

Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos¹

*Ivanildo Hespanhol**

Resumo

Nas regiões áridas e semi-áridas, a água se tornou um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. Mesmo áreas com recursos hídricos abundantes, mas insuficientes para atender à demandas elevadas, experimentam conflitos de uso e sofrem restrições de consumo que afetam o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida. Nessas condições, reuso e conservação passaram a ser as palavras chave em termos de gestão, em regiões com baixa disponibilidade ou insuficiência de recursos hídricos. O reuso de água encontra, no Brasil, uma gama significativa de aplicações potenciais. O uso de efluentes tratados na agricultura, nas áreas urbanas, particularmente, para fins não potáveis, no atendimento da demanda industrial e na recarga artificial de aquíferos, se constitui em instrumento poderoso para restaurar o equilíbrio entre oferta e demanda de água em diversas regiões brasileiras. Cabe entretanto, institucionalizar, regulamentar e promover o reuso de água no Brasil, fazendo com que a prática se desenvolva de acordo com princípios técnicos adequados, seja economicamente viável, socialmente aceita, e segura, em termos de preservação ambiental e de proteção dos grupos de riscos envolvidos.

Palavras-chave: reuso, Brasil, usos.

Abstract

In arid and semi-arid regions water has become a limiting factor for urban, industrial and agricultural development. Even in areas with high availability, but where excessive demand is not satisfied, conflicts and restriction of uses occur, which may affect economic development and quality of life.

There is a large potential for water reuse in Brazil. The use of treated effluents in agriculture, in the urban setting, particularly for non-potable uses, for industrial purposes and for artificial aquifer recharge, has become a powerful tool to re-establish the equilibrium between offer and demand, in many regions of Brazil.

However, it is necessary to institutionalize, regulate and promote the reuse of water in Brazil providing that the practice is developed according to local technical criteria, is economical feasible, socially accepted and safe, in terms of environmental protection as well as with regard to the protection of groups at risk.

Key words: reuse, Brazil, use.

INTRODUÇÃO

A Agenda 21 (1994) dedicou importância especial ao reuso, recomendando aos países participantes da ECO, à implementação de políticas de gestão dirigidas para o uso e reciclagem de efluentes, inte-

grando proteção da saúde pública de grupos de risco, com práticas ambientais adequadas.

No Capítulo 21 – “Gestão ambientalmente adequada de resíduos líquidos e sólidos”, Área Programática B – “Maximizando o reuso e a reciclagem ambientalmente adequadas”, estabeleceu, como objetivos básicos: “vitalizar e ampliar os sistemas nacionais de reuso e reciclagem de resíduos”, e “tornar disponível informações, tecnologia e instrumentos de gestão apropriados para encorajar e tor-

¹ Artigo originalmente publicado na RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 7 n.4 Out/Dez 2002, 75-95.

* PhD em Engenharia – Universidade da Califórnia, doutor em Saúde Pública – Universidade de São Paulo. ivanhes@usp.br

nar operacional, sistemas de reciclagem e uso de águas residuárias”.

A prática de uso de águas residuárias também é associada, e suportiva, às seguintes áreas programáticas incluídas no capítulo 14 – “Promovendo a agricultura sustentada e o desenvolvimento rural”, capítulo 18 – “Proteção da qualidade das fontes de águas de abastecimento – Aplicação de métodos adequados para o desenvolvimento, gestão e uso dos recursos hídricos”, visando a disponibilidade de água “para a produção sustentada de alimentos e desenvolvimento rural sustentado” e “para a proteção dos recursos hídricos, qualidade da água e dos ecossistemas aquáticos”, e no capítulo 30, “Fortalecimento do papel do comércio e da indústria”.

Embora não exista, no Brasil, nenhuma legislação relativa, e nenhuma menção tenha sido feita sobre o tema na nova Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº.9.433 de 8 de janeiro de 1997), já se dispõe de uma primeira demonstração de vontade política, direcionada para a institucionalização do reuso. A “Conferência Interparlamentar sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente” realizada em Brasília, em dezembro de 1992, recomendou, sob o item Conservação e Gestão de Recursos para o Desenvolvimento (Parágrafo 64/B), que se enviasse esforços, em nível nacional, para “institucionalizar a reciclagem e reuso sempre que possível e promover o tratamento e a disposição de esgotos, de maneira a não poluir o meio ambiente”.

NECESSIDADE DE REUSO

Nas regiões áridas e semi-áridas, a água se tornou um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. Planejadores e entidades gestoras de recursos hídricos, procuram, continuamente, novas fontes de recursos para complementar a pequena disponibilidade hídrica ainda disponível. No polígono das secas do nosso nordeste, a dimensão do problema é ressaltada por um anseio, que já existe há 75 anos, para a transposição do rio São Francisco, visando o atendimento da demanda dos Estados não riparianos, da região semi-árida, situados ao norte e a leste de sua bacia de drenagem. Diversos países do oriente médio, onde a precipitação média oscila entre 100 e 200 mm por

ano, dependem de alguns poucos rios perenes e pequenos reservatórios de água subterrânea, geralmente localizados em regiões montanhosas, de difícil acesso. A água potável é proporcionada através de sistemas de desalinização da água do mar e, devido a impossibilidade de manter uma agricultura irrigada, mais de 50% da demanda de alimentos é satisfeita através da importação de produtos alimentícios básicos.

O fenômeno da escassez não é, entretanto, atributo exclusivo das regiões áridas e semi-áridas. Muitas regiões com recursos hídricos abundantes, mas insuficientes para satisfazer demandas excessivamente elevadas, também experimentam conflitos de usos e sofrem restrições de consumo, que afetam o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida. A bacia do Alto Tietê, que abriga uma população superior a 15 milhões de habitantes e um dos maiores complexos industriais do mundo, dispõe, pela sua condição característica de manancial de cabeceira, vazões insuficientes para a demanda da Região Metropolitana de São Paulo e municípios circunvizinhos. Esta condição, tem levado à busca incessante de recursos hídricos complementares de bacias vizinhas, que trazem, como consequência direta, aumentos consideráveis de custo, além dos evidentes problemas legais e político-institucionais associados. Esta prática tende a se tornar cada vez mais restritiva, face à conscientização popular, arregimentação de entidades de classe e ao desenvolvimento institucional dos comitês de bacias afetadas pela perda de recursos hídricos valiosos.

