a segurança da água para consumo humano.
- Segurança do projeto: Uma estação de reúso potável deve estar apta a avaliar os riscos à saúde humana em toda a cadeia de tratamento.
- Fiscalização: Uma estação de reúso potável deve ser vistoriada pelos órgãos sanitários competentes.

1.7 Montagem do grupo de trabalho e engajamento público

1.7.1 Montagem do grupo de trabalho

A montagem de um grupo com experiência técnica e conhecimento da matéria deve ser o primeiro passo para se desenvolver um projeto de reúso potável. Esse grupo deve incluir operadores de estações de tratamento de água, representantes dos fornecedores, além de pessoas diretamente interessadas, cujo número será função da natureza e da complexidade do projeto. Por exemplo, reúso potável indireto, seja com aquífero seja com reservatório superficial,

pode envolver mais gente que reúso potável direto e pode incluir grupos de recursos hídricos e de proteção do meio ambiente (Angelotti & Grizzard, 2012; NRC, 2012). A transformação em água potável pode ser atribuição de uma agência e o tratamento de águas usadas ser função de outra (Angelotti & Grizzard, 2012) ou ambos podem ser feitos por uma única agência (Seah & Woo, 2012) Independente dos envolvidos no projeto, é essencial uma coordenação geral, mantendo-se comunicação entre os participantes.

Nota do tradutor (5)

No Brasil, dificilmente, o tratamento de água é feito por uma companhia e o tratamento de águas usadas, quando existe, é feito por outra. Por isso, o reúso potável não vai implicar a criação de um grupo com participantes de diversas companhias (ou agências).

1.7.2 Engajamento público

A chave para um bem sucedido plano de reúso potável é o engajamento do público alvo, de modo a obter sua aceitação e confiança. O passo básico é o esclarecimento ao público de que o suprimento de água potável precisa ter aumento constante e que, para isso, novas fontes de suprimento são necessárias, sendo que o reúso potável é uma fonte não somente aceitável, mas pode ser a mais apropriada.

Há exemplos onde projetos de reúso potável não foram executados devido à oposição pública. Há, também, evidência de que a aceitação pública pode ser conseguida com o apoio de bem sucedidos programas de engajamento.

Nota do tradutor (6)

No Brasil, a resistência ao reúso potável direto ocorre, muitas vezes, entre os próprios engenheiros sanitaristas, que alegam ter o Brasil o maior potencial de água doce do planeta e, por isso, não haver motivo para o que chamam de risco desnecessário. Outros alegam que não há legislação específica para o reúso potável planejado, esquecidos de que os municípios executam reúso potável não planejado sempre que há descarga de água contaminada nos mananciais a montante do ponto de captação. O reúso potável não planejado não tem legislação específica.

1.8 Escopo deste manual

Este manual se aplica ao reúso potável planejado, seja RPD ou RPI. Reúso potável não planejado não está em seu escopo.

O manual se baseia nos princípios de obtenção de água potável segura, incluindo os componentes chave de um plano de segurança sanitária: avaliação, monitoramento, gestão e comunicação. O objetivo é não repetir informações gerais constantes do GDWQ, mas focar nas questões relevantes ao reúso potável: alta concentração de microrganismos patogênicos, larga gama de perigosas substâncias químicas potencialmente presentes nas águas usadas, gestão e opções de tratamento, tais como oxidação avançada, e o uso de reservatórios naturais ou construídos.

Informações gerais constantes do GDWQ e publicações de apoio como Water Safety Plan Manual (Bartram et al, 2009) são textos associados que auxiliam o desenvolvimento e a execução de uma estação de água segura e que podem ser consultados para informação adicional.

Os capítulos seguintes tratam dos seguintes assuntos:

Capítulo 2: Inclui informações sobre riscos microbiológicos, químicos e radiológicos e parâmetros de aceitabilidade, bem como identificação e validação de potenciais medidas de controle.

Capítulo 3: Inclui informações de gestão operacional e de verificação.

Capítulo 4: Trata de procedimentos de gestão.

Capítulo 5: Inclui informações sobre metas de remoção de microrganismos, valores químicos indicativos e níveis radiológicos máximos e aconselháveis.

Capítulo 6: Trata de regulamentações e de vigilância independente.

Capítulo 7: Trata da arte de engajamento público na execução de reúso potável.

Estudos de caso são apresentados para ilustrar projetos de reúso potável bem sucedidos. Esses casos tratam do reúso potável em:

Windhoek, Namíbia (RPD);

Orange Country Califórnia, USA (RPI);

Órgão de Serviços do Alto Occoquan, Virgínia, USA (RPI);

Singapura (RPI);

Perth, Austrália (RPI);

Big Spring e Laguna Madre, Texas, USA (RPD); e

Malahleni, África do Sul (RPD usando drenagem de mina ácida).

Nota do tradutor (7)

Os estudos de caso são apresentados nos Apêndices. Para evitar um manual muito longo, foi traduzido apenas um deles, o pioneiro: a estação de reúso potável de Windhoek (item 8.2).

Os estudos de caso demonstram uma diversidade de abordagens e configurações, incluindo projetos na costa e no interior, RPI com descarte em água subterrânea e em água superficial e RPD usando águas usadas e drenagem de mina ácida como fonte de água. Nos casos de Singapura e de Perth, os projetos de reúso potável são parte de múltiplos sistemas de abastecimento, incluindo tratamento convencional de água e dessalinização, provando que a combinação de fontes de água pode aumentar a resiliência.

2. Identificação de riscos e controle de medidas

Embora os parâmetros se apliquem igualmente a qualquer tipo de água potável, há características específicas do reúso potável que devem ser consideradas como parte da avaliação do reúso potável. Isso inclui as altas concentrações de microrganismos patogênicos na vazão de entrada e a potencial presença de uma extensa gama de produtos químicos de origem industrial, comercial ou doméstica.

O GDWQ apresenta os riscos de origem biológica, química e radiológica e os parâmetros de aceitação que podem potencialmente interferir na qualidade da água potável. Essa informação é particularmente importante quando se trata de reúso potável que, por sua natureza, recebe água com grande quantidade de contaminantes.

Embora haja numerosos riscos que possam comprometer a água produzida por reúso potável, nem todos representam riscos significativos à saúde humana. Os riscos precisam ser acessados e priorizados para determinarem sua probabilidade de ocorrência a concentrações significativas e a probabilidade e severidade das consequências se controles de medição inadequados forem aplicados. Devido aos altos níveis de contaminantes microbiológicos na vazão de entrada, há necessidade de ser assegurado um controle efetivo de medição dos parâmetros, demonstrando sua capacidade de prover os requeridos níveis de redução de risco.

2.1 Riscos microbiológicos

Água insegura considerada potável pode ser uma fonte significativa de patógenos entéricos com potencial para causar grandes surtos, como o de *Cryptosporidium* ocorrido em Milwaukee (MacKenzie, 1994; Hrudehy & Hrudehy, 2004; 2014). Como descrito neste manual e no GDWQ, a proteção contra doenças de origem hídrica provocadas por microrganismos é de vital importância. Um dos desafios para o reúso potável é romper a tênue linha que existe entre o líquido tratado em uma ETE e o líquido tratado em uma ETA.

Por definição, o tratamento deve eliminar patógenos, particularmente os de origem fecal e oral. Os patógenos encontrados variam em característica e em comportamento e incluem bactérias, vírus, protozoários e helmintos.

Nota do tradutor (8)

O texto original contém a Tabela 2.1, cujas colunas são: patógeno, espécie e doenças. Julgamos dispensável sua apresentação, exceto a coluna “doenças”, que foi transferida para a Tabela 2.2.

O maior risco de exposição às águas usadas é de se contrair uma doença gastrointestinal pela ingestão de patógenos entéricos, mas outras rotas de transmissão, tais como inalação de aerossóis ou contato podem, também, ser fonte de doenças.

Os patógenos entéricos que causam doenças gastrointestinais, com exceção do *Vibrio cholerae*, não crescem ou sobrevivem indefinidamente na água. Consequentemente, a prevalência e concentração desses patógenos refletem os respectivos tipos e taxas de doença na comunidade. Suas concentrações observadas na entrada de uma ETE são indicadas na Tabela 2.2.

Tabela 2.2
Concentrações indicativas de microrganismos no início do tratamento

Patógeno	log (NMP)/L	Doenças
Bactérias		
<i>Escherichia coli</i> (indicadores)	5 a 10	Gastroenterite
Enterococci (indicadores)	6 a 7	Gastroenterite
<i>Clostridium perfringens</i> (indicadores)	4 a 6	Nota do tradutor (9) Enterotoxemia (doença de animais)
<i>Campylobacter</i>	0 a 5	Gastroenterite
<i>Salmonella</i>	0 a 6	Febre tifoide

Shigella	0 a 4	Disenteria
Vibrio cholerae	0 a 6	Cólera
Vírus		
Adenoviridae (adenovírus)	0 a 4	Gastroenterite
Caliciviridae (norovírus)	0 a 6	Gastroenterite
Picornaviridae (enterovírus)	0 a 6	Gastroenterite
Reoviridae (rotavírus)	0 a 5	Gastroenterite
Somatic coliphage (indicadores)	0 a 9	Gastroenterite
Fago de F-RNA (indicadores)	0 a 7	Nota do tradutor (10) Bacteriófago, inofensivo ao homem
Protozoários		
Cryptosporidium hominis/parvum	0 a 5	Gastroenterite
Entamoeba histolytica	0 a 2	Disenteria
Giardia intestinalis	0 a 5	Gastroenterite
Helmintos		
Ascaris lumbricoides	0 a 3	Bloqueio intestinal
Trichuris trichuria	0 a 2	Dor de estômago

Nota do tradutor (11)

NMP/L = número mais provável por litro. No original, os intervalos foram feitos em potência de 10, não em logaritmos, e o limite inferior desses intervalos (exceto os três primeiros), foi expresso como <1. Como NMP é variável discreta, consideramos o limite inferior dos intervalos como zero.

Ressalte-se que os chamados patógenos livres, tais como Legionella e microbactéria, que são geralmente transmitidos por outros meios que não a ingestão, podem se desenvolver sob condições favoráveis na água tratada e em biofilmes associados e, em alguns casos, podem sobreviver dentro da Entamoeba histolytica (ameba), em sistemas de distribuição (Marciano-Cabral et al, 2010).

Como observação geral, deve-se ter cuidado na interpretação dos dados microbiológicos, pois as concentrações de patógenos reportadas podem ser consequência de diferentes métodos utilizados, como microscopia, cultura e detecção de material genético usando reação em cadeia de polímeros e a geração seguinte em sequência. Métodos baseados na cultura tendem a consumir muito tempo e não são viáveis para todos patógenos, embora tenham a vantagem de detectar organismos vivos. Os testes usando reação em cadeia de polímeros e a geração seguinte em sequência são muito rápidos e são ferramentas poderosas para detectar a presença física de microrganismos patogênicos ou componentes de patógenos, mas nem sempre determinam a viabilidade ou a infectividade.

Eventualmente, patógenos emergentes se desenvolvem tanto na água de abastecimento como nas águas usadas. Nos últimos 40 anos, essa conclusão foi feita para patógenos como Campylobacter e Cryptosporidium (WHO, 2003). Descarga em matéria fecal e coleta desses patógenos em estações de tratamento não significam que a transmissão de doenças represente um risco sanitário nem que haja necessidade de se considerar um crescimento emergente de patógenos. Por exemplo, a possibilidade de transmissão pelas águas usadas ou pela água potável

de vírus do tipo H5N1, responsável pela gripe aviária, uma síndrome respiratória aguda, do Corona ou do Ebola é extremamente baixa (WHO, 2014; 2017a; CDC, 2014).

Questões têm sido levantadas com relação à seleção e ao desenvolvimento de microrganismos resistentes a antibióticos na água purificada (WHO, 2015c). Bactérias resistentes a antibióticos (ARB) e genes resistentes a antibióticos (ARG) são uma questão mundial de saúde pública quando se permite a exposição à água contendo ARB e ARG (WHO, 2015c; Olivieri et al, 2016). Entretanto, como o nível de tratamento aplicado em estações de reúso potável é muito superior ao de estações de tratamento de água, concentrações de ARB e ARG em estações de reúso potável são muito menores que as encontradas em estações de tratamento de água (Olivieri et al, 2016).

2.2 Substâncias químicas perigosas presentes nas águas usadas

Substâncias químicas perigosas que podem estar presentes nas águas usadas têm origem em produtos químicos industriais, produtos químicos domésticos, substâncias químicas presentes nos excretas humanos e produtos químicos usados ou formados durante o tratamento (Tabela 2.3).

Tabela 2.3
Produtos químicos potencialmente presentes em águas usadas ou produzidos durante o tratamento

Produto químico	Uso potencial
Metais pesados	Descargas industriais, fontes naturais, tubulações
Produtos inorgânicos	Água de alimentação, fontes naturais, despejos humanos
Produtos sintéticos industriais	Produtos comerciais, descargas industriais
Compostos orgânicos voláteis	Descargas industriais, produtos secundários da desinfecção da água
Pesticidas	Descargas domésticas, da agricultura e da indústria
Produtos farmacêuticos	Indústria farmacêutica, metabólicos excretados por humanos ou por animais, resíduos de medicamentos não dispostos de forma adequada
Hormônios esteroides (estrogênios e androgênios)	Excretos humanos ou de animais, incluindo excreção de hormônios naturais e de contraceptivos
Produtos de higiene pessoal	Dejetos humanos
Antissépticos	Uso doméstico e comercial
Compostos orgânicos fluoretados	Produtos domésticos
Retardadores de chama	Produtos domésticos
Compostos orgânicos clorados	Descargas industriais
Nanomateriais	Produtos domésticos
Toxinas de cianobactérias	Produzidas nos reservatórios de acumulação superficiais em sistemas de reúso potável indireto
Produtos secundários da desinfecção	Produtos da reação de compostos orgânicos com desinfetantes durante o tratamento

Dependendo do tipo de produtos químicos, as concentrações podem variar de menos de 1 ng/L a vários mg/L. Metais e compostos inorgânicos estão geralmente presentes em maiores concentrações (desde µg/L a mg/L) enquanto produtos farmacêuticos e produtos de higiene pessoal, quando detectados, estão, geralmente, presentes em menores concentrações (ng a µg/L).

Embora a lista de compostos químicos prejudiciais à saúde que possam estar presentes nas águas usadas seja extensa, estudos têm demonstrado que concentrações tipicamente detectadas são bem menores que aquelas capazes de representar risco à saúde pública (Schwab et al, 2005; Snyder et al, 2008; NRMCC-EPHC-NHMRC, 2008; Bruce et al, 2010; Bull et al, 2011; WHO, 2012).

Dependendo da gestão e do controle de descargas industriais, as águas usadas podem receber significativas contribuições químicas industriais. Há milhões de fórmulas químicas disponíveis comercialmente e o número de produtos químicos sintéticos tem crescido enormemente nas últimas décadas (Snyder, 2014). Embora somente uma pequena porção desses produtos seja usada ao mesmo tempo, a natureza das águas usadas indica que quase todos os produtos comerciais em uso têm alguma probabilidade de serem coletados e enviados às estações de tratamento. Portanto, águas usadas podem conter grande composição de produtos químicos complexos. É sabido que esses constituintes químicos variam largamente de região para região dependendo das circunstâncias locais e das atividades industriais. Descargas industriais podem ser fonte de metais pesados, produtos químicos sintéticos industriais, pesticidas manufaturados, carbono orgânico volátil, dioxinas e bifenol policlotado.

Águas usadas contêm muitos produtos químicos prejudiciais à saúde de origem fecal, de água de lavagem de roupa e de descarga de cozinha e de banheiro, podendo incluir produtos farmacêuticos e metabolitos, hormônios esteroides naturais, produtos de higiene pessoal como sabões, repelentes de insetos, detergentes, produtos de limpeza, produtos veterinários e antissépticos. Podem, também, receber descarte da sobra de produtos, como tintas, óleos, pesticidas de jardins e medicamentos não usados. Alguns países estabeleceram programas para reduzir o descarte do excesso de produtos químicos (USEPA, 2016; WHO, 2012).

Algas tóxicas como microcistinas, cilindrospermopsinas e nodularinas, anatoxinas e saxitoxinas são naturalmente produzidas por cianobactérias em água doce (algas azuis e algas verdes); algumas dessas toxinas são hepatotóxicas (microcistinas, cilindrospermopsinas e nodularinas) enquanto outras são neurotóxicas (anatoxinas e saxitoxinas). Sob condições apropriadas, as cianobactérias podem crescer e, possivelmente, produzir toxinas nas tubulações e coleções de águas usadas como lagoas ou corpos de água superficiais usados para descarte ambiental de IPR.

Produtos secundários da desinfecção são formados pela reação entre desinfetantes e constituintes inorgânicos da água e são comumente produzidos em estações de tratamento de água convencionais. Altas concentrações iniciais de componentes orgânicos como amônia, brometo ou iodeto podem levar a elevadas concentrações de produtos secundários da desinfecção. A natureza e a concentração desses produtos é influenciada por:

- Nitrificação na estação e eficiência dos processos de remoção de compostos orgânicos antes da desinfecção (Krasner et al, 2009).
- Possibilidade de ocorrência de elevada concentração de brometos e iodetos, levando a diferentes padrões de formação de produtos secundários da desinfecção se comparados à produção típica em águas subterrâneas ou águas superficiais usadas como fonte para produção de água potável.
- Tipos de desinfetantes usados e vários parâmetros de processo (temperatura, pH, tempo de detenção no sistema de distribuição). Formação de nitrodimetilamina tem sido identificada como um grande problema quando a desinfecção é feita por

cloraminação (SgROI et al, 2015). Bromato e trihalometanos contendo bromo e/ou iodo podem ser formados pela oxidação do brometo e do iodeto; clorato e clorito podem ser formados pela decomposição do hipoclorito e podem ser produzidos pelo uso de dióxido de cloro (Krasner, 2009).

Em comparação com desinfetantes químicos, a produção de produtos secundários da desinfecção por UV é menos definida, pois depende de fatores como dosagem de UV e da produção de espécies oxidadas secundárias, bem como da presença de radicais hidroxila que possam catalisar reações químicas dentro da matriz aquosa.

Entre as substâncias químicas há os per e polifluoralquil e as nanopartículas. As substâncias per e polifluoralquil são persistentes e, algumas, muito solúveis em água. São usadas na produção de produtos à prova de água, incluindo fabricação de móveis, de produtos alimentícios e de vestuário, bem como na produção de espumas de combate a incêndio. São, também, muito usadas em produtos de consumo como embalagens alimentícias à prova de gordura e no tratamento de tapetes resistentes a manchas. Resíduos perfluorados têm sido detectados na água purificada (Zareitalabad et al, 2013).

Nanopartículas são definidas como materiais naturais ou manufaturados que têm partículas onde uma ou mais dimensões oscilam entre 1 e 100 nanômetros (European Union, 2011; Water Research Australia, 2013). O conceito toxicológico das nanopartículas depende não apenas de sua composição química, mas também de seus parâmetros físicos, incluindo tamanho, forma, área da superfície, porosidade, agregação e homogeneidade das dispersões. Dessa forma, técnicas tradicionais usadas para avaliação toxicológica e ecotoxicológica de substâncias químicas nem sempre se aplicam à avaliação de nanopartículas (Hussain et al, 2009). O maior risco é a exposição a nanopartículas no ar. Há conhecimento limitado sobre exposição na água (Hussain et al, 2009; Neale et al, 2012).

2.3 Riscos radiológicos

Radionucléidos são uma categoria de contaminantes que podem estar presentes nas águas usadas. São isótopos cujo núcleo desintegra espontaneamente para produzir partículas alfa (núcleo de hélio), partículas beta (elétrons) ou alta energia de radiação gama; alguns radionucléidos produzem mais de um tipo de emissão. A exposição à radiação pode aumentar a incidência de câncer de longo prazo.

A ocorrência, o destino e o transporte de radionucléidos são razoavelmente bem entendidos. A maior parte dos radionucléidos ocorre naturalmente. Estima-se em aproximadamente 2,4 mSv a exposição média anual a radiação dos raios cósmicos, incluindo a radiação terrestre, a inalação, a alimentação e ingestão de água. A principal fonte de radiação é a inalação de radônio (UNSCEAR, 2008).

Fontes potenciais de radionucléidos incluem produção de energia nuclear e outras atividades que lidam com material radioativo. As atividades radiológicas são, usualmente, muito bem regulamentadas e a exposição a fontes artificiais de radionucléidos é mínima se comparada à radiação natural. Atividades médicas e emissão por parte de pacientes que usam radionucléidos também podem ser fonte de contaminação. A aplicação médica de radioisótopos inclui contraste com iodo-131 (meia vida de aproximadamente 8 dias) e tecnécio-99m (meia vida de aproximadamente 6 horas). A pequena meia vida reduz a permanência desses radioisótopos,

fazendo com que haja eliminação por parte dos pacientes. As descargas de hospitais e consultórios médicos, dentários e veterinários para a rede de esgoto devem ser evitadas.

As tecnologias e os processos padrões de tratamento usados em reúso potável são efetivas na remoção de radionucleídeos.

Nota do tradutor (12)

No Brasil, a concentração máxima de radioatividade permitida na água potável é de 1 Becquerel/L para rádio-226 e de 0,1 Bq/L para rádio-228 (Anexo IX da Portaria).

2.4 Elementos de aceitação: gosto, odor e aparência

Os aspectos de aceitabilidade do reúso potável são os que se aplicam a outras fontes de água potável (WHO, 2017a, capítulo 10). Entretanto, algumas questões estéticas têm particular relevância nos projetos de reúso potável. As águas usadas são turvas e contêm, tipicamente, grandes quantidades de compostos que tornam gostos e odores inaceitáveis. Os processos de tratamento incluídos no reúso potável são efetivos na remoção de turbidez e de compostos que causam gosto e odor.

Os consumidores geralmente associam a qualidade da água potável a sua aparência, gosto e odor, mais que aos resultados das análises físicas, químicas e biológicas. Então, aparência, gosto e odor da água potável devem ser aceitáveis para gerar no público a percepção de água de boa qualidade e, no caso do esgoto potável, devem ser excedidas as características aceitáveis para água potável oriunda de fontes convencionais. Aparência inaceitável, gosto e odor na água de reúso potável vão causar inquietação no consumidor, que associará esses parâmetros a sua origem. Os consumidores podem suspeitar não ter havido tratamento adequado se gosto, odor ou cor estiverem presentes de forma objetável, mesmo que todos os requisitos exigidos tenham sido atingidos.

2.4.1 Gosto e odor

Muitos compostos orgânicos aumentam o odor pútrido provocado pela amônia, que, geralmente, se encontra em baixas concentrações nas águas usadas (Burlingame et al, 2004; Suffet & Rosenfeld, 2007; Agus et al, 2011). Muitos desses compostos têm sido exaustivamente estudados em seu potencial de produzir maus odores (Burlingame et al, 2004; Agus et al, 2011). Odores comuns presentes nas estações de tratamento de águas usadas incluem sulfeto de hidrogênio, sulfetos orgânicos e aldeídos. Em uma ETE bem operada, com processos aeróbicos, esses compostos são removidos da fase líquida. Devido a sua relativa alta volatilidade, uma porção significativa de compostos que causam odor é removida durante a decantação aeróbia, a mistura e a aeração. Compostos como amônia e ácidos alquílicos são biodegradados por microrganismos nos lodos ativados, nos filtros, nos biofiltros ou nos biorreatores. Contudo, uma remoção completa não é atingida e, em alguns casos, odores são detectados no efluente do tratamento secundário a concentrações acima dos limites recomendados (Agus et al, 2011).

Nota do tradutor (13)

No Brasil, o limite permitido na água potável é de 6 unidades para gosto e odor. O Anexo X da Portaria esclarece que essa é a intensidade máxima de percepção para qualquer característica de gosto e odor. Faz exceção para o cloro livre, esclarecendo que se trata de característica desejável em água tratada.

Se os processos tradicionais de tratamento podem reduzir ou remover muitos produtos químicos causadores de odores, alguns processos aeróbicos e anaeróbicos empregados no tratamento podem contribuir para criar novos odores, por transformar grandes cadeias de material orgânico natural ou antropogênico em pequenos grupos como ácidos alquílicos, cetonas ou fenóis. Processos como filtração (rápida ou lenta) e lodos ativados podem provocar o crescimento de microrganismos produtores de compostos que, mesmo em concentrações muito baixas (5-10 ng/L) produzem odores desagradáveis (Burlingame et al, 2004).

Processos de tratamento usados no reúso potável como armazenamento no aquífero subterrâneo, osmose reversa, carvão ativado e processos avançados de oxidação, que reduzem os contaminantes orgânicos, também podem reduzir a maior parte dos compostos presentes que produzem odores. Embora não exista um processo único que remova completamente gosto e odor, a combinação de processos comumente usados no reúso potável pode ser muito eficiente.

O armazenamento no subsolo pode intensificar ou mesmo mitigar os problemas estéticos que dependem da qualidade da fonte superficial de água ou das características do aquífero. A agitação da água nos reservatórios de superfície e nos rios reduzirá odores produzidos por compostos orgânicos voláteis por aeração, mas poderá introduzir novos compostos devido à ocorrência de cianobactérias.

A definição das concentrações permitidas não tem, geralmente, o objetivo de estabelecer limites específicos para gostos ou de compostos que gerem odores. Em parte, essa definição é feita visando critérios de aceitabilidade, visto que preferências locais e diferenças de tolerância sensorial indicam que os limites aceitos variam enormemente. Para a aceitabilidade do suprimento de água de reúso potável, recomendam-se novos estudos de satisfação do consumidor.

2.4.2 Cor e turbidez

A cor das águas usadas pode variar de cinza claro a negro, mas diminui significativamente para amarelo claro ou marrom claro após tratamento secundário (Metcalf & Eddy, 2003). Água potável contendo cor verdadeira de 15 uH ou menos é considerada aceitável pelos consumidores (WHO, 2017a). Processos de tratamento usados em reúso potável como osmose reversa, oxidação avançada, combinação de ozônio com carvão ativado e desinfetantes podem reduzir a cor a níveis aceitáveis.

Os processos usados no reúso potável reduzem a turbidez a menos de 0,1 uT. Água cristalina tem turbidez abaixo de 0,1 uT; a água não fica visivelmente turva com turbidez abaixo de 4 uT (WHO, 2017b).

A cor e a turbidez podem aumentar no sistema de distribuição como consequência de mau controle de corrosão, principalmente quando se utiliza osmose reversa sem haver redução de seu potencial de corrosão (Seção 2.5.4).

Nota do tradutor (14)

A turbidez não tem efeito apenas estético. O art. 31, § 2º, da Portaria deixa isso claro ao considerar a importância de uma turbidez reduzida no combate a protozoários, inferindo que, quando a média aritmética da concentração de oocistos de *Cryptosporidium* spp. é maior ou igual a 3,0 oocistos/L no(s) ponto(s) de captação de água, o efluente em filtração rápida deve ter turbidez menor ou igual a 0,3 uT em 95% das amostras mensais e, nos demais 5%, a turbidez não deve ultrapassar 1,0 uT, exceto se for usado processo de desinfecção que comprovadamente alcance a mesma eficiência de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp.

2.4.3 Salinidade

A salinidade das águas usadas depende da salinidade inicial da principal fonte de água e de outros fatores como de intrusão salina da água subterrânea. A palatabilidade da água com concentração de sólidos dissolvidos totais (TDS) inferior a 600 mg/L é, geralmente, considerada boa (WHO, 2017a). Se o nível de TDS é significativamente acima de 600 mg/L, este pode ser reduzido por osmose reversa. Outros processos como filtração rápida, microfiltração ou nanofiltração não são efetivos na remoção da salinidade.

Nota do tradutor (15)

O Anexo X da Portaria admite concentração de sólidos dissolvidos totais na água potável em até 1.000 mg/L. Com relação à salinidade marinha, o mesmo anexo limita a concentração de cloreto em 250 mg/L e a de sódio em 200 mg/L.

2.5 Medidas de controle

Medidas de controle devem ser aplicadas no processo de reúso potável. Enquanto os processos de tratamento são o foco básico do reúso potável, as medidas de controle para prevenir contaminação devem ser executadas tão próximo à fonte quanto possível, principalmente no caso de efluentes industriais.

Não existem medidas específicas de controle prescritas para reúso potável. A seleção das medidas é, frequentemente, influenciada pela infraestrutura do tratamento, pelos mecanismos adotados para as descargas industriais, pela localização (interior ou costeira), pela viabilidade de receptores ambientais e pelas especificações regulatórias. Por exemplo, as autoridades reguladoras podem definir um número mínimo de barreiras de tratamento. Como resultado, as tecnologias de tratamento e as medidas de controle empregadas podem variar.

2.5.1 Proteção da fonte de água

A fonte de água para reúso potável são as águas usadas que podem ser acrescidas de contribuição industrial e pluvial. Em algumas situações, é possível separar o efluente industrial. Em outras, o planejamento urbano pode permitir, como no caso de Singapura, a localização de indústrias pesadas próximo às instalações de reúso potável.

Em muitos casos, os projetos de reúso potável são desenvolvidos como aprimoramento de ETEs. Nessas circunstâncias, a modificação da localização da coleta das águas usadas para eliminar

descargas industriais pode não ser possível. Entretanto, medidas de controle podem ser aplicadas para reduzir os impactos das descargas industriais na qualidade da vazão afluyente à estação de reúso potável. As restrições a descargas industriais ou a imposição de pré-tratamento podem reduzir significativamente a presença de contaminantes químicos (Mosher et al, 2016). O controle de descarga de contaminantes que possam impactar os processos de tratamento biológico e que não são removidos por processos físicos ou químicos acarretará melhora na eficiência do tratamento e na qualidade final da água. Muitos municípios exigem pré-tratamento para as descargas industriais (USEPA, 2011; WSAA, 2012). Programas de educação comunitária como os projetados para redução de compostos químicos nos efluentes domésticos podem ter um impacto benéfico na melhoria da qualidade da água (WHO, 2012; USEPA, 2016).

É importante observar que, em muitas partes do mundo, os sistemas são unitários, ou seja, não há separação entre as águas usadas e a drenagem urbana. Mesmo em situações onde o sistema não seja unitário, geralmente as tubulações não são pressurizadas e podem estar sujeitas a infiltração de água de chuva (Lee et al, 2015).

As empresas responsáveis por reúso potável devem entender o risco de se cometer erro na avaliação da concentração de contaminantes eventualmente presentes na entrada da estação. Esse risco deve levar em conta as descargas industriais e comerciais para orientar o tratamento a ser executado.

Medidas de controle para prevenir contaminação também devem ser aplicadas no caso de armazenamento nos sistemas RPI. Os reservatórios devem ter forma apropriada para reduzir impactos de descargas urbanas, industriais e agrícolas e o crescimento de cianobactérias na superfície. Isso também deve ser aplicado para prevenir a contaminação do lençol freático.

2.5.2 Tratamento

A primeira barreira à contaminação em um sistema de tratamento de água é uma boa gestão das fontes. A barreira seguinte são as tecnologias de tratamento usadas para reduzir a níveis aceitáveis as concentrações remanescentes de microrganismos, de compostos químicos e de riscos radiológicos. Em se tratando de reúso potável, pode haver tratamentos convencionais ou avançados ou avançados, mas todos os processos de tratamento aplicados devem ser considerados componentes do reúso potável, independente se eram usados em uma ETA ou em uma ETE. Diferentes empresas podem ser responsáveis pela operação das várias unidades de tratamento, cuja coordenação e comunicação é essencial para garantia do desempenho consistente dos vários componentes.

A remoção e a desinfecção de microrganismos patogênicos são o mais crítico problema no reúso potável, de vez que a exposição aguda a patógenos pode causar um surto imediato. Já os contaminantes químicos, com limitadas exceções, como cobre e nitrato, não são geralmente considerados ameaças, pois apenas sua exposição em longo prazo leva a problemas de saúde.

Como em qualquer suprimento de água potável, a garantia sanitária do reúso potável se baseia em múltiplas barreiras, devendo ser considerado o sistema completo, desde a entrada na estação até a produção e o suprimento de água potável aos consumidores. Em alguns casos, o número mínimo de barreiras é especificado em regulamentos (Quadro 2.1).

Quadro 2.1

Barreiras múltiplas

Em 1975, uma reportagem sobre reúso potável recomendava que barreiras múltiplas de

tratamento deveriam garantir que cada poluente tivesse reduzida sua concentração por ao menos dois e, preferivelmente, por três ou mais processos (WHO, 1975). De acordo com essa recomendação, o projeto de RPD em Windhoek, Namíbia, foi projetado para incluir múltiplas barreiras (Du Pisani & Menge, 2013; Law et al, 2015). O tratamento inclui sete barreiras:

- poluentes microbiológicos (três barreiras);
- parâmetros físicos e organolépticos (duas barreiras);
- traços orgânicos e produtos secundários da desinfecção (quatro barreiras)
- parâmetros críticos sem risco para o público: uma barreira.

Os regulamentos da Califórnia para reúso potável especificam que o tratamento por RPI deve incluir no mínimo três processos separados para cada patógeno (CDPH, 2014).

Nota do tradutor (16)

A mesma barreira pode servir a mais de um propósito.

A seleção de processos para um sistema de tratamento de barreiras múltiplas deve considerar um nível pré-determinado de remoção de microrganismos e de contaminantes químicos (Seção 2.5.5). Esse princípio tem sido seguido nos sistemas de reúso potável ao redor do mundo (Drewes & Khan, 2011; 2015). A introdução de barreiras múltiplas garante que uma falha em uma barreira possa ser contornada por outra, tanto no que tange a remoção microbiológica como de contaminantes químicos. O sistema de barreiras múltiplas torna mais efetivos os mecanismos de remoção (Seção 2.5.5).