Nessas condições, o conceito de “substituição de fontes”, se mostra como a alternativa mais plausível para satisfazer a demandas menos restritivas, liberando as águas de melhor qualidade para usos mais nobres, como o abastecimento doméstico. Em 1985, o Conselho Econômico e Social das Nações Unidas (UNITED NATIONS, 1958), estabeleceu uma política de gestão para áreas carentes de recursos hídricos, que suporta este conceito: “a não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que toleram águas de qualidade inferior”.

As águas de qualidade inferior, tais como esgotos, particularmente os de origem doméstica, águas

de drenagem agrícola e águas salobras, devem, sempre que possível, ser consideradas como fontes alternativas para usos menos restritivos. O uso de tecnologias apropriadas para o desenvolvimento dessas fontes, se constitui hoje, em conjunção com a melhoria da eficiência do uso e o controle da demanda, na estratégia básica para a solução do problema da falta universal de água.

FORMAS POTENCIAIS DE REUSO

Através do ciclo hidrológico a água se constitui em um recurso renovável. Quando reciclada através de sistemas naturais, é um recurso limpo e seguro que é, através da atividade antrópica, deteriorada a níveis diferentes de poluição. Entretanto, uma vez poluída, a água

pode ser recuperada e reusada para fins benéficos diversos. A qualidade da água utilizada e o objeto específico do reuso, estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados e os custos de capital, operação e manutenção associados. As possibilidades e formas potenciais de reuso dependem, evidentemente, de características, condições e fatores locais, tais como decisão política, esquemas institucionais, disponibilidade técnica e fatores econômicos, sociais e culturais. A Figura 1 apresenta, esquematicamente, os tipos básicos de usos potenciais de esgotos tratados, que podem ser implementados, tanto em áreas urbanas como em áreas rurais (HESPANHOL, 1997).

Usos urbanos

No setor urbano, o potencial de reuso de efluentes é muito amplo e diversificado. Entretanto, usos que demandam água com qualidade elevada, requerem sistemas de tratamento e de controle avançados, podendo levar a custos incompatíveis com os benefícios correspondentes. De uma maneira geral, esgotos tratados podem, no contexto urbano, ser utilizados para fins potáveis e não potáveis.

Usos urbanos para fins potáveis

A presença de organismos patogênicos e de compostos orgânicos sintéticos na grande maioria dos efluentes disponíveis para reuso, principalmente naqueles oriundos de estações de tratamento de esgotos de grandes conurbações com polos industriais expressivos, classifica o reuso potável como uma alternativa associada a riscos muito elevados, tornando-o praticamente inaceitável. Além disso, os custos dos sistemas de tratamento avançados que seriam necessários, levariam à inviabilidade econômico-financeira do abastecimento público, não havendo, ainda, face às considerações anteriormente efetuadas, garantia de proteção adequada da saúde pública dos consumidores.

Entretanto, caso seja imprescindível implementar reuso urbano para fins potáveis, devem ser obedecidos os seguintes critérios básicos:

a) Utilizar apenas sistemas de reuso indireto

A Organização Mundial da Saúde não recomenda o reuso direto, visualizado como a conexão direta dos efluentes de uma estação de tratamento de esgotos a uma estação de tratamento de águas e, em seguida, ao sistema de distribuição.

Como reuso indireto, se compreende a diluição dos esgotos, após tratamento, em um corpo hídrico (lago, reservatório ou aquífero subterrâneo), no qual, após tempos de detenção relativamente longos, é efetuada a captação, seguida de tratamento adequado e posterior distribuição.

O conceito de reuso indireto implica, evidentemente, que o corpo receptor intermediário, seja um corpo hídrico não poluído, para, através de diluição adequada, reduzir a carga poluidora a níveis aceitáveis. A prática do reuso para fins potáveis, como efetuada em São Paulo, na qual a água do reservatório Billings, poluída por efluentes domésticos e industriais é revertida, sem nenhum tratamento, para o reservatório Guarapiranga, que também se encontra poluído por esgotos domésticos e por eleva-

das concentrações de cobre, utilizado para o controle de algas, não se classifica, portanto, como reuso indireto.

b) Utilizar exclusivamente esgotos domésticos

Devido à impossibilidade de identificar adequadamente a enorme quantidade de compostos de alto risco, particularmente micro-poluentes orgânicos, presentes em efluentes líquidos industriais, mananciais que recebem, ou receberam, durante períodos prolongados, esses efluentes, são, "a priori", desqualificados para a prática de reuso para fins potáveis. O reuso, para fins potáveis, só pode ser praticado, tendo como matéria prima básica, esgotos exclusivamente domésticos.

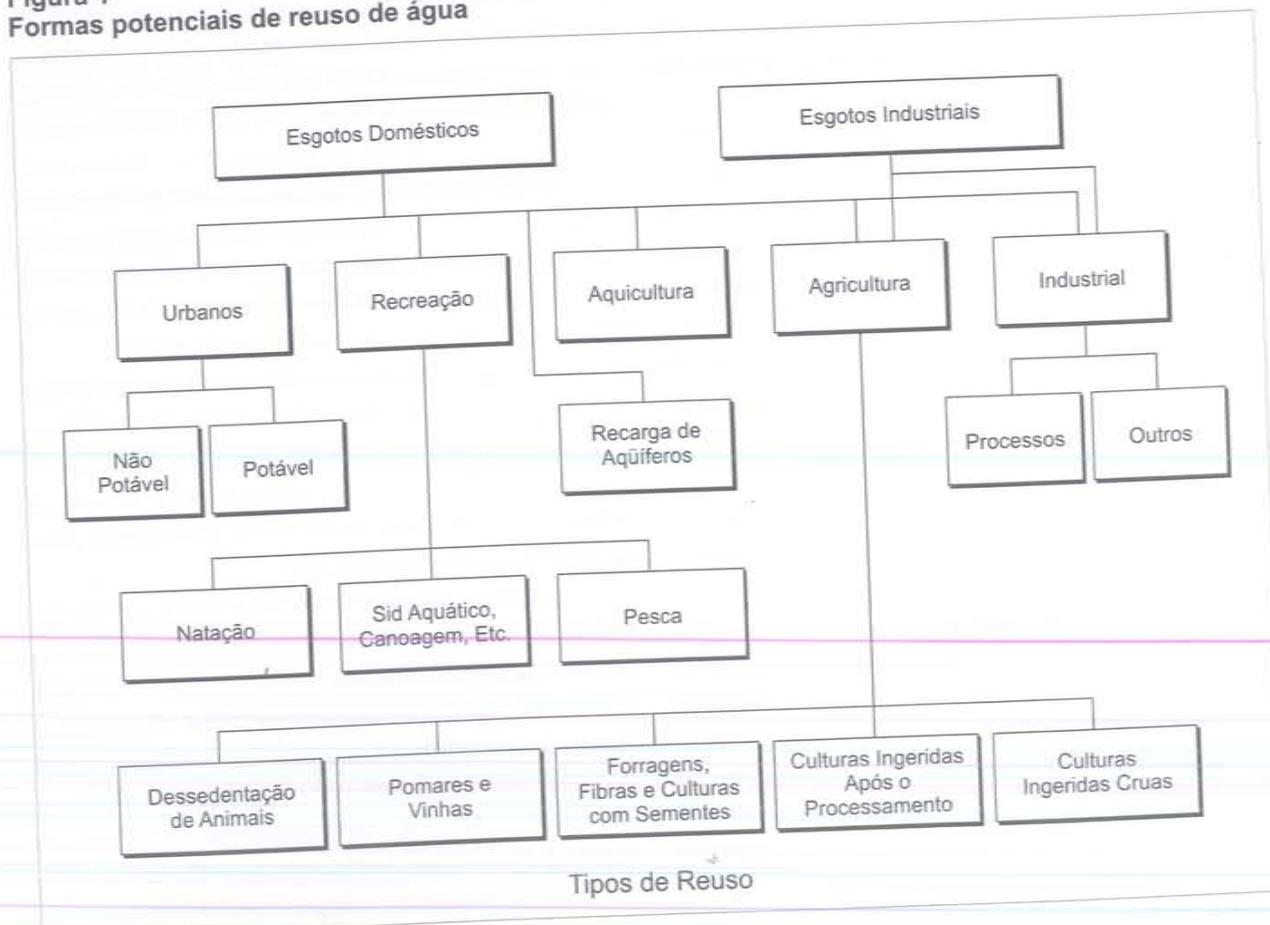
Na República da Namíbia por exemplo, que vem tratando esgotos exclusivamente domésticos para fins potáveis, os esgotos industriais são coletados em rede separada e tratados independente-

mente (VAN der MERWE; PETERS; MENGE, 1994). Além disso, um controle intensivo é efetuado pela municipalidade, para evitar a descarga, mesmo acidental, de efluentes industriais ou compostos químicos de qualquer espécie, no sistema de coleta de esgotos domésticos.

c) Empregar barreiras múltiplas nos sistemas de tratamento

Os elevados riscos associados à utilização de esgotos, mesmo domésticos, para fins potáveis, exigem cuidados especiais para assegurar proteção efetiva e permanente dos consumidores. Os sistemas de tratamento a serem implementados, devem possuir unidades de tratamento suplementares, além daquelas teoricamente necessárias. Por exemplo, quando se visualisa a necessidade do emprego de ozona com o objetivo de efetuar a oxidação de micropoluentes orgânicos, pode-se, também, acres-

Figura 1
Formas potenciais de reuso de água



Fonte: Hespagnol, 1997

centar sistemas de carvão ativado, que operariam como uma segunda barreira, para atingir o mesmo objetivo. É recomendável, quando possível, reter os esgotos já tratados, em aquíferos subterrâneos, por períodos prolongados, antes de se encaminhar a água para abastecimento público.

No caso da República da Namíbia, antes referido, esgotos exclusivamente domésticos, coletados na cidade de Windhoek, são inicialmente tratados na Gammams Sewage Treatment Works, que consta de grades, caixas de areia, decantadores primários e sistema de lodos ativados, seguido de lagoas de maturação. O efluente da estação de Gammams é encaminhado à Goreangab Reclamation Plant, para a fase de potabilização dos efluentes domésticos tratados. Esta estação consta de pré-ozonização, coagulação-floculação em primeiro estágio, flotação com ar dissolvido, adsorção em carvão ativado em pó, coagulação-floculação em segundo estágio, sedimentação, filtros rápidos de areia, ozonização, remoção de ar e reciclagem de ozona, adsorção em carvão ativado granular, cloração ao breakpoint, correção de pH com cal e armazenamento da água potável em lençol freático, por longos períodos, de onde é, posteriormente, removida através de poços de recuperação e introduzida no sistema de abastecimento público de Windhoek.

Esse sistema vem operando desde outubro de 1968, e os estudos epidemiológicos realizados até o presente, demonstraram que as doenças transmissíveis prevalentes no país (doenças diarreicas e Hepatite A) não são associadas à água reciclada, que abastece a cidade.

d) Adquirir aceitação pública e assumir as responsabilidades pelo empreendimento

Os programas de reuso para fins potáveis devem ser, desde a fase de planejamento, motivo de ampla divulgação e discussão com todos os setores da população concernente. Para a implementação, deve haver aceitação pública da proposta de

reuso. Por outro lado, as responsabilidades técnica, financeira e moral, que cabem às entidades encarregadas do planejamento, implementação e gestão do sistema de reuso, devem ser explicitamente reconhecidas e assumidas.

Usos urbanos para fins não potáveis

Os problemas associados ao reuso urbano não potável são, principalmente, os custos elevados de sistemas duplos de distribuição, dificuldades operacionais e riscos potenciais de ocorrência de conexões cruzadas

Os usos urbanos não potáveis envolvem riscos menores e devem ser considerados como a primeira opção de reuso na área urbana. Entretanto, cuidados especiais devem ser tomados quando ocorre contato direto do público com gramados de parques, jardins, hotéis, áreas turísticas e campos de esporte. Os maiores potenciais de reuso são os que empregam esgotos tratados para:

- irrigação de parques e jardins públicos, centros esportivos, campos de futebol, quadras de golfe, jardins de escolas e universidades, gramados, árvores e arbustos decorativos ao longo de avenidas e rodovias;
- irrigação de áreas ajardinadas ao redor de edifícios públicos, residenciais e industriais;
- reserva de proteção contra incêndios;
- controle de poeira em movimentos de terra, etc.;
- sistemas decorativos aquáticos tais como fontes e chafarizes, espelhos e quedas d'água;
- descarga sanitária em banheiros públicos e em edifícios comerciais e industriais;
- lavagem de trens e ônibus públicos.