Os processos de tratamento primário usados em reúso potável são biológicos, separação física (filtração e adsorção) oxidação química e desinfecção. Esses processos são descritos a seguir. Múltiplas combinações desses processos são possíveis, mas, tipicamente, tratamentos avançados como filtração por membranas, oxidação avançada e carvão ativado seguem os processos de tratamento biológico como lodos ativados ou biorreator por membranas, que são indicados primeiramente para remover matéria orgânica, nutrientes e alguns patógenos. Os processos avançados subsequentes provêm barreiras adicionais para patógenos e para contaminantes químicos e podem, também, resultar em redução da salinidade e de nutrientes (NRC, 2012). Alguns sistemas RPI, como o de Montebello Forebay na Califórnia, se baseiam em processos de tratamento como armazenamento em aquífero subterrâneo, que combinam mecanismos de remoção múltipla (filtração, adsorção, biodegradação, dentre outros) usando sistemas naturais de tratamento subsuperficial (Quadro 2.2).

Quadro 2.2

Projetos pioneiros de reúso de água

Montebello Forebay, Estados Unidos: O reúso potável foi primeiramente implantado nos anos 1960 usando o líquido espalhado sobre a superfície seguindo de armazenamento em aquífero subterrâneo, onde o líquido, após tratamento secundário, recebem cloração e passam por filtração lenta e infiltração no aquífero do Rio Hondo em São Gabriel. É feita mistura com água do subsolo e, posteriormente, recuperada, desinfetada e lançada no sistema de água potável.

Orange County, Estados Unidos: O reúso potável foi introduzido como desenvolvimento do Water Factory 21, in 1976. O esquema incluía injeção da água purificada no aquífero costeiro. Posteriormente Water Factory 21 foi substituído pelo Groundwater Replenishment System in 2007. Após o tratamento por processos biológicos (MF, RO, AOP - UV/H₂O₂, estabilização e

cloração), o líquido é injetado no aquífero costeiro, funcionando como uma barreira de intrusão de água salgada, sendo usado como uma fonte de água potável, que é clorada após a retirada.

Windhoek, Namíbia: Foi o primeiro projeto de RPD, introduzido nos anos 1960. O sistema atual combina tratamento biológico, ozonização, flotação por ar dissolvido, filtração rápida, adsorção em carvão ativado e ultrafiltração, com o produto misturado com água potável retirada de fontes superficial e subterrânea.

Mais recentemente, os projetos geralmente contêm ozonização, adsorção em carvão ativado, oxidação avançada e filtração em membranas de baixa pressão (Drewes & Khan, 2011; 2015).

As comunidades em regiões costeiras tendem a adotar o tipo de tratamento desenvolvido em Orange County e sistemas similares incorporando osmose reversa foram instalados em Singapura, na Austrália e na Europa. Na ausência de descargas de água do oceano, as comunidades interioranas, como Windhoek na Namíbia, têm preferido sistemas sem osmose reversa e selecionado combinações de processos de oxidação, adsorção em carvão ativado, biofiltração e filtração por membrana.

Na prática, projetos em escala natural de reúso potável incluem grande variedade de processos (Drewes & Khan, 2011; USEPA, 2012a; Gerrity et al, 2013b; Burgess, 2015; Onyango et al, 2015; Tchobanoglous et al, 2015). A Figura 2.1 mostra exemplos de fluxogramas de reúso potável em operação.

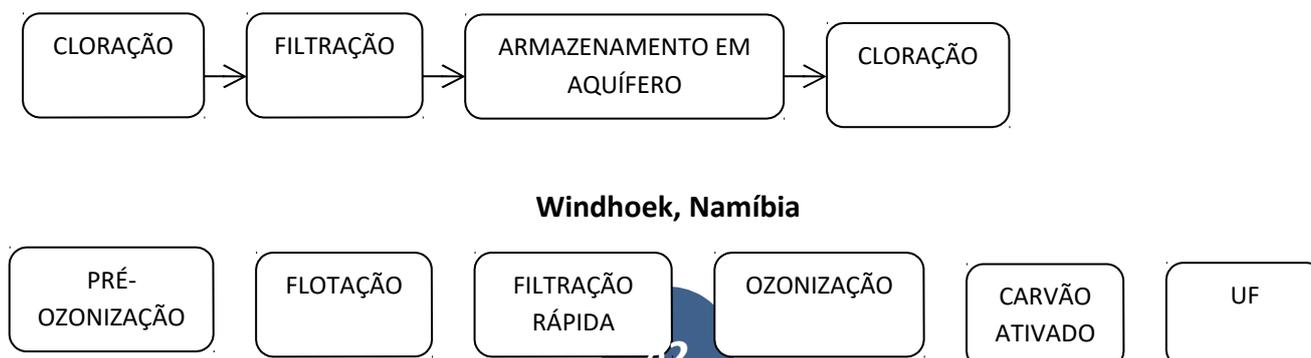
Nota do tradutor (17)

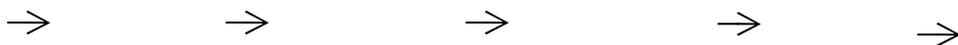
Os fluxogramas apresentados na Figura 2.1 representam sistemas de reúso potável existentes, após o tratamento secundário.

A seleção do tratamento a ser feito deve ser cuidadosamente avaliada para cada comunidade. A segurança vai depender de se identificar em como obter tratamento microbiológico, químico e radiológico com qualidade por meio da aplicação de processo de barreiras múltiplas ou por monitoramento operacional frequente, garantindo operação consistente e confiável.

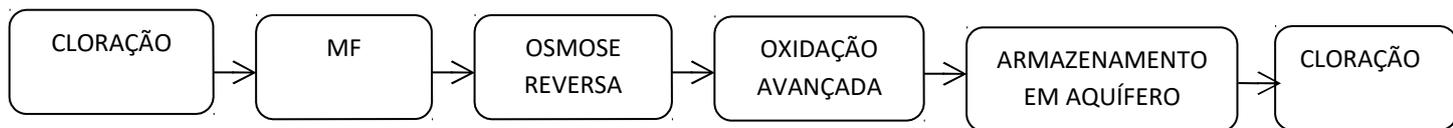
Um projeto de reúso potável necessita considerar que a vazão líquida e a quantidade de lodo gerado pode variar ao longo do dia (Nelson et al, 2011), dia a dia (Huerta-Fontela et al, 2008; Gerrity et al, 2011) e ao longo do ano (Merel et al, 2015b).

Figura 2.1
Exemplos de fluxograma de reúso potável
Montebello Forebay, Califórnia, USA

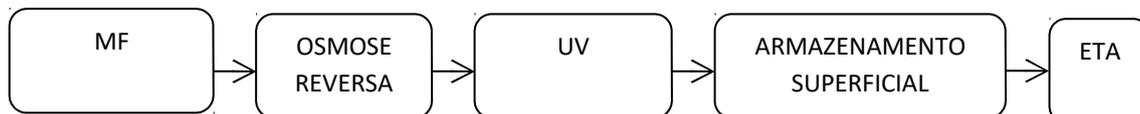




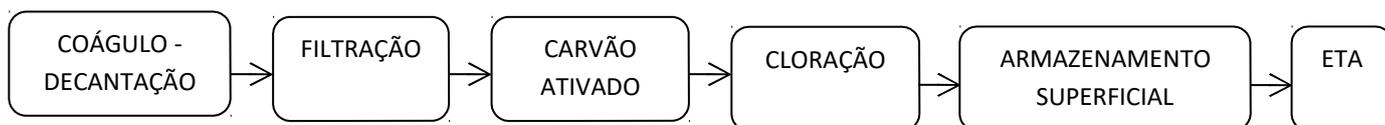
Orange County, Califórnia, USA



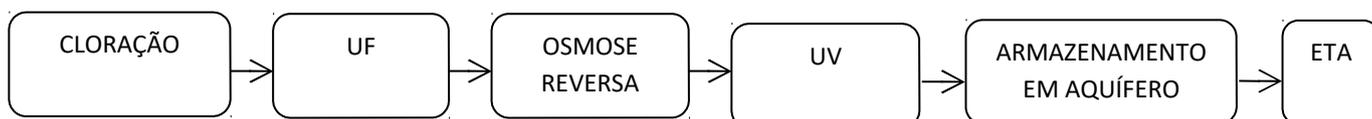
Singapura



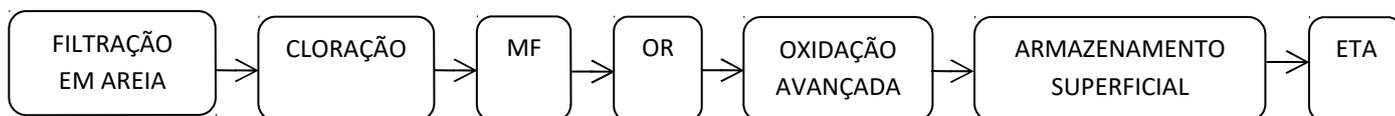
Órgão de Serviços do Alto Occoquan, Virgínia, USA



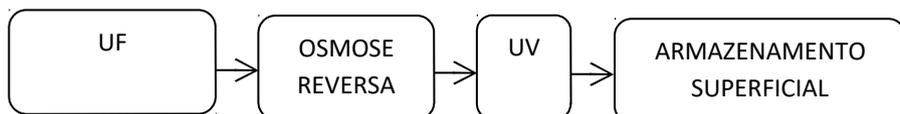
Wulpen, Bélgica



Big Spring, Texas, USA



Perth, Austrália



2.5.2.1 Tratamento de águas usadas

Os primeiros passos no tratamento de reúso potável envolvem os processos tradicionais de uma ETE. Em muitos casos, o reúso potável aproveita ETEs existentes, pois substituí-las pode aumentar o custo do investimento e apresentar dificuldades durante a construção. Entretanto, o tratamento em ETEs existentes pode apresentar problemas na qualidade do efluente, dependendo dos processos adotados e de sua gestão (Ort et al, 2010). Aperfeiçoar seu tratamento

é de grande importância para a eficiência e a eficácia dos processos de tratamento subsequentes. Onde necessário, devem ser feitas melhorias nas estações existentes, evitando-se, assim, variação na qualidade do efluente da estação e facilitando o funcionamento dos processos de tratamento subsequentes.

As ETEs incluem, tipicamente, tratamento primário e secundário e podem incluir tratamento terciário (também chamado de avançado).

O tratamento primário é, essencialmente, feito por processos físicos de remoção de sólidos suspensos, removendo parte do nitrogênio orgânico, do fósforo e de metais pesados, mas com remoção limitada de patógenos.

O tratamento secundário envolve digestão biológica e usa, comumente, carvão ativado e alguma forma de filtração. Remove materiais orgânicos por digestão e reduz DBO e SS em 85% ou mais (Metcalf & Eddy, 2003; Asano et al, 2007). Partículas químicas são removidas e a concentração de patógenos é reduzida (Seção 2.6). Um processo para redução de nutrientes, biológico ou não, é comumente incluído. Nitrificação e desnitrificação podem melhorar enormemente a qualidade da água para o tratamento de jusante, principalmente quando são usadas oxidação avançada e cloração para remoção de amônia e de nitrato. Tempos de retenção maiores em processos baseados em lodos ativados pode permitir a atenuação de muitos traços de contaminantes orgânicos (Clara et al, 2005; Gerrity et al, 2013a).

Nos últimos anos, além do biorreator, usado para crescimento dos microrganismos, o tratamento secundário tem incluído o uso de membranas filtrantes (MF ou UF) para reter sólidos, proporcionando um efluente secundário clarificado. A filtração por membranas provê uma melhoria na remoção de patógenos, com maior ou menor eficiência dependendo do tamanho dos poros. Essa melhoria é consequência da formação de uma “torta” na superfície das membranas durante a operação, que reduz efetivamente o tamanho dos poros e aumenta a remoção de pequenas partículas, como vírus (Branch & Le-Clech, 2015).

O tratamento terciário ou avançado pode incluir uma gama de processos usados nas estações de tratamento de água, que incluem oxidação, adsorção, filtração rápida ou lenta, filtração por membranas e desinfecção, como tratado a seguir.

Nota do tradutor (18)

Conforme visto na Figura 2.2, as membranas do tipo ultrafiltração (UF) são suficientes para reter os microrganismos patogênicos, incluindo vírus, o que dispensa o uso de membranas de alta pressão.

2.5.2.2 Tratamento no aquífero subterrâneo

Sob o ponto de vista técnico, talvez o mais elementar e mais robusto tratamento para reúso potável é a infiltração no subsolo (Laws et al, 2011). O tratamento no subsolo é o processo em que o esgoto percola para o solo, fornecendo nutrientes e microrganismos, e passa por atenuação química. O tratamento de água no subsolo requer viabilidade dos aquíferos não confinados, com zonas sem camadas que impeçam a livre percolação da água, com partículas finas o suficiente para permitir a filtração. O armazenamento no subsolo como tratamento final também resulta em redução da concentração de microrganismos patogênicos e de alguns contaminantes químicos. O monitoramento de dados mostra que a concentração de vírus e de bactérias é rapidamente atenuada durante esse armazenamento (Betancourt et al, 2014), mas que alguns traços de compostos orgânicos podem persistir (Snyder et al, 2004; Laws et al, 2011). No

sistema de Montebello Forebay, em Los Angeles, na Califórnia, a água purificada se infiltra no subsolo, é captada novamente e desinfetada com cloro antes de ser distribuída à população.

Nota do tradutor (19)

É preciso considerar que, no Brasil, os lençóis subterrâneos estão, muitas vezes, contaminados. Por isso, se, após passar por um tratamento intenso, a água, ao ser lançada no subsolo, pode, muitas vezes, se recontaminar. Se, em Montebello Forebay, a água do subsolo que se mistura à água purificada precisa passar por cloração, no Brasil os problemas poderão ser maiores, como no caso de Natal, em que 40 poços foram retirados de operação devido à contaminação da água do subsolo por nitrato. Diante disso, não é recomendado seja feito no Brasil o uso de tratamento no subsolo para reúso potável.

2.5.2.3 Processos oxidativos

Muitos projetos de reúso potável utilizam um processo oxidativo para atenuação dos contaminantes orgânicos. Os custos operacionais e de energia elétrica são altos. Os processos de oxidação avançada aumentam a degradação dos contaminantes químicos pela formação de radicais hidroxila a partir do peróxido de hidrogênio e pela luz UV ou por ozônio e UV. O radical hidroxila é efetivo na oxidação de uma larga gama de compostos orgânicos a uma taxa maior que os processos comuns de oxidação (Kommineni et al, 2000; Wang & Xu, 2012). Além de proporcionarem atenuação dos compostos orgânicos, os processos oxidativos avançados também provêm altos níveis de inativação de patógenos (Seção 2.6).

A oxidação avançada se torna mais eficiente quando é seguida pelo uso de carvão ativado. Contudo, o efluente deve ser monitorado quanto à presença de substâncias como bromato, que, geralmente, não são oxidadas (Asami et al, 1999).

2.5.2.4 Adsorção por carvão ativado

O carvão ativado pode remover a grande maioria dos contaminantes orgânicos. Entretanto, a eficiência é função da estrutura molecular dos contaminantes, da qualidade da água, do tipo de carvão ativado e dos parâmetros operacionais empregados (Snyder et al, 2007; Redding et al, 2009; Anumol et al, 2015).

O carvão ativado em pó também serve como estrutura de suporte para o crescimento e retenção de organismos biológicos. Nesse caso, pode ser usado como processo único ou em série com carvão ativado granulado. Embora a adsorção e a remoção de carbono orgânico dissolvido (DOC) diminua com o tempo, a remoção de DOC biodegradável aumenta e é mantida por muitos anos.

O carvão ativado pode ser relativamente caro e requerer substituições periódicas ou reativação. (Pipe-Martin et al, 2010; Rattier et al, 2012).

2.5.2.5 Filtração

A filtração é um dos processos de tratamento mais comuns usados para remover partículas e microrganismos patogênicos das fontes de água potável. A filtração pode ser lenta ou rápida, de

camada simples ou de dupla camada, nesse caso usando materiais como areia e antracito. Os filtros removem os sólidos suspensos das fontes de água. Coagulação, floculação e decantação são frequentemente usadas antes da filtração para aumentar a remoção de partículas. Como alternativa à decantação, a flotação por ar dissolvido pode remover flocos usando-se bolhas de ar que arrastem partículas para a superfície ou as precipitem. As partículas retidas são removidas por retrolavagem, que as separa do meio filtrante. Os filtros necessitam de manejo cuidadoso e contínuo monitoramento para manutenção de seu desempenho. Maior cuidado deve ser tomado durante o fim do período de campanha do filtro, pois seu desempenho fica prejudicado se entrar em operação imediatamente após a lavagem. A filtração produz uma efetiva barreira aos protozoários e, em menor grau, a vírus e bactérias (USEPA, 2005).

2.5.2.6 Filtração por membranas a baixa pressão

Filtração por membranas a baixa pressão inclui MF e UF, com tamanho dos poros entre 0,1 e 0,2 μm para MF e entre 0,01 a 0,05 μm (ou menos) para UF (USEPA, 2005) (Figura 2.2). As membranas são, tipicamente, feitas de folhas chatas ou de fibras ocas, usando polímeros sintéticos. Removem partículas principalmente pelo tamanho diminuto de seus poros, embora repulsão eletrostática e adsorção também tenham seu papel (USEPA, 2005). A eficiência da filtração pode aumentar com a formação de um filme formado na superfície das membranas durante a operação, o que efetivamente reduz as dimensões dos poros e aumenta a remoção de pequenas partículas como vírus.

A filtração por membranas vem sendo usada mais frequentemente em ETAs e nas estações de reúso potável como barreiras efetivas a protozoários patogênicos e, em menor extensão, a vírus (USEPA, 2005). No reúso potável, a filtração por membranas pode ser usada para reduzir a turbidez da água, o que reduz a formação de *fouling* nos processos subsequentes como NF e RO.

Nota do tradutor (20)

A ultrafiltração é uma barreira efetiva na retenção de vírus e de cistos e oocistos de protozoários. Sua utilização, no entanto, não exige a utilização de outras barreiras como radiação ultravioleta, aplicação de peróxido de hidrogênio ou ozonização e carvão ativado. Por outro lado, as membranas de alta pressão, principalmente de osmose reversa, são específicas para remoção da salinidade da água. Se usadas no reúso potável, removem os sais minerais da água, que necessitam ser repostos antes da distribuição da água.

Filtros de cerâmica que também removem microrganismos patogênicos devido a seus poros diminutos vêm atraindo o interesse como alternativa à filtração por membrana (Duke, 2014). Têm custo mais elevado, mas operam a pressão mais baixa e têm vida útil mais longa.

2.5.2.7 Filtração por membranas a alta pressão

As membranas de alta pressão, osmose reversa e nanofiltração são usadas para dessalinização da água. São barreiras extremamente efetivas para todos os patógenos e para a maior parte dos contaminantes orgânicos (Bellona et al, 2008).

Membranas de OR removem, em geral, acima de 99% da salinidade da água e um percentual maior de contaminantes microbiológicos (Figura 2.2). A nanofiltração não é efetiva na

remoção de salinidade, mas remove substanciais quantidades de íons de maior valência, como cálcio, magnésio e sulfato. Embora seja muito efetiva na remoção de contaminantes orgânicos, as membranas OR podem permitir a passagem de alguns compostos orgânicos não polares de peso molecular baixo como N-dimetil amino nitroso (NDMA) e 1,4 dioxano (Drewes et al, 2005). O maior desafio para as membranas de dessalinização é o rejeito, que pode ter 20% da vazão inicial e concentração elevada de sal e de compostos orgânicos. Em comunidades costeiras, o rejeito é frequentemente descartado em ambiente marinho, mas em comunidades interioranas pode ser um grande problema. Os processos de dessalinização por membrana têm operação relativamente cara por causa das altas pressões necessárias, que acarretam um elevado consumo de energia.

Figura 2.2
Tamanhos dos poros de membranas de filtração

Tamanho (µm)	0,0001	0,001	0,01	0,1	1,0	10
MICROORGANISMOS PATOGÊNICOS					BACTERIA	
						GIÁRDIA
					CRYPTO	
			VÍRUS			
MEMBRANAS DE FILTRAÇÃO					MICROFILTRAÇÃO (MF)	
					ULTRAFILTRAÇÃO (UF)	
					NANOFILTRAÇÃO (NF)	
					OSMOSE REVERSA (RO)	

2.5.2.8 Desinfecção

Os projetos de reúso potável invariavelmente incluem desinfecção para inativação dos microrganismos patogênicos, incluindo bactérias, vírus, protozoários e helmintos. A desinfecção pode também ser aplicada para reduzir o biofilme produzido pelas bactérias no tratamento por membranas e, no sistema de distribuição, para reduzir o crescimento biológico e incrementar a proteção da qualidade da água contra a contaminação posterior ao tratamento.

Os processos biológicos do tratamento secundário, os processos naturais de acumulação de água e as barreiras físicas produzidas por membranas removem microrganismos. A desinfecção se refere aos agentes usados para inativar microrganismos patogênicos. Os mais comuns desinfetantes usados são oxidantes químicos como cloro, cloraminas, ozônio, dióxido de cloro e radiação UV. Seus impactos são diferentes contra os vários tipos de patógenos. Por exemplo, a radiação UV é muito efetiva, em baixas doses, contra *Cryptosporidium* e *Giárdia*, mas doses elevadas são necessárias para a inativação de vírus (Hijnen et al, 2006; USEPA, 2006b). O cloro é efetivo contra bactérias patogênicas e vírus, pode inativar *Giárdia*, mas seu impacto é limitado com relação a *Cryptosporidium*. Em geral, o desempenho de um desinfetante se restringe a pequeno número de patógenos. Quando há grande número de microrganismos patogênicos, geralmente os mais resistentes são selecionados como indicadores de contaminação. Por exemplo, a efetividade da radiação UV na desinfecção de vírus patogênicos se baseia na inativação dos adenovírus, que são relativamente resistentes à radiação UV (USEPA, 2006b). Assume-se que, garantindo a efetiva inativação dos adenovírus, outros vírus menos resistentes serão inativados no mínimo ao mesmo nível.

Nota do tradutor (21)

A radiação UV age modificando o DNA dos vírus de modo a impedi-los de se reproduzirem. Sem capacidade de reprodução, os vírus se tornam inócuos. Contudo, a radiação UV, tal qual o ozônio, não deixa residual. Por isso, se for usado ozônio e/ou UV, há necessidade também de se usar um desinfetante que deixe residual.

A desinfecção é fundamental para o reúso potável, mas pode levar à produção de indesejáveis e potencialmente perigosos produtos secundários da desinfecção. O tipo e a concentração desses produtos dependem de inúmeros fatores, incluindo a composição da fonte de água, os processos de tratamento e o método de desinfecção (Seção 2.2) (Krasner et al, 2009). É importante notar que sua presença ocorre não apenas no reúso potável, mas também no sistema de distribuição de sistemas convencionais de tratamento, onde a mistura de água pode causar a formação de tais compostos.

Para controlar os produtos secundários da desinfecção, é necessária a minimização de seus precursores. Para isso, deve ser reduzida a concentração de carbono orgânico total antes da desinfecção. A escolha dos processos de desinfecção pode, também, reduzir a concentração de produtos indesejáveis. Por exemplo, a cloraminação é melhor que a cloração no controle da formação de compostos secundários da desinfecção nos sistemas de distribuição. Alguns deles podem ser removidos por tratamentos subsequentes ou pela acumulação em reservatórios naturais, no caso de RPI. Embora os processos de tratamento devam ser projetados para minimizar a formação de compostos secundários da desinfecção, o importante para um projeto de reúso potável, como de resto para qualquer sistema de abastecimento de água, é que a desinfecção tenha prioridade, sem comprometer os objetivos do projeto (WHO, 2017a).

Nota do tradutor (22)

Um dos grandes receios de cloração de águas usadas purificadas é a formação de produtos secundários da desinfecção. Nas ETEs, não se usa clorar o efluente para evitar a formação desses produtos. No reúso potável, entretanto, os precursores dos produtos secundários da desinfecção são oxidados, dificultando a formação de produtos secundários da desinfecção. A eficiência do reúso potável nesse particular é muito superior à das estações de tratamento de água convencionais, tanto que o anexo VII da Portaria admite concentração de trihalometanos na água potável de até 0,1 mg/L, ao passo que a estação de reúso potável de Windhoek não admite sua concentração acima de 40 µg/L (0,04 mg/L).

2.5.3 Armazenamento em reservatórios naturais ou construídos

Um elemento chave do RPI é o armazenamento em reservatório natural, seja um aquífero ou um reservatório superficial. O armazenamento proporciona vários benefícios como diminuição de contaminantes, diluição, mistura e tempo para detenção e correção de falhas antes do tratamento final e da distribuição. Reservatórios naturais também fornecem capacidade de armazenamento de água durante os períodos em que a produção excede a demanda. A aceitação pública pode também ser aumentada com o uso de um reservatório que permita uma assimilação natural da água purificada e uma separação física e temporal entre a água purificada e a água potável.

A remoção de contaminantes por reservatórios naturais necessita ser analisada caso a caso (Seção 2.6). Quando se trata de águas subterrâneas, a remoção de microrganismos patogênicos é função do tempo de retenção (Pang, 2009; NRC, 2012; Betancourt et al, 2014).

Apesar das vantagens das barreiras ambientais, há desvantagens que necessitam ser citadas:

- Em algumas localidades, estabelecer um reservatório natural pode ser difícil devido à falta de reservatórios superficiais ou de aquíferos acessíveis. Pode haver também restrições legais na descarga e estocagem de águas purificadas em recursos hídricos existentes.
- O bombeamento de água para uma bacia subterrânea e desta para longas distâncias pode ser caro, com alto consumo de energia (ATSE, 2013).
- A qualidade inapropriada da água em reservatórios naturais pode afetar a qualidade da água a ser usada no reúso potável. Contaminantes residuais como patógenos ou traços químicos orgânicos remanescentes após o tratamento podem ser diluídos no reservatório. Por outro lado, a adição de grande quantidade de água purificada pode diluir os contaminantes contidos no reservatório, o que reduzirá a qualidade da água purificada. Por exemplo, o reservatório superficial pode conter matéria orgânica natural, patógenos, toxinas de cianobactérias e pesticidas, enquanto a água subterrânea pode conter perigosos contaminantes como arsênio, fluoreto, selênio e nitratos. Os impactos potenciais dos reservatórios ambientais na qualidade da água precisam ser analisados como parte do projeto de reúso potável. O tratamento de água convencional (filtração e desinfecção) é tipicamente aplicado quando a água superficial é usada como um reservatório natural.

Em reúso potável RPD, o reservatório natural é eliminado e a não atenuação da contaminação, a ausência de diluição e a perda do período de retenção devem ser consideradas. A atenuação da contaminação pode ser substituída pelas barreiras de tratamento. O principal é procurar substituir os demais benefícios conseguidos com os reservatórios naturais por reservatórios construídos (ESB). Um ESB deve ter suficiente tempo de retenção, possibilitando a análise de eventuais falhas e possibilitando sua correção. O armazenamento em ESB pode ser da ordem de horas até de dias. Uma possível falha e o respectivo tempo de resposta devem ser levados em conta na determinação de sua capacidade. Por exemplo, para parâmetros como turbidez e produtos secundários de desinfecção, o tempo de análise das amostras é muito pequeno e uma ação corretiva, até mesmo a decisão de se parar o sistema, pode ser tomadas em minutos. Por outro lado, o resultado de testes de queda de pressão em membranas pode durar dias, estendendo-se a falha e o tempo de correção. Devido a essas restrições, é pouco provável que os reservatórios construídos possam garantir tempo suficiente para análises de contaminantes químicos, que requerem mais tempo para ser realizadas e, em geral, requerem maior tempo para decisão das correções a serem feitas, mas isso não é considerado uma questão importante, visto que o aumento de contaminantes químicos não ocorre subitamente. Os riscos geralmente ocorrem após um longo tempo de exposição a concentrações desses contaminantes acima do permitido.

O projeto de um ESB inclui tubos, tanques em série ou em paralelo, operação com o volume pleno ou parcial, condições de armazenamento e condições de desempenho. Em geral, o uso de três ou mais tanques funcionando alternadamente é o mais simples. ESB pode ser usado tanto em RPI como em RPD, como a última etapa de tratamento para permitir a ação do desinfetante ou para permitir o armazenamento durante os períodos de menor demanda para complementação da vazão nos períodos de maior demanda. Esse tipo de uso é relativamente

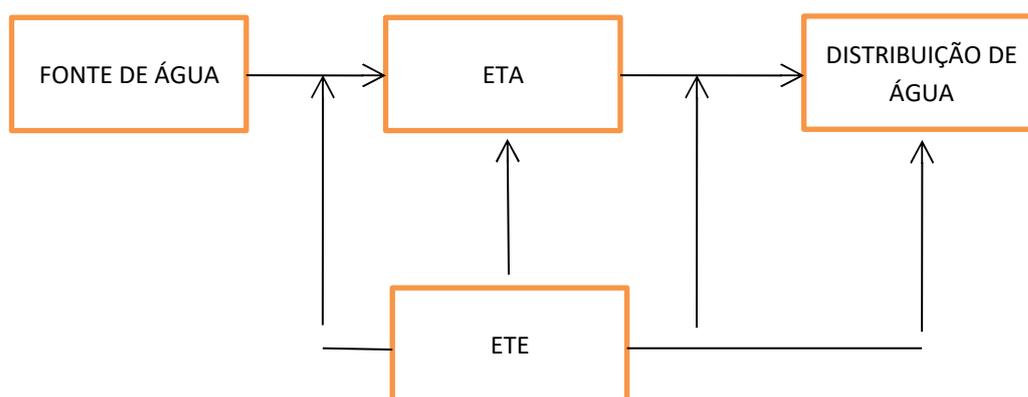
comum em sistemas tradicionais de água potável. O reúso potável em Baufort West e em Big Spring incluem ESB (ATSE, 2013).

2.5.4 Mistura, armazenamento e distribuição

O reúso potável deve-se juntar à água proveniente de outra fonte, seja superficial, do subsolo ou mesmo a dessalinização da água do mar. A mistura pode ser feita em três pontos (Figura 2.3):

- Na fonte de água antes do tratamento.
- Com a água potável antes da distribuição.
- No sistema de distribuição.

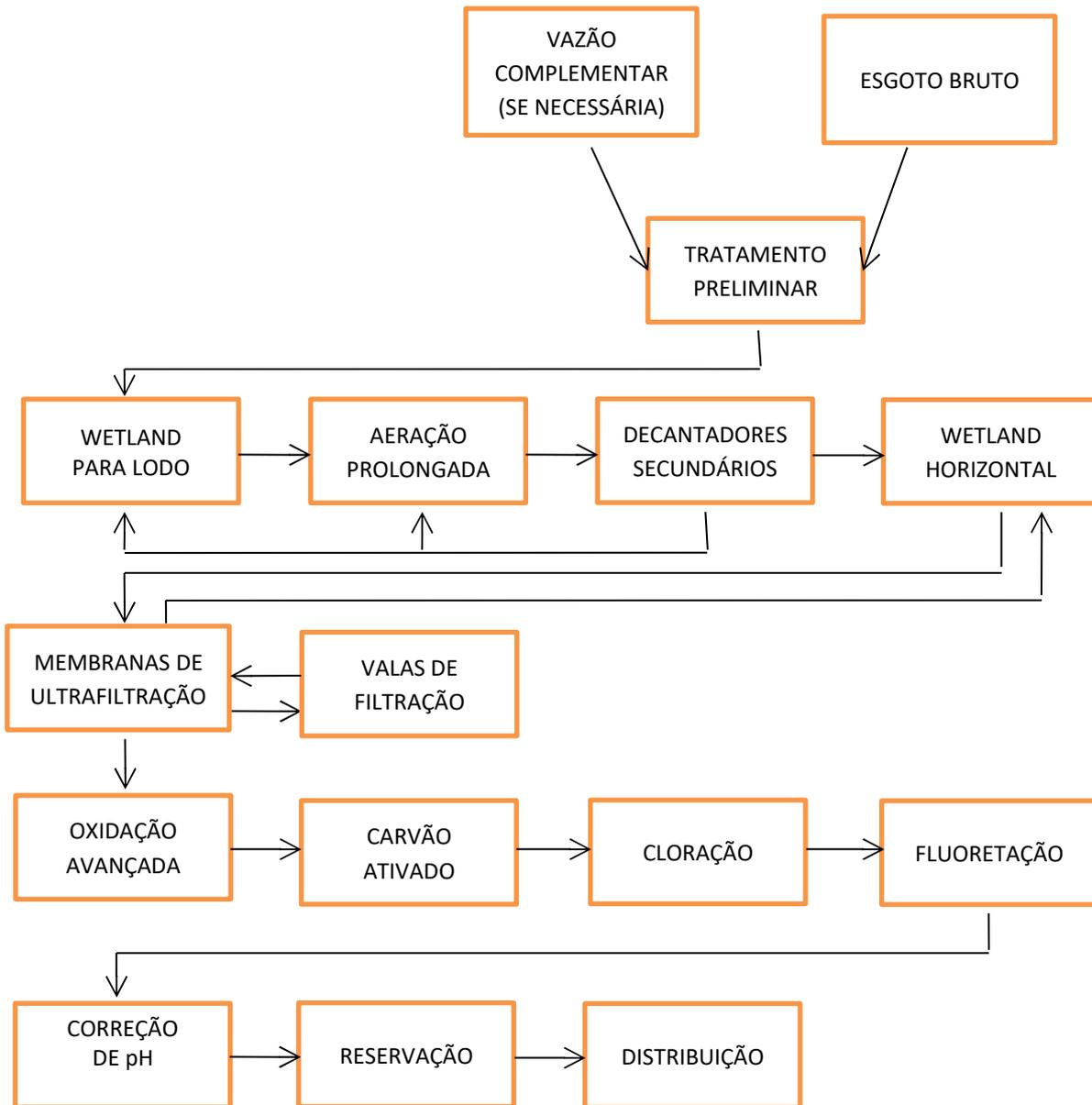
Figura 2.3



Nota do tradutor (23)

As três opções de que fala o GDWQ se referem a localidades onde já existe ETA e ETE e há necessidade de reforço na vazão de água potável. Assim, sugere que a ETE seja ampliada para que seu efluente possa ser lançado na ETA. No Brasil, há muitas localidades que não dispõem de ETE e, por isso, é mais conveniente, sob os aspectos técnico e econômico, fazer-se não uma ETE para lançar o efluente na ETA, mas uma estação de reúso potável que possa receber como complementação a água bruta da ETA. Caso não se deseje encerrar as atividades da ETA, seu efluente pode ser a água de complementação da estação de reúso potável, desde que não haja adição de desinfetantes que deixem residual, como cloro ou seus compostos. A água de complementação vai passar por todas as fases do tratamento e, por isso, sua qualidade vai requerer menores cuidados. Se o reúso potável for adotado na maior ETE de São Paulo, este poderá suprir o aumento da demanda por água, ao invés de se buscar água na bacia do Rio Paraíba do Sul. Se for necessária vazão de complementação, esta poderá ser captada do Rio Tietê ou do Rio Pinheiros, de vez que passará pelas mesmas unidades de tratamento do reúso potável. O rejeito da filtração por membranas deve retornar ao wetland horizontal, com um descarte de cerca de 1% de sua vazão a jusante do ponto de captação da vazão complementar. A sugestão de uma estação única de tratamento consta da Figura 2.3-A, que não se encontra no texto original.

Figura 2.3-A
REÚSO POTÁVEL FEITO EM UMA ESTAÇÃO ÚNICA



A mistura requer alto nível de controle operacional, dimensionamento de armazenamento apropriado e das zonas de mistura, além de um conhecimento firme dos impactos potenciais no desempenho do processo e na estabilidade e qualidade da distribuição, assegurando que qualquer problema a montante possa ser contornado a tempo, de forma a manter a confiança do público no sistema. Essas questões não são privativas do reúso potável e os potenciais impactos na qualidade da água misturada têm sido exaustivamente estudados, tendo sido desenvolvidas muitas ferramentas e recomendações para a manutenção de sua qualidade (Install & Zeilig, 2007; Peet et al, 2001; Taylor et al, 2005; 2008; Duranceau et al, 2011).

Nota do tradutor (24)

Com a mistura sendo feita na entrada da estação, o controle da água passa a ser feito como se se tratasse de uma única fonte.

A água oriunda de reúso potável deve ser avaliada pelo potencial de corrosão e pela formação de produtos secundários da desinfecção tal qual a água oriunda de uma ETA tradicional. Água com alta pureza é um desafio, especialmente se purificada com OR para reduzir-lhe a dureza. A água purificada com osmose reversa necessita de estabilização com a adição de minerais para aumentar a alcalinidade e o pH para atingir um índice positivo de saturação Langelier ou um potencial apropriado de precipitação de carbonato de cálcio ou um índice agressivo para prevenir erosão ou corrosão da tubulação e dos materiais do reservatório. A estabilização pode ser acompanhada de adição de minerais após o tratamento ou de mistura com água tratada de outras fontes contendo sais minerais naturais ou alcalinidade. Sem uma estabilização adequada, a água purificada com membranas de osmose reversa será agressiva à argamassa de cimento na tubulação ou aos tanques de concreto e corrosivo para tubulações metálicas e componentes como válvulas e registros de cobre e de chumbo.

Nota do tradutor (25)

Peças ou tubulações de chumbo não são mais permitidas porque podem provocar a doença conhecida como saturnismo. No Brasil, a concentração máxima de chumbo permitida na água potável é de 0,01 mg/L (Anexo VII da Portaria). Como o limite permitido pelo Anexo X da Portaria para a dureza na água potável é muito alto (500 mg/L), o uso de membranas de alta pressão para redução da dureza somente seria necessário se houvesse grande percentual de efluentes industriais. Nesse caso, a água seria imprópria para reúso potável.

Se a água oriunda de reúso potável não for estabilizada antes da distribuição, deverão ser selecionados materiais alternativos para reduzir os danos de uma corrosão potencial. Por exemplo, poderão ser usados tubos de polietileno de alta densidade e reservatórios revestidos de epóxi.

A mistura de águas contendo diferentes precursores de produtos secundários da desinfecção poderá resultar em diferentes concentrações desses produtos. Se for usada a cloraminação como desinfetante residual, é possível haver a formação de NDMA (Krasner et al, 2009; Sgroi et al, 2016).

Testes devem ser conduzidos para averiguar o impacto da mistura de diferentes qualidades de água no processo de tratamento (Tchobanoglous et al, 2015).

A mistura pode, também, ser um problema nos reservatórios naturais. A química de águas purificadas introduzidas em aquíferos do subsolo deve ser monitorada, procurando-se elementos naturais que esta possa conter. A adição de minerais como magnésio e cálcio pode ajudar a mitigar o risco da presença de arsênio. O controle do pH pode também ser necessário para evitar a presença tanto de arsênio como de cromo hexavalente do aquífero geológico.

Nota do tradutor (26)

Como foi visto anteriormente, se a mistura de águas for feita antes do tratamento, esse risco não existe.

2.5.5 Confiabilidade, redundância, robustez e resiliência

A confiabilidade pode ser atingida por meio de conceitos como redundância, robustez e resiliência (Pecson et al, 2015). O termo confiabilidade é largamente usado quando há metas a se atingir. Em serviços públicos, a confiabilidade é frequentemente associada à consistência em se prover determinado serviço. No reúso potável, confiabilidade significa habilidade do sistema em fornecer água de qualidade semelhante à dos existentes sistemas públicos de água potável. Redundância, robustez e resiliência descrevem os meios necessários para se atingir esse objetivo.

Redundância é o uso de vários métodos para maior confiabilidade em se atingir as metas necessárias. No reúso potável, a redundância é feita com o conceito tradicional de se criar múltiplas barreiras de tratamento. Os benefícios de redundância para inativação ou remoção de patógenos ao nível de 5-log são ilustrados na Figura 2-4. Com a adição de processos de tratamento, obtém-se alteração na mediana da redução média. Com a redundância de processos, obtém-se medianas de 5-, 6- e 7-log, medidas com igual precisão. A remoção ou inativação provável de patógenos ficar abaixo de 5-log diminui rapidamente com a redundância de processos. A confirmação desse objetivo deve ser verificada no monitoramento operacional (Seção 2.6). Esse monitoramento é também uma redundância, que pode conduzir a maior confiabilidade.

Figura 2.4

Benefícios do emprego de várias barreiras no tratamento

Mediana	Probabilidade de remoção ficar abaixo de 5-log
5-log	50%
6-log	2,3%
7-log	0,03%

A robustez no reúso potável se refere à habilidade do sistema em resistir a grande variedade de contaminantes e a falhas catastróficas. O uso de múltiplas barreiras de tratamento proporciona maior robustez que um processo único. As barreiras múltiplas provêm grande resistência a falhas catastróficas parciais ou totais, incluindo falha de barreiras independentes (Pecson et al, 2015).

O tratamento com múltiplas barreiras também provê robustez no combate à variedade de contaminantes. Esse conceito é ilustrado na Figura 2.5 (adaptado de Pecson et al [2015]) para um processo com tratamento secundário, MF, RO e AOP (UV/H₂O₂). Nesse processo, após a passagem por cada barreira de tratamento é indicado se foi ou não feita remoção de patógenos e de contaminantes químicos. A ausência de setas indica que o tratamento foi alcançado. A oxidação avançada (UV/H₂O₂) é dividida em duas partes para ilustrar a função única da radiação UV.

Figura 2.5

Efeito das múltiplas barreiras na remoção de contaminantes químicos e biológicos

Contaminante	Tratam. secundário	MF	RO	UV	Oxidação avançada
17β- estradiol					
Carbamazepina	→	→			
N-	→	→	→		

nitrodimetilamina					
1,4-dioxano	→	→	→	→	
Cryptosporidium	→	→	→		
Giárdia	→	→	→		
Vírus	→	→	→		
Bactérias	→	→	→		

Nota do tradutor (27)

Não foi usada a UF como barreira. Por isso a osmose reversa tornou-se necessária para remoção de Cryptosporidium, Giárdia, vírus e bactérias. O 1,4-dioxano é um composto orgânico volátil, pertencente à família dos éteres, que pode ser liberado por alguns tipos de dioxinas. É considerado uma substância possivelmente cancerígena, encontrado em desodorantes, cosméticos, xampus e produtos de limpeza. Observe-se que sua presença foi constatada até mesmo após a aplicação de radiação UV, tendo sido eliminado apenas pela oxidação avançada, embora o texto não esclareça se, no tratamento secundário, houve aeração. A maioria dos compostos orgânicos é oxidada, por aeração, a gás carbônico, água e compostos de cadeia menor.

A resiliência tem a função de garantir confiabilidade quando redundância e robustez não são suficientes. Engloba as medidas necessárias à resposta a incidentes e eventos não previstos (Capítulo 4). Como exemplo, podem-se citar medidas de controle de monitoramento combinadas com tratamento em reservatórios construídos (ESB). Se os critérios operacionais não forem atingidos, ação imediata deve ser feita ou a água terá que ser direcionada a usos alternativos. No reservatório construído deve haver tempo de retenção suficiente para que a distribuição seja interrompida antes de a água ser enviada aos consumidores.

2.6 Validação das medidas de controle

As medidas de controle usadas no reúso potável necessitam ser validadas para demonstrar que os processos vão produzir água potável segura e com proteção à saúde pública. Embora não seja diferente para outras fontes de água potável, a alta carga de contaminantes químicos e a elevada concentração de microrganismos patogênicos nas águas usadas podem aumentar a necessidade de se validar o desempenho dos processos adotados no reúso potável.

Validação das medidas de controle é a demonstração de que estas, efetivamente, atingirão os níveis específicos de redução dos malefícios provocados pelos microrganismos e pelos contaminantes dissolvidos. A validação também define os critérios operacionais requeridos para assegurar que as medidas de controle continuem a funcionar efetivamente (Bartram et al, 2009; 2017a). Trata-se de uma atividade intensa, tomada em um período limitado de tempo, mas é essencial acrescentá-la na seleção dos processos de tratamento. A validação pode ter três formas básicas:

- Avaliação dos dados existentes e informação sobre os dados publicados e dos estudos conduzidos.
- Avaliação dos resultados dos certificados específicos dos processos de tratamento.
- Teste dos processos em escala natural ou em escala piloto.

Para algumas tecnologias de tratamento como radiação UV, desinfecção e filtração por membranas, os padrões e protocolos devem ser estabelecidos para validação do desempenho (ÖNORM, 2001; 2003; USEPA, 2005; 2006b; DVGW, 2006; WaterVal, 2016a; 2016b; 2016c). A certificação a partir desses padrões e protocolos é relevante para as características da água a ser tratada. Por exemplo, a certificação do tratamento por radiação UV é válida para apenas uma faixa de transmissividade.

Nota do tradutor (28)

A transmissão de UV à intensidade de 186 mJ/cm² pode inativar 4-log de vírus. A uma intensidade de 235 mJ/cm², a inativação pode aumentar para 6-log. Em protozoários e bactérias, consegue-se o mesmo efeito com intensidades menores.

No reúso potável, é frequentemente feito um teste localizado em escala natural. Contudo, esse teste fica limitado porque a capacidade de redução de patógenos depende da concentração de patógenos presentes na água de alimentação. Ocorre que o teste localizado necessita ser feito sob as condições esperadas durante a vida do sistema de reúso potável. Como há variações na qualidade da água e na vazão, o teste deve considerar a efetividade das medidas de controle em lidar com contaminantes específicos nessas condições variáveis e o teste não é validado se a capacidade de redução for excedida. Testes piloto podem ser feitos somente quando se sabe que os resultados serão diretamente aplicáveis e quando há relação de escala com as dimensões da planta.

O primeiro componente de validação é a demonstração da remoção dos microrganismos patogênicos pelas medidas de controle que são usualmente feitas durante os testes (USEPA, 2005; Department of Health, State of Victoria, 2013). Nem sempre o teste se refere a toda classe de microrganismos. O mais comum é fazer medição da redução logarítmica (LRV) de um patógeno de referência, como de *Cryptosporidium* para protozoários, *Escherichia coli* para bactérias e colífagos para vírus. *Clostridium perfringens* ou *Bacillus subtilis* spores também podem ser usados como referência para protozoários, provendo uma correlação ou relação conservativa com a referência patogênica (USEPA, 2005; Department of Health, State of Victoria, 2013). A Tabela 2.4 apresenta um sumário de validação de redução a logaritmo decimal (LRV) demonstrado por teste para uma gama de processos de tratamento comumente adotados em reúso potável.

Tabela 2.4

Validação da redução logarítmica dos valores baseada no teste e na sensibilidade do monitoramento operacional (teste LRV_c e L LRV_{OMS}) para processos indicativos de tratamento

Processo de tratamento	LRV _c (teste)			Base para validação	LRV _{OMS} (sensibilidade operacional)			Base para validação
	Bact.	Vírus	Protoz.		Bact.	Vírus	Protoz.*	
Tratamento secundário sem desinfecção	3	2,5	2	Remoção de patógenos reportadas	1	0,5	0,5	Remoção de patógenos de plantas bem projetadas e bem operadas. As reduções

								logarítmicas podem ser aumentadas com o uso de testes específicos.
Armazenamento no subsolo	6	6	6	Remoção de patógenos reportadas	Sistema específico			LRVs dependem da natureza do solo e do tempo de retenção no aquífero.
Biorreator de membrana	5	5	6	Remoção de patógenos reportadas	4	1,5	2	5% dos LRVs publicados usando funções probabilísticas de densidade correlacionadas com características operacionais.
MF e UF	6	4-6	6	Teste executado. Maior remoção de vírus é feita para UF com baixo LRV e para MF com LRV mais alto.	4	0	4	Teste de integração direta diária apoiado por turbidez online. Os mais altos LRVs são para UF.
Ozônio/carvão ativado	6	6	6	Valores alcançados para $Ct \geq 30$ mg.min/L e $T \geq 10^\circ C$	4	4	0	Valores alcançados para ozonização para $Ct \geq 1$ mg.min/L e $T \geq 10^\circ C$. Maior Ct pode aumentar LRVs.
RO	6	6	6	Teste executado	1,5-2	1, 5-	1,5-2	Monitoramento online da

						2		condutividade e do carbono organito total
UV	6	6	6	A taxa de transmissão de UV de 235 mJ/cm ² pode conseguir 6-log de inativação. Para protozoários e bactérias, a taxa requerida é menor.	6	6	6	Semelhante a LRV _{C-test}
UV/AOP	6	6	6	A eficiência maior é da UV embora a oxidação também promova inativação dos microrganismos.	6	6	6	Semelhante a LRV _{C-test}
Cloração	6	6	0	Obtido para Ct = 15 mg.min/L com pH = 7,5 e T≥10°C	6	6	0	Semelhante a LRV _{C-test}
Coagulação, floculação, filtração e cloração	6	6	3-4	Para os valores indicados para protozoários, torna-se necessário atingir os valores requeridos de turbidez. Para vírus e bactérias, deve-se ter Ct em função de pH e T.	6	6	0	Semelhante a LRV _{C-test}
*Os protozoários foram tomados com referência em Cryptosporidium.								

O segundo componente de validação é o critério operacional de identificação que pode ser usado para demonstrar o desempenho das medidas de controle. Parâmetros de monitoramento operacional são requeridos para assegurar que qualquer desvio do valor requerido seja detectado o mais rápido possível. No caso dos processos de desinfecção, isso é relativamente momentâneo;

a redução logarítmica de patógenos está relacionada às intensidades de radiação UV ou aos valores de Ct (produto concentração x tempo) para o desinfetante, o que pode ser monitorado operacionalmente online (USEPA, 2003; Hijnen et al, 2006; Keegan et al, 2012; USEPA, 2006b). Contudo, para processos que necessitam de remoção de patógenos, como membranas de filtração, a relação entre a capacidade de remoção e os parâmetros de monitoramento operacional não é direta. Nesse caso a sensibilidade do teste é menor (USEPA, 2005; Department of Health, State of Victoria, 2013). Por exemplo, os processos de filtração por membranas podem atingir LRVs para patógenos de 6 ou mais, mas a remoção da turbidez é limitada à sensibilidade de 1,5 a 2,0 logs (USEPA, 2005; Department of Health, State of Victoria, 2013; TWDB, 2015). Os testes de integração direta de filtração por membranas podem ser usados para demonstrar uma sensibilidade de 4 logs (USEPA, 2005; TWDB, 2015). A sensibilidade do monitoramento operacional é tipicamente incluída na definição dos protocolos de validação (USEPA, 2005; WaterVal, 2016a; 2016b; 2016c).

O Quadro 2.4 apresenta um sumário da validade da redução logarítmica de patógenos nos processos de tratamento indicados, levando-se em conta a sensibilidade do monitoramento operacional nos resultados de laboratório e nos testes de campo (LRVOMS). Geralmente, os testes de campo devem ser adotados nos projetos de reúso potável. É o que acontece nas ETEs com a necessidade do uso de monitoramento operacional para demonstrar o desempenho das medidas de controle. Entretanto, os proponentes dos projetos de reúso potável, de acordo com as partes interessadas, podem escolher se, para validarem a redução logarítmica com base nos resultados dos testes, devem ou não considerar a sensibilidade do monitoramento operacional.

No caso de contaminantes químicos, a remoção pode ser associada ao monitoramento operacional de substitutos selecionados e de indicadores (Drewes et al, 2008; Dickenson et al, 2009). Por exemplo, o carbono orgânico total (TOC) pode ser usado como um parâmetro operacional para monitorar a remoção geral de contaminantes químicos por RO. Espécies químicas que podem ou não ser de interesse da saúde pública podem também ser usadas como indicadores de desempenho do tratamento (Dickenson et al, 2009). Por exemplo, a presença da sucralose (adoçante artificial) pode ser usada como indicador de eficácia no processo de remoção de contaminantes químicos, de vez que se trata de substância relativamente resistente à oxidação e a processos biológicos, ainda que removível por RO (Anderson et al, 2010; Mawhinney et al, 2011; Drewes et al, 2013; Rice et al, 2013).

3. Monitoramento

O monitoramento operacional do reúso potável deve incorporar monitoramento contínuo associado ao Controle de Supervisão e de Dados de Aquisição (SCADA), com alarmes automáticos de desvio dos limites críticos.

Nota do tradutor (29)

No Brasil, não é usado esse tipo de controle operacional. Contudo, a automação das estações permite maior controle dos parâmetros em relação aos limites críticos.

Os parâmetros para monitoramento operacional da presença de patógenos incluem testes físicos (por exemplo, turbidez), testes químicos (por exemplo, carbono orgânico total) e testes de produtos secundários da desinfecção e de tempo de contato dos desinfetantes. O monitoramento seguirá os mesmos princípios utilizados em estações convencionais de tratamento da água. Os

ensaios biológicos podem transformar-se numa ferramenta útil para verificar a qualidade química da água, recomendando-se análises posteriores para compreensão do alcance dos resultados.

3.1 Medidas de controle de monitoramento operacional

O monitoramento operacional é o centro de uma estação segura. Medições e atividades devem ser planejadas para verificação da eficiência operacional e para medir o desempenho dos processos de tratamento. O monitoramento necessita ter capacidade para emitir respostas rápidas e a tempo se ocorrerem variações significativas que possam afetar a qualidade da água. O monitoramento operacional é particularmente importante nos sistemas de reúso potável que lida com variações substanciais da água e com altos níveis de riscos químicos e microbiológicos. Por isso, deve ser feito para todas as medidas de controle, desde a entrada de líquido até a água potável a ser distribuída. Por exemplo, o sistema de Singapura emite avisos de descargas industriais não autorizadas que possam comprometer o reúso potável. Outros parâmetros medidos incluem o pH, como um sinal de mudança de descargas, e a condutividade elétrica para avaliação da intrusão salina. O monitoramento operacional deve incluir inspeções regulares de controle e tratamento aplicadas tanto a descargas industriais como aos efluentes de atividades médicas, odontológicas e veterinárias.

No tratamento de água convencional as formas de tratamento variam bastante de acordo com a fonte de suprimento, se água superficial ou do subsolo. No caso de reúso potável, a composição das águas usadas varia dia a dia, principalmente nos finais de semana, nos feriados ou durante eventos especiais. Programas de monitoramento necessitam medir a variação da qualidade das águas usadas para manter o desempenho do reúso potável. Parâmetros como amônia, nitrato, nitrito, carbono orgânico total, compostos orgânicos voláteis e turbidez/sólidos suspensos devem ser medidos para avaliar variações na qualidade da água na entrada da estação. Amônia, carbono orgânico total e turbidez podem ser medidos online e as demais medições podem ser feitas rápida e frequentemente com a coleta de amostras. Compostos orgânicos voláteis podem também ser medidos online, mas são geralmente avaliados com o uso de amostras.

Nota do tradutor (30)

As características da água na entrada da estação de reúso são importantes para se avaliar a presença de contaminantes industriais. Parâmetros como amônia, nitrato, nitrito, carbono orgânico total, compostos orgânicos voláteis e turbidez/sólidos suspensos devem ser medidos para verificação da eficiência operacional da estação.

Os programas de monitoramento operacional que enfatizam esses métodos de produção rápida de dados são fundamentais para que as anomalias sejam detectadas antes que o produto final seja afetado. Recomenda-se fortemente que o desempenho dos processos de tratamento seja monitorado em tempo real sempre que possível. Onde o monitoramento é feito online, os resultados devem ser regularmente calibrados por meio de análise de amostras. Quando o monitoramento online não for praticado, a alternativa é a coleta frequente de amostras e o uso de rápidos procedimentos analíticos.

3.1.1 Parâmetros de monitoramento operacional

A disponibilidade de monitoramento de dados para prevenir e corrigir a deterioração do desempenho de cada barreira de tratamento no reúso potável é peça chave para assegurar produção consistente de água potável segura. O monitoramento das unidades de processo nos pontos de controle requer identificação de parâmetros apropriados e critérios de definição. Os critérios adotados podem ser na forma de limites operacionais e limites críticos. Os limites críticos para processos de tratamento usados separam o aceitável do inaceitável ou da falta de confiança na segurança da água. Dependendo da natureza da medida de controle, os limites podem ser máximos (como no caso da turbidez da água filtrada) ou mínimos (como no caso da concentração de desinfetantes), ou por faixas (como no caso do pH). Os limites operacionais são tipicamente usados como sinais de que as medidas de controle estariam ruins e se tornam necessárias ações corretivas antes que os limites críticos sejam atingidos. Para que haja confiança de que os parâmetros de qualidade da água estejam sendo atingidos, é preciso se assegurar de que as barreiras individuais de tratamento estejam operando de acordo com os critérios estabelecidos.

Consistentemente com a operação de sistemas convencionais de tratamento de água, tanto o risco agudo como o risco crônico devem ser monitorados. A presença de patógenos é o maior problema com relação a impactos agudos na saúde humana. A mudança nos resultados dos parâmetros de monitoramento que implique num menor nível de remoção ou inativação microbiana vai ensejar imediatas medidas de correção tais como redução da vazão de água ou aumento na dose de desinfetantes. Os riscos crônicos, geralmente de concentrações de contaminantes químicos, também devem ser monitorados. Embora os desvios nos parâmetros operacionais de contaminantes químicos devam ser corrigidos tão rapidamente quanto possível, os riscos são associados ao longo tempo de exposição e, usualmente, não requerem medidas emergenciais.

3.1.1.1 Monitoramento operacional das medidas de controle de patógenos

No reúso potável, o controle de patógenos é conseguido pela combinação de processos de remoção física e de inativação. Os parâmetros de monitoramento mais usados são os produtos secundários da desinfecção e os parâmetros de remoção física como turbidez, monitorada online. A Tabela 3.1 fornece um sumário dos parâmetros de monitoramento operacional e dos testes de frequência para uma gama de tratamentos comumente usados no reúso potável para remoção de patógenos. *Escherichia coli*, colífagos, *Clostridium perfringens*, esporos aeróbicos e enterococos não são parâmetros operacionais adequados, mas largamente usados. Isso pode mudar no futuro com o progresso em testes de indicadores microbiológicos. Colífagos, por exemplo, podem vir a ser particularmente úteis no monitoramento de remoção física de vírus. De modo similar, a próxima geração pode proporcionar a base para futuro monitoramento.

3.1.1.2 Testes físicos e químicos

A integridade das membranas de baixa pressão (MF e UF) pode ser acessada online por medidas de turbidez e, periodicamente, por testes de queda de pressão (USEPA, 2005). As medidas de turbidez podem ser feitas online e, rapidamente, por medidas em amostra. A integridade das membranas de alta pressão, como OR e NF, pode ser monitorada por medição

online da condutividade elétrica e do carbono orgânico total, representando rejeição de sólidos dissolvidos totais.

Tabela 3.1
Exemplos de parâmetros de monitoramento operacional de tratamentos para remoção de patógenos

Processo de tratamento	Parâmetros de monitoramento operacional	Frequência	Notas
Tratamento secundário	Amônia, nitrato/nitrito, demanda bioquímica de oxigênio, SS, oxigênio dissolvido, mistura líquido-SS, tempo de retenção hidráulica, tempo de retenção de sólidos, fluxo	Online para oxigênio dissolvido, amônia, fluxo semanal para outros parâmetros	Atinge LRV, mas não correlação quantitativa com parâmetros operacionais individuais. O padrão logarítmico se recomenda quando há boas características operacionais.
Tratamento no subsolo (descarga, percolação e retenção)	Fluxo Carbono orgânico total Nitrogênio total, nitrato, nitrito	Online Semanal Trimestral	Nitrogênio total, nitrato e nitrito medidos na água
Biorreator de membranas	pH, oxigênio dissolvido no biorreator, tempo de retenção de sólidos, tempo de retenção hidráulica, mistura líquido-SS, fluxo de pressão através da membrana, turbidez	Parâmetros como pH, turbidez, oxigênio dissolvido e pressão são verificados online. Os demais parâmetros são verificados semanalmente.	Atinge LRV, mas não correlação quantitativa com parâmetros operacionais individuais. O padrão logarítmico se recomenda quando há boas características operacionais.
MF e UF	Turbidez Teste de queda de pressão	Online Diário	Pode atingir precisão <0,1 uT.
Filtração rápida	Turbidez	Online	Pode atingir precisão <0,15 uT. O monitoramento individual dos filtros melhora o controle.
Ozônio/carvão ativado	Ct (ozônio) Temperatura	Online	LRV baseado no Ct de ozônio.
RO	Carbono orgânico total ou condutividade Sulfato ou corantes fluorescentes	Online Diariamente	LRV mais baixo se baseia em TOC ou condutividade. Os valores mais altos

			de LRVs têm precisão semelhante às de TOC quando as medições diárias são feitas com sulfato, com corantes fluorescentes ou por condutividade.
UV	Intensidade de UV Transmissão de UV Fluxo	Online	LRV baseado no monitoramento da intensidade de UV usada para determinar a dose recebida pelos microrganismos na água
UV/oxidação avançada	Intensidade de UV Transmissão de UV Fluxo	Online	LRV baseado na intensidade de UV. A dose de oxidante também contribui no monitoramento do LRV determinante da dose recebida pelos microrganismos na água
cloração	Ct (cloro) pH Temperatura	Online ou amostras frequentes	LRV para bactérias e vírus baseado no Ct do cloro
ETA (coagulação, floculação, filtração, cloração)	Turbidez Ct (cloro)	Online Online ou amostras frequentes	LRV dependente do máximo permitido para turbidez (0,15 a 0,3 uT) e do monitoramento individual dos filtros

3.1.1.3 Produtos secundários da desinfecção

Os processos de desinfecção devem ser projetados para que concentrações de desinfetantes sejam mantidas por determinados períodos de tempo. Ct é o produto da concentração do desinfetante (em mg/L) pelo tempo de atuação (em minutos) e se relaciona com o logaritmo da redução de patógenos. Os valores online ou de amostras para produtos secundários da desinfecção permitem informação quase instantânea da concentração do desinfetante, o que permite rápido ajustamento dessa concentração, se necessário. Outros parâmetros como pH e turbidez são componentes importantes que devem ser monitorados para garantir eficiente desinfecção. O desempenho da lâmpada de UV também pode ser monitorada pela intensidade e pela percentagem da transmissão.

3.1.1.4 Monitoramento operacional de medidas de controle químico

A prevenção da contaminação da fonte de água é a chave para se conseguir segurança (USEPA, 2011; WSAA, 2012; Mosher et al, 2016). As descargas industriais, bem como de hospitais, consultórios médicos e clínicas veterinárias devem ser regulamentadas e objeto de controles, inspeções e auditorias. Parâmetros medidos online como pH, condutividade e carbono orgânico volátil são úteis no monitoramento da qualidade das águas usadas nos pontos chave.

A atenuação de contaminantes químicos ocorre por transformação biológica, adsorção, remoção física ou oxidação química. Parâmetros substitutos são necessários para cada processo. Fontes de água para reúso potável podem conter uma larga gama de contaminantes químicos e um número quase infinito de produtos em que podem ser transformados (Seção 2.2), mas os riscos associados a traços químicos dependem, usualmente, de longo tempo de exposição, até mesmo de toda uma vida. Por isso, o monitoramento frequente de cada substância química potencialmente perigosa não é prático, plausível ou necessário. Haveria necessidade de uma estrutura para prover uma lista de indicadores que representassem os grupos contaminantes chave, levando em conta o desempenho dos processos de tratamento da água (Drewes et al, 2008; 2013). Os indicadores substitutos devem permitir um monitoramento relativamente rápido, evitando medidas frequentes de muitas substâncias químicas (Drewes et al, 2008; 2013; Crook et al, 2013; TWDB, 2015). Devem ser propícios a medir o desempenho de unidades de processo usando monitoramento online ou análise de amostras que possam ser usadas para decisões em tempo real. Exemplos incluem carbono orgânico total, carbono orgânico volátil e condutividade (Tabela 3.2).

Tabela 3.2

Exemplos de parâmetros substitutos para remoção de contaminantes químicos por medidas de controle

Medida de controle	Parâmetro substituto	Frequência de monitoramento	Notas
Fonte de água	Carbono orgânico volátil, pH, condutividade (condutividade/sólidos dissolvidos totais)	Online	Mudanças rápidas devem ser investigadas para determinação da causa
Osiose reversa Nanofiltração	TOC, condutividade/TDS Matéria orgânica dissolvida por excitação-emissão de fluorescência VOC	Online Online Diariamente/semanalmente	Indica o desempenho na remoção de contaminantes químicos
Carvão ativado	Fluorescência Absorção de UV	Online	Remoção de traços químicos orgânicos
UV/processos de oxidação avançados	Fluorescência Absorção de UV	Online	Remoção de traços químicos orgânicos

Os indicadores químicos são frequentemente medidos por testes de laboratório, que podem requerer vários dias para conclusão. Medidas frequentes devem ser feitas para escolha do indicador a ser usado. Mais compreensível, mas menos frequente, é a verificação do monitoramento (Seção 3.2). Os indicadores químicos são substâncias específicas facilmente detectáveis nas águas usadas e representam larga gama de produtos químicos. Os que sofrem boa atenuação e os que são relativamente persistentes são escolhidos para verificação de desempenho (Drewes et al, 2008). Por exemplo, o boro normalmente está presente nas águas usadas e é parcialmente removido por osmose reversa. O monitoramento do boro pode fornecer uma avaliação do desempenho da OR na remoção de substâncias químicas de baixo peso molecular (Drewes et al, 2008).

Exemplos de indicadores químicos que podem ser selecionados para avaliar o desempenho de dois sistemas de reúso potável são apresentados no Quadro 3.3. Deve-se observar que suas concentrações, mesmo depois do tratamento secundário, são muito baixas se considerados os critérios de valores que possam afetar a saúde humana. A tabela inclui a sucralose, um dos indicadores mais usados nos Estados Unidos (Mawhinney et al, 2011; Rice et al, 2013). Entretanto, o uso da sucralose não prevalece em todos os países e pode não ser um indicador apropriado em boa parte do mundo. A cafeína tem sido sugerida como indicador, mas é biodegradável e, por isso, menos apropriada.