Os problemas associados ao reuso urbano não potável são, principalmente, os custos elevados de sistemas duplos de distribuição, dificuldades operacionais e riscos potenciais de ocorrência de conexões cruzadas. Os custos, entretanto, devem ser considerados em relação aos benefícios de conservar água potável e de, eventualmente, adiar ou eliminar a necessidade de desenvolvimento de novos mananciais, para abastecimento público.

Diversos países da Europa, assim como os países industrializados da Ásia, localizados em regiões de escassez de água, exercem, extensivamente, a

prática de reuso urbano não potável. Entre esses, o Japão vem utilizando efluentes secundários para diversas finalidades. Em Fukuoka, uma cidade com aproximadamente 1,2 milhões de habitantes, situada no sudoeste do Japão, diversos setores operam com rede dupla de distribuição de água, uma das quais com esgotos domésticos tratados em nível terciário (lodos ativados, desinfecção com cloro em primeiro estágio, filtração, ozonização, desinfecção com cloro em segundo estágio), para uso em descarga de toaletes em edifícios residenciais. Esse efluente tratado é também utilizado para outros fins, incluindo irrigação de árvores em áreas urbanas, para lavagem de gases, e alguns usos industriais, tais como resfriamento e desodorização (SANO; MIURA, 1990). Diversas outras cidades do Japão, entre as quais Ooita, Aomori e Tokio, estão fazendo uso de esgotos tratados ou de outras águas de baixa qualidade, para fins urbanos não potáveis, proporcionando uma economia significativa dos escassos recursos hídricos localmente disponíveis (NARUMI, 1987; GONOHE, 1987; MATZUSAKI, 1987).

a) Usos industriais

Os custos elevados da água industrial associados às demandas crescentes, têm levado as indústrias a avaliar as possibilidades internas de reuso e a considerar ofertas das companhias de saneamento para a compra de efluentes tratados, a preços inferiores aos da água potável dos sistemas públicos de abastecimento. A "água de utilidade" produzida através de tratamento de efluentes secundários e distribuída por adutoras que servem um agrupamento significativo de indústrias, constitui-se, atualmente, em um grande atrativo para abastecimento industrial a custos razoáveis. Em algumas áreas da região metropolitana de São Paulo, o custo da água posta à disposição da indústria está em torno de oito reais por metro cúbico, enquanto que a água de utilidades apresenta um custo marginal por metro cúbico pouco superior a quatro reais. Este custo varia, evidentemente, com as condições locais, tanto em termo dos níveis de tratamento adicionais necessários, como aqueles relativos aos sistemas de distribuição. A proximidade de estações de tratamento de esgotos às áreas de

grande concentração industrial contribui para a viabilização de programas de reuso industrial, uma vez que permite adutoras e custos unitários de tratamento menores.

Os usos industriais que apresentam possibilidade de serem viabilizados em áreas de concentração industrial significativa são basicamente os seguintes:

- torres de resfriamento como água de make-up;
- caldeiras;
- construção civil, incluindo preparação e cura de concreto, e para compactação do solo;
- irrigação de áreas verdes de instalações industriais, lavagens de pisos e alguns tipos de peças, principalmente na indústria mecânica;
- processos industriais.

Dentro do critério de estabelecer prioridades para usos que já possuam demanda imediata e que não exijam níveis elevados de tratamento, é recomendável concentrar a fase inicial do programa de reuso industrial, em torres de resfriamento.

Esgotos domésticos tratados têm sido amplamente utilizados como água de resfriamento em sistemas com e sem recirculação. Os esgotos apresentam uma pequena desvantagem em relação às águas naturais, pelo fato de possuírem temperatura um pouco mais elevada. Em compensação, a oscilação de temperatura é muito menor nos esgotos domésticos do que em águas naturais.

Embora corresponda a apenas 17% da demanda de água não potável pelas indústrias, o uso de efluentes secundários tratados, em sistemas de refrigeração, tem a vantagem de requerer qualidade independente do tipo de indústria, e a de atender, ainda, a outros usos menos restritivos, tais como lavagem de pisos e equipamentos, e como água de processo em indústrias mecânicas e metalúrgicas. Além disso, a qualidade de água adequada para resfriamento de sistemas semi-abertos, é compatível com outros usos urbanos, não potáveis, tais como irrigação de parques e jardins, lavagem de vias públicas, construção civil, formação de lagos para algumas modalidades de recreação e para efeitos paisagísticos. Os sistemas de tratamento para reuso em unidades de refrigeração semi-abertos, por exemplo, são relativamente simples, devendo produzir

efluentes capazes de evitar corrosão ou formação de depósitos, crescimento de microrganismos, formação excessiva de espuma e deslignificação de torres de resfriamento, construídas em madeira. Outras indústrias, que podem ser consideradas nas fases posteriores na implementação de um programa metropolitano de reuso, incluem água para produção de vapor, para lavagem de gases de chaminés, e para processos industriais específicos, tais como manufatura de papel e papelão, indústria têxtil, de material plástico e produtos químicos, petroquímicas, cortumes, construção civil, etc. Essas modalidades de reuso, envolvem sistemas de tratamento avançados e demandam, conseqüentemente, níveis de investimento elevados.

Reuso e conservação devem, também, ser estimulados nas próprias indústrias, através de utilização de processo industriais e de sistemas de lavagem com baixo consumo de água, assim como em estações de tratamento de água para abastecimento público, através da recuperação e reuso das águas de lavagem de filtros e de decantadores.

Na Região Metropolitana de São Paulo existe um grande potencial para uso de efluentes das estações de tratamento de esgotos em operação, para fins industriais. A estação de tratamento de esgotos de Barueri poderia abastecer, com efluentes tratados, uma área industrial relativamente importante, distribuída em Barueri, Carapicuíba, Osasco, e o setor industrial, ao longo do Rio Cotia, nas imediações da rodovia Raposo Tavares. Da mesma maneira, a estação de Suzano poderia abastecer indústrias concentradas nas regiões de Poá, Suzano e, eventualmente, de Itaquaquecetuba e Mogi das Cruzes.

b) Recarga de aquíferos

Aquíferos subterrâneos são, em níveis diversos, realimentados através de zonas ou áreas de recarga, ou diretamente, através de irrigação ou precipitações, o que, eventualmente, pode resultar em poluição de suas águas. A engenharia de recursos hídricos desenvolveu, com a finalidade de aumentar a disponibilidade de água e, eventualmente, de resolver problemas localizados, a tecnologia de recarga artificial, utilizando efluentes adequadamente tratados (CROOK *et al.*, 1992; IDELOVITCH; MICHAIL; MEDY, 1984).