Tabela 3.3
Exemplos de indicadores químicos usados em dois esquemas de tratamento

Constituinte	Concentrações								
	Critério baseado em dados toxicológicos	Método do limite observado	Após tratamento secundário	Tratamento tipo 1			Tratamento tipo 2		
				Depois da ozonização	Depois do carvão ativado	Depois da radiação UV	M F	RO	UV/H ₂ O ₂
Atenolol	4000	3	292	<MRL	<MRL	<MRL	N T	<MRL	<MRL
Carbamazepina	10000	1	194	<MRL	25	21		<MRL	<MRL
N,N-dietil-3-metilbenzamida	200000	6	45	<MRL	<MRL	<MRL		<MRL	<MRL
Estrona	320	31	<MRL	<MRL	<MRL	<MRL		<MRL	<MRL
Meprobramate	200000	3	380	158	178	170		<MRL	<MRL
Primidona	10000	7	4100	525	323	186		7	75
Sucralose	150x10 ⁶	77	24800	17200	19700	21700		<MRL	<MRL

2-cloroetil fosfato	5000	77	<MRL	<MRL	<MRL	<MRL		<MRL	<MRL
Triclosan	2100000	8	128	<MRL	<MRL	9		<MRL	<MRL

Notas: MRL = limite reportado pelo método; NT = não testado

Exemplo do uso de um grupo limitado de parâmetros químicos acontece no reúso potável em Perth, Austrália, em que 15 substâncias químicas representam contaminantes químicos orgânicos e inorgânicos, resíduos farmacêuticos, hormônios, pesticidas e fenóis. Essas substâncias são monitoradas com maior frequência que os parâmetros exigidos no próprio tratamento.

Para substâncias químicas regulares, métodos padrões são, geralmente, disponíveis. Entretanto, para indicadores químicos, esse não é sempre o caso e limites reportados para o método podem variar de laboratório para laboratório (Vanderford et al, 2012; Drewes et al, 2013). Muitos indicadores químicos ocorrem em concentrações da ordem de ng/L na água purificada e, frequentemente, não são detectáveis no efluente final. Além disso, muitas substâncias, como a sucralose, dependem da região geográfica e de haver descarga industrial. Devem ser selecionados os indicadores relevantes para a região e deve haver, preferivelmente, métodos padrões de detecção dos limites adequados (Vanderford et al, 2014). É também extremamente importante selecionar adequadamente o indicador, uma vez que muitas substâncias selecionadas, como cafeína e retardadores de chama estão sempre presentes no ambiente e podem contaminar as amostras.

3.1.2 Monitoramento operacional de avaliação de longo prazo

O monitoramento operacional é usado em geral para avaliações de curto prazo do desempenho das medidas de controle. Contudo, é também importante examinar regularmente os resultados do monitoramento operacional para checar tendências de longo prazo que possam indicar mudanças de desempenho. As tendências podem-se manifestar no aumento da frequência de não concordância com limites críticos e operacionais e, também, na ausência de não concordâncias. Qualquer redução no desempenho deve ser investigada e corrigida.

3.2 Verificação

A verificação provê uma checagem final da capacidade de se produzir água potável de qualidade, com proteção à saúde dos consumidores. A verificação inclui avaliação da efetividade da estação em atingir os objetivos. Para isso, inclui teste de indicador tanto de microrganismos fecais como de compostos químicos prejudiciais à saúde humana. A verificação deve incluir, também, teste de água produzida na ETA e produzida na ETE, sempre que o reúso potável tenha tratamentos separados, e teste da água potável a ser distribuída aos consumidores.

Foi visto na seção anterior que a garantia de qualidade e os programas de controle de qualidade são essenciais, incluindo o uso de métodos padronizados e certificados em laboratórios sempre que possível. Isso é vital para garantir confiança nos resultados e proporcionar interpretação própria desses resultados.

A frequência da coleta de amostras deve considerar a variabilidade potencial dos resultados e os custos e benefícios (WHO, 2017a). Todos os testes necessitam ter um propósito definido com respostas estabelecidas para lidar com os respectivos resultados. Como os

contaminantes microbiológicos apresentam maior risco à saúde humana em caso de exposição aguda, seu monitoramento deve ser mais frequente. Por outro lado, como os riscos químicos usualmente se associam a exposição crônicas (com limitadas exceções, como cobre e nitrato), o monitoramento pode ser feito de forma menos frequente.

3.2.1 Qualidade microbiológica da água

O monitoramento de patógenos na água potável é impraticável e de pouco valor (Seção 5.1). A abordagem tradicional para se verificar a qualidade microbiológica da água potável é o uso de indicadores fecais como *Escherichia coli* ou, alternativamente, coliformes termotolerantes. A água potável não deve conter *Escherichia coli* em amostras de 100 mL (WHO, 2017a). Como a *Escherichia coli* está presente nas águas usadas, sua ausência é necessária para garantir segurança microbiológica, desde que atendidos os demais padrões microbiológicos.

Além do teste de *Escherichia coli*, a medição do desinfetante residual no sistema de distribuição é uma forma rápida e útil de se constituir um indicador de baixo custo para assegurar qualidade microbiológica segura para a água potável, particularmente para bactérias e vírus. Essa medição serve também para indicar se o valor requerido de Ct, quando se trata de desinfecção por UV, foi alcançado.

Escherichia coli é a de que não é um bom indicador para vírus entéricos e protozoários mais resistentes. O uso de outros indicadores, como colífagos para vírus, *Clostridium spp.* para protozoários e enterococos tem sido sugerido e pode vir a ser considerado, mas também tem limitações. Os colífagos têm algumas propriedades semelhantes às dos vírus entéricos e podem estar presentes em grande número nas águas usadas (Tabela 2.2), mas não há correlação direta entre o número de colífagos e o de vírus entéricos na água potável (WHO, 2017a). Os esporos de *Clostridium* são muito mais resistentes às pressões ambientais e à desinfecção que os protozoários e, portanto, são um indicador conservador de organismos que possam estar presentes depois da contaminação. A detecção dos esporos de *Clostridium* na água potável necessita ser analisada com cautela (WHO, 2017a).

Diretrizes para localização e frequência do monitoramento estão presentes no GDWQ.

Nota do tradutor (31)

Quanto aos enterococos, sua utilização como indicador de contaminação na água é considerada devido a sua alta tolerância às condições adversas de crescimento, como a capacidade de sobreviverem na presença de 6,5% de cloreto de sódio (halotolerantes), em pH = 9,6 e em ampla faixa de temperatura, de 10° a 45°C.

3.2.2 Qualidade química da água

Os programas de monitoramento da qualidade química necessitam considerar vários fatores, incluindo:

- Qualidade da água da fonte e sua variação (Thompson et al, 2007). No caso de sistemas RPI, deve ser incluído o reservatório natural.
- Descargas que possam influir na qualidade da água da fonte (como descargas industriais);

- Processos de tratamento e os produtos químicos utilizados. Por exemplo, os produtos secundários da desinfecção dependerão do tipo de desinfetantes utilizado.
- Viabilidade dos certificados analíticos das unidades de tratamento.
- Exigências regulatórias.

Além dos limites permitidos para substâncias químicas, o sistema de reúso potável deve considerar a ocorrência de produtos químicos industriais, contaminantes emergentes e, também, constituintes químicos não conhecidos (Snyder, 2014). O número de substâncias químicas identificadas nas águas usadas a níveis diminutos vem crescendo. Por isso, não devem ser consideradas no monitoramento apenas as substâncias químicas cuja análise é tradicionalmente feita nos sistemas tradicionais de abastecimento de água (Thompson, et al 2007) (Capítulo 2).

O monitoramento da localização e da frequência dos testes vai depender da fonte de produtos químicos, da variação das concentrações e das mudanças no sistema de distribuição. Muitas substâncias químicas podem ser testadas na água de distribuição. Para substâncias que possam sofrer modificação, como os produtos secundários da desinfecção, pode ser necessário o teste no produto final e nos vários pontos de distribuição da água. Substâncias que não variam em concentração substancialmente em relação ao tempo, como produtos industriais, requerem monitoramento menos frequente.

O teste de contaminantes emergentes pode aumentar a confiança de operadores e consumidores na segurança do suprimento de água. Se tais testes forem feitos, é importante haver mecanismos para interpretá-los e, se necessário, acionar ações dependendo dos resultados (Seção 5.2.2). Alternativas de testes para contaminantes emergentes incluem análises não exigidas pelos padrões para detectar a presença na água de contaminantes emergentes individuais e ensaios biológicos para detectar a atividade e a remoção de misturas complexas.

4. Monitoramento e comunicação: protocolos de incidência

As ações de monitoramento a serem tomadas em resposta a incidentes e emergências são um importante componente das estações seguras de suprimento de água potável (WHO, 2017a). Embora o objetivo seja fazer com que as estações de água segura produzam continuamente água potável, incidentes ocorrem e protocolos de resposta precisam ser preparados, pois respostas a incidentes que possam comprometer a segurança da água são essenciais para protegerem a saúde pública e manterem a confiança do consumidor. Em muitos casos, a chave para manter segurança será construída a partir de respostas rápidas e efetivas. Respostas a incidentes necessitam ser planejadas, coordenadas e executadas ordenadamente e a tempo. Em caso de significativos incidentes ou emergências, manter a confiança do consumidor é essencial, o que somente será possível em caso de detecção e comunicação dos incidentes e emergências. As agências envolvidas nas respostas necessitam ser bem informadas, estar cientes de suas responsabilidades e agir de forma coordenada.

4.1 Entendimento organizacional

O reúso potável representa sistemas complexos que necessitam ser monitorados e operados por pessoas bem treinadas e habilidosas. Os dirigentes e operadores necessitam entender o que se espera de uma operação normal e estar aptos a lidar com os sistemas de

alarme que detectam desvios dessa normalidade. Os dirigentes e operadores devem contribuir para desenvolver a capacidade de resposta a incidentes, procurando entender o que significa uma não conformidade. Os alarmes automáticos precisam monitorar 24 horas por dia e sete dias na semana para permitirem a execução de respostas rápidas. Os operadores devem ser bem treinados para responder sempre aos alarmes sem a necessidade de interferência de um supervisor ou um gerente. Os sistemas de alarme devem ser programados para parar o suprimento de água se limites críticos forem atingidos. Nesse caso, o suprimento somente deve ser retomado quando a operação voltar ao normal. Protocolos de resposta a incidentes e emergências devem ser regularmente testados para assegurar sua efetividade e seu entendimento.

4.2 Estrutura dos protocolos de incidência

Protocolos de resposta a incidência e emergência devem ser desenvolvidos e documentados antes da entrada em operação do reuso potável. Dois tipos de protocolos devem ser desenvolvidos: protocolos externos, apoiando respostas da coordenação interagências para incidentes significativos para a saúde pública; e protocolos internos, para evitar incidentes maiores que levem a notificação pública quando o suprimento de água potável passar por incidentes menores. Incidentes significativos devem ser notificados pessoalmente ou por telefone. Notificação por meios eletrônicos, apesar de efetivos, não garantem uma leitura pronta. Os protocolos de incidência nos sistemas de reuso potável devem basear-se nos mesmos princípios dos protocolos de qualquer sistema de água potável (WHO, 2017a). Pontos de variação seriam considerações específicas sobre características próprias da matéria prima utilizada. Essas variações devem conter considerações sobre magnitude e duração. Por exemplo, picos durante menos de 15 minutos na turbidez da água filtrada, embora não ideal, não representam sempre uma falha; de modo similar, perda de desinfecção por um período curto de tempo pode não caracterizar uma água insegura se há grande volume de armazenamento entre a desinfecção e o fornecimento aos consumidores.

Reclamações feitas por grupos de consumidores devem ser consideradas como incidentes. Reclamações como gosto e odor na água, cor inusitada, aumento na turbidez, redução de pressão na rede e doença são sinais de contaminação e devem ser investigadas. É útil estabelecer diferentes categorias de incidentes como se segue:

- Incidentes menores que possam representar menor risco à saúde humana, mas ensejem sinais de alarme.
- Incidentes maiores ou significativos que, se não combatidos a tempo, representem um risco significativo à saúde humana.

Como regra geral, incidentes maiores ou significativos são mais facilmente associados a falhas que a questões de segurança microbiológica. Contudo, a exposição a patógenos pode produzir impactos agudos e esses incidentes devem ensejar ações imediatas. Por outro lado, se substâncias químicas excedem eventualmente os limites definidos, muitas vezes basta a repetição de análises, pois a maioria das substâncias químicas somente causa impacto na saúde humana a concentrações elevadas e após longo tempo de exposição.

Embora seja importante que os protocolos de incidentes sejam compreensíveis, definindo aqueles que possam ter impactos públicos, é importante que esses protocolos não sejam excessivamente detalhados para não serem usados simplesmente para reforçar boas práticas

gerenciais. A inclusão de muitos incidentes, particularmente aqueles que não requeiram ações imediatas, pode levar ao risco de que incidentes sérios possam não receber atenção apropriada.

Devido à complexidade no reúso potável, os protocolos podem ser divididos em seções com componentes separados: líquido captado, reservatórios naturais, processos de tratamento, mistura de água, sistema de distribuição etc. Nesse caso, é essencial que a comunicação seja mantida entre o pessoal responsável por cada componente, sejam as pessoas empregadas de uma única agência ou de mais de uma.

Suprimento interno de água potável ou protocolos de monitoramento do líquido em tratamento devem ser acompanhados por documentos de apoio incluindo ações de reparo, estratégias para melhoria do monitoramento, suprimentos de emergência, listas de consumidores críticos (hospitais, indústrias alimentícias etc.), fontes alternativas e/ou procedimentos para descarga de água contaminada.

4.3 Maiores incidências e emergências

Os protocolos devem incluir mecanismos para registro de contaminação por patógenos ou contaminação química. Essas advertências representam o último recurso e devem ser usadas quando um risco inaceitável para a saúde pública for detectado. Sua emissão deve ser feita após consulta à respectiva agência de saúde. Esses avisos devem ser feitos quando a contaminação é conhecida ou suspeitada. No caso de vazamentos, tais avisos podem ser necessários (Capítulos 7 e 8).

4.4 Comunicação

Comunicação efetiva é essencial para o monitoramento de incidentes, ensejando respostas coordenadas e mantendo a confiança do consumidor. Há três questões a ser consideradas em respostas a incidentes e, onde necessário, em comunicação entre consumidores:

- Que acontece?
- Quando aconteceu?
- Que está sendo feito para se corrigir o problema?

Uma estratégia de comunicação pública deve ser estabelecida antes da ocorrência de incidentes. Isso inclui a comunicação ao público em geral e aos consumidores críticos. A comunicação deve ser entendida por todos os consumidores, levando-se em conta a diversidade cultural e educacional e deve ser preparada para ocorrências previsíveis. Devem ser previstos outros mecanismos permitindo o acesso dos consumidores. Como as redes sociais estão crescendo em popularidade, podem ser usadas, juntamente com a Internet comum. A televisão e o rádio devem limitar-se a determinadas áreas.

Os protocolos devem identificar os responsáveis pela comunicação. Isso inclui qual agência decide sobre a comunicação pública do incidente e o leva à comunicação. Em muitos casos, as responsabilidades podem ser reunidas em uma única agência. Por exemplo, a agência de saúde pode ser responsável por levar a público a ocorrência dos problemas e a agência fornecedora de água potável ser responsável tanto pelas respostas operacionais, incluindo os devidos reparos, como por fornecer fontes alternativas de água, particularmente aos consumidores críticos. Essas responsabilidades precisam estar claramente definidas e entendidas. É essencial que as

comunicações, particularmente aquelas com relação à publicidade, sejam consistentes e reflitam as posições acordadas. Mensagens inconsistentes causam confusão e fazem o público perder a confiança.

Alguém da área de comunicação deve ser designado para passar as informações em caso de incidente ou de emergência. Todos os empregados devem saber como acessar os comunicados informais. No caso de incidentes significativos, os números de telefone, os endereços de e-mail e os websites podem ser usados para prestar informações. O contato pessoal deve ser breve e somente feito quando solicitado.

4.5 Rotina e revisões pós-incidente

Protocolos de incidentes devem ser revistos em um determinado período (por exemplo, anual). Os relatórios de incidentes devem ser acessados para determinar se certos tipos de incidentes estão ocorrendo e que providência vem sendo tomada. Se determinado incidente vem se repetindo, o tratamento deve ser revisto. O contido nos protocolos deve também ser revisto para segurança de que o processo de tratamento, com as mudanças feitas, vem mantendo a qualidade da água. As revisões devem incluir atualizações vindas de contato pessoal.

O objetivo é assegurar segurança ao fornecimento de água potável e minimizar ocorrências e impactos de eventos deletérios. Os processos de tratamento e os protocolos devem ser revistos e modificados, se necessário, de acordo com incidentes significativos, principalmente os que envolverem notificação pública. A revisão deve incluir uma investigação dos incidentes e as respectivas respostas. Outras informações são prestadas no Water Safety Plan Manual (Bartram et al, 2009).

5 Padrões sanitários

Os padrões sanitários da água potável podem ser caracterizados sob quatro formas:

- Padrões de qualidade da água
- Desempenho no cumprimento dos objetivos
- Tecnologias específicas de tratamento
- Confirmação da segurança hídrica.

Os padrões de qualidade da água tomam, tipicamente, a forma de concentrações limite, que devem ser seguidas por qualquer sistema de água potável.

O desempenho no cumprimento dos objetivos se aplica aos riscos microbiológicos e representam a redução nas concentrações de patógenos (medidas em base logarítmica), necessária para se conseguir uma água segura. Os objetivos de desempenho são, usualmente, propostos por autoridades reguladoras de água potável.

As tecnologias específicas de tratamento recomendadas se referem às combinações de processos que visam a atingir segurança na água distribuída.

A confirmação da segurança hídrica é obtida com a não ocorrência de doenças de contaminação hídrica desde diarreias (medidas em casos por pessoa por ano) até certos tipos de câncer, causados, por exemplo, por bromato ou por NDMA.

5.1. Desempenho da remoção microbiológica

O desempenho microbiológico de um sistema de água é expresso como o logaritmo do número de patógenos removidos da água durante o ano. O número de referência é 6 (remoção de 10^6 patógenos por ano). Os padrões regulatórios podem escolher entre adotar um objetivo comum ou, alternativamente, adotar parâmetros locais.

Sendo irrealístico adotar limites para cada microrganismo patogênico, são definidos padrões para bactérias entéricas, vírus e protozoários usando-se patógenos de referência para cada grupo de organismos. A escolha do patógeno de referência deve-se basear na evidência de transmissão de doença por veiculação hídrica, capacidade de ser removido ou inativado por processos de tratamento e condições locais, incluindo as características da fonte de água. Os patógenos de referência usados como exemplos no GDWQ (WHO, 2017a) são *Campylobacter*, rotavírus e *Cryptosporidium*. Entretanto, a significância do rotavírus vai-se reduzir ao longo do tempo pelo desenvolvimento de vacinas que vão combater a incidência e a severidade das doenças por eles transmitidas (Gibney et al, 2014). Dentre os rotavírus, norovírus causam aproximadamente 18% das diarreias agudas em todo o mundo (Lopman et al, 2015). Desse modo, o norovírus é usado como patógeno de referência para vírus desse quilate.

Em se tratando de helmintos, não é comum identificar um patógeno específico ou calcular desempenho de helmintos na água potável. Concentrações de helmintos são relativamente baixas nas águas usadas mesmo em regiões hiperendêmicas (1000/L, Mara et al, 2010) e uma redução da ordem de 5-log é suficiente para transformá-las em águas seguras sob esse aspecto. Os helmintos são muito maiores que os protozoários: 40 a 90 μm , comparados com 4 a 6 μm do *Cryptosporidium*, que pode ser usado como padrão para remoção de helmintos. O desempenho da remoção de microrganismos em base logarítmica depende dos processos a serem utilizados (Capítulo 2). Em alguns casos, um processo específico pode ser indicador de bom desempenho. É o caso da baixa turbidez da água filtrada, que demonstra remoção de protozoários (e de helmintos) (Seção 3.1).

5.1.1 Cálculo do desempenho da remoção microbiológica

O cálculo de desempenho da remoção microbiológica é feito pela seguinte fórmula matemática:

$$\text{Redução requerida} = \log \frac{\text{concentração do patógenos no esgoto bruto}}{\text{concentração equivalente do patógenos no esgoto bruto}}$$

Para se avaliar a redução requerida para determinado patógeno, deve-se fazer a correlação com a concentração equivalente desse patógeno na vazão afluente. Eis algumas concentrações equivalentes de patógenos tomados como referência:

- *Campylobacter* (referência para bactérias entéricas): 2.0×10^{-5} organismos/L.
- Norovírus (referência para vírus entéricos): 1.1×10^{-5} PDU/L, sendo PDU = unidades de detecção da reação em cadeia de polimerase.
- *Cryptosporidium* (referência para protozoários entéricos e para helmintos): 1.2×10^{-5} oocistos/L.

Nota do tradutor (32)

Cistos e oocistos são formas de proteção dos protozoários quando estão em meio impróprio ou em fase latente. A *Giardia* se defende por cistos e o *Cryptosporidium* por oocistos, que é uma proteção mais efetiva, pois o protege por espessa camada. O *Cryptosporidium* é considerado indicador de contaminação da água por protozoários.

Essas concentrações foram calculadas usando o método descrito no GDWQ com modificações baseadas em informações mais recentes, incluindo a substituição de rotavírus por norovírus como referência. Como observado no GDWQ, concentrações equivalentes de patógenos em 10^{-4} a 10^{-5} por litro somente são usadas em cálculo de desempenho para processos de tratamento. Não representam valores básicos e não há intenção de encorajar monitoramento patológico deficiente em sistemas de água potável. A garantia de segurança microbiológica da água potável, inclusive a produzida por reúso potável, se baseia em monitoramento operacional frequente ou online das medidas de controle (Seção 3.1).

5.1.1.1 Desempenho com concentrações de patógenos como referência

Como mostrado na fórmula matemática (item 5.1.1), o desempenho do tratamento é proporcional às concentrações de patógenos na vazão afluente. Isso sofre influência da maior incidência de doença em determinadas comunidades e em determinadas regiões ou países. Dentro dos países, a incidência de doenças pode variar ao longo do ano e pode aumentar significativamente em resposta a surtos locais. Por isso, os índices de desempenho devem ser calculados usando os dados dos usuários do próprio sistema de água.

5.1.1.2 Concentrações padrão

Na ausência de dados específicos do sistema, uma alternativa é adotar concentrações padrão para patógenos de referência selecionados em dados publicados. As concentrações seguintes podem ser usadas para esgoto bruto:

7.000 *Campylobacter*/L

20.000 norovírus/L

2.700 oocistos infectados de *Cryptosporidium*/L.

Essas concentrações padrão podem ser usadas na fórmula matemática anterior para cálculo do desempenho do tratamento, como mostrado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1
Desempenho calculado para concentrações padrão de patógenos

	Campilobacter	Norovírus	Cryptosporidium
Concentração na vazão afluente (células/L)	7.000	20.000	2.700
Reduções logarítmicas (arredondadas para o mais próximo 0,5 log)	8,5	9,5	8,5

Nota do tradutor (33)

No Brasil, a Portaria estabelece que o tratamento microbiológico da água potável tenha por referência a *Escherichia coli*, que deverá estar ausente nas amostras de 100 mL. Além disso, na saída do tratamento, nos reservatórios e na rede de distribuição de água, além da ausência de *Escherichia coli*, as amostras de 100 mL não podem conter coliformes totais.

5.2 Desempenho da remoção química

GDWQ inclui valores indicativos para uma larga gama de contaminantes químicos potenciais na água potável, incluindo substâncias químicas naturais, agrotóxicos e substâncias químicas industriais (WHO, 2017a). Para a especificação desses valores, um dos seguintes critérios foi adotado:

- Há evidência da ocorrência dessa substância na água potável, combinada com evidência de real toxicidade potencial.
- A substância tem sido monitorada de forma internacional.
- A substância está incluída ou em fase de inclusão no WHO Pesticide Evaluation Scheme.

Substâncias que poderiam estar associadas ao líquido na entrada da estação, mas cuja concentração se resume a traços e que não causam impacto à saúde, não são consideradas. Por outro lado, as substâncias consideradas devem ser aplicadas igualmente à água de reúso. No novo GDWQ, há substâncias consideradas especificamente para água de reúso.

5.2.1 Determinação dos valores limites

O limite considerado para substâncias químicas é aquele que se supõe que uma concentração inferior não fará mal à saúde.

Duas abordagens são usadas para os valores determinados: uma para substâncias químicas prejudiciais à saúde e outra para substâncias químicas não prejudiciais à saúde, mas que há um limite para sua tolerância.

Nota do tradutor (34)

No Brasil, as substâncias químicas cuja concentração deve ser limitada na água, são assim catalogadas:

- Substâncias químicas que representam risco à saúde – são divididas em substâncias inorgânicas, substâncias orgânicas, agrotóxicos e produtos secundários da desinfecção (Anexo VII);
- Cianotoxinas – devido a seu alto risco, constituem-se num anexo à parte (Anexo VIII);
- Padrão organoléptico de potabilidade – incluem medições físicas e substâncias químicas orgânicas ou inorgânicas que não apresentam risco à saúde, mas que têm um limite de tolerância na água potável (Anexo X).

5.2.2 Nanopartículas

Um problema associado ao reúso potável é a descarga de resíduos farmacêuticos, produtos de higiene pessoal, nanopartículas de resíduos industriais, produtos químicos de limpeza e hormônios esteroides. Frequentemente se diz que tais contaminantes atingem apenas o reúso potável, mas eles podem estar presentes em qualquer fonte de água que recebe descarga humana ou industrial. Os corpos de água que recebem essas descargas podem diluí-las e reduzi-las significativamente, de modo que a maior parte desses contaminantes não se inclui nas tabelas que limitam concentração de substâncias na água potável.

Os resíduos farmacêuticos são uma boa ilustração dos produtos químicos que devem receber atenção na qualidade da água potável em geral e do reúso potável em particular, devido à sua atividade biológica em humanos. Numerosas citações têm mostrado que muitas substâncias farmacêuticas podem ocorrer em traços nas águas usadas e, conseqüentemente, nos corpos de água receptores. Entretanto, uma revisão do WHO (WHO, 2012) concluiu que, na ausência de uma fonte específica, as concentrações medidas na água potável não causam efeitos significativos na saúde e que o cálculo de valores limitantes para inclusão no GDWQ não era garantido. Isso inclui antibióticos, para os quais deve haver cuidado especial em impedir o desenvolvimento de microrganismos que lhes sejam resistentes. Se uma fonte específica de descarga de produtos farmacêuticos é identificada, valores limitantes devem ser estabelecidos para cercar o desenvolvimento de microrganismos resistentes a sua ação.

Por outro lado, pesquisadores concluíram que substâncias farmacêuticas não devem concorrer em matéria de recursos com o combate a patógenos e a substâncias químicas sabidamente nocivas, como chumbo e arsênico. O estudo também concluiu que tratamentos convencionais como cloração podem remover efetivamente 50% das substâncias farmacêuticas investigadas, enquanto tratamentos avançados como ozonização, oxidação avançada, carbono ativado e filtração em membranas de alta pressão (RO e NF) podem atingir índices de remoção acima de 99%. O tratamento aplicado no reúso potável inclui barreiras mais seguras contra substâncias farmacêuticas, incluindo antibióticos, que o tratamento feito nas ETAs convencionais.

Processos convencionais de tratamento removem grande proporção de nanopartículas, mas processos usados no tratamento avançado, como membranas de filtração, são mais efetivas nesse particular (Neale et al, 2012; Abbott Chalew et al, 2013).

Nota do tradutor (35)

Os sistemas convencionais de tratamento de água não acompanharam as alterações no conteúdo da água bruta. Nanopartículas contidas em fármacos, cosméticos, disruptores endócrinos e seus metabolitos e em diversos outros descartes domésticos e industriais são lançadas em corpos de água usados para captação para abastecimento público, o que torna o tratamento rigoroso usado no reúso potável alternativa mais adequada ao fornecimento de água segura.

5.2.2 Controle de fármacos

A revisão do WHO observa que, em circunstâncias particulares, onde a fonte de água indica índices elevados de fármacos, limites apropriados devem ser admitidos para inibir riscos potenciais e a necessidade de medidas de controle adicionais. A resposta mais efetiva à detecção

de uma fonte inaceitável de fármacos é a utilização de controles efetivos de descarga. Valores limitantes são indicadores úteis de risco potencial, mas não se comparam aos limites estabelecidos no GDWQ.

5.2.3 Misturas químicas

Toda água contém complexas misturas de substâncias químicas naturais e sintéticas, tanto na forma orgânica como na forma inorgânica, em concentrações que variam de acordo com a localização, a estação do ano ou mesmo diuturnamente. Nas águas usadas, as reações de substâncias químicas são muito complexas e, os produtos estão, frequentemente, em maiores concentrações que em águas superficiais ou subterrâneas. O padrão para determinação de segurança química se baseia no desenvolvimento de valores para substâncias químicas individuais, geralmente sem considerar as atrações e repulsões químicas. Em um número limitado de casos, o padrão leva em conta compostos químicos como trihalometanos, microcistinas, nitrato/nitrito e radionucleídeos, recomendando-se uma análise maior.

Entende-se que há grande margem de incerteza no padrão de água potável por meio da aplicação conservadora de coeficientes de segurança (NRMCC-EPHC-NHMRC, 2008). Essa aplicação conservadora é suficiente para lidar com eventuais reações químicas a baixas concentrações (WHO, 2017a). Embora haja discussão sobre os impactos potenciais de produtos de reações químicas, atualmente não há base científica nem metodologia regulatória aceitável para avaliar os riscos devidos a reações químicas em fontes de água ou na água potável. Além disso, lacunas, complexidade, limites práticos experimentais e intensidade dos recursos impedem que esse tipo de abordagem seja sistematicamente introduzido nos padrões de água potável (WHO, 2017c). Como tratado na Seção 3.2, o uso de ferramentas bioanalíticas tem sido sugerido como um método de se mensurar a atividade toxicológica na água. Esse método iria detectar a atividade dos produtos químicos como um todo, mas essas ferramentas não foram desenvolvidas ao ponto de serem usadas em um contexto regulatório. Trabalhos posteriores vêm sendo feitos nessa área.

Suspeita-se que várias substâncias químicas presentes na água tenham modos de ação similares sob o ponto de vista toxicológico. Nesse caso, é razoável usar-se a hipótese de adições. Na ausência de informação suficiente da ação dos componentes individuais, o método de adição das concentrações é frequentemente usado como padrão em toxicologia humana. Devido à limitada evidência disponível, assume-se que interações de atração ou de repulsão não ocorrerão ou, se ocorrerem, serão insignificantes para o risco estimado (WHO, 2017a; 2017b).

5.3 Radioatividade

GDWQ admite níveis de radiação de 0,5 Bq/L para partículas alfa e 1 Bq/L para partículas beta (WHO, 2017a). Se o nível admissível é excedido, radionucleídeos específicos devem ser identificados e medida sua atividade individual. A atividade pode ser comparada ao nível para radionucleídeos individuais incluídos no GDWQ (capítulo 9, Anexo 6). GDWQ também descreve como agregar os riscos dos radionucleídeos detectados.

Adota-se, em geral, o critério da dose de risco individual, considerada como o consumo de água potável por um ano com a dose de 0,1 mSv, que é abaixo da recomendação do International Basic Safety Standard's de que o limite para doses individuais recebidas pelo consumo de água potável seja de 1 mSv/ano. O critério da dose individual se baseia num risco de geração de câncer por radiação da ordem de $5,5 \times 10^{-6}$ por ano (WHO, 2017a). Em geral, radionucleídeos raramente

são objeto de preocupação no reúso potável porque suas concentrações são relativamente baixas, sendo maior a exposição no solo. Mais importante é assegurar que controles adequados sejam mantidos na descarga de despejos industriais e médicos contendo radionucleídeos.

6. Regulamentações para qualidade da água

As regulamentações para qualidade da água fazem um importante papel na proteção da saúde pública. Com relação ao reúso potável, que utiliza a complexa composição da vazão afluyente na produção de água potável, as regulamentações devem ser semelhantes e desenvolvidas da mesma forma que as regulamentações feitas para água potável obtida de outras fontes. Devem:

- Ser consistentes com os princípios do GDWQ (WHO, 2017a);
- Delinear aos fornecedores de água potável qual a segurança a ser atingida;
- Definir como a conformidade deve ser atingida e reforçada;
- Promover comunicação entre os reguladores, fornecedores e consumidores.

Isso ocorre principalmente se o tratamento de reúso for feito por unidades correspondentes a uma ETE e a uma ETA. Mesmo se não o for, deve haver exigências específicas para as características particulares do reúso potável, tal como o desempenho de remoção microbiológica coerente com a fonte de água utilizada e o uso possível de reservatórios naturais, que pode incluir a gestão de descargas industriais, o lançamento de água purificada em dutos e reservatórios e no solo. Em muitas jurisdições, essas questões podem ser tratadas por legislação específica.

Para o desenvolvimento das regulamentações, todas as agências envolvidas devem ser consultadas, incluindo entidades com responsabilidade sobre saúde, água, coleta e tratamento de águas usadas, recursos hídricos, suprimento de água potável, bem como o governo local. As regulamentações devem garantir aos usuários do reúso potável a confiança na qualidade da água recebida.

6.1 Regulamentações

O objetivo das regulamentações de água potável deve ser o de assegurar aos consumidores a produção e a distribuição de água potável segura. Para o reúso potável, têm os mesmos objetivos e devem incluir:

- Responsabilidades dos fornecedores finais, das entidades de gestão, das agências reguladoras e de outros participantes.
- Necessidades próprias para tratamento separado em ETE e ETA.
- Padrões de qualidade da água.
- Padrões de monitoramento e testes necessários.
- Relatórios durante operação normal e em resposta a incidentes e emergências.
- Vigilância.

O escopo das regulamentações de reúso potável devem ter por base as especificações existentes para gestão de processos de tratamento, proteção do ambiente e gestão de recursos hídricos. Em alguns casos, as regulamentações existentes podem necessitar de revisão, como no caso das ETEs, que devem ter maior controle visando ao reúso potável. A revisão desses

documentos vai assegurar melhor entendimento pelas diferentes agências, que poderão fazer consultas entre si. Sempre que conveniente, as regulamentações existentes devem ser citadas.

6.1.1 Responsabilidades

As regulamentações devem identificar a autoridade ou autoridades reguladoras e suas áreas de responsabilidade. Em muitos países, a qualidade da água potável é regulada pelo Ministério da Saúde, que age sozinho ou em combinação com agências locais de saúde ambiental. Em alguns casos, as agências de proteção ambiental podem ser a autoridade reguladora. Modelos alternativos podem ser desenvolvidos.

A autoridade reguladora é responsável por administrar a legislação e assegurar que todas as atividades específicas sejam distribuídas e que todas as exigências sejam satisfeitas. Isso inclui o atendimento aos usuários em suas reivindicações relevantes. Os regulamentos necessitam incluir atribuições que possam ser usadas pela autoridade reguladora para conseguir esse objetivo. Tais poderes podem incluir ações de retificação, quando necessárias, bem como tomada de decisões sobre segurança do suprimento de água, emissão de notificações públicas e aplicação de penalidades. A capacidade de aplicar penalidades e sanções é necessária, mas deve ser o último recurso.

As regulamentações devem descrever as funções específicas a ser desempenhadas pela autoridade reguladora. Estas podem incluir a modificação dos parâmetros de água potável, a definição de critérios de incidência e os respectivos protocolos, o monitoramento da vigilância e a aprovação de testes de laboratório e de processos de tratamento. A vigilância deve ser exercida diretamente pela autoridade reguladora ou pode envolver a contratação de terceiros. Um sistema confiável deve ser estabelecido com a vigilância de funcionários ou de terceiros.

As regulamentações devem, também, identificar as entidades envolvidas e suas responsabilidades na operação e na gestão do reuso potável. O alcance dessas responsabilidades dependerá dos acordos feitos. Por exemplo, em vez de agências separadas, o processo pode ser conduzido por uma única agência (Seah & Woo, 2012) e, em outros casos, a responsabilidade pode ser compartilhada (Angelotti & Grizzard, 2012).

Os operadores do sistema de água potável são responsáveis pelo tratamento apropriado e pela distribuição de água potável segura aos consumidores. São, portanto, responsáveis por aplicar práticas de gestão e controle de qualidade em todas as atividades da estação. As regulamentações devem descrever detalhadamente suas funções, o que inclui elaborar requerimentos para notificar a agência reguladora de suspeita ou de certeza de insegurança na água distribuída.

Onde tenham havido ETE e ETA, as regulamentações devem definir as funções de cada uma, tendo em vista que uma coordenação contínua das atividades de ambas é imprescindível à distribuição de água potável segura.

6.1.2 Planos de segurança hídrica e sanitária

As regulamentações devem reforçar que, para uma boa gestão, é necessário a estação produzir água segura. Podem também especificar a execução de planos de segurança hídrica sanitária, particularmente onde houver diferentes entidades, detalhando o conteúdo básico desses planos (Bartram et al, 2009; WHO, 2015a). Devem indicar a frequência das auditorias e os procedimentos a serem feitos antes de se iniciar o suprimento de água.

6.1.3 Padrões de qualidade da água

Os padrões de qualidade da água são o mecanismo de formalização da aplicação dos objetivos da distribuição de água segura (Capítulo 5). Devem estar listados nas regulamentações ou incorporados em um documento de referência separado. Se o documento de referência for citado, as regulamentações devem identificar essa referência com destaque. Os padrões de qualidade do reúso potável incluem:

- Desempenho do tratamento microbiológico: Pode ser referenciado à redução logarítmica de um patógeno de referência (Seção 5.1);
- Desempenho do tratamento químico e radiológico: Deve ser o mesmo adotado pelos sistemas que usam outras fontes de água.

A inclusão de limites críticos para parâmetros operacionais pode também ser considerada, como o limite de turbidez para água filtrada e os valores de Ct para dosagem de desinfetantes. Se os limites críticos forem incluídos, deve ficar claro que sua aplicação deve ser feita para processos de tratamento selecionados. Os regulamentos não podem incluir determinações para tipos específicos de tratamento.

6.1.4 Solicitações de testes

As regulamentações devem definir as especificações de cada teste: parâmetros, frequência de amostras, localização das amostras e natureza do teste, se de campo ou de laboratório. As especificações devem incluir considerações de operação e de verificação do monitoramento. Podem incluir especificações para processos de tratamento, como UV, valores de Ct, turbidez da água filtrada e teste de integralidade da membrana. A frequência dos testes vai depender do tipo do teste e de considerações práticas, como, por exemplo, se a turbidez da água filtrada vai ser medida continuamente online e se a integridade da membrana vai ser medida diariamente (USEPA, 2005) (Seção 3.1).

As regulamentações para monitoramento devem descrever a frequência dos testes para os parâmetros listados nos padrões de qualidade da água e a localização das amostras (Seção 3.2).

Nota do tradutor (36)

A Portaria estabelece a frequência com que as análises de monitoramento dos padrões físico, químico e biológico devem ser feitas. A Tabela 6.1-A, que não consta do texto original, resume a frequência dessas análises.

Tabela 6.1-A
Frequência mínima de análises na saída do tratamento (Portaria 2.914/2011)

Análise	Restrição	Frequência
Cianotoxinas	Microcistinas: 1,0 mg/L	Concentração na água bruta ≤ 10.000 cianobactérias /mL: mensal
	Saxitoxinas: 3,0 equivalentes STX/L	Concentração na água bruta > 10.000

		cianobactérias/mL: semanal, a menos da duplicação de clorofila-a em duas semanas, quando a análise deve ser repetida
Cor aparente	Máximo de 15 uH	Manancial superficial: a cada 2 horas
		Manancial subterrâneo: semanal
Turbidez	Máxima de 0,3 uT em 95% das amostras mensais e de 1,0 uT nas demais amostras coletadas na saída da filtração rápida (MF no caso de reúso potável) considerando que, no reúso potável, a concentração média de <i>Cryptosporidium</i> na água bruta seja superior a 3,0 oocistos/L	A cada 2 horas se o manancial for superficial e semanalmente se for subterrâneo
Cloro residual livre	Mínimo de 0,2 mg/L	2 vezes por semana se o manancial for superficial e semanalmente se for subterrâneo
Cloraminas	Mínimo de 2 mg/L	
Dióxido de cloro	Mínimo de 0,2 mg/L	
pH e fluoreto	pH entre 6,0 e 9,5	Manancial superficial: a cada 2 horas
	Fluoreto: máximo de 1,5 mg/L	Manancial subterrâneo: semanal
Gosto e odor	Intensidade máxima: 6.	Manancial superficial: trimestral
		Manancial subterrâneo: semestral
Produtos secundários da desinfecção	Concentrações máximas ácidos haloacéticos: 0,08 mg/L; bromato: 0,01 mg/L; cloro residual livre: 1 mg/L; cloraminas: 4,0 mg/L; 2, 4, 6 triclorofenol: 0,2 mg/L; trihalometanos: 0,1 mg/L	A frequência de análises deve ser trimestral, mas o desinfetante que for selecionado para deixar residual livre (cloro, cloraminas ou dióxido de cloro) deve ter medição 2 vezes por semana.
Radioatividade	Rádio-226: 1 Bq/L Rádio-228: 0,1 Bq/L	2 primeiros anos: semestral, respeitando a sazonalidade pluviométrica
		Após 2 anos: em função das primeiras análises
Demais parâmetros físicos e químicos	Concentrações indicadas nos Anexos VII e X da Portaria	Semestral
Coliformes totais e <i>Escherichia</i>	Devem estar ausentes em	2 vezes por semana

coli	amostras de 100 mL	
------	--------------------	--

Nota do tradutor (37)

A análise do cloro residual é feita para detectar qualquer falha no tratamento e, por isso, o intervalo entre duas análises de cloro residual no reuso potável não deve ser superior ao tempo de retenção nos reservatórios e deve ocorrer pelo menos duas vezes ao dia.

Os procedimentos de aprovação dos testes de laboratório devem estar incluídos nas regulamentações, que devem basear-se nas especificações. Se não houver especificação determinada, a autoridade reguladora deve considerar os padrões estabelecidos. Isso deve incluir critérios relativos à aprovação de métodos e com relação à habilidade e treinamento dos analistas.

O encaminhamento dos resultados deve ser um componente essencial das regulamentações. Os resultados de rotina, incluindo o método e a frequência, os resultados de não conformidade com os padrões de qualidade da água e outros incidentes que possam comprometer a segurança da água potável devem ser reportados às autoridades reguladoras. O prazo máximo para entrega dos resultados deve ser especificado nas regulamentações. Por exemplo, pode ser especificado que uma não conformidade deva ser reportada em uma hora da obtenção do resultado. O requerimento para aprovação de protocolos de incidência deve incorporar os critérios de incidência e os detalhes do contato com o pessoal que cuida de emergências (Capítulo 4).

6.1.5 Fiscalização

A fiscalização independente é um dos três componentes básicos de uma estrutura segura de água potável (WHO, 2017a) e engloba as revisões externas e periódicas para avaliar sua gestão e produção. A fiscalização deve avaliar a conformidade da água potável com os parâmetros requeridos, incluindo projeto e execução dos planos de segurança hidrossanitários, bem como a respectiva auditoria. A fiscalização deve cobrir a totalidade do sistema, desde as fontes de água e os processos de tratamento até os reservatórios e a rede de distribuição. No caso do reuso potável, devem ser fiscalizadas a vazão afluyente (se de origem doméstica, rural ou industrial) e as barreiras à entrada de efluentes tóxicos industriais e de outros componentes que possam levar perigo ao sistema. A fiscalização deve incluir testes independentes de qualidade da água.

Os testes feitos pelas agências de fiscalização devem complementar os testes de verificação do fornecedor de água potável. Para isso, a fiscalização necessita ter meios de coletar amostras e precisa ter acesso a equipamentos de teste e laboratórios. Se a fiscalização não tiver como realizar esses testes, torna-se necessário que sejam realizados por terceiros. É inapropriado que a fiscalização se baseie nos testes realizados pelo próprio fornecedor de água potável. Se os testes forem incluídos como parte da fiscalização, as regulamentações devem especificar o limite ou a faixa permitida para os parâmetros, a frequência dos testes e os pontos de coleta de amostras, com divulgação de forma acessível ao público.

Os requerimentos também precisam ser especificados. É importante que os resultados das atividades de fiscalização, incluindo os resultados de qualidade da água (onde os testes são feitos), a identificação de falhas e a necessidade de ações corretivas sejam comunicados imediatamente ao fornecedor de água potável e, no caso de auditoria terceirizada, às autoridades reguladoras.

Se a fiscalização for feita pela agência reguladora ou por auditoria terceirizada, esta deve ter poderes legais que lhe permitam acesso aos sites e à documentação gerada pelos fornecedores de água potável e pelos responsáveis pelo tratamento da vazão afluyente.

6.1.5.1 Auditoria dos planos de segurança hídrica e sanitária

A auditoria dos planos de segurança hídrica e sanitária devem ser avaliações independentes para que esses planos tenham adequada efetividade. Auditorias periódicas devem ser feitas a intervalos regulares, podendo recomendar mudanças substanciais na infraestrutura do sistema, evitando incidentes significativos. Devido à complexidade do reuso potável, deve-se esperar que os proponentes tenham alto grau de especialidade e capacidade para desenvolver planos de segurança hídrica bem elaborados e compreensíveis.

Auditorias informais para acompanhar o desenvolvimento dos planos de segurança hídrica e sanitária anteriores ao início do fornecimento de água potável podem não ser necessárias (WHO, 2015b). As auditorias devem ser consideradas processos construtivos que podem confirmar uma boa prática; as entidades de gerência da produção de água potável e de tratamento da vazão afluyente são as responsáveis pela operação desses planos e, se necessário, o método de como operá-los pode ser melhorado. As auditorias não devem ser encaradas como algo designado apenas para observar falhas ou para penalizar os fornecedores de água potável. Os auditores devem examinar os registros e as documentações para assegurar que os planos estejam bem elaborados e venham sendo executados conforme seus conteúdos.

Se mais de uma agência ou organização estiver envolvida no reuso potável, os auditores devem determinar se todos os componentes do esquema devam ser incluídos nos planos de segurança hídrica e sanitária. Se forem desenvolvidos múltiplos planos, os auditores devem se certificar de que estejam consistentes e coordenados entre si. Além disso, os auditores devem determinar se acordos relevantes e contratos entre agências sejam destacados, verificar se o mecanismo de comunicação está bem estabelecido e se as obrigações relativas à operação e ao monitoramento se encontram corretamente feitas.

Guia específico de auditoria periódica encontra-se em “A Practical Guide to Auditing Water Safety Plans” (WHO, 2015b). O guia foi desenvolvido para planos de segurança hídrica e adaptado para planos de segurança sanitária. Os auditores devem anexar as documentações referentes a esses planos, verificando:

- Se os planos estão completos e atualizados.
- Se são facilmente acessíveis, inteligíveis e usados pelos funcionários das organizações.
- Se incluem sistema de registro de todas as atividades descritas nos planos de segurança hídrica e sanitária, incluindo o monitoramento.

Os auditores devem certificar-se de que os planos descrevem detalhadamente os componentes do reuso potável, incluindo os controles de descarga, os processos de tratamento, os reservatórios naturais (se houver), a mistura de diferentes fontes e o sistema de distribuição de água.

Devem fazer parte das regulamentações a frequência das auditorias, os procedimentos corretivos a serem tomados quando necessário e as providências para acompanhamento das recomendações da auditoria.

6.1.5.2 Acompanhamento da fiscalização

Os fiscais e os auditores terceirizados, quando houver, necessitam estar bem qualificados para a função. Deve ser estabelecido um sistema de avaliação, baseando-se em suas qualificações e experiência. O guia das qualificações exigidas de um auditor, treinamento e certificação se encontram em “A Practical Guide to Auditing Water Safety Plans” (WHO, 2015b).

Quando a fiscalização for feita por auditoria contratada, a agência reguladora deve rever o conteúdo e as recomendações dos relatórios de auditoria. Havendo recomendação para ações corretivas, a agência reguladora deve se certificar de que respostas apropriadas sejam apresentadas e que as ações corretivas sejam feitas de forma completa.

6.1.5.3 Comunicação dos resultados da fiscalização

É essencial que os resultados das atividades de fiscalização sejam comunicados a:

- Fornecedores de água potável e a outras agências, quando aplicável.
- Agências reguladoras no caso de auditoria terceirizada.
- Consumidores.
- Autoridades locais, onde a agência fiscalizadora seja uma agência governamental centralizada.

A fiscalização necessita da cooperação e da assistência dos fornecedores de água potável e dos responsáveis pela gestão da vazão afluyente e, também, de boa comunicação antes do evento. A comunicação deve ser mantida durante a auditoria. Os auditores necessitam informar verbalmente os fornecedores de água potável em reunião antes do fim da auditoria sobre os planos de segurança hídrica e de saneamento e sobre a segurança do suprimento de água, fazendo recomendações para ações corretivas imediatas e de longo prazo. O conhecimento ou a suspeita de que o reuso potável seja inseguro necessita ser comunicado aos fornecedores de água potável de forma imediata. Falhas no suprimento de água devem ser investigadas. Os auditores devem fazer um relatório de suas impressões sobre o sistema de abastecimento em um período razoável, em torno de um mês. Os fornecedores de água potável devem ter oportunidade de revisar e comentar o relatório antes de sua finalização para esclarecer mal entendidos ou fornecer outras informações. Onde os testes de qualidade da água sejam parte da fiscalização, esses resultados devem ser comunicados aos fornecedores de água potável tão logo sejam obtidos, juntamente com as recomendações para acompanhamento de testes, investigações futuras ou ações corretivas.

A comunicação deve ser feita mesmo quando a fiscalização for terceirizada. O conhecimento ou a suspeição de que o reuso potável esteja inseguro deve ser comunicado imediatamente à agência reguladora.

Em alguns casos, as responsabilidades pela regulamentação e pela fiscalização precisam ser divididas entre departamentos e autoridades locais. É importante que a agência central e as autoridades regionais e locais recebam os mesmos relatórios de auditoria. Os sistemas de comunicação precisam ser estabelecidos para garantir que isso ocorra.

A comunidade tem o direito de conhecer os relatórios de auditoria, que devem ser apresentados aos consumidores, por acesso a esse relatório ou por apresentação de um sumário.

6.1.5.4 Ações após a fiscalização

Os relatórios e comunicações dos auditores contendo os resultados de qualidade da água devem ser postos em prática. Isso pode ser feito na forma de ações que aprimorem o reuso potável. Os auditores devem fornecer uma indicação das falhas ou omissões no tratamento tanto na ETE, como na ETA, quando forem separadas, com graduações de “menor”, “moderada” ou “maior”. As ações recomendadas devem ser documentadas e incluídas nos planos de segurança hídrica e sanitária. Se for identificado um número significativo de falhas, o auditor deve verificar o cumprimento das recomendações na auditoria seguinte ou mesmo antes desta.

6.1.6 Inspeções aleatórias e correções da evidência de água insegura

As regulamentações devem incluir poderes às autoridades reguladoras para inspecionar os suprimentos de água potável e as respectivas documentações, podendo exigir testes de qualidade da água na evidência de água insegura, principalmente quando houver reclamação de doenças de contaminação hídrica por consumidores.

6.1.7 Comunidade e consumidores

Os consumidores têm direito de ser informados sobre a qualidade da água que consomem. O receio da comunidade de que a origem da água potável possa ser a maior causa de problemas de qualidade é um grande erro. Se houver confiança nos métodos de produção de água potável, é preciso ficar claro que eventuais falhas na qualidade da água têm origem em erro humano (Nancarrow et al, 2009). Contudo, se houver confiança nas autoridades, tanto reguladoras como envolvidas no abastecimento de água, pode haver maior efeito no entendimento dos riscos por parte da comunidade. Informação transparente e aberta e relatórios verdadeiros vão fazer com que os consumidores acreditem nas autoridades.

Desse modo, as regulamentações devem incorporar os seguintes dados para informação e relatórios aos consumidores:

- Desempenho do reuso potável, incluindo sumário de resultados, acompanhados por interpretação desses resultados.
- Resultados e informações em resposta a solicitações razoáveis encaminhadas em período especificado

Os relatórios devem ser publicados anualmente e devem ser divulgados em até três meses após o fim do ano civil ou do ano financeiro.

Os consumidores têm uma expectativa de que serão informados se o suprimento de água potável for inseguro. Se a autoridade reguladora concluir que o reuso potável esteja inseguro ou represente um risco inaceitável ao público, deve comunicá-lo imediatamente aos consumidores. A responsabilidade e os métodos de divulgação necessitam estar estabelecidos antes de se tornarem necessários. O conteúdo das notificações e os métodos de divulgação devem levar em conta a diversidade dos consumidores e seu acesso aos serviços de comunicação.

6.1.8 Revisão periódica das regulamentações

Ao longo do tempo, as regulamentações, sejam organizacionais, científicas ou técnicas, podem ser modificadas. Podem ser descobertas substâncias que representem perigo à saúde

humana, os padrões podem sofrer modificações, podem ser inventados novos métodos de tratamento, podem ser modificados os métodos operacionais, os parâmetros ou os métodos de monitoramento. Experiências, incluindo lições da fiscalização, podem identificar novos métodos de aplicação das regulamentações. Por isso, regulamentações e padrões devem estar sujeitos a revisões periódicas, assegurando sua efetividade. Os métodos de revisão devem ser claramente entendidos e devem envolver consulta a todos os interessados, inclusive aos consumidores.

6.2 Políticas, regulamentações e orientações para o reúso potável

Há poucos exemplos de políticas, regulamentações e orientações para reúso potável. Quando o sistema de Windhoek foi construído nos anos 1960 e modificado em 2002, não havia padrões disponíveis. Por isso, foi introduzida uma regulação própria. Ultimamente, isso vem sendo modificado e há hoje vários documentos e estudos (Tchobanoglous et al, 2011; 2015; Dahl, 2014; ATSE, 2013; Olivieri et al, 2016), iniciando-se um desenvolvimento de regulamentação do reúso potável.

A Califórnia tem feito regulamentações para RPI via recarga subterrânea (CDPH, 2014) e estão em processo de desenvolvimento critérios para RPI via reservatórios naturais superficiais. A viabilidade de se desenvolver critérios para RPD está, também, sendo considerada. Em um limitado número de casos, as regulamentações têm sido desenvolvidas. É o caso de Queensland, onde o reúso potável está incluído na legislação de água potável.

É comum associar as orientações para o reúso potável às orientações genéricas de água potável. Em Singapura, o objetivo do NEWater é dar conformidade às orientações do GDWQ (WHO, 2017a) e aos padrões de água potável da USEPA (USEPA, 2014). Nos Estados Unidos, a água de reúso potável está sujeita às exigências de qualidade da água especificadas no Safe Drinking-water Act7 (Tchobanoglous et al, 2015) e às exigências particulares dos estados para a água potável.

7. A arte do engajamento público

É básica para o sucesso de um projeto de reúso potável a habilidade em se conquistar a confiança do público. É o que está amplamente documentado em estudo de casos ao redor do mundo. Um plano de comunicação compreensível englobando saúde, segurança e qualidade em seus múltiplos estágios, do planejamento à execução, é uma ferramenta essencial para o sucesso.

Para o engajamento efetivo, é necessário um conhecimento íntimo da água e das relações humanas com ela. É preciso uma seleção cuidadosa da terminologia para informar às comunidades os contaminantes encontrados na água bruta e que tecnologia de tratamento pode removê-los para se obter água potável. O objetivo não é apenas o de ganhar a aceitação do público, mas também de gerar interações com as comunidades, interações que produzam entendimento.

Na ausência de conhecimento sobre água e seu reúso, a aceitação ficará fora de questão. Não há fórmula mágica que leve à aceitação pública, mas começa a ficar claro que programas fortes e imaginativos de informação e um engajamento consistente dos usuários são necessários para abrir a porta para o entendimento. Trata-se da arte de atingir o nível de público consciente, essencial para o sucesso de qualquer programa de reúso potável.

Este capítulo destaca os componentes principais do engajamento público ao reúso potável e de como pode ser construída a confiança na segurança da água assim obtida. Com políticas e

necessidades sociais e circunstâncias diferentes de país para país, um programa de engajamento para o reúso potável não pode ser uma tentativa unilateral. Há alguns aspectos que necessitam ser considerados e incluídos em um programa efetivo de engajamento, que deve ser adaptado às necessidades das diferentes comunidades. A lista é, no mínimo, exaustiva, mas cobre fatores chave que devem ser levados em conta para o sucesso do engajamento público.

7.1 Programa de engajamento

7.1.1 Validade da informação

Informação é primordial e necessita ser feita prontamente, de forma acessível ao público, em que os propósitos do reúso potável possam ser entendidos. O primeiro passo em qualquer plano de engajamento é fornecer informação imediata ao público, de modo que este possa conhecer o contexto e as opções disponíveis. Entendimento, mais que aceitação, deve ser o objetivo. Um público não uniforme não pode ter opiniões formadas e é vulnerável a vácuos de conhecimento. Embora nem todos os membros da comunidade tenham tempo ou inclinação para absorver a informação, o conhecimento do que esteja disponível é tranquilizador e extremamente importante para um engajamento efetivo.

Os que estiverem interessados devem poder obter o conhecimento suficiente, o que ajudará a tranquilizar aqueles que tenham dúvidas sobre a segurança do reúso potável.

O acesso à informação é importante para que o diálogo entre fornecedores e usuários do reúso potável tenha lugar de uma forma produtiva. A Tabela 7.1 ilustra as áreas de informações chave que devem ser comunicadas ao público. Informações disponíveis sobre suprimentos de água devem ser fornecidas antes da discussão do reúso potável. A Tabela 7.2 sumariza as táticas de comunicação que serão úteis quando forem emitidas mensagens sobre o reúso potável.

Tabela 7.1
Comunicação ao público

Área de informação chave	Plano de comunicação
Opções viáveis de suprimento de água	Ao se formular um plano de recursos hídricos, é importante que problemas de falta de água fiquem claramente comunicados e que todas as opções sejam identificadas e avaliadas. Se a comunidade entender que algumas opções foram supervalorizadas, não vai acreditar no processo. O objetivo de um programa de engajamento não é de promover o reúso potável, mas de assegurar que ele seja entendido e possa ser considerado uma opção adequada para aumento no suprimento de água potável.
Reúso potável planejado e não planejado	O público geralmente entende o ciclo natural da água, mas a alguns não é familiar a ocorrência de descarga de águas usadas com ou sem tratamento nos rios para uso das comunidades de jusante como fonte de água

	potável (reúso potável não planejado).
Contaminantes (patógenos e químicos) na água de reúso potável	Os comunicadores precisam estar preparados para responder a questões técnicas sobre a natureza dos contaminantes (patógenos ou químicos) na água. Eles necessitam ter conhecimentos básicos para explicar as medidas de controle, incluindo as tecnologias de tratamento que podem ser usadas nos processos de barreiras múltiplas para inativar ou minimizar os contaminantes. Os oficiais de saúde comunitários e os médicos devem ser incluídos na divulgação do processo.
Tecnologia	Os processos de tratamento terciários devem ser claramente explicados em termos simples para que as pessoas de qualquer idade sejam capazes de compreender qual a tecnologia a ser usada para remover os contaminantes da água.

Nota do tradutor (38)

No Brasil, é comum a ocorrência de descarga de águas usadas não tratadas nos rios que são usados pelas comunidades de jusante como fonte de água potável. O mais incomum é haver água superficial sem esse tipo de poluição.

Tabela 7.2
Táticas de comunicação de mensagens do reúso potável

Mensagem	Tática de comunicação
Tornar familiar o reúso potável – mostrar a experiência de outros países e de outras cidades	Para tornar familiar o reúso potável, é útil apresentar estudos de caso que claramente demonstrem quantas comunidades já são abastecidas pelo reúso potável sem estar cientes disso. Pesquisas têm demonstrado que o sucesso de comunicação dos projetos de reúso potável em outras localidades cria um senso de familiaridade. Contar histórias de cidades que recentemente adotaram o reúso potável elimina medos. Essas histórias devem enfatizar a necessidade da água, o benefício dos projetos, os fundamentos de tratamento e segurança e a confiabilidade do produto água.
Qualidade, não história	A terminologia e as mensagens não devem focar sua origem nas águas usadas, mas na qualidade que vai adquirir e como poderá vir a ser usada com segurança. A principal preocupação do público é com a segurança e a qualidade da água do reúso potável.

	<p>É importante enfatizar o número de testes de monitoramento que serão feitos. Destacar a confiabilidade e o monitoramento é parte da garantia de qualidade.</p> <p>Deve ser explicado que a água atingirá padrões nacionais e internacionais de qualidade e que o reúso potável tem o apoio da agência reguladora.</p>
Benefícios do reúso potável	<p>As variações do clima não influem no reúso potável, o que faz com que seja uma fonte sustentável, que não sofre diminuição nos períodos secos e, por isso, é uma estratégia bastante válida nos períodos de escassez hídrica.</p> <p>As águas usadas são a única fonte de água que aumenta com a população.</p> <p>O reúso potável traz benefícios para o meio ambiente, pois reduz a descarga de nutrientes nos corpos de água receptores.</p> <p>Está provado que a tecnologia é efetiva e acessível.</p>

7.1.2 Plano de informação

Quando houver questões difíceis associadas à saúde, segurança e impactos ambientais do reúso potável, é essencial ser claro e transparente. Um canal aberto e interativo para compartilhar informações é importante para envolver o público no processo. Uma sugestão é dispor de um website e ferramentas de mídia social que prestem informações e permitam o engajamento da comunidade, possibilitando-lhe fazer perguntas. É importante dispor de mecanismos para lidar com questões inesperadas. É necessário um plano de informação e um especialista que possa dar respostas rápidas.

Mensagens claras e consistentes são importantes em um plano de comunicação. As mensagens devem mostrar o reúso potável como opção de suprimento de água viável e sustentável, comunicando os benefícios que advirão. São exemplos desses benefícios:

- O reúso potável é seguro, confiável e uma fonte sustentável de água potável.
- O uso de água reciclada é bom para o meio ambiente.
- O reúso potável é uma valiosa fonte de água potável à prova de estiagem, capaz de fortalecer a resiliência do suprimento de água especialmente contra as extremidades climáticas, como períodos secos e estiagens.

Mensagens apenas não são suficientes. O plano de comunicação precisa incluir informações sobre os poluentes da água e as tecnologias avançadas para removê-los. Os usuários precisam saber que a água fica limpa e muito limpa assim que passa pelos sucessivos processos.

Use termos positivos, não estigmatizados e evite terminologia que possa não ser entendida. O significado das palavras é estreitamente ligado aos sentimentos que ela expressa, podendo influenciar o comportamento e as atitudes. Embora haja numerosos dicionários que ajudam a definir os termos do reúso da água, muitos foram escritos por engenheiros, cientistas e

profissionais da água e, portanto, requerem algum conhecimento técnico. Um engajamento efetivo envolve seleção cuidadosa da terminologia para informar às comunidades sobre os contaminantes encontrados e como as tecnologias de tratamento conseguem removê-los, produzindo água potável segura.

Esse desafio pode ser maior em países onde a água tem aspectos religiosos e conotações espirituais históricas. Nesse caso, é imperativo usar termos consistentes com o significado da água para pessoas de várias crenças, tendo o cuidado de não usar termos que possam estigmatizar o reúso. Consistência é também importante quando há muitos termos para se referir ao reúso potável. Deve haver acordo em se usar um único e positivo termo ou frase que seja apropriada ao país e a seu povo.

“Água servida” e “esgoto” são termos internacionalmente reconhecidos e usados tanto nos compêndios de água industrial como neste manual e em outros documentos que tratam do reúso da água (WHO, 2006). Contudo, têm uma conotação negativa, que lembra às pessoas a origem da água e podem criar aversão psicológica. É importante substituir esses termos por termos neutros. “Água servida” e “esgoto” podem ser substituídos por “água usada”, o que reflete os reais valores do tratamento, transformando a água usada em um recurso valioso. A água pode ser usada e reusada de forma semelhante ao ciclo da água. Não se trata de água servida para ser descartada. O termo “estação de tratamento de esgoto”, usado para estações convencionais que colocam o esgoto em condições aceitáveis de ser descartado para o ambiente, não deve ser usado, mas substituído por “estação de reúso potável”. O próprio termo “esgoto tratado” deve ser substituído por “água purificada”.

7.1.3 Estratégia de comunicação

Identificar e engajar os grupos formadores de opinião como mídia e líderes políticos, sociais e comunitários é uma questão chave para conquistar a confiança e a aceitação do público. Para isso, torna-se necessário o trato de forma verdadeira para que o público possa entender os propósitos do reúso potável e possa advogá-lo junto aos oponentes.

A opinião dos líderes é importante porque influencia atitudes, crenças, motivações e comportamento dos demais. Influenciam a opinião da comunidade fazendo crescer a consciência, persuadindo outros, estabelecendo ou reforçando normas e alavancando recursos. São frequentemente muito visíveis na comunidade e têm um grupo de influência definido, que faz crescer a probabilidade de outros virem a adotar seu comportamento. É de vital importância que atenções sejam dispensadas à opinião dos líderes para garantir que a população venha a conhecer do aumento da água potável disponível, dos processos técnicos de tratamento e dos procedimentos de gestão da água. Políticos, religiosos, profissionais da saúde e líderes universitários são formadores de opinião devido à influência que exercem na comunidade e na nação a que servem.

7.1.3.1 Engajamento da mídia

Outro grupo crítico é a mídia, que sempre age como um cão de guarda para a comunidade e para as autoridades em seus planos e políticas. Um plano bem pensado é necessário para fazer os jornalistas entenderem e passar a apoiar o projeto. Levar a mídia à estação de tratamento mostrando-lhe, em primeira mão, a tecnologia empregada no processo, vai ajudar em seu

entendimento do reúso potável. O atendimento prioritário à mídia vai ajudar a obter respostas prontas quando necessário.

7.1.3.2 Testemunho de especialistas independentes

O testemunho de especialistas independentes é um caminho efetivo para proporcionar respostas para questões difíceis e desafiantes sobre saúde, segurança e qualidade. Um caminho efetivo para se conseguir respostas a questões frequentemente feitas é um painel de especialistas internacionais e locais nos vários campos de engenharia, ciências biomédicas, química e tecnologia da água para assegurar testemunho de especialistas independentes em questões de saúde, segurança e qualidade da água. Os preferidos pelo público são especialistas em suas próprias áreas de pesquisa e também familiarizados com projetos de reúso da água. Estes têm credibilidade e são talhados para endereçar conceitos sobre segurança e saúde. As reportagens do painel de especialistas podem ser gravadas em vídeo e mostradas em um centro de visita pública, divulgadas em websites e reportadas pela mídia. Os painéis científicos independentes podem garantir uma cobertura de notícias que a agência de águas não pode.

7.1.3.3 Outros meios como forma de aprendizado

Centros de visita pública, centros de demonstração, websites e visitas à estação de tratamento são experiências de aprendizado que propiciam uma alternativa para disseminação da informação, que pode, frequentemente, se tornar algo de grande utilidade. Mesmo visitas virtuais asseguram demonstração de imagens que podem ser úteis àqueles não familiarizados com tecnologias avançadas. São uma alternativa a encontros presenciais e mesmo a palestras formais, de vez que propiciam a visão de algo novo, estimulante, multissensorial e agradável. Os centros de visita pública podem variar em tamanho e em custo. Podem ser uma construção própria para essa atividade, uma construção associada à estação de tratamento ou mesmo um espaço público. Os centros de visita pública são ideais para visitas escolares.