Esta modalidade de recarga de aquíferos é direcionada para os seguintes objetivos:

- proporcionar tratamento adicional de efluentes;
- aumentar a disponibilidade de água em aquíferos potáveis ou não potáveis;
- proporcionar reservatórios de água para uso futuro;
- prevenir subsidência do solo;
- prevenir a intrusão de cunha salina, em aquíferos costeiros.

A infiltração e percolação de efluentes tratados se beneficia da capacidade natural de biodegradação e filtração dos solos, proporcionando um tratamento in situ e permitindo, em função do tipo de efluente considerado, dos métodos de recarga, de condições hidrogeológicas e dos usos previstos, eliminar a necessidade de sistemas de tratamento avançados. A recarga contribui para a perda de identidade entre efluentes tratados e a água subterrânea, reduzindo o impacto psicológico do reuso para fins benéficos diversos.

Além disso, os aquíferos subterrâneos se constituem em reservatórios naturais e em elementos de transporte de efluentes tratados. Alguns usos de água, que apresentam demanda sazonal, requerem grandes reservatórios para armazenamento ou métodos alternativos de descargas nos períodos de baixa demanda. Esses reservatórios, além de demandarem grandes áreas de instalações e de serem inviáveis economicamente, estão associados a perdas por evaporação, blooms de algas e deterioração da qualidade das águas que armazenam. Os reservatórios subterrâneos operam como sistemas de distribuição naturais, eliminando os custos relativos às instalações de transporte de efluentes tratados.

A subsidência de solos, definida como "movimento para baixo ou afundamento do solo causado pela perda de suporte subjacente" se constitui em problema relevante em áreas onde ocorre excessivo bombeamento de aquíferos.

O bombeamento excessivo de água subterrânea de aquíferos adjacentes a áreas costeiras pode provocar a intrusão de água salina, tornando-os inadequados como fontes de água potável ou para outros usos que não toleram salinidade eleva-

da. Baterias de poços de injeção são construídos em áreas críticas, criando barreiras para evitar a intrusão salina. Efluentes tratados são injetados nos aquíferos confinados, estabelecendo um gradiente hidráulico no sentido do mar, que previne a penetração de água salgada no aquífero.

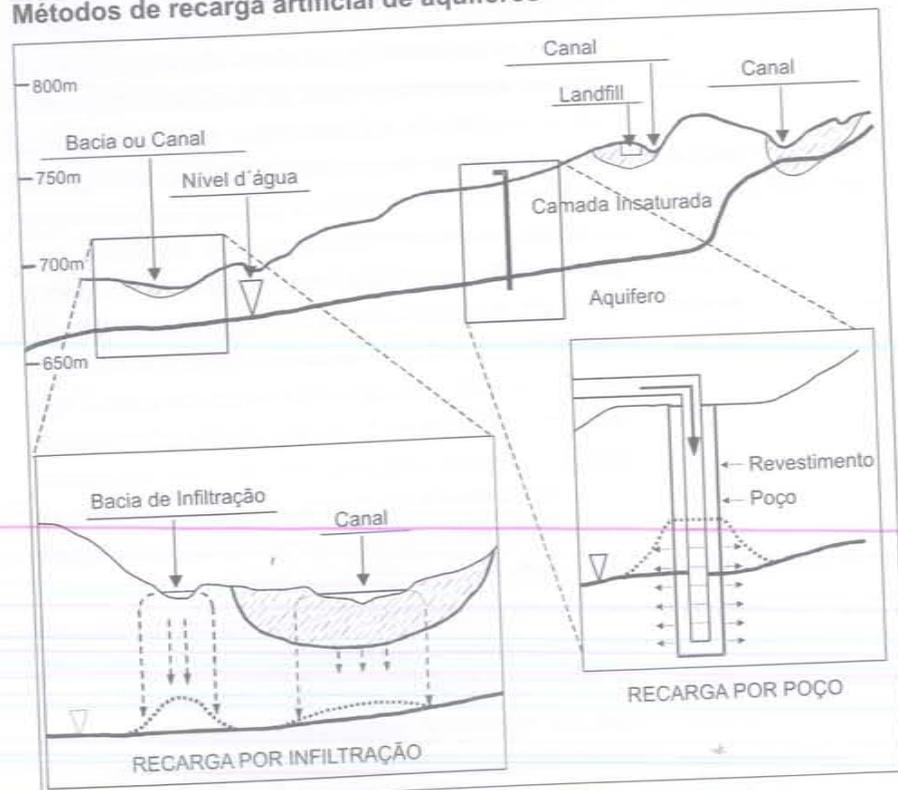
c) Métodos de recarga artificial de aquíferos (Light, 2000)

Há dois métodos básicos para se processar a recarga de aquíferos (Figura 2):

- poços de injeção;
- infiltração superficial utilizando bacias ou canais de infiltração.

A recarga através de poços de injeção requer a construção de poços projetados especificamente para esta finalidade, estendendo-se através da camada insaturada até o aquífero. Os custos envolvidos são significativamente elevados tanto no que se refere à construção do poço quanto em relação

Figura 2 Métodos de recarga artificial de aquíferos



Fonte: Light, 2000

aos níveis de tratamento necessários para a proteção da qualidade de água do aquífero.

Entretanto, onde condições hidrogeológicas permitem, a recarga efetuada em instalações superficiais de infiltração, tais como bacias ou canais de infiltração, pode-se obter níveis de tratamento consideráveis, devido ao movimento dos efluentes através do solo, camada insaturada e no próprio aquífero. Este é o sistema designado Tratamento Solo Aquífero, ou TSA, que vem sendo empregado com sucesso em diversas partes do mundo (Região do Dan em Israel, Chipre, Estados Unidos nos Estados de Arizona, Califórnia, Nevada, etc.) (BOUWER; RICE, 1989; BOUWER, 1991; FOSTER; GALÉ; HESPANHOL, 1994; HESPANHOL, 1993; TUCSON WATER, 1988; TUCSON WATER, 1999). A Tabela 1 (CRITES, 1985) mostra os resultados obtidos no sistema TSA de Phoenix, Arizona, cuja bacia de infiltração foi construída no leito do Salt River. Dados do sistema TSA para reuso agrícola, que opera na Região do Dan, comprovam a elevada eficiência na remoção de compostos e íons específicos, prejudiciais às culturas irrigadas com as águas bombeadas do aquífero, alimentado artificialmente com esgotos tratados (HESPANHOL, 1993).