7.1.3.4 Como sugerir que bebam a água de reúso potável

Criar oportunidades para que o público possa beber a água feita com reúso potável é mais convincente que qualquer propaganda. Para isso, precisa ser engarrafada em embalagem atrativa para que o público possa verificar quão pura a água é. As garrafas devem ser distribuídas em eventos, excursões e nos centros de visita pública. Se formadores de opinião, incluindo políticos e outros líderes comunitários, beberem a água reciclada, isso pode reforçar no público a ideia de segurança do produto.

7.1.3.5 Comunicação on line

A comunicação online é uma ferramenta chave para espalhar informações. Contar a história do reúso potável nas redes sociais de forma divertida é uma maneira de engajamento. As redes sociais estão crescendo em importância tanto para conversações como para compartilhar informações, pois são um espaço onde as pessoas dividem entre si suas vidas diárias. Os esforços

de comunicação necessitam se engajar nos espaços onde as pessoas se comunicam para criar oportunidades de interatividade. A divulgação de imagens tem maior efeito que simples mensagens ou textos previamente preparados. O uso de curtos e animados vídeos que possam ser compartilhados nas redes sociais pode ser um importante fator de divulgação de conhecimentos. Conversação online é importantíssima na demonstração das vantagens do sistema e uma oportunidade para responder a tempo aos comentários negativos divulgados nas redes sociais. Há muitos documentos usados nas redes sociais que podem ser consultados como estratégia de engajamento.

A comunicação com os diversos grupos nas diversas comunidades deve ser feita em mão dupla, usando-se o melhor método disponível: redes sociais, rádio, e-mail ou televisão.

7.2 Preparação da informação para atrair atenção

Para ser efetivo, um plano educacional e de comunicação precisa ser preparado para atrair a atenção. Para que a informação tenha sucesso junto às pessoas, é preciso entender suas preferências – o que gostam de ouvir, o que gostam de ler e o modo de escrever no computador. O uso de humor é um poderoso meio de angariar atenção e de estimular a memória. Fichas técnicas, gráficos, animações, vídeos, visitas dirigidas, documentários, programas interativos, redes sociais, visitas a centros de demonstração, degustação da água, tudo isso representa métodos de engajamento do público e deve ser divulgado nas redes sociais.

7.3 Avaliação das informações e dos programas de engajamento

Os programas de comunicação devem ser avaliados não apenas pelo impacto da terminologia e da mensagem, mas também por sua habilidade em atrair e reter atenção. A avaliação pode ser usada como uma ferramenta de planejamento; fazer uma avaliação no início do programa ou mesmo do projeto vai definir se este deve ou não ir à frente. É importante assegurar-se que educação e engajamento para promover mudanças podem levar tempo e devem ter continuidade. A consistência é essencial; é aconselhável não começar nem parar os esforços por questões políticas. Um programa de avaliação deve determinar se as mensagens estão sendo entendidas e se devem ser reforçadas. Se o programa estiver provocando mudanças de comportamento, o processo de avaliação vai ajudar a determinar se está tendo sucesso e vai auxiliar na obtenção de novas técnicas de comunicação. Há muitas técnicas de avaliação, sendo uma delas a de se fazer perguntas ao visitante antes e após a visita.

É importante entender que cada um tem conhecimento e experiência próprios com reúso potável. Um programa de avaliação efetiva vai ajudar a identificar como uma experiência efetiva de educação afeta a atitude individual em relação ao reúso potável.

Na ausência de entendimento sobre água e seu reúso, a sustentabilidade hídrica não será alcançada no futuro. É uma panaceia imaginar que há fórmula mágica que provoque aceitação pública, mas tem ficado claro que programas de informação fortes e imaginativos são poderosos e estratégias efetivas são necessárias para abrir a porta para o monitoramento de água sustentável. Essa é a arte de se atingir o entendimento do público, que é o ingrediente crítico do sucesso de qualquer programa de reúso de água.

7.4 A comunicação como fonte de sucesso

Algumas vezes, autoridades têm cancelado planos de reúso potável depois de terem faceado oposição e clamor público. Embora esses projetos tenham sido bem feitos, de acordo com os princípios de Engenharia e sustentados por testes de laboratório extensivos para assegurar a qualidade da água, a falta de um bem desenvolvido programa de comunicação pública combinando ciência/tecnologia e arte/considerações de ciência social para colher apoio público levaram a um grande fracasso. Frases feitas como “do toalete à torneira” que provocam aspectos psicológicos e emocionais na mente humana, encobriram o raciocínio lógico. O resultado foi resistência pública ao reúso potável. Mas, devagar, as coisas vão mudando. Nos últimos anos, mais cidades têm desenvolvido projetos, devido, em parte, a longos períodos de estiagem.

8. Conclusões

8.1 Sumário das mensagens chave

O reúso potável é uma fonte prática de água potável que deve ser considerada no desenvolvimento de novos suprimentos de água potável ou quando de expansão dos suprimentos existentes. O reúso potável é uma fonte de água independente do clima, pois usa a coleta de águas usadas para o uso sustentável da água. Além disso, evita os impactos ambientais decorrentes de sua descarga no ambiente.

Nota do tradutor (39)

O reúso potável transforma as águas usadas, potencialmente nocivas ao meio ambiente e que tendem a aumentar com o tempo à medida que aumentam a população e o número de domicílios ligados à rede, em matéria prima para a produção de água potável.

Como mostrado na Tabela 1.2 e demonstrado para estudos de caso, o interesse no reúso potável vem crescendo e se espera que o número de projetos continue a crescer em resposta ao aumento da população e às pressões climáticas. Como demonstrado neste manual, a base científica e tecnológica para adoção do reúso potável está estabelecida. Projetos de reúso potável bem definidos, com monitoramento de acordo com os padrões estabelecidos, vão produzir água potável segura. A esse respeito, o reúso potável não é diferente de outras fontes de água potável, pois os princípios do GDWQ (WHO, 2017a) se aplicam ao reúso potável do mesmo modo que o fazem a qualquer outro projeto de água potável. A esse respeito, o reúso potável não é diferente de outras fontes de água potável.

Há aspectos do reúso potável que requerem atenção particular em comparação com outros sistemas de água potável, entre eles:

- O envolvimento potencial de mais de uma agência, incluindo entidades separadas que se responsabilizam pela gestão das águas usadas e pelo tratamento da água (capítulos 1 e 6).
- A importância de coordenação das atividades associadas à gestão das águas usadas e à produção de água potável (capítulos 1 e 6).
- O uso potencial de ETA e ETE existentes (capítulos 1 e 6).

- A maior concentração de patógenos e uma larga gama de substâncias químicas deletérias potencialmente presentes nas águas usadas (capítulo 2).
- O crescente interesse público em microcontaminantes como fármacos, hormônios naturais, produtos de higiene pessoal e traços de compostos industriais (Seção 2.2).
- A rápida variação na qualidade e na vazão da água: diurna, diária e ao longo do ano (capítulo 2).
- O uso de tratamentos com barreiras múltiplas complexas que podem incluir processos tanto de oxidação avançada como diversas formas de desinfecção que, em conjunto, conseguem grande redução de microrganismos patogênicos e de substâncias químicas deletérias (capítulo 2).
- O possível uso de reservatórios naturais e de reservatórios construídos (capítulo 2).
- O impacto de mistura de água potável de diferentes fontes em sistemas de distribuição de água, particularmente no caso de RPD (capítulo 2).
- A necessidade crescente de conhecimento do reúso potável pelo público e de seu engajamento (capítulo 7).

Embora o reúso potável seja uma fonte prática de água potável em muitas circunstâncias, os projetos são tipicamente complexos e os proponentes necessitam ter capacidade e recursos suficientes para uma implantação bem sucedida. O treinamento apropriado de operadores é essencial.

As águas usadas contêm altas concentrações de patógenos entéricos. Portanto, a produção de água potável livre de microrganismos patogênicos requer alto desempenho no tratamento, com redução mínima de 8,5 log de bactérias patogênicas entéricas, de 9,5 log de vírus entéricos e de 8,5 log de protozoários entéricos (capítulo 5). Esses valores não são determinantes, mas são indicações para se identificar as medidas de controle e, em particular, a combinação dos processos de tratamento (Seção 2.5.2).

Embora haja crescente interesse em micropoluentes como fármacos e produtos de uso pessoal, suas concentrações são geralmente baixas e, geralmente, não há definição de novos padrões de valores. Os padrões definidos no GDWQ (WHO, 2017a) são suficientes na maior parte das circunstâncias. Onde as fontes de água indicam elevados níveis de substâncias químicas sem valores de referência, como descargas de fábricas sem muito controle, a triagem de valores deve ser feita como parte da investigação de riscos potenciais e da necessidade de medidas adicionais de controle (Seção 5.2).

Devem ser tomadas medidas de controle para as águas usadas. Essas medidas de controle precisam ser validadas e, genericamente, as reduções logarítmicas de concentrações perniciosas devem se basear em testes e em monitoramento operacional, particularmente onde é necessário demonstrar o desempenho dos processos de tratamento (Seções 2.5 e 2.6).

Enquanto o monitoramento operacional segue os princípios descritos no GDWQ, o monitoramento contínuo associado aos sistemas SCADA com alarmes automáticos de desvio de limites críticos será cada vez mais comum (Seção 3.1).

O conteúdo das regulamentações deve ser consistente com as desenvolvidas para outras fontes para água potável. O desenvolvimento de um único conjunto de regulamentações para água potável, incluindo o reúso potável, deve ser considerado (Capítulo 6).

O sucesso do reúso potável depende da habilidade de se obter a confiança do público. Informações devem estar disponíveis rapidamente, de modo que o público entenda as opções viáveis. Os interessados, incluindo a mídia e os líderes políticos, sociais e comunitários, formadores de opinião, devem ser engajados (Capítulo 7).

8.2 Estudo de caso: Windhoek, Namíbia, estação de Goreangab

8.2.1 Visão geral

Quando a cidade de Windhoek decidiu, em 1968, adotar um sistema RPD, deu um passo corajoso porque, àquela época, não havia padrões ou indicações de como se obter água potável a partir de águas usadas. Windhoek foi a primeira cidade no mundo a introduzir um reúso potável planejado. Isso, contudo, não foi um passo aleatório, mas o resultado de anos de pesquisa, que começou com estações piloto em Gammams, Windhoek, e com a chamada estação Stander em Daspoort, Pretória.

Um dos pioneiros da estação de Windhoek foi o Dr. Lukas van Vuuren, que cunhou a frase “Água deve ser julgada por sua qualidade, não por sua história”. Entretanto, não se encontra na literatura da época qualquer indicação para os limites dos diversos parâmetros, mas apontamentos genéricos de que determinados processos tinham capacidade de remover constituintes específicos a ponto de o produto final ser incorporado à estação de tratamento de água.

Como mostrado na Tabela 8.2 (Seção 8.2.9), a estação evoluiu após 40 anos, sendo 30 anos de operação completa, com melhoramentos introduzidos em seis etapas, culminando na substituição da estação original Goreangab pela nova Goreangab em setembro de 2001. Os processos de tratamento na nova estação, após o tratamento secundário, são: ozonização, flotação por ar dissolvido, filtração rápida, ozonização, carvão biológico ativado, carvão ativado granular, ultrafiltração e cloração.

8.2.2 Razões do reúso potável em Windhoek

Windhoek se situa na bacia do Rio Swakop. A primeira povoação em Windhoek ocorreu no fim de 1840, nas nascentes quentes da região conhecida hoje como Klein Windhoek. Ironicamente, a abundância de água foi a razão pela qual a região foi escolhida como local para assentamento. Em 1911, as nascentes e os poços perfurados se tornaram insuficientes e foi perfurado outro poço. Novo poço foi perfurado em 1913 e, até 1959, a água subterrânea era a única fonte de suprimento de água.

Antes, nos anos 1950, tornou-se claro que, em 10 anos, sérios problemas hídricos iriam acontecer em Windhoek e que fontes adicionais de água deveriam ser encontradas. Não há rios perenes num raio de 750 km da cidade. As represas de água estavam longe da cidade e demandariam alto custo de bombeamento. A Câmara Municipal consultou o National Institute for Water Research a respeito. Dr. Stander, Diretor do NIWR, considerou que o reúso potável era a melhor solução para o problema (Scientiae, 1969).

A crise de água de 1957 novamente mostrou a vulnerabilidade da cidade quando a utilização dos recursos hídricos chegou a 57% acima do valor máximo de segurança. O nível médio do lençol subterrâneo caiu em mais de 52 metros em quatro meses. Em obediência ao South West Africa Administration Water Affairs Branch, chegou-se à conclusão de que o reúso potável seria uma medida que levaria a resultados positivos por volta de setembro de 1958.

As três represas que serviam Windhoek e as áreas centrais da Namíbia têm volume de segurança (com 95% de certeza) de 20 gegalitros/ano (20 milhões de m³/ano), dos quais 17 GL/ano

estariam disponíveis para Windhoek. Em 2015, a demanda da cidade era de 26 GL/ano. Sem a contribuição do reúso e da água subterrânea, a demanda não poderia ser suprida. Reúso potável direto é uma fonte indispensável de água para Windhoek.

8.2.3 História e situação atual

Durante a metade dos anos 1960, após resultados favoráveis da estação piloto Gammams, a Câmara Municipal de Windhoek tomou a decisão de adotar o reúso potável. O reúso potável direto nasceu, oficialmente, na ETE de Goreangab em 21 de janeiro de 1969, quando a estação, com capacidade inicial de 3,287 milhões de litros por dia, foi inaugurada. A estação pertencia à Prefeitura de Windhoek, que era a responsável por obter suprimento de água de três fontes: subsolo, água superficial da represa de Goreangab e reúso potável da estação de Goreangab.

Durante o período de 1969 a 1982, três reservatórios de superfície foram adicionados pelo governo. Esses reservatórios, com capacidade total de 155 bilhões de m³, foram instalados entre 70 e 200 km de distância de Windhoek e, por serem os rios intermitentes, tinham capacidade de abastecimento, com 95% de certeza, de apenas 20 bilhões de m³. Passou-se a fazer irrigação com água de reúso e implantou-se gestão da demanda de água entre 1993 e 1994. Durante a estiagem de 1996, a Câmara Municipal resolveu aplicar o reúso potável na totalidade.

A estação de Goreangab foi reformada cinco vezes e, em 2001, nova estação foi colocada em operação, com capacidade inicial de 21 mil m³/dia.

8.2.4 Estação piloto

No início dos anos 1960, uma estação piloto foi instalada na ETE Gammams (Clayton, 2005). Esse estudo foi feito juntamente com o Departamento de Engenharia Municipal e o NIWR.

À época da aprovação da construção da ETE de Windhoek, uma planta similar, em escala natural, com capacidade de 4.800 m³/dia, foi construída em Daspoort, Pretória, onde todo o futuro reúso potável seria conduzido pelo NIWR. Pesquisa extensa foi feita para aprimorar o processo de tratamento existente. A remoção de nutrientes biológicos e o processo de lodos ativados foram comparados com a filtração por membranas. Tratamento com sulfato de alumínio e amônia stripping, cloração ao breakpoint e adsorção em carvão ativado foram testados em Daspoort. Os compostos tóxicos conhecidos e os micropoluentes orgânicos foram determinados, sendo removidos durante os experimentos.

Ensaio biológicos foram conduzidos simultaneamente para detectar qualquer atividade aguda ou subletal. Concentrações dos compostos testados foram removidas em mais de 99,9%, tendo sua concentração original caído a níveis abaixo do limite de detecção. Atividade biológica, bactérias, vírus ou colifagos não foram detectados no efluente final. Comparando a qualidade do reúso potável com a água potável feita por tratamento convencional, constatou-se que o reúso potável era de muito melhor qualidade. Esses resultados promissores levaram ao aprimoramento e expansão da estação Mark I. As pesquisas continuaram e muitos tratamentos terciários foram testados nos anos seguintes. Grande parte dessas pesquisas recebeu aplausos internacionais.

8.2.5 Medidas de controle

8.2.5.1 Estratégias de controle

O descarte de produtos sintéticos nos cursos de água representa um risco sanitário potencial. Desse modo, era muito importante para os pioneiros do reúso potável que esses compostos fossem removidos totalmente da água ou ficassem em concentrações reduzidas a níveis em que o risco de exposição fosse tão baixo quanto possível.

Quando a estação Mark I foi construída em 1969, baseou-se numa política definida claramente pelas seguintes linhas de defesa:

- Controle das águas usadas coletadas com base na separação entre descargas industriais contendo compostos químicos potencialmente nocivos e descargas domésticas;
- Tratamento eficiente, com base em um controle permanente. Aspectos de interesse como a eficiência na remoção de patógenos, metais tóxicos e compostos orgânicos que possam ser mutagênicos ou teratogênicos ou ter outro efeito deletério.
- Vigilância permanente sobre o produto final, incluindo uma determinação abrangente da qualidade química e microbiológica da água, com o uso de sistema de alarme como sensores biológicos ou peixes.
- Medição contínua da concentração de cloro na água e de outros constituintes químicos que podem ser medidos em base contínua, tais como oxigênio dissolvido e adsorção de UV pela água.

Desde o início dos anos 1970, o controle de qualidade químico e microbiológico indicou que o produto final da estação era de boa qualidade e de acordo com os critérios aceitos para água potável. A estação foi reformada ao longo dos anos, aumentando sua capacidade de remover substâncias deletérias, químicas e biológicas.

8.2.5.2 Identificação e monitoramento das medidas de controle

As medidas de controle objetivavam a remoção de detergentes sintéticos e poluentes orgânicos pelo tratamento em ETE e a remoção de patógenos por processos de tratamento terciário para água potável, que incluíam a remoção de carbono orgânico dissolvido, de compostos halogênicos totais e de metais, bem como o atendimento a parâmetros estéticos. Cada processo de tratamento devia operar a partir de condições definidas ou de parâmetros que assegurassem a máxima remoção de contaminantes. Análises operacionais garantiam que os objetivos do tratamento fossem alcançados. Análises de laboratório eram feitas para verificar se a água estava sendo tratada adequadamente. Inicialmente, ao menos quatro instituições diferentes estavam envolvidas no monitoramento. Duas delas foram contratadas para fazer medições em amostras, pelo menos uma vez por mês, para analisar principalmente bactérias, vírus e substâncias químicas, enquanto as outras tinham a responsabilidade de monitoramento de rotina de todos os parâmetros de qualidade da água. Devido a modificações na vazão de entrada e a processos que pudessem não funcionar adequadamente, os métodos eram substituídos ou aprimorados com o uso de tecnologias de tratamento apropriadas.

8.2.5.3 Verificação de evidência epidemiológica

Em 1976, quando foi comissionado o aprimoramento da estação Mark II, recomendou-se que um padrão geral para a qualidade da maturação do efluente fosse estabelecido. As barreiras de segurança de Mark I tinham sido efetivas e nenhuma barreira adicional que pudesse aumentar a segurança poderia ser feita imediatamente. O produto final tinha que estar de acordo com a especificação para água potável do South African Bureau of Standards (Nº 241-1971), que era mais refinada para RPD.

A padronização de métodos para análise de substâncias químicas, bactérias e vírus entre os laboratórios se tornou prioridade de estudos pelos laboratórios. Pesquisas posteriores foram feitas para definir parâmetros analíticos mais precisamente, como cloro livre, cloro total e demanda de cloro e para desenvolver padronização de métodos. Tratamento com sulfato de alumínio e amônia stripping e uma barreira de pós-cloração foram introduzidos.

Constatou-se que eram necessários estudos epidemiológicos (Isaacson et al, 1987). Desse modo, os seguintes testes foram feitos:

- Monitoramento contínuo usando peixes;
- Testes mutagênicos;
- Testes de cultura de substâncias químicas deletérias;
- Testes carcinogênicos em mamíferos.

Testes biológicos de águas públicas deviam considerar não apenas a letalidade, mas também os efeitos subletais, que são importantes para o bem estar de qualquer espécie. O biomonitoramento por peixes foi introduzido online por ser um teste que acessava mudanças súbitas na qualidade da água de modo rápido, simples e, comparativamente, mais barato. Para testes de longas exposições, foi considerado o seguinte:

- Mudanças no âmbito de atividade e saúde geral.
- Mudanças sorológicas.
- Mudanças patológicas.

Estudos feitos pelo South African Institute for Medical Research de 1974 a 1983 concluíram pela segurança do reuso potável. Com base em mais de 4.000 amostras testadas, verificou-se que se constitui em suprimento de água apropriado para uso humano dentro dos padrões de qualidade geralmente aceitos. Sob o ponto de vista virológico, a vazão afluente mostrou-se, potencialmente, contaminada por vírus patogênicos, em contraste com a água bruta convencional. O líquido em tratamento foi regularmente testado a diferentes estágios do processo. Os vírus se tornaram progressivamente em menor número e ficaram consistentemente ausentes no efluente final. Os estudos se desenvolveram em 1976, englobando desde o curto prazo (onde foram detectados vírus na vazão de entrada) até o longo prazo (onde não foi constatada a presença de vírus). Os autores da pesquisa concluíram que, dentro dos limites dos estudos epidemiológicos feitos, não foram observados efeitos adversos na saúde do consumidor de reuso potável que pudesse ser observado (Isaacson & Sayed, 1988). Essa conclusão foi referendada por estudo dos efeitos da estação RPI Montebello Forebay, de Los Angeles County, Califórnia (Nellor et al, 1984), que concluiu não haver detecção de vírus na água purificada clorada. Avaliação estatística de saúde e vida por um período de 12 anos mostrou que os residentes na área abastecida por reuso potável e os residentes nas duas áreas de controle que não foram abastecidos com reuso potável apresentaram quantitativos semelhantes de doenças

infecciosas, más formações congênitas, mortalidade infantil e neonatal, baixo peso ao nascer, incidência de câncer e mortes devido a doenças cardíacas, câncer do estômago, do reto, da bexiga ou do colo e, de resto, de todos os tipos de câncer combinados.

8.2.5.4 Reservatório natural

Windhoek tem um esquema RPD e, por isso, não possui um reservatório natural. A água tratada na ETE passa por várias lagoas de maturação antes de chegar à estação de reuso potável. Como o volume dessas lagoas é constante, o tempo de retenção decresce assim que a vazão aumenta: em Mark I, era de 14 dias e, na nova estação, é de três dias. Essa perda de seguridade foi compensada por melhoramentos tecnológicos, monitoramento online, automação dos processos e resposta mais rápida às análises. Atualmente, no tratamento final, o líquido é retido em um reservatório onde se mantém uma mistura contínua na estação de bombeamento com a água de origem superficial, de onde é feita a distribuição a vários reservatórios. O tempo de retenção nesses reservatórios varia de quatro a oito horas.

Como não há reservatórios naturais, foi feito acordo de gestão privada para garantir ao operador estar sempre incentivado a atingir a qualidade prescrita para a água. Pagamentos ao operador são calculados em termos de a água atingir os padrões estabelecidos após cada processo e ao final do tratamento. Falha em conseguir esses objetivos implica penalidades financeiras, enquanto falha em conseguir os valores estipulados para o produto final coloca a estação fora de operação até que este retorne às especificações. Se o operador é incapaz de atingir os valores especificados, o pagamento é suspenso. É exigido que o operador mantenha em funcionamento todas as barreiras durante todo o tempo.

8.2.6 Monitoramento da qualidade da água

8.2.6.1 Operação e verificação

Foi conduzida pesquisa para testar a confiabilidade de cada processo em diferentes condições. Os processos de tratamento tiveram que ser operados dentro de condições operacionais definidas ou de parâmetros que garantissem a máxima remoção de contaminantes. Análises operacionais atestaram que os objetivos do tratamento foram alcançados. Foram conduzidas análises de laboratório para verificar se a água tinha sido tratada adequadamente. Pelo menos quatro diferentes instituições foram envolvidas no monitoramento. A princípio, duas instituições foram contratadas para recolher amostras, sem prévio aviso, pelo menos uma vez por mês e para analisar principalmente bactérias, vírus e substâncias químicas, enquanto as duas outras eram responsáveis por conduzir monitoramento de rotina de todos os parâmetros de qualidade da água.

Durante o período 1980-1990, Mark III e Mark IV foram liberados para produzir água purificada. Um analisador automático de carbono orgânico dissolvido e um determinador de UV foram introduzidos para monitorar o produto das colunas de carvão ativado.

Os objetivos da pesquisa eram: verificar se a qualidade microbiológica indicava a segurança da água purificada e desenvolver métodos confiáveis de rotina para verificar sua qualidade. Os testes de laboratório deveriam ser feitos com bastante frequência e a relativamente baixos custos. Deveriam incluir a seleção de organismos indicadores que estivessem sempre presentes em água

contaminada como indicadores de patógenos de origem fecal. Os indicadores deveriam ser preferivelmente não patogênicos e detectáveis por métodos simples rápidos e baratos e, além disso, tão resistentes quanto os patógenos aos processos de tratamento da água e de desinfecção.

Quando a pesquisa foi escrita, haviam sido filtrados 13.000 litros da água purificada para detecção de vírus. Foram colhidas amostras com volumes de 10 litros das primeiras etapas do tratamento e de 100 litros do efluente final. Não foram detectados vírus, concluindo-se que o efluente estava dentro dos mais rigorosos limites para água potável recomendados internacionalmente.

Clostridium perfringens foi considerado indicador apropriado para poluição fecal, podendo ser detectado por métodos relativamente práticos em 24 horas.

Os testes indicaram que vírus e colifagos tendiam a ser mais resistentes ao cloro combinado que bactérias, mas bactérias tendiam a ser mais resistentes ao cloro livre residual que vírus e colifagos. Isso confirmou o que é feito nas ETEs: bactérias do gênero coliforme são indicadores confiáveis para inativação de vírus por cloro livre residual. Concluiu-se que o efeito combinado dos vários processos e as barreiras múltiplas usadas atendiam aos mais exigentes métodos de segurança microbiológica de água potável, incluindo redução viral de 12 unidades logs.

O critério seguinte foi recomendado para reuso potável direto: no efluente de, pelo menos duas unidades de tratamento, deveria haver ausência de vírus em amostras de 10 litros, menos de 100 colônias de microrganismos heterotróficos por mL e ausência total de coliformes, *Pseudomonas aeruginosa* e colifagos. Os testes de bactérias e de colifagos tinham a vantagem de, se solicitado por qualquer razão, poderiam ser feitos com maiores volumes de água. Em virtude dessas conclusões, as seguintes orientações foram recomendadas para segurança da rotina de qualidade da água de um sistema com barreiras múltiplas de eficiência provada, como a estação de Windhoek:

- Em 95% das amostras coletadas diariamente após, no mínimo, duas unidades de tratamento, deveria haver menos de 100 colônias de microrganismos heterotróficos por mL e ausência total de coliformes e colifagos em amostras de 100 mL.
- Pelo menos uma desinfecção deveria ser feita de acordo com as seguintes especificações: cloro residual livre de 1 a 2 mg/L, com tempo de retenção de uma a duas horas, com pH menor que 8,0 e turbidez menor que 1,0 uT.

A maior fraqueza do processo de desinfecção estava em que, sob certas condições, eram formados produtos organohalogenados. A redução desses produtos se tornou o maior foco de pesquisa durante anos.

Ultimamente, as diretrizes finais de qualidade da água da estação Mark VI foram definidas (Tabela 8.1). Essa tabela somente contém os principais parâmetros operacionais. Outros parâmetros de interesse, como metais pesados, compostos aromáticos ou pesticidas foram especificados de acordo com o Rand Water (1994) ou de acordo com as diretrizes da USEPA (1996).

Tabela 8.1

Limites recomendados para a estação Mark VI			
Parâmetros físicos e organolépticos	Unidades	Recomendado	Máximo
Precipitação potencial do carbonato de cálcio	g/L	4	8

Demanda química de oxigênio	mg/L	10	15
Cor	mg/L Pt	8	10
Carbono orgânico dissolvido	mg/L	3	5
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	<1.000	<1.200
Turbidez	mg/L	0,1	0,2
UV254	Abs/m	5,0	6,0
Macroelementos			
Alumínio	mg/L	Sem indicação	0,15
Amônia	mg/L	Sem indicação	0,10
Cloreto	mg/L	Não removido	250
Ferro	mg/L	0,05	0,1
Manganês	mg/L	0,0025	0,005
Nitrato e nitrito	mg/L	Não removido	10
Nitrito	mg/L	Não removido	0,2
Sulfato	mg/L	Não removido	200
Indicadores microbiológicos			
Organismos heterotróficos	Por 1 mL	80	100
Coliformes totais	Por 100 mL	Não admissível	0
Coliformes fecais	Por 100 mL	Não admissível	0
Escherichia coli	Por 100 mL	Não admissível	0
Colífagos	Por 100 mL	Não admissível	0
Vírus entéricos	Por 10 L	Não admissível	Redução de 4 log
Streptococcus fecais	Por 100 mL	Não admissível	0
Esporos de Clostridium	Por 100 mL	Não admissível	0
Células viáveis de Clostridium	Por 100 mL	Não admissível	0
Produtos secundários da desinfecção			
Trihalometanos	µg/L	20	40
Parâmetros biológicos			
Clorofila a	µg/L	Não admissível	1
Giardia	Por 100 L	Redução de 6 log	Redução de 5 log
Cryptosporidium	Por 100 L	Redução de 6 log	Redução de 5 log

8.2.7 Gestão dos incidentes

8.2.7.1 Protocolos

O acordo de gestão com a Windhoek Goreangab Operating Company especifica o atendimento e a manutenção da certificação ISO 9001 e as análises de risco e dos protocolos com os pontos de controle crítico.

Os protocolos de operações indicadas pela ISO e as análises de risco e dos protocolos com os pontos de controle crítico têm o registro de todos os incidentes. Um sistema de responsabilidades totalmente descrito é definido e mantido pelo operador. A companhia é

auditada anualmente pela ISO para assegurar conformidade. Um relatório de gestão mensal é encaminhado à prefeitura de Windhoek para avaliação das operações e das reivindicações financeiras. A avaliação de risco analisa a estação como um todo para verificar se estão adequadas as diferentes barreiras bem como se os pontos de controle críticos para a remoção de bactérias, vírus e protozoários resultaram em recomendações de melhoria. Durante os encontros anuais a que comparecem pesquisadores seniores, especialistas em projetos da cidade e os operadores principais das companhias, os relatórios de monitoramento e pesquisa são discutidos e feitas recomendações para melhoria da estação.

8.2.7.2 Experiências

No início dos anos 1990, foi registrado um incidente com vírus. Entre 1994 e 1999, foram registrados incidentes com cistos e oocistos de *Giardia* e de *Cryptosporidium*. Em ambos os casos, os índices aceitáveis foram atingidos, mas não o limite permitido. Mudanças no tratamento e nas operações foram feitas após esses incidentes.

Dois problemas que se manifestaram em Windhoek foram o crescimento de sólidos totais dissolvidos e formação de bromato. É aceitável há muito tempo que alguma forma de dessalinização tenha ocorrido para aumentar a concentração de SDT e se osmose reversa fosse introduzida iria resolver ambos os problemas. Entretanto, Windhoek é uma área ilhada, sem rios, sem acesso ao oceano ou com maiores aquíferos salinos em que o rejeito pudesse ser depositado.

8.2.8 Divulgação pública

8.2.8.1 Engajamento público

O funcionamento da estação em caráter experimental se fez no início dos anos 1960 até a estação Goreangab ser inaugurada em 1969. Devido a reportagens dos jornais nessa época, o público de Windhoek e, especialmente, os grupos escolares, foram encorajados a visitar a estação piloto para observar o processo. A essa época, o programa de engajamento público não era desenvolvido (pelo menos não era divulgado), mas o público foi representado pela saúde nacional e pela fraternidade médica, como ficou evidente nas publicações.

Um comitê formado, por volta de 1962, coordenou a pesquisa, a execução e a operação da primeira estação. Um comitê diretivo foi formado em 1973 em substituição ao comitê anterior. Os comitês continham engenheiros, profissionais da saúde do estado e do governo local, cientistas e pesquisadores da Prefeitura de Windhoek, do NIWR, do Water Research Commission, do Ministério de Assuntos de Água, do South African Institute for Medical Research e de universidades da África do Sul.

A revista *Scientiae*, de publicação mensal (Council for Scientific and Industrial Research, 1967), assim se manifestou: “Testes extensivos provaram que a água potável produzida pela estação piloto é completamente segura para o consumo humano. Por exemplo, a Poliomyelitis Research Foundation afirmou a eficiência do processo de remoção de organismos patogênicos da água purificada. Sob a supervisão de alguns membros de sua equipe, culturas de vírus de poliomielite e de enterovírus foram introduzidas na água fluindo através da estação piloto a níveis consideravelmente mais altos que os antecipados na prática. O exame da água purificada revelou que esses vírus tinham sido completamente eliminados.”.

Informações livres desse tipo são de domínio público e têm sido sempre enxergadas como importantes, sendo o processo tem sido conduzido de modo transparente e aberto.

Nos anos subsequentes, o tratamento em Windhoek tem sido muito publicado nos jornais científicos e nas plataformas nacional e internacional. A Prefeitura de Windhoek, por meio de suas próprias publicações e das plataformas de mídia disponíveis, tem sempre dado altos níveis de visibilidade ao fato de que Windhoek foi e permanece pioneira no reuso potável direto. Em reconhecimento a esses esforços, a 9ª Conferência Internacional de Reuso da Água (outubro de 2013) foi sediada na cidade de Windhoek. Ao longo dos anos, muitos estudantes locais e estrangeiros participaram de trabalhos de pesquisa e escolares e estudantes têm sido encorajados a participar, durante as férias, em projetos para se familiarizar com a operação e o controle de qualidade do programa de reuso. Como parte do acordo de gestão privada, o observador privado precisa se engajar em projetos sociais e um orçamento anual é alocado para essa iniciativa.

A estação tem sido e permanece objeto de divulgação da cidade e do país; visitantes locais e internacionais, especialistas e pessoal de missões governamentais e estrangeiras são visitantes regulares. Estudantes locais e internacionais se engajam em trabalho de pesquisa científico e social sobre reuso potável. A estação Goreangab está em lista fixa de eventos do Ministério da Educação para escolares e instituições de educação terciárias, sendo os escolares estimulados a se engajar em programas hidrossanitários. Há previsão orçamentária específica para atender aos projetos escolares e para ceder bolsas de estudo. A mídia é convidada em ocasiões regulares a publicar sobre a estação. Existe um programa para receber gratuitamente todas as reclamações públicas. Resposta formal é dada em cada caso. As reclamações são avaliadas e se tornam parte do programa anual de aprimoramento.

8.2.9 Governança

Durante a primeira parte do plano piloto, eram parceiros de projeto e de operação a Prefeitura de Windhoek, o Conselho de Pesquisas Científicas e Industriais, o Departamento de Assuntos de Água, o Departamento de Saúde e de Pesquisa Médica e universidades. Engenheiros e cientistas visitaram instituições americanas envolvidas em reuso potável. O escritório de saúde regional situado na cidade tinha autoridade para fazer inspeções de surpresa, para amostrar e encerrar as atividades da estação se não estivessem de acordo com as diretrizes. Um comitê diretivo se reunia uma ou duas vezes anualmente para revisar os registros, monitorar os programas e recomendar modificações.

Depois da independência em 1990, o Departamento de Assuntos de Água foi reestruturado, sendo o suprimento de água localizado em um empreendimento estatal chamado NamWater. O Departamento de Assuntos de Água passou a ter a função de regulamentação. Como o apoio formal das instituições governamentais da África do Sul foi interrompido, a Prefeitura de Windhoek tomou a si toda a responsabilidade pela estação de reuso. Para manter a objetividade, especialistas locais e internacionais em várias disciplinas foram convidados para comparecer às reuniões do comitê que aconteciam a cada cinco anos. Eles participaram também do projeto da nova estação. O National Chief Forensic Officer integrou o comitê, representando o público. A verificação do monitoramento tinha que ser feita ao menos por três laboratórios independentes, que faziam análise de rotina e especializada, de forma que os resultados pudessem ser confirmados.

Em termos do acordo de gestão privada, o operador privado é um controlador operacional de toda a estação, incluindo a gestão do processo e da qualidade. A Prefeitura de Windhoek

compra a água tratada do operador, sendo a tarifa controlada por um sistema de livro aberto, com margem de lucro fixa. As tarifas pagas são diretamente associadas ao trabalho de obtenção de requisitos de qualidade em todos os processos intermediários.

O operador recolhe todas as amostras de controle de qualidade, que são analisadas pelo laboratório municipal, havendo um protocolo para lidar com disputas envolvendo qualidade. A estação dispõe de grande número de instrumentos de monitoração online e de todas as informações operacionais e de qualidade constantes de SCADA, que são abertas para acesso ao público.

8.2.9 O futuro da estação

A cidade de Windhoek vem praticando RPD por 45 anos de forma bem aceita pelos consumidores (Tabela 8.2). A falta de recursos naturais de água foi o caminho para o RPD e a experiência tem demonstrado que tem sido bem sucedido. Não há necessidade de se reconsiderar a sensatez da decisão de olhar as águas usadas como fonte segura e confiável para produção de água potável.

Tabela 8.2

Resumo da história da estação de reuso potável Goreangab em Windhoek, Namíbia (1962–2016)

Planta/Período	Tratamentos	Tempo de retenção das lagoas (dias)	Planta/Período	Unidades de tratamento	Vazão (milhões de litros por dia)
P1 / 1962-1979	Biofiltros; tratamento secundário; lagoas de maturação	10-14	Goreangab Mark I / 1968-1976	Flotação de algas, coagulação, floculação, cloração, decantação, filtração rápida, carvão ativado, cloração	4,8
P2 / 1979-1994	Decantação primária; lodos ativados com remoção de nutrientes (Bardenpho cinco estágios); decantação secundária; lagoas de maturação	6-10	Goreangab Mark II / 1976-1980	Decantação, amônia stripping, cloração, Coagulação, floculação, decantação, filtração rápida, cloração, carvão ativado, cloração	4,8
P3 / 1994-	Decantação	3-6	Goreangab	Cloração,	4,8

2016	primária; lodos ativados com remoção de nutrientes pelo projeto Johannesburg modificado; lagoas de maturação		Mark III / 1980-1986	coagulação, floculação, decantação, cloração, coagulação, floculação, decantação, filtração rápida, cloração, carvão ativado, cloração	
			Goreangab Mark IV / 1986-1994	Coagulação, floculação, flotação por ar dissolvido, cloração, coagulação, floculação, decantação, filtração rápida, cloração, carvão ativado, cloração	7,2
			Goreangab Mark V / 1994-2001	Coagulação com cloreto férico, floculação, flotação por ar dissolvido, filtração rápida, carvão ativado, cloração, correção de pH, cloração	14,4
			Goreangab Mark VI / 2002-2016	Coagulação com cloreto férico, floculação, flotação com ar dissolvido, filtração rápida,	21

				filtração rápida com carvão ativado granular, carvão ativado, cloração, correção do pH, cloração	
			Após tratamento, o líquido tratado é misturado à água de entrada na antiga ETA.		

No caso de adoção futura da proposta de tratamento avançado na estação de Gammams, a cidade terá que reconsiderar o limite atual de 35% de água purificada na mistura. Novas diretrizes que estão sendo desenvolvidas na África do Sul podem influenciar o processo futuro, mas, em Windhoek, RPD foi, no passado, e vai permanecer no futuro como uma parcela indispensável do suprimento de água.

8.3 Lacunas de conhecimento e futuras pesquisas

Há algumas lacunas de conhecimento que incluem:

- Melhoria dos métodos de monitoramento operacional para validar a aplicação de membranas de baixa pressão e de osmose reversa, incluindo parâmetros operacionais ou procedimentos que possam ser usados para identificar falhas de baixo nível.** Como descrito na Seção 2.6, ensaios piloto e testes de laboratório têm demonstrado que OR pode atingir redução de patógenos da ordem de 6-log, mas o monitoramento operacional perde sensibilidade e reduz os créditos de redução, que podem ser reivindicados como de 2 a 4 logs. Para membranas de baixa pressão, os parâmetros de monitoramento operacional correlacionados à redução de patógenos não foram identificados.
- Dados adicionais de concentrações e de infectividade de patógenos no esgoto bruto.** Grande proporção do monitoramento de patógenos no esgoto não é publicada. Dados adicionais de controle de qualidade poderiam possibilitar a identificação de valores padronizados mais precisos para cálculo do desempenho. Seria particularmente útil se dados específicos regionais ou climáticos pudessem ser identificados. A referência usada neste manual para vírus entéricos é o norovírus, mas não há um método prático para identificar rotineiramente e enumerar os norovírus humanos infecciosos. Métodos de cultura desenvolvidos usando células B (Jones et al, 2015) e células-tronco eritroides (Ettayebi et al, 2016) podem levar a um futuro desenvolvimento de ensaios de rotina. A viabilidade de tal método iria melhorar a precisão da avaliação de riscos microbiológicos e melhorar a determinação dos limites requeridos para se atingir água potável segura.

- **Teste rápido para aumentar a efetividade dos reservatórios construídos.** O uso de reservatórios construídos em RPD pode, ao menos em parte, compensar o tempo de resposta para incidentes que é dado por reservatórios ambientais em RPI. Entretanto, o tamanho e o tempo de retenção da água em reservatórios construídos são limitados por considerações práticas e econômicas. A efetividade desses armazenamentos seria realçada pelo desenvolvimento de testes rápidos adicionais que podem ser usados para identificar falhas de tratamento e não conformidade da qualidade da água antes desta ser lançada no sistema de distribuição. Isso poderia incluir o desenvolvimento de testes rápidos de patógenos entéricos ou de organismos indicadores como colifagos.

Nota do tradutor (40)

No Brasil, a verificação imediata da qualidade da água do reservatório é feita pelo teste de cloro residual. Não havendo um mínimo de 0,2 mg/L de cloro residual na saída do tratamento, a água é considerada imprópria para o consumo humano e deve ser descartada. O descarte da água deve ser feito também quando uma ou mais unidades não estejam em funcionamento, evitando que água de qualidade duvidosa chegue à rede de distribuição.

- **Desenvolvimento de ensaios biológicos que possam ser usados sozinhos ou combinados para demonstrar impactos potenciais na saúde pública.** Mais de 100 ensaios foram desenvolvidos para testar vários tipos de atividade biológica na água. Entretanto, o conhecimento da relevância desses ensaios, incluindo a translação de resultados na avaliação de riscos à saúde pública não tem sido obtido e permanece a incerteza com relação ao papel bioanalítico como ferramenta no contexto regulatório. Pesquisas posteriores são necessárias para suprimir essas falhas.
- **Melhoria do conhecimento da ocorrência de incidentes e gestão no reúso potável.** Embora o objetivo seja operar o reúso potável sem falhas ou incidentes, é inevitável que estes venham a ocorrer. Esses incidentes não necessariamente levam a riscos de saúde pública se ações corretivas forem implantadas a tempo. O maior número de incidentes e correções não é publicado. Seria útil se houvesse mais publicidade para permitir que lições fossem tiradas e aprendidas.

Nota do tradutor (41)

Não convém encerrar esta tradução do “Potable Reuse – Guidance for Producing Safe Drinking Water” (Manual de produção de água potável segura por reúso de águas usadas), da Organização Mundial de Saúde, sem explicar o fluxograma proposto na Figura 2.3-A (item 2.5.4).

Tratamento preliminar – A mistura das águas usadas com água complementar (se necessária) é feita na entrada do tratamento preliminar, onde há grades grossas e grades finas para reter o lixo contido. Após passar pelas grades, o líquido irá ter a um desarenador, onde serão precipitadas as partículas finas. O desarenador deverá ser aerado para evitar mau cheiro. O material retirado das grades será lançado em uma caçamba, indo para o Serviço de Limpeza Urbana ou para aterro próprio. O material depositado no fundo do desarenador será removido e também lançado na caçamba.

Wetland para lodo – O efluente do desarenador, juntamente com o excesso de lodo do decantador secundário, é lançado em um wetland para lodo. O wetland para lodo tem grande vantagem sobre o decantador primário, pois permite o acúmulo de lodo por um período de aproximadamente 10 anos, com a filtração física removendo quase a totalidade dos sólidos suspensos. Além disso, por reter o lodo de retorno dos decantadores secundários, o wetland permite maior aproveitamento do líquido, pois, de outra forma, teria que descartar o excesso de lodo. O efluente do wetland é encaminhado ao reator aeróbio do sistema de aeração prolongada.

Aeração prolongada – No reúso potável, a remoção da matéria orgânica é uma fase importante. Por isso, opta-se pela aeração prolongada, uma variação dos lodos ativados com grande tempo de retenção hidráulica (entre 16 e 24 horas). Esse elevado tempo de retenção faz com que a matéria orgânica seja quase totalmente estabilizada e digerida no próprio reator e a maioria das substâncias químicas seja oxidada. Grande parte do nitrogênio orgânico fica convertida a nitrato. Para se conseguir esse tempo de retenção hidráulica, é necessário um maior volume de reator, o que diminui a concentração de matéria orgânica por área. Com menor quantidade de matéria orgânica disponível e um tempo de retenção maior, passa a haver predação entre os microrganismos. Como entre os menos especializados estão os microrganismos patogênicos (para a maioria deles, sua temperatura ótima é a temperatura média do corpo humano), estes fornecem biomassa para o crescimento dos microrganismos aeróbios. O efluente da aeração prolongada é lançado nos decantadores secundários.

Decantação secundária – Os decantadores secundários, de forma circular, funcionando em paralelo, recebem o efluente da aeração prolongada e devem ter taxa de aplicação hidráulica máxima de $1,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$. A vazão se divide em duas partes iguais: o líquido clarificado (metade da vazão) é conduzido ao wetland horizontal e o restante da vazão é recolhido no fundo dos decantadores, retornando ao reator do sistema de aeração prolongada. 3,3 a 3,7% da vazão de retorno é encaminhado ao wetland para lodo para que o tempo de residência celular no reator de aeração prolongada esteja entre 18 e 30 dias.

Wetland horizontal – O efluente clarificado dos decantadores e a maior parte do rejeito da ultrafiltração são encaminhados ao wetland horizontal, sendo submetidos a vários processos de tratamento como filtração, sedimentação e atividade microbiana. O wetland horizontal é eficiente na remoção de patógenos e nitrato, além de ser nova barreira na remoção de matéria orgânica e de sólidos suspensos. O efluente do wetland horizontal é encaminhado para ultrafiltração.

Ultrafiltração – As membranas de UF removem os sedimentos finos, incluindo vírus, e, por consequência, reduzem a turbidez da água, o que as faz uma barreira decisiva na remoção de patógenos. Cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* são também retidos por essas membranas. O efluente ultrafiltrado é conduzido à oxidação avançada. O rejeito da ultrafiltração, incluindo a água de limpeza das membranas, é devolvido ao wetland horizontal. Para evitar que substâncias inertes contidas no efluente do wetland horizontal e retidas nas membranas retornem ao wetland horizontal e fiquem recirculando indefinidamente entre essas duas unidades, cerca de 10% do rejeito da ultrafiltração é encaminhado a valas de filtração, com o efluente retornando às membranas de UF.

Oxidação avançada (UV+H₂O₂)

Após passar pela ultrafiltração, o líquido poderia ser encaminhado diretamente à desinfecção final, mas recomenda-se que a remoção de patógenos e de contaminantes químicos no reuso potável passe por sucessivas barreiras e, assim, o efluente ultrafiltrado é encaminhado à oxidação prolongada, composta de radiação ultravioleta e adição de peróxido de hidrogênio (H_2O_2). A função da radiação ultravioleta é de esterilizar os vírus que possam ter passado pela membrana de filtração. Quanto ao H_2O_2 , sua função é de propiciar nova oportunidade para que possam ser oxidados os compostos químicos que representem riscos à saúde, particularmente os precursores dos trihalometanos e de outros compostos secundários da desinfecção. O efluente da UF é conduzido ao tanque contendo carvão ativado granulado.

Carvão ativado granulado

A ação principal do carvão ativado é de adsorção, eliminação cor, odor e mau gosto. No reuso potável, representa nova barreira na remoção de substâncias orgânicas dissolvidas, incluindo pesticidas e micropoluentes, estes ainda não tendo limites incluídos nos padrões de água potável.

Cloração

A Portaria 2.914/2011 estabelece que a água potável deve conter 0,2 mg/L de cloro residual livre ou de dióxido de cloro ou, então, 2 mg/L de cloro residual combinado em todo o sistema de distribuição, o que limita a desinfecção à cloração ou ao dióxido de cloro. No Brasil, opta-se, geralmente, pela cloração. A cloração abaixa o pH da água, o que pode ensejar sua correção ao final do processo.

Fluoretação

Desde que o flúor foi associado à prevenção de cáries dentárias, os sistemas de abastecimento de água passaram a ser fluoretados. O art. 37º, § 1º da Portaria remete à Portaria 635/GM/1976, do mesmo ministério, o cálculo do valor ótimo de concentração de flúor na água potável. No reuso potável, a fluoretação necessita apenas complementar a dosagem ótima, visto que, tendo o flúor maior eletronegatividade que o oxigênio, os compostos de flúor presentes nas águas usadas não são oxidados.

Correção do pH

O art. 39, § 1º da Portaria estabelece que o pH da água na rede de distribuição deve estar entre 6,0 e 9,5. Quanto ao limite superior, não há maiores problemas para ser atendido. O limite inferior, no entanto, às vezes não é atingido devido à diminuição do pH durante a cloração. A correção do pH é feita, geralmente, com a adição de cal (CaO). A reação de CaO com a água produz $Ca(OH)_2$, que eleva o pH da água. Após a correção do pH, quando necessária, a água segue para a unidade de reservação.

Reservação

Os sistemas convencionais de abastecimento de água possuem reservatórios com a dupla função de fornecerem o tempo de retenção para ação do cloro e de fazer frente às variações de

consumo horário de água. Os reservatórios devem alimentar a rede de distribuição. Caso seja acusada inexistência de cloro livre em seu efluente, deve ser suspensa a alimentação da rede de distribuição, devendo o efluente dos reservatórios ser descartado para o corpo de água receptor. A vazão complementar deve também ser interrompida. Essa situação deve persistir até que o efluente dos reservatórios volte a ter a concentração mínima de 0,2 mg/L de cloro livre, conforme exigido pela Portaria.

Rede de distribuição

Em seguida à unidade de reservação, segue a rede de distribuição de água, que deve ser calculada e mantida de modo semelhante ao de um sistema convencional de tratamento de água.

Referências

- Abbott Chalew TE, Ajmani GS, Huang H, Schwab KJ (2013). Evaluating nanoparticle breakthrough during drinking water treatment. *Environmental Health Perspectives*. 121(10):1161–1166. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1306574> (accessed 22 May 2017).
- Agus E, Lim MH, Zhang L, Sedlak DL (2011). Odorous compounds in municipal wastewater effluent and potable water reuse systems. *Environmental Science and Technology*. 45:9347–9355.
- Anderson P, Denslow N, Drewes JE, Oliveri A, Schlenk D, Snyder SA (2010). Monitoring strategies for chemicals of emerging concern (CECs) in recycled water. 220.
- Angelotti RW (1995). Applying advanced treatment technology to achieve strict discharge limits. *Proceedings of Education Seminar: Tertiary Treatment Technology to Meet More Stringent Water Quality Standards*. Richmond (VA): Virginia Water Environment Association.
- Angelotti RW, Brooks MA, Bullock AP (2014). Occurrence, fate and distribution of trace organics in the potable surface water reuse scenario of the Occoquan Watershed. *Proceedings of the 18th Annual Water Reuse and Desalination Research Symposium, Las Vegas (NV)*. WaterReuse Research Foundation, Water Research Foundation and USEPA.
- Angelotti RW, Gallagher T, Brooks M, Kulik W (2005). Use of granular activated carbon as a treatment technology for implementing indirect potable reuse. *Proceedings of the 20th Annual WaterReuse Symposium, Denver (CO)*. Alexandria (VA): WaterReuse Association.
- Angelotti RW and Grizzard TJ (2012). Potable reuse in the Occoquan watershed. In: USEPA (United States Environmental Protection Agency) 2012 Guidelines for water reuse. EPA/625/R-04/108.
- Anumol T, Sgroi M, Park M, Roccaro P, Snyder SA (2015). Predicting trace organic compound breakthrough in granular activated carbon using fluorescence and UV absorbance as surrogates. *Water Research*. 76:76–87.
- Asami M, Aizawa T, Morioka T, Nishijima W, Tabata A, Magara Y (1999). Bromate removal during transition from new granular activated carbon (GAC) to biological activated carbon (BAC). 33:2797–2804.
- Asano T, Burton FL, Leverenz H, Tsuchihashi R, Tchobanoglous G (2007). *Water reuse: Issues, technologies, and applications*. New York: McGraw-Hill.
- Atmar RL, Opekun AR, Gilger MA, Estes MK, Crawford SE, Neill FH, Ramani S, Hill H, Ferreira J, Graham DY (2014). Determination of the human infectious dose-50% for Norwalk virus. *Journal of Infectious Diseases*. 209(7):1016–1022.
- ATSE (2013). *Drinking water through recycling*. Melbourne, Victoria, Australia: Australian Academy of Technological Sciences and Engineering.

- Bartram J, Corrales L, Davison A, Deere D, Drury D, Gordon B, Howard G, Rinehold A, Stevens M (2009). *Water safety plan manual: Step-by-step risk management for drinking-water suppliers*. Geneva: World Health Organization.
- Bellona C, Drewes JE, Oelker GL, Luna J, Filteau G, Amy G (2008). Comparing nanofiltration and reverse osmosis for drinking-water augmentation. *Journal American Water Works Association*. 100(9):102–116.
- Betancourt WQ, Kitajima M, Wing AD, Regnery J, Drewes JE, Pepper IL, Gerba CP (2014). Assessment of virus removal by managed aquifer recharge at three full-scale operations. *Journal of Environmental Science and Health. Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*. 49(14):1685–1692.
- Betancourt WQ and Gerba CP (2016). Rethinking the significance of reovirus in water and wastewater. *Food and Environmental Virology*. DOI 10.1007/s12560-016-9250-8.
- Bhagwan J (2012). *Turning acid mine drainage water into drinking-water: The eMalahleni water recycling project*. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency.
- Branch A and Le-Clech P (2015). *National validation guidelines for water recycling: Membrane bioreactors*. Brisbane, Australia: Australian Water Recycling Centre of Excellence. <http://www.australianwaterrecycling.com.au/research-publications.html> (accessed 22 May 2017).
- Bruce GM, Pleus RC, Snyder SA (2010). Toxicological relevance of pharmaceuticals in drinking-water. *Environmental Science & Technology*. 44(14):5619–5626.
- Bruvold WH and Daniels JI (1990). Standards for mineral content in drinking-water. *Journal American Water Works Association*. 82(2):59–65.
- Bull RJ, Crook J, Whittaker M, Cotruvo JA (2011). Therapeutic dose as the point of departure in assessing the health hazards from drugs in drinking-water and recycled municipal wastewater. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 60:1–19.
- Burgess J (2015). Water reuse in South Africa. *Water*. 42(5):42–44.
- Burlingame GA, Suffet IH, Khiari D, Bruchet AL (2004). Development of an odor wheel classification scheme for wastewater. *Water Science and Technology*. 49:201–9.
- Buynder PV, Lugg R, Rodriguez C, Bromley M, Filmer J, Blair P, et al (2009). *Characterising treated wastewater for drinking purposes following reverse osmosis treatment*. Western Australia: Department of Health. http://ww2.health.wa.gov.au/Articles/F_I/Groundwater-replenishment-publications (accessed 2 June 2017).
- CDC (2014). *Interim guidance for managers and workers handling untreated sewage from individuals with Ebola in the United States*. Atlanta (GA): Centers for Disease Control and Prevention. <http://www.cdc.gov/vhf/ebola/prevention/handling-sewage.html> (accessed 22 May 2017).
- CDPH (2014). *Regulations related to recycled water*. California Department of Public Health. http://www.waterboards.ca.gov/drinking_water/certlic/drinkingwater/documents/lawbook/RWregulations_20140618.pdf (accessed 22 May 2017).
- Chen CW and Gomez L (1988). *Final report: Water quality evaluation of Occoquan Reservoir*. Lafayette (CA): Systech Engineering, Inc.
- Choi S and Jiang SC (2005). Real-time PCR quantification of human adenoviruses in urban rivers indicates genome prevalence but low infectivity. *Applied and Environmental Microbiology*. 71:7426–7433.
- Chernicaró CAL. (2015) *Reatores anaeróbios*. 2ª edição. Editora UFMG. 7.4.2. 588 páginas.
- Clara M, Kreuzinger N, Strenn B, Gans O, Kroiss H (2005). The solids retention time – a suitable design parameter to evaluate the capacity of wastewater treatment plants to remove micropollutants. *Water Research*. 39(1):97–106.
- Clayton AJ (2005). Personal communication to PL Du Pisani.

Cotruvo J (2014) Direct potable reuse: Then and now. *World Water: Water Reuse and Desalination*. 5:10–13.

Crook J, Bull R, Collins HF, Cotruvo JA, Jakubowski W (2013). Final report on examining the criteria for direct potable reuse: Recommendations of an NWRRI independent advisory panel. Prepared by the National Water Research Institute for Trussell Technologies, Inc., under WRRF project no. 11-02. Alexandria (VA): WateReuse Research Foundation.

Dahl R (2014). Advanced thinking: Potable reuse strategies gain traction. *Environmental Health Perspectives*. 122(12):A332–A335.

Deere D and Khan SJ (2016). Collation and analysis of source water pathogen monitoring data. Report for NatVal 2.2 Subproject 4. <http://www.australianwaterrecycling.com.au/research-publications.html> (accessed 20 May 2017).

Department of Health, State of Victoria (2013). Guidelines for validating treatment processes for pathogen reduction. Department of Health, State of Victoria, Australia.

Department of Health & Water Corporation (2010). Memorandum of understanding (MoU) between the Department of Health and Water Corporation for the groundwater replenishment trial. July 2010.

Department of Statistics, Singapore (2017). Latest data (population and land area). <http://www.singstat.gov.sg> (accessed 23 May 2017).

Dickenson ER, Drewes JE, Sedlak DL, Wert EC, Snyder SA (2009). Applying surrogates and indicators to assess removal efficiency of trace organic chemicals during chemical oxidation of wastewaters. *Environmental Science and Technology*. 43(16):6242–6247.

Dieter HH (2014). Health related guide values for drinking-water since 1993 as guidance to assess presence of new analytes in drinkingwater. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 217(2–3):117–32.

Drewes JE, Anderson P, Denslow N, Olivieri A, Schlenk D, Snyder SA, Maruya KA (2013). Designing monitoring programs for chemicals of emerging concern in potable reuse – what to include and what not to include? *Water Science and Technology*. 67(2):433–439.

Drewes JE, Bellona C, Oedekoven M, Xu P, Kim T-U, Amy G (2005). Rejection of wastewater-derived micropollutants in high-pressure membrane applications leading to indirect potable reuse. *Environmental Progress*. 24(4):400–409.

Drewes JE and Horstmeyer N (2015). Recent developments in potable reuse. Vol. 45 *The handbook of environmental chemistry*. Switzerland: Springer International Publishing. 269–290.

Drewes JE and Khan S (2011). Water reuse for drinking-water augmentation. In: Edzwald J (ed.) *Water quality and treatment*, 6th edition. 16.1–16.48. Denver (CO): American Water Works Association.

Drewes JE and Khan S (2015). Contemporary design, operation and monitoring of potable reuse systems. *Journal of Water Reuse and Desalination*. 5(1):2–7.

Drewes JE, Sedlak D, Snyder S, Dickenson E (2008). Development of indicators and surrogates for chemical contaminant removal during wastewater treatment and reclamation. Alexandria (VA): WateReuse Research Foundation.

Duke M (2014). Demonstration of low maintenance chemical free recycling of secondary treated effluent by ceramic membranes. Australian Water Recycling Centre of Excellence. <http://www.australianwaterrecycling.com.au/research-publications.html> (accessed 2 June 2017).

Du Pisani PL (2006). Direct reclamation of potable water at Windhoek’s Goreangab reclamation plant. *Desalination*. 188:79–88.

Du Pisani PL and Menge JG (2013). Direct potable reclamation in Windhoek: A critical review of the design philosophy of new Goreangab drinking-water reclamation plant. *Water Science and Technology Water Supply*. 13(2):214–226.

Duranceau SJ, Pfeiffer-Wilder RJ, Douglas SA, Pena-Holt N, Watson IC (2011). Post-treatment stabilization of desalinated water. Denver (CO): Water Research Foundation. 194.

DVGW (2006). UV devices for the disinfection of the water supply. German Standard W 294-1, 294-2, 294-3. German Technical and Scientific Association for Gas and Water.

DWI (2007). Desk based review of current knowledge on pharmaceuticals in drinking-water and estimation of potential levels. Final report prepared by Watts and Crane Associates for Drinking-water Inspectorate, Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra project code: CSA 7184/WT02046/DWI70/2/213). <http://dwi.defra.gov.uk/research/completed-research/reports/dwi70-2-213.pdf> (accessed 22 May 2017).

Environmental Protection Authority (2005). Strategic advice on managed aquifer recharge using treated wastewater on the Swan Coastal Plain. Environmental Protection Authority Bulletin 1199. October 2005.

Escher BI and Leusch FDL (2012). Bioanalytical tools in water quality assessment. IWA Publishing, London, UK. Escher BI, Tang JYM, Poulsen A, Leusch FDL, Snyder SA, Jia A (2014). Development of bioanalytical techniques to assess the potential human health impacts of recycled water. Alexandria (VA): WaterReuse Research Foundation.

Ettayebi K, Crawford SE, Murakami K, Broughman JR, Karandikar U, Tenge VR, Neill FH, Blutt SE, Zeng X-L, Qu L, Kou B, Opekun AR, Burrin D, Graham DY, Ramani S, Atmar RA, Estes M (2016). Replication of human noroviruses in stem cell-derived human enteroids. *Science*. 353:1387–1393.

European Union (2011). Commission Recommendation of 18 October 2011 on the definition of nanomaterial. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32011H0696> (accessed 20 May 2017).

FAO/WHO (2003). Hazard characterization for pathogens in food and water. Geneva: World Health Organization and Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Fong T-T, Phanikumar MS, Xagorarakis I, Rose JB (2010). Quantitative detection of human adenoviruses in wastewater and combined sewer overflows influencing a Michigan river. *Applied and Environmental Microbiology*. 76:715–723.

Fono LJ, Kolodziej EP, Sedlak DL (2006). Attenuation of wastewater-derived contaminants in an effluent-dominated river. *Environmental Science & Technology*. 40(23):7257–7262.

Freeman G, Poghosyan M, Lee M (2008). Where will we get the water? Assessing Southern California's future water strategies. Los Angeles County Economic Development Corporation. http://www.laedc.org/sclc/documents/Water_SoCalWaterStrategies.pdf (accessed 20 May 2017).

Frenck R, Bernstein DI, Xia M, Huang P, Zhong W, Parker S, Dickey M, McNeal M, Jiang X (2012). Predicting susceptibility to norovirus GII.4 by use of a challenge model involving humans. *Journal of Infectious Diseases*. 206:1386–1393.

Gerrity D, Holady JC, Mawhinney DB, Quinones O, Trenholm RA, Snyder SA (2013a). The effects of solids retention time in full-scale activated sludge basins on trace organic contaminant concentrations. *Water Environment Research*. 85(8):715–724.

Gerrity D, Pecson B, Trussell RS, Trussell RR (2013b). Potable reuse treatment trains throughout the world. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*. 62(6):321–338.

Gerrity D, Trenholm RA, Snyder SA (2011). Temporal variability of pharmaceuticals and illicit drugs in wastewater and the effects of a major sporting event. *Water Research*. 45(17):5399–5411.

Gibney KB, O'Toole J, Sinclair M, Leder K (2014). Disease burden of selected gastrointestinal pathogens in Australia. *International Journal of Infectious Disease*. 28:176–185.

Grabow WOK (1984). Guidelines for the microbiological quality of drinking-water. For the Steering Committee for Health Aspects of Water Supply: Subcommittee for Preliminary Water Quality Criteria. Microbiology Working Group. Pretoria, August 1984.

Grabow, WOK (1990). Microbiology of drinking-water treatment: Reclaimed wastewater. In: GA McFeters (ed.). *Drinking-water microbiology – progress and recent developments*. New York: Springer Verlag. 185–203.

Gunther P and Mey W (2006). Selection of mine water treatment technologies for the eMalahleni (Witbank) water reclamation project, Pretoria, South Africa. Water Institute of Southern Africa: Umhlanga, South Africa.

Guzman-Herrador B, Carlander A, Ethelberg S, Freiesleben de Blasio B, Kuusi M, Lund V, Löfdahl M, MacDonald E, Nichols G, Schönning C, Sudre B, Trönnberg L, Vold L, Semenza JC, Nygård K (2015). Waterborne outbreaks in the Nordic countries, 1998 to 2012. *Euro Surveill*. 20(24):pii 21160. <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=21160> (15 June 2017).

Haas CN, Crockett CS, Rose JB, Gerba CP, Fazil AM (1996). Assessing the risk posed by oocysts in drinking-water. *Journal of American Water Works Association*. 88(9):131–136.

Health Canada (2010). *Canadian guidelines for domestic reclaimed water for use in toilet and urinal flushing*. Ottawa: Health Canada.

Hellmer M, Paxeus N, Magnus L, Enache L, Arnholm B, Johansson, Bergstrom T and Norder H (2014) Detection of pathogenic viruses in sewage provided early warnings of hepatitis A virus and norovirus outbreaks. *Applied and Environmental Microbiology*. 80(21):6771–6781.

Hespanhol, I., (2012), “Poluentes Emergentes, Saúde Pública e Reúso Potável Direto”, cap.20, p.501-537, in: *Engenharia Ambiental – Conceitos, Tecnologia e Gestão*, Coords. Maria do Carmo Calijuri e Davi Gasparian Fernandes Cunha, p. 789, Elsevier Campus. ISBN: 978-85-352-5954-4.

Hespanhol I (2014). A inexorabilidade do reúso potável direto. *Revista do DAE* nº 198. Janeiro a abril de 2015. 63-82.

Hijnen WAM, Beerendonk EF, Medema GJ (2006). Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: A review. *Water Research*. 40:3–22.

Hrudey SE and Hrudey EJ (2004). *Safe drinking-water: Lessons from recent outbreaks in affluent countries*. London: IWA Publishing.

Hrudey SE and Hrudey EJ (2014). *Ensuring safe drinking-water: Learning from frontline experience with contamination*. Denver (CO): American Water Works Association.

Huerta-Fontela M, Galceran MT, Ventura F (2008). Stimulatory drugs of abuse in surface waters and their removal in a conventional drinking-water treatment plant. *Environmental Science & Technology*. 42(18):6809–6816.