Os custos associados aos sistemas TSA são, em média, inferiores a 40% dos custos de sistemas de tratamento convencionais equivalentes, operando na superfície.

Os sistemas TSA proporcionam níveis de tratamento elevados em termos de compostos orgânicos (remoção de DBO, DQO, CODT), organismos patogênicos (coliformes fecais, criptosporídeos, giardia e vírus) e compostos inorgânicos (nitrogênio e metais pesados) (HAFFER; ARNOLD; LANSEY; CHIPELLO, 2001; ARNOLD; QUANRUD, 1998).

Tabela 1 Qualidade da água no TSA de Phoenix Arizona

Variáveis	Efluente secundário (mg/l)	Amostras do aquífero (mg/l)
Sólidos Dissolvidos Totais	750	790
Sólidos Suspensos	11	1
Amônia	16	0,1
Nitrato	0,5	5,3
Nitrogênio orgânico	1,5	0,1
Fosfato	5,5	0,4
Fluoreto	1,2	0,7
Boro	0,6	0,6
DBO	12	1
TOC	12	1,9
Zinco	0,19	0,03
Cobre	0,12	0,016
Cádmio	0,008	0,007
Chumbo	0,082	0,066
Coliformes Fecais/100 ml(a)	3500	0,3
Vírus, ufp/100 ml(b)	2118	1

Fonte: Crites, 1985

b) Possibilidade de empregar o sistema TSA (City of Tucson's 2001, Tucson water & Malcolm Pimie, 1999, City of Scottsdale 2000, Van Genuchten, 1980)

Algumas condições hidrogeológicas são favoráveis para permitir a recarga artificial de esgotos domésticos tratados através do sistema TSA. As condições consideradas ideais são associadas aos seguintes fatores:

- solos permeáveis com taxas de infiltração razoáveis;
- camada insaturada com espessura suficiente para estocar o volume de recarga necessário;
- ausência de camadas impermeáveis que causem excessiva acumulação dos volumes infiltrados antes de atingir o aquífero;
- distribuição granulométrica na camada insaturada superior que suporte a prática do sistema TSA;
- coeficientes de transmissividade que não causem retenção excessiva de água no aquífero;
- aquífero não confinado.

Os parâmetros locais que devem ser caracterizados para dar suporte ao projeto de recarga são basicamente os seguintes: tipos de solos, perfil

litológico da camada insaturada e do aquífero, níveis de água, gradiente regional, localização e volumes estimados da recarga natural, características de poços e bombeamentos existentes, parâmetros do aquífero (transmissividade e vazão específica), características de qualidade da água do aquífero em termos dos principais cátions e ânions, poluição existente ou potencial oriunda de aterros ou quaisquer outras fontes e quaisquer outros contaminantes do solo, que possam ser lixiviados durante a recarga.

A recarga artificial de aquíferos poderá vir a se constituir em benefício duplo a alguns municípios que utilizam aquíferos subterrâneos para abastecimento público. A crescente redução da recarga natural, devido ao aumento significativo da impermeabilização do solo urbano, vem causando o abaixamento de níveis freáticos em áreas de grande demanda. A possibilidade de recarga artificial com esgotos tratados, através do sistema TSA, poderia, além de permitir a disposição adequada de efluentes domésticos, contribuir para a manutenção dos níveis freáticos, facilitando, assim, também o abastecimento público.

Usos agrícolas

Face às grandes vazões envolvidas, (chegando a até 80% do uso consuntivo, em alguns países), especial atenção deve ser atribuída ao reuso para fins agrícolas. No Brasil esta porcentagem chega muito próxima a 70%, devendo merecer a atenção dos tomadores de decisão, quando forem decididas as prioridades para reuso.

A agricultura depende, atualmente, de suprimento de água em um nível tal que a sustentabilidade da produção de alimentos não poderá ser mantida, sem o desenvolvimento de novas fontes de suprimento e a gestão adequada dos recursos hídricos convencionais. Esta condição crítica é fundamentada no fato de que o aumento da produção, não pode mais ser efetuado através da mera expansão de terra cultivada. Com poucas exceções, tais como áreas significativas do nordeste brasileiro, que vêm sendo recuperadas para uso agrícola, a terra arável, em nível mundial, se aproxima muito rapidamente de seus limites de expansão. A Índia

já explorou praticamente 100% de seus recursos de solo arável, enquanto que Bangladesh dispõe de apenas 3% para expansão lateral. O Paquistão, as Filipinas e a Tailândia, ainda têm um potencial de expansão de aproximadamente 20%. A taxa global de expansão de terra arável diminuiu de 0,4% durante a década 1970-1979 para 0,2%, durante o período 1980-1987. Nos países em vias de desenvolvimento e em estágio de industrialização acelerada, a taxa de crescimento também caiu de 0,7% para 0,4% (WORLD BANK, 1990, FAO, 1987 e 1988).

Durante as duas últimas décadas, o uso de esgotos para irrigação de culturas aumentou, significativamente, devido aos seguintes fatores (HESPANHOL, 1994).

- dificuldade crescente de identificar fontes alternativas de águas para irrigação;
- custo elevado de fertilizantes;
- a segurança de que os riscos de saúde pública e impactos sobre o solo são mínimos, se as precauções adequadas são efetivamente tomadas;
- os custos elevados dos sistemas de tratamento, necessários para descarga de efluentes em corpos receptores;
- a aceitação sócio-cultural da prática do reuso agrícola;
- o reconhecimento, pelos órgãos gestores de recursos hídricos, do valor intrínseco da prática.

Estima-se que, na região do Alto Tietê, a jusante do Reservatório de Ponte Nova, até às imediações de Guarulhos, poder-se-ia, com o atendimento da demanda agrícola através dos esgotos coletados dos municípios da região, dispor de aproximadamente três metros cúbicos por segundo adicionais, de água de boa qualidade, para abastecimento público.