Hussain SM, Braydich-Stolle LK, Schrand AM, Murdock RC, Yu KO, Mattie DM, Schlager JJ, Terrones M (2009). Toxicity evaluation for safe use of nanomaterials: Recent achievements and technical challenges. *Advanced Materials*. 21(16):1549–1559.

Hutton B, Kahan I, Naidu T, Gunther P (2009). Operating and maintenance experience at the eMalahleni Water Reclamation Plant, Pretoria, South Africa. IMWA.

IAWG (2008). Trial environmental values for the Leederville aquifer for the groundwater replenishment trial. Inter-Agency Working Group. February 2008.

Install SP and Zeilig N (2007). *State of the science report: AwwaRF and distribution system water quality*. Denver (CO): Awwa Research Foundation.

IPCC (2014). 5th assessment report. Jiménez Cisneros et al (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York (NY): Intergovernmental Panel on Climate Change. 229–269.

IPCS (1994). *Assessing human health risks of chemicals: Derivation of guidance values for health-based exposure limits*. Geneva: World Health Organization, International Programme on Chemical Safety (Environmental Health Criteria 170).

- Isaacson M, Sayed AR, Hattingh W (1987). Studies on health aspects of water reclamation during 1974 to 1983 in Windhoek, South West Africa/Namibia. Report WRC 38/1/87 to the Water Research Commission, Pretoria.
- Isaacson M, Sayed AR, Hattingh W (1988). Health aspects of the use of recycled water in Windhoek, SWA/Namibia, 1974–1983. Diarrhoeal diseases and the consumption of reclaimed water. *South African Medical Journal*. 21:596–599.
- Jofre J and Blanch AR (2010). Feasibility of methods based on nucleic acid amplification techniques to fulfil the requirements for microbiological analysis of water quality. *Journal Applied Microbiology*. 109:1853–1867.
- Jones MK, Grau KR, Costantini V, Kolawole AO, de Graaf M, Freiden P, Graves CL, Koopmans M, Wallet SM, Tibbetts SA, Schultz-Cherry S, Wobus CE, Vinjé J, Karst SM (2015). Human norovirus culture in B cells. *Nature Protocols*. 10(12):1939–47.
- Keegan A, Wati S, Robinson B (2012). Chlor(am)ine disinfection of human pathogenic viruses in recycled waters. Smart Water Fund, SWF62M-2114. http://clearwater.asn.au/user-data/research-projects/swf-files/62m---2114-chlorine-disinfection-of-humanpathogenic-viruses-_final_report.pdf (accessed 20 May 2017).
- King B, Fanok S, Phillips R, Lau M, Young F, van den Akker B, Monis P (2017). Cryptosporidium attenuation across the wastewater treatment train: Recycled water fit for purpose. *Applied and Environmental Microbiology*. 83:e03068.
- Kommineni S, Zoeckler J, Stocking A, Liang S Flores A, Kavanaugh M (2000). Advanced oxidation processes in treatment technologies for removal of methyl tertiary butyl ether (MTBE) from drinking-water: A report written for the California MTBE Research Partnership. Melin G (ed.). National Water Research Institute. <http://www.nwri-usa.org/pdfs/TTChapter3AOPs.pdf> (accessed 20 May 2017).
- Krasner SW (2009). The formation and control of emerging disinfection by-products of health concern. *Philosophical Transactions Series A*. 367:4077–4095.
- Krasner SW, Westerhoff P, Chen BY, Rittmann BE, Amy G (2009). Occurrence of disinfection byproducts in United States wastewater treatment plant effluents. *Environmental Science & Technology*. 43(21):8320–8325.
- Kroes R, Kleiner J, Renwick A (2005). The threshold of toxicological concern concept in risk assessment. *Toxicological Sciences*. 86(2):226–230.
- Kroes R, Renwick A, Cheeseman M, Kleiner J, Mangelsdorf I, Piersma A, Schilterg B, Schlatter J, van Schothorste F, Vosf JG, Wurtzen G (2004). Structure-based thresholds of toxicological concern (TTC): Guidance for application to substances present at low levels in the diet. *Food and Chemical Toxicology*. 42: 65–83.
- Law IB (2008). The future direction for potable reuse. *Water*. 35(8):58–63.
- Law IB, Menge J, Cunliffe D (2015). Validation of the Goreangab Reclamation Plant in Windhoek, Namibia against the 2008 Australian guidelines for water recycling. *Journal of Water Reuse and Desalination*. 5:64–71.
- Laws BV, Dickenson ERV, Johnson TA, Snyder SA, Drewes JE (2011). Attenuation of contaminants of emerging concern during surfacespreading aquifer recharge. *Science of the Total Environment*. 409(6):1087–1094.
- Lazenby H (2011). UNFCCC endorses eMalahleni Water Reclamation Plant. *Mining Weekly*. 8 December 2011.
- Lee D.G, Roehrdanz PR, Feraud M, Ervin J, Anumol T, Jia A, Park M, Tamez C, Morelius EW, Gardea-Torresdey JL, Izbicki J, Means JC Snyder SA, Holden PA (2015). Wastewater compounds in urban

shallow groundwater wells correspond to exfiltration probabilities of nearby sewers. *Water Research*. 85:467–475.

Leusch FDL and Snyder SA (2015). Bioanalytical tools: Half a century of application for potable reuse. *Environmental Science: Water Research and Technology*. 1:606–621.

Leverenz HL, Tchobanoglous G, Asano T (2011). Direct potable reuse: A future imperative. *Journal of Water Reuse and Desalination*. 1:2–10.

Libânio M (2015). *Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água*. 3ª edição. Capítulo 6. Editora Átomo. 640 páginas.

Lodder WJ and de Roda Husman AM (2005). Presence of noroviruses and other enteric viruses in sewage and surface waters in the Netherlands. *Applied and Environmental Microbiology*. 71:1453–1461.

Lodder WJ, van den Berg HHJL, Rutjes SA, de Roda Husman AM (2010). Presence of enteric viruses in source waters for drinking-water production in the Netherlands. *Applied and Environmental Microbiology* 76:5065–5971.

Lopman B, Atmar R, Baric R, Estes M, Green K, Glass R, Hall A, Iturrizza-Gomara M, Kang C, Lee B, Parashar U, Riddle M, Vinje J (2015). Global burden of norovirus and prospects for vaccine development. Atlanta (GA): Centers for Disease Control and Prevention.

MacKenzie WR, Hoxie NJ, Proctor ME, Gradus MS, Blair KA, Peterson DE, Kazmierczak JJ, Addis DG, Fox KR, Rose JB, Davis JP (1994). A massive outbreak in Milwaukee of *Cryptosporidium* infection transmitted through the public water supply. *New England Journal of Medicine*. 331:161–167.

Mara D, Hamilton A, Sleight A, Karavarsamis N (2010). Discussion paper: Options for updating the 2006 WHO guidelines. In: *Using human waste safely for livelihoods, food production and health*. Geneva: World Health Organization. http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/human_waste/en/ (accessed 20 May 2017).

Marciano-Cabral F, Jamerson M, Kaneshiro (2010). Free-living amoebae, *Legionella* and *Mycobacterium* in tap water supplied by a municipal drinking-water utility in the USA. *Journal of Water and Health*. 8:71–82.

Mawhinney DB, Young RB, Vanderford BJ, Borch T, Snyder SA (2011). Artificial sweetener Sucralose in U.S. drinking-water systems. *Environmental Science & Technology*. 45(20):8716–8722.

Meiring and Partners (Consulting Engineers) (1982). *A guide for the planning, design and implementation of a water reclamation scheme*. Prepared for the Water Research Commission, Pretoria.

Merel S, Anumol T, Park M, Snyder SA (2015a). Application of surrogates, indicators, and high-resolution mass spectrometry to evaluate the efficacy of UV processes for attenuation of emerging contaminants in water. *Journal of Hazardous Materials*. 282:75–85.

Merel S, Nikiforov AI, Snyder SA (2015b). Potential analytical interferences and seasonal variability in diethyltoluamide environmental monitoring programs. *Chemosphere*. 127:238–245.

Messner MJ, Berger P, Nappier SP (2014). Fractional poisson – A simple dose-response model for human norovirus. *Risk Analysis*. 34:1820–1829.

Metcalf & Eddy, Inc. (2003). *Wastewater engineering: Treatment and reuse*, 4th edition. New York: McGraw-Hill.

Mey W, Naude C, Bloy S (2008). Management of the South Witbank Colliery decant: eMalahleni water reclamation plant's untold story. Water Institute of Southern Africa: Umhlanga, South Africa.

Moreira NA and Bondelind M (2017). Safe drinking water and waterborne outbreaks. *Journal Water and Health*. 15(1):83–96.

Mosher JJ, Vartanian GM, Tchobanoglous (2016). Potable reuse research compilation: Synthesis of findings. Alexandria (VA): Water Environment and Research Foundation. [http://www.nwri-usa.org/pdfs/Reuse-15-01-web-\(2\).pdf](http://www.nwri-usa.org/pdfs/Reuse-15-01-web-(2).pdf) (accessed 20 May 2017).

Munro IC, Renwick AG, Danielewska-Nikiel B (2008). The threshold of toxicological concern (TTC) in risk assessment. *Toxicology Letters*. 180(2):151–156.

Naidu T (2012). The eMalahleni Water Reclamation Project: A South African case study. Water Institute of Southern Africa: Umhlanga, South Africa.

Nancarrow BE, Leviston Z, Tucker DI (2009). Measuring the predictors of communities' behavioural decisions for potable reuse of wastewater. *Water Science and Technology*. 60(12):3199–3209.

NEA (2008). Environmental Public Health (Quality of Piped Drinking-water) Regulations 2008. National Environment Agency: Singapore. <http://www.nea.gov.sg/public-health/piped-drinking-water-quality> (accessed 23 May 2017).

Neale PA, Jämting ÅK, Escher BI, Herrmann J (2012). The fate of engineered nanomaterials in wastewater. Final Report WaterRA project 2025. Adelaide: Water Research.

Nellor MH, Baird RB, Smyth JR (1984). Health effects study. Final report. County Sanitation Districts of Los Angeles County.

Nelson ED, Do H, Lewis RS, Carr SA (2011). Diurnal variability of pharmaceutical, personal care product, estrogen and alkylphenol concentrations in effluent from a tertiary wastewater treatment facility. *Environmental Science & Technology*. 45(4):1228–1234.

NHMRC-NRMMC (2011). Australian Drinking Water Guidelines. National Health and Medical Research Council, National Resource Management Ministerial Council, Australian Government.

Nielsen E, Østergaard G, Larsen GC (2008). Toxicological risk assessment of chemicals: A practical guide. New York: Informa Healthcare.

NRC (1998). Issues in potable reuse. National Research Council. Washington (DC): National Academies Press.

NRC (2012). Water reuse: Potential for expanding the nation's water supply through reuse of municipal wastewater. National Research Council. Washington (DC): National Academies Press.

NRMMC-EPHC-NHMRC (2008). Australian Guidelines for Water Recycling: Managing health and environmental risks (Phase 2): Augmentation of drinking-water supplies. National Resource Management Ministerial Council, Environment Protection and Heritage Council, National Health and Medical Research Council, Australian Government.

NRMMC-EPHC-NHMRC (2006–2009). Australian guidelines for water recycling: Managing health and environmental risks. National Resource Management Ministerial Council, Environment Protection and Heritage Council, National Health and Medical Research Council, Australian Government.

NWRI (2013). Examining the criteria for direct potable reuse. National Water Research Institute independent advisory panel final report prepared for Trussell Technologies, Inc. under WateReuse Research Foundation project no. 11-02.

NWRI (2015). Framework for direct potable reuse, a National Water Research Institute independent advisory panel final report prepared for the WateReuse Association, co-sponsored by the American Water Works Association and the Water Environment Federation.

NWRI (2016). Final report of an NWRI independent advisory panel: Recommended DPR general guidelines and operational requirements for New Mexico. Fountain Valley (CA): National Water Research Institute. [http://www.nwri-usa.org/pdfs/New-Mexico-DPR-Panel-General-Report\(1\).pdf](http://www.nwri-usa.org/pdfs/New-Mexico-DPR-Panel-General-Report(1).pdf) (accessed 20 May 2017).

Olivieri AW, Crook J, Anderson MA, Bull RJ, Drewes JE, Haas CN, Jakubowski W, McCarty PL, Nelson KL, Rose JB, Sedlak DL, Wade TJ (2016). Expert panel final report: Evaluation of the feasibility of developing uniform water recycling criteria for direct potable reuse. Prepared August 2016 by the National Water Research Institute for the State Water Resources Control Board, Sacramento (CA).

ÖNORM (2001). Plants for disinfection of water using ultraviolet radiation – Requirements and testing: Low pressure mercury lamp plants. Austrian Standard 5873-1.

ÖNORM (2003). Plants for disinfection of water using ultraviolet radiation – Requirements and testing: Medium pressure mercury lamp plants. Austrian Standard 5873-2.

Onyango L, Leusch F, Leslie G, Wood JG (2015). Water quality and public health: Risks and prevention, health assessments and potable use case studies. Brisbane, Australia: Australian Water Recycling Centre of Excellence. <http://www.australianwaterrecycling.com.au/research-publications.html> (accessed 20 May 2017).

Ort C, Lawrence MG, Reungoat J, Mueller JF (2010). Sampling for PPCPs in wastewater systems: Comparison of different sampling modes and optimization strategies. *Environmental Science & Technology*. 44(16):6289–6296.

Pang L (2009). Microbial removal rates in subsurface media estimated from published studies of field experiments and large intact soil cores. *Journal of Environmental Quality*. 38:1531–1559.

Pecson B, Trussell RS, Pisarenko A, Trussell RR (2015). Achieving reliability in potable reuse: The Four Rs. *Journal of American Water Works Association*. 107(3):48–58.

Peet JR, Kippin SJ, Marshall JS, Marshall JM (2001). Water quality impacts from blending multiple water quality types. Denver (CO): Awwa Research Foundation.

Petterson S, Signor R, Ashbolt N, Roser D (2006.) Quantitative microbial risk assessment in the water safety plan. <https://www.kwrwater.nl/wp-content/uploads/2016/09/MICRORISK-FINAL-REPORT-Quantitative-microbial-risk-assessment-in-the-Water-Safety-Plan.pdf> (accessed 2 June 2017).

Pipe-Martin C, Reungoat J, Keller J (2010). Dissolved organic carbon removal by biological treatment. *Water Quality Research Australia Research Report* 76.

Pouillot R, Van Doren JM, Woods J, Plante D, Smith M, Goblick G, Roberts C, Locas A, Hajen W, Stobo J, White J, Holtzman J, Buenaventura E, Burkhardt III W, Catford A, Edwards R, DePaola A, Calcib KR (2015). Meta-analysis of the reduction of norovirus and male-specific coliphage concentrations in wastewater treatment plants. *Applied and Environmental Microbiology*. 81:4669–4681.

PUB (2002). Singapore Water Reclamation Study Expert Panel Review and Findings June 2002.

PUB (2016). Our water, our future. <http://www.pub.gov.sg> (accessed 23 May 2017).

PUB (2017). Singapore’s fifth NEWater plant opens. <http://www.pub.gov.sg> (accessed 23 May 2017).

Pype M-L, Alvarez de Eulate A, Arrigan D, Buseti F, Le-Clech P, Gernjak W (2015). Development of validation protocols for reverse osmosis membranes in water recycling. Brisbane, Australia: Australian Water Recycling Centre of Excellence. <http://www.australianwaterrecycling.com.au/research-publications.html> (accessed 20 May 2017).

Rattier M, Reungoat J, Gernjak W, Keller J (2012). Organic micropollutant removal by biological activated carbon filtration: A review. *Urban Water Security Research Alliance Technical Report* No. 53. <http://www.urbanwateralliance.org.au/publications/UWSRA-tr53.pdf> (accessed 20 May 2017).

Reclamation Technical Subcommittee (1973). Recommendations by the Technical Subcommittee. May 1973. Windhoek Reclamation Plant Technical Subcommittee Report. Windhoek, Namibia.

Redding AM, Cannon FS, Snyder SA, Vanderford BJ (2009). A QSAR-like analysis of the adsorption of endocrine disrupting compounds, pharmaceuticals, and personal care products on modified activated carbons. *Water Research*. 43(15):3849–3861.

Regli S, Rose JB, Haas CN, Gerba CP (1991). Modeling the risk from Giardia and viruses in drinking-water. *Journal AWWA*. 83(11):76–84.

Rice J and Westerhoff P (2015). Spatial and temporal variation in de facto wastewater reuse in drinking-water systems across the USA. *Environmental Science & Technology*. 49:982–989.

Rice J, Wutich A, Westerhoff P (2013). Assessment of de facto wastewater reuse across the US: Trends between 1980 and 2008. *Environmental Science & Technology* 47(19):11099–11105.

Ritter, Totman C, Krishnan K, Carrier R, Vezina A, Morisset V (2007). Deriving uncertainty factors for threshold chemical contaminants in drinking-water. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part B – Critical Reviews*. 10(7):527–557.

Robbins Jr MH (1993). Supplementing a drinking-water supply with reclaimed Water. *Proceedings AWWA Annual Conference and Exposition, San Antonio (TX)*.

Robbins Jr MH and Gunn GA (1979). Water reclamation for reuse in Northern Virginia. *Proceedings Water Reuse Symposium*. Denver (CO): AWWA.

de Roda Husman AM, Lodder, WJ, Rutjes SA, Schijven JF, Teunis PFM (2009). Long-term inactivation study of three enteroviruses in artificial surface and groundwaters, using PCR and cell culture. *Applied and Environmental Microbiology*. 75: 1050–1057.

Rodriguez RA, Pepper IL, Gerba CP (2009). Application of PCR-based methods to assess the infectivity of enteric viruses in environmental samples. *Applied and Environmental Microbiology*. 75:297–307.

Rodriguez C, Weinstein P, Cook A, Devine B, Van Buynder P (2007). A proposed approach for the assessment of chemicals in indirect potable reuse schemes. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A* 70(19):1654–1663.

Ruetten J (2004). Best practices for developing indirect potable reuse projects: Phase 1 report. Alexandria (VA): WaterReuse Foundation. 43–47.

Rutjes SA, Lodder WJ, Docters van Leeuwen A, de Roda Husman AM (2009). Detection of infectious rotavirus in naturally contaminated source waters for drinking-water production. *Journal Applied Microbiology*. 107:97–105.

Salveson A, Steinle-Darling E, Trussell S, Trussell B, McPherson L (2015). Guidelines for engineered storage for direct potable reuse. Final report to the WaterReuse Association, Alexandria (VA).

Schwab BW, Hayes EP, Fiori JM, Mastrocco FL, Roden NM, Cragin D, Meyerhoff RD, D’Aco VJ, Anderson PD (2005). Human pharmaceuticals in US surface waters: A human health risk assessment. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 42(3):296–312.

Scientiae (1967). Council for Scientific and Industrial Research monthly journal, Pretoria, 1967.

Scientiae (1969). Water reclamation in Windhoek. *Scientiae*, Council for Scientific and Industrial Research monthly journal, Pretoria, January 1969.

Seah H and Woo CH (2012). The multiple barrier safety approach for indirect potable use and direct nonpotable use of NEWater. 2012 Guidelines for water reuse. United States Environment Protection Agency (USEPA). EPA/625/R-04/108.

Sedmak G, Bina D, MacDonald J, Couillard L (2005). Nine-year study of the occurrence of culturable viruses in source water for two drinking-water treatment plants and the influent and effluent of a wastewater treatment plant in Milwaukee, Wisconsin (August 1994 through July 2003). *Applied and Environmental Microbiology*. 71:1042–1050.

Seitz SR, Leon JS, Schwab KJ, Lyon GM, Dowd M, McDaniels M, Abdulhafid G, Fernandez ML, Lindesmith LC, Baric RS, Moe CL (2011). Norovirus infectivity in humans and persistence in water. *Applied and Environmental Microbiology*. 77:6884–6888.

Sgroi M, Roccaro P, Oelker GL, Snyder SA (2015). N-Nitrosodimethylamine (NDMA) formation at an indirect potable reuse facility. *Water Research*. 70:174–183.

Sgroi M, Roccaro P, Oelker GL, Snyder SA (2016). N-Nitrosodimethylamine (NDMA) formation during ozonation of wastewater and water treatment polymers. *Chemosphere*. 144:1618–1623.

Singh S, Henderson RK, Baker A, Stuetz RM, Khan SJ (2012). Characterisation of reverse osmosis permeates from municipal recycled water systems using fluorescence spectroscopy: Implications for integrity monitoring. *Journal of Membrane Science*. 421–422:180–189.

Snyder SA (2014). Emerging chemical contaminants: Looking for better harmony. *Journal American Water Works Association*. 106(8):38–52.

Snyder SA, Adham S, Redding AM, Cannon FS, DeCarolis J, Oppenheimer J, Wert EC, Yoon Y (2007). Role of membranes and activated carbon in the removal of endocrine disruptors and pharmaceuticals. *Desalination*. 202:156–181.

Snyder SA, Leising J, Westerhoff P, Yoon Y, Mash H, Vanderford BJ (2004). Biological and physical attenuation of endocrine disruptors and pharmaceuticals: implications for water reuse. *Groundwater Monitoring & Remediation*. 24(2):108–118.

Snyder SA, Trenholm RA, Snyder EM, Bruce GM, Pleus RC, Hemming JDC (2008). Toxicological relevance of EDCs and pharmaceuticals in drinking-water. Denver (CO): Awwa Research Foundation.

Soller JA, Eftim SE, Warren I, Nappier SP (2016). Evaluation of microbiological risks associated with direct potable reuse. *Microbial Risk Analysis*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mran.2016.08.003>.

Stander GJ and Van Vuuren LRJ (1969). The reclamation of potable water from wastewater. *Journal Water Pollution Control Federation*. 41(3):355–367.

Steinle-Darling E, Salveson A, Sutherland J, Burch J, Womack J, Walker C (2015). Water quality testing at the Raw Water Production Facility in Big Spring, Texas paves the road for future direct potable reuse projects. Presented at WaterReuse California in Los Angeles (CA) on 17 March 2015.

Suffet IH and Rosefeld P (2007). The anatomy of odour wheels for odours of drinking water, wastewater, compost and the urban environment. *Water Science and Technology*. 55(5):335–344.

Swayne MD, Boone GH, Bauer D, Lee JS (1980). Wastewater in receiving waters at water supply abstraction points. United States Environment Protection Agency (USEPA). EPA-600/2-80-044.

SWCB (1971). A policy for wastewater treatment and water quality management in the Occoquan Watershed. Richmond (VA): Virginia State Water Control Board.

SWRCB (2013). Resolution No. 2013-0003. Recycled Water Policy Amendment. California State Water Resources Control Board. Sacramento (CA): California Environmental Protection Agency.

Tan YS, Lee TJ, Tan K (2008). Clean, green and blue: Singapore's journey towards environmental and water sustainability. Singapore: Institute of Southeast Asian Studies.

Tao GH, Kekre K, Qin JJ, Ting CL, Oo MH, Viswanath B, Seah H (2006). MBR-RO for high-grade water (NEWater) production from domestic used water. *Water Practice and Technology*. 1(2). DOI: 10.2166/wpt.2006.041.

Taylor, JS, Dietz JD, Randall AA, Hong SK, Norris CD, Mulford LA, Arevalo JM, Imran S, Puil ML, Liu S, Mutoti I, Tang J, Xiao W, Cullen C, Heaviside R, Mehta A, Patel M, Vasquez F, Webb D (2005). Effects of blending on distribution system water quality. Denver (CO): Awwa Research Foundation and Tampa Bay Water.

Taylor, JS, Dietz JD, Randall AA, Norris CD, Alshehri A, Arévalo J, Guan X, Lintereur P, MacNevin D, Stone E, Vaidya R, Zhao B, Glatthorn S, Shekhar A (2008). Control of distribution system water quality using inhibitors. Denver (CO): Awwa Research Foundation and Tampa Bay Water.

Teunis PFM, Moe CL, Liu P, Miller S E, Lindesmith L, Barie RS, Pendu J L, Calderon R L (2008). Norwalk virus: How infectious is it? *Journal of Medical Virology*. 80:1468–476.

Tchobanoglous G, Leverenz H, Nellor MH, Crook J (2011). Direct potable reuse: A path forward. Washington (DC): WaterReuse Research and WaterReuse California.

Tchobanoglous G, Cotruvo J, Crook J, McDonald E, Olivieri A, Salveson A, Trussell RS (2015). Framework for direct potable reuse (2015). Alexandria (VA): WaterReuse Research Foundation. Water Environment & Reuse Foundation report number Reuse-14-20.

Thompson T, Fawell J, Kunikane S, Jackson D, Appleyard S, Callan P, Bartram J and Kingston P (2007). Chemical safety of drinking-water: Assessing priorities for risk management. Geneva: World Health Organization.

Trussell RR, Salveson A, Snyder SA, Trussell RS, Gerrity D, Pecson BM (2013). Potable reuse: State of the science report and equivalency criteria for treatment trains. Alexandria (VA): WaterReuse Research Foundation.

TWDB (2015). Final report: Direct potable reuse resource document. Austin (TX): Texas Water Development Board.

UNDESA (2014). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights (ST/ESA/SER.A/352). New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division.

UNESCO (2017). The United Nations World Water Development Report 2017. Paris, France: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

UNSCEAR (2008). Sources and effects of ionizing radiation. Vol. 1. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. www.unscear.org/unscear/en/publications/2008_1.html (accessed 20 May 2017).

UOSA (2011). Upper Occoquan Service Authority. <http://www.uosa.org> (accessed 22 May 2017).

USEPA (1996). National drinking-water regulations and health advisories. EPA 822B96002. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency.

USEPA (1999). Alternative disinfectants and oxidants guidance manual. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency.

USEPA (2003). LT1ESTWR disinfection profiling and benchmarking technical guidance manual. Office of Water. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency.

USEPA (2005). Membrane filtration guidance manual. EPA 815-R-06-009. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency.

USEPA (2006a). National primary drinking-water regulations: Long term 2 enhanced surface water treatment rule: Final rule 40 CFR Parts 9, 141 and 142. Federal Register Vol. 71(3). Washington (DC): United States Environmental Protection Agency.

USEPA (2006b). Ultraviolet disinfection guidance manual for the long term 2 enhanced surface water treatment rule (LT2ESWTR). EPA 815-R-06-007. Office of Water. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency.

USEPA (2010). LT2ESWTR toolbox guidance manual. EPA 815-R-09-016. Office of Water. Washington (DC): Environmental Protection Agency.

USEPA (2011). Introduction to the National Pretreatment Program. UEP Agency. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency.

USEPA (2012a). Guideline for water reuse. Office of Wastewater Management, Office of Water. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency.

USEPA (2012b). Method 1623.1: Cryptosporidium and Giardia in Water by Filtration/IMS/FA. United States Environmental Protection Agency.

USEPA (2014). Table of regulated drinking-water contaminants. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/table-regulated-drinking-water-contaminants> (accessed 20 May 2017).

USEPA (2016). America recycles day 2016. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/recycle/america-recycles-day-2016> (accessed 20 May 2017).

Van Abel N, Schoen ME, Kissel JC, Meschke JS (2016). Comparison of risk predicted by multiple norovirus dose–response models and implications for quantitative microbial risk assessment. *Risk Analysis*. DOI: 10.1111/risa.12616.

Vanderford BJ, Drewes JE, Eaton A, Guo Y, Haghani A, Hoppe-Jones C, Schluesener M, Snyder SA, Ternes T, Wood CJ (2014). Results of an interlaboratory comparison of analytical methods for contaminants of emerging concern in water. *Analytical Chemistry*. 86(1):774–782.

Vanderford BJ, Drewes JE, Hoppe-Jones C, Eaton A, Haghani A, Guo Y, Snyder SA, Ternes T, Schluesener M and Wood CJ (2012). Evaluation of Analytical Methods for EDCs and PPCPs via Interlaboratory Comparison. Denver, Colorado: WaterReuse Research Foundation project no. 4167.

Virginia Tech (1994). A water quality assessment for the Occoquan Reservoir: EPA clean lakes diagnostic-feasibility study. Prepared by Occoquan Watershed Monitoring Laboratory, Department of Civil and Environmental Engineering, College of Engineering. Manassas (VA): Virginia Polytechnic Institute and State University (VPI).

Wang JL and Xu LJ (2012). Advanced oxidation processes for wastewater treatment: Formation of hydroxyl radical and application. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 42:251–325.

Water Corporation (2009). Water forever: Towards climate resilience. October 2009.

Water Corporation (2013). Groundwater replenishment trial final report. May 2013.

Water Research Australia (2013). Engineered nanomaterials in wastewater. www.waterra.com.au/publications/documentsearch/?download=543 (accessed 20 May 2017).

WaterVal (2016a). Membrane bioreactor validation protocol. <http://waterval.com.au/protocols/#> (accessed 20 May 2017).

WaterVal (2016b). Chlorine disinfection validation protocol. <http://waterval.com.au/protocols/#> (accessed 20 May 2017).

WaterVal (2016c). Reverse osmosis validation protocol. <http://waterval.com.au/protocols/#> (accessed 20 May 2017).

WEF and AWWA (2008). Using reclaimed water to augment potable water resources, 2nd edition. Alexandria (VA): Water Environment Federation.

WHO (1963). International Standards for Drinking-water. 2nd edition. Geneva: World Health Organization. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/205104/2/205104_eng.pdf?ua=1 (accessed 13 June 2017).

WHO (1975). Health effects relating to direct and indirect re-use of wastewater for human consumption. Technical Paper Series. The Hague, the Netherlands: World Health Organization.

WHO (1976). Surveillance of drinking-water quality. Geneva: World Health Organization. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/41802/1/WHO_MONO_63.pdf (accessed 14 July 2017).

WHO (1993). Guidelines for Drinking-water Quality, 2nd edition. Volume 1 – Recommendations. Geneva: World Health Organization http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gdwq2v1/en/ (accessed 2 June 2017).

WHO (2003). Emerging issues in water and infectious disease. Geneva: World Health Organization. http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/emergingissues/en/ (accessed 15 June 2017).

WHO (2006). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Vol. II Wastewater use in agriculture. Geneva: World Health Organization. http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gsuweg2/en/ (accessed 15 June 2017).

WHO (2012). Pharmaceuticals in drinking-water. Geneva: World Health Organization. http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/pharmaceuticals-in-drinking-water/en/(accessed 15 June 2017).

WHO (2014). Ebola virus disease. Key questions and answers concerning water, sanitation and hygiene. Geneva: World Health Organization. http://www.who.int/water_sanitation_health/WASH_and_Ebola.pdf (accessed 20 May 2017).

WHO (2015a). Sanitation safety planning: Manual for safe use and disposal of wastewater and excreta. Geneva: World Health Organization. http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/ssp-manual/en/ (accessed 15 June 2017).

WHO (2015b). A practical guide to auditing of water safety plans. Geneva: World Health Organization. http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/auditing-water-safety-plans/en/ (accessed 15 June 2017).

WHO (2015c). Antimicrobial resistance: An emerging water, sanitation and hygiene issue. Geneva: World Health Organization. http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/antimicrobial-resistance/en/ (accessed 20 May 2017).

WHO (2016a). Protecting surface water for health: Identifying, assessing and managing drinking-water quality risks in surface-water catchments. Geneva: World Health Organization. http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/pswh/en/ (accessed 20 May 2017).

WHO (2016b). Quantitative microbial risk assessment: Application for water safety management Geneva: World Health Organization. http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/qmra/en/ (accessed 16 June 2017).

WHO (2017a). Guidelines for Drinking-water Quality, 4th edition incorporating the first addendum. Geneva: World Health Organization. http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/drinking-water-quality-guidelines-4-including-1st-addendum/en/(accessed 20 May 2017).

WHO (2017b). Water quality and health – Review of turbidity: Information for regulators and water suppliers. Geneva: World Health Organization. http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/turbidity-technical-brief/en/ (accessed 20 May 2017).

WHO (2017c). Chemical mixtures in source water and drinking-water. Geneva: World Health Organization. http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/chemical-mixtures-in-water/en/index.html (accessed 20 June 2017).

World Water Assessment Programme (2009). The United Nations World Water Development Report 3: Water in a changing world. Paris, France: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization; London: Earthscan.

WRRF and NWRI (2013). Final report examining criteria for direct potable reuse. Recommendation of an independent NWRI advisory panel, WateReuse Research Foundation and National Water Research Institute. WRRF Product no. 11-02-1 and NWRI publication no. 2013-01. 16–22.

WSAA (2012). Australian sewage quality management guidelines. Water Services Association of Australia.

Xu Z, Godrej AN, Grizzard TJ (2007). The hydrologic calibration and validation of a complexly linked watershed-reservoir model for the Occoquan Watershed, Virginia. *Journal of Hydrology*. 345(3–4):167–183.

Yang J, Schneider OD, Jjemba PK, LeCevallier MW (2015). Microbial risk modeling for main breaks. *Journal American Water Works Association*. <http://dx.doi.org/10.5942/jawwa.2015.107.0010>.

Yu HW, Anumol T, Park M, Pepper I, Scheidler J, Snyder SA (2015). On-line sensor monitoring for chemical contaminant attenuation during UV/H₂O₂ advanced oxidation process. *Water Research*. 81:250–260.

Zareitalabad P, Siemens J, Hamer M, Amelung W (2013). Perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctanesulfonic acid (PFOS) in surface waters, sediments, soils and wastewater – A review on concentrations and distribution coefficients. *Chemosphere*. 91:725–732.