Tabela 2
Aumento da produtividade agrícola (ton/ha/ano) possibilitada pela irrigação com esgotos domésticos

Irrigação efetuada com	Trigo 8 anos*	Feijão 5 anos*	Arroz 7 anos*	Batata 4 anos*	Algodão 3 anos*
Esgoto bruto	3,34	0,90	2,97	23,11	2,56
Efluente primário	3,45	0,87	2,94	20,78	2,30
Efluente de lagoa de estabilização	3,45	0,78	2,98	22,31	2,41
Água + NPK	2,70	0,72	2,03	17,16	1,70

* Número de anos para cálculo da produtividade média.
Fonte: Shende, 1985

Na região da influência da ETE Suzano, por exemplo, existe uma grande área de uso agrícola, irrigada com água de qualidade elevada. Esta área se concentra, particularmente ao longo do Rio Taiaçupeba e dista, aproximadamente, oito quilômetros da ETE Suzano. É muito provável, entretanto, que a elevada concentração de efluentes industriais recebidos na ETE Suzano, torne os seus efluentes incompatíveis para o reuso agrícola.

A aplicação de esgotos no solo é uma forma efetiva de controle da poluição e uma alternativa viável para aumentar a disponibilidade hídrica em regiões áridas e semi-áridas. Os maiores benefícios dessa forma de reuso, são os associados aos aspectos econômicos, ambientais e de saúde pública.

Benefícios econômicos do reuso agrícola (Forero, 1993)

Os benefícios econômicos são auferidos graças ao aumento da área cultivada e ao aumento da produtividade agrícola, os quais são mais significativos em áreas onde se depende apenas de irrigação natural, proporcionada pelas águas de chuvas. Um exemplo notável de recuperação econômica, associada à disponibilidade de esgotos para irrigação é o caso do Vale de Mesquital, no México, onde a renda agrícola aumentou de quase zero no início do século, quando os esgotos da cidade do México foram postos à disposição da região, até aproximadamente quatro milhões de dólares americanos por hectare, em 1990.

Estudos efetuados em diversos países demonstraram que a produtividade agrícola aumenta significativamente Tabela 2. Aumento da produtividade agrícola (ton/ha/ano) possibilitada pela irrigação com esgotos domésticos em sistemas de irrigação com

esgotos adequadamente administrados. A Tabela 2 mostra os resultados experimentais efetuados em Nagpur, Índia, pelo Instituto Nacional de Pesquisas de Engenharia Ambiental (NEERI), que investigou os efeitos da irrigação com esgotos, sobre as culturas produzidas (SHENDE, 1985).

Efluentes de sistemas convencionais de tratamento, tais como lodos ativados, têm uma concentração típica de 15 mg/litro de N total e 3 mg/litro de P total, proporcionando, portanto, às taxas usuais de irrigação em zonas semi-áridas (aproximadamente dois metros por ano), uma aplicação de N e P de 300 e 60 kg/ha/ano, respectivamente. Essa aplicação de nutrientes reduz, substancialmente, ou mesmo elimina, a necessidade do emprego de fertilizantes comerciais. Além dos nutrientes (e dos micronutrientes, não disponíveis em fertilizantes sintéticos), a aplicação de esgotos proporciona a adição de matéria orgânica, que age como um condicionador do solo, aumentando a sua capacidade de reter água (WHO, 1989).

O aumento de produtividade não é, entretanto, o único benefício, uma vez que se torna possível ampliar a área irrigada e, quando as condições climáticas permitem, efetuar colheitas múltiplas, praticamente ao longo de todo o ano (BARTONE, ARLO-SOROFF, 1987).

A prática de aquicultura fertilizada com esgotos ou excreta também representa uma fonte de receita substancial em diversos países, entre os quais Bangladesh, Índia, Indonésia e Perú. O sistema de lagoas, operando há muitas décadas em Calcutá, é o maior sistema existente atualmente, utilizando apenas esgotos, como fonte de alimentos para a produção de peixes. Dados de 1987 (Edwards, 1992), indicam uma área total de lagoas com aproximadamente 3.000 hectares, e uma produção anual entre 4 e 9 ton/hectare, que supre quase que exclusivamente o mercado local. Outros elementos sobre os benefícios econômicos da aquicultura fertilizada com excreta ou esgotos, podem ser encontrados na literatura especializada (BARTONE, 1985; BARTONE; MOSCOSO; NAVA, 1990; IKRAMULLAH, 1994).

Benefícios ambientais e à saúde pública

Sistemas de reuso adequadamente planejados

e administrados, trazem melhorias ambientais e de condições de saúde, entre as quais:

- evita a descarga de esgotos em corpos de água;
- preserva recursos subterrâneos, principalmente em áreas onde a utilização excessiva de aquíferos provoca intrusão de cunha salina ou subsidência de terrenos;
- permite a conservação do solo, através da acumulação de "humus" e aumenta a resistência à erosão;
- contribui, principalmente em países em desenvolvimento, para o aumento da produção de alimentos, elevando, assim os níveis de saúde, qualidade de vida e condições sociais de populações associadas aos esquemas de reuso;

Apesar disso, alguns efeitos detrimenais podem ocorrer em associação com o uso de esgotos na irrigação. Um efeito potencialmente negativo é a poluição, particularmente por nitratos, de aquíferos subterrâneos, utilizados para abastecimento de água. Isso ocorre quando uma camada insaturada, altamente porosa se situa sobre o aquífero, permitindo a percolação de nitratos. Entretanto, ocorrendo uma camada profunda e homogênea, capaz de reter nitratos, a possibilidade de contaminação é bastante pequena. A assimilação de nitrogênio pelas culturas, reduz a possibilidade de contaminação por nitrato, mas isso depende das taxas de assimilação pelas plantas e das taxas de aplicação de esgotos no solo.

O acúmulo de contaminantes químicos no solo é outro efeito negativo que pode ocorrer. Dependendo das características dos esgotos, a prática da irrigação por longos períodos, pode levar à acumulação de compostos tóxicos, orgânicos e inorgânicos, e ao aumento significativo de salinidade, em camadas insaturadas. Para evitar essa possibilidade, a irrigação deve ser efetuada com esgotos de origem predominantemente doméstica. A necessidade de um sistema adequado de drenagem, deve ser também considerada, visando minimizar o processo de salinização de solos irrigados com esgotos. Da mesma maneira, a aplicação de esgotos por períodos muito longos, pode levar à criação de habitats, propícios à proliferação de vetores transmissores de doenças, tais como mosquitos e algu-

mas espécies de caramujos. Nesse caso, devem ser empregadas técnicas integradas de controle de vetores, para proteger os grupos de risco correspondentes.

Estratégias para planejamento

O uso de esgotos, particularmente no setor agrícola, se constitui em um importante elemento das políticas e estratégias de gestão de recursos hídricos. Muitos países, situados em regiões áridas e semi-áridas, tais como os do norte da África e do oriente médio, consideram esgotos e águas de baixa qualidade, como parte integrante dos recursos hídricos nacionais, equacionando a sua utilização junto a seus sistemas de gestão, urbanos e rurais. Uma política criteriosa de reuso, transforma a problemática poluidora e agressiva dos esgotos, em um recurso econômico e ambientalmente seguro.

No Brasil, os governos estaduais e federais deveriam iniciar, imediatamente, processos de gestão para estabelecer bases políticas, legais e institucionais para o reuso, tanto em relação aos aspectos associados diretamente ao uso de afluentes, como aos planos estaduais ou nacionais de recursos hídricos. Linhas de responsabilidade e princípios de alocação de custos, devem ser estabelecidos entre os diversos setores envolvidos, ou seja, companhias responsáveis pela coleta e tratamento de esgotos, os usuários que se beneficiarão dos sistemas de reuso, e o Estado, ao qual compete o suprimento adequado de água, a proteção do meio ambiente e da saúde pública. Em adição, e para assegurar a sustentabilidade, deve ser dada atenção adequada aos aspectos organizacionais, institucionais e sócio-culturais do reuso.

O planejamento de programas e projetos de reuso requer uma análise sistemática dos fatores básicos intervenientes. Na Tabela 3, é apresentada uma matriz sistemática, para apoiar a caracterização de condições básicas e a identificação de possibilidades e limitações, orientando a fase de planejamento dos projetos de reuso (BISWAS, 1988).

As medidas de controle governamentais, sobre sistemas de uso de esgotos na agricultura, serão efetivamente aplicadas, se for efetuada uma escolha cuidadosa das áreas e os tipos de culturas que

podem ser irrigadas com esgotos. A decisão de disponibilizar efluentes tratados para fazendeiros, com o objetivo de promover irrigação irrestrita, elimina as vantagens de poder definir os locais adequados, escolher as técnicas de irrigação apropriadas, estabelecer as culturas permitidas, e de controlar os riscos sobre a saúde e os impactos ambientais. A maior segurança contra riscos de saúde e impactos ambientais adversos, é conseguida através da imposição da seleção e restrição de culturas, em áreas não abertas ao acesso do público em geral.

De uma maneira geral, os procedimentos adotados na preparação de planos para irrigação com esgotos, são similares àqueles utilizados para a maioria das formas de planejamento da utilização de recursos hídricos, isto é, de acordo com as oportunidades, características das demandas locais, e as principais dimensões físicas, econômicas e sociais da área de projeto.

O sucesso de planos de reuso, depende da maneira e profundidade com que as ações e atitudes seguintes, forem efetivamente implementadas:

- critérios adotados para avaliar as alternativas de reuso propostas;
- escolha de estratégias de uso único ou uso múltiplo dos esgotos;
- provisões gerenciais e organizacionais estabelecidas, para administrar os esgotos, e para selecionar e implementar o plano de reuso;
- importância dada às considerações de saúde pública, e os riscos correspondentes;
- nível de apreciação da possibilidade de estabelecimento de um recurso florestal, através de irrigação com os esgotos disponíveis.

A adoção de uma mistura de estratégias para o uso dos esgotos, traz a vantagem de permitir maior flexibilidade, maior segurança econômica e melhor eficiência do uso dos esgotos disponíveis ao longo do ano, enquanto que a estratégia de uso único, pode levar a sobras sazonais, que são, normalmente, condenadas à disposição improdutiva.

As dimensões legais e regulatórias

O uso de esgotos, principalmente para a irrigação de culturas, é associado aos dois aspectos legais seguintes:

- estabelecimento de um status legal para os esgotos, e a delimitação de um regime legal para a sua utilização. Essa nova condição deve levar: ao desenvolvimento de uma nova legislação ou à complementação de legislação existente, estabelecendo normas, padrões e códigos de prática, associados ao reuso; à criação de uma nova instituição ou delegação de poderes a uma instituição existente; à atribuição de competências às agências locais e nacionais, associadas ao setor, e as bases para o inter-relacionamento e cooperação mútua entre elas;
- garantir os direitos dos usuários, principalmente com relação ao acesso e apropriação dos esgotos, incluindo a regulamentação pública de seus usos. A legislação deve incluir, também, a posse da terra, sem a qual os direitos sobre o uso dos esgotos não teriam nenhum valor.

A delimitação de um regime legal para o uso de esgotos deve considerar os aspectos seguintes (WHO, 1990):

- a definição do que é esgoto;
- a quem pertence os esgotos;
- um sistema de licenciamento para uso de esgotos;
- proteção de outros usuários, que possam ser, adversamente afetados, pela diminuição de vazões de retorno, aos mananciais que utilizam;
- restrições, visando a proteção do meio ambiente e da saúde pública, com relação ao uso planejado para os esgotos, condições de tratamento e qualidade final Tabela 3. Matriz para análise de projetos de irrigação com esgotos (Biswas, 1988).
- dos esgotos tratados, e condições para a localização de estações de tratamento de esgotos;
- alocação de custos e estabelecimento de tarifas para os esgotos;
- mecanismos de aplicação de leis e regulamentos;
- disposição de lodos gerados nos sistemas de tratamento de esgotos;
- delegação de poderes a uma instituição, ou criação de uma nova instituição, ou elaboração de arranjos institucionais para a administração da legislação sobre reuso;
- a interface entre o regime legal estabelecido para reuso, e o regime legal para a gestão de

recursos hídricos, principalmente a legislação sobre água e controle da poluição ambiental, e a legislação relativa ao abastecimento de água e coleta de esgotos, incluindo as instituições responsáveis.

Em nível operacional, as ações regulatórias são aplicadas através de diretrizes, normas ou padrões e códigos de prática, que possuem as seguintes características:

Diretrizes

Uma das múltiplas funções da Organização Mundial da Saúde é a de propor regulações e de fazer recomendações relativas a assuntos internacionais de saúde pública e de saúde ambiental (WHO, 1990). As diretrizes para o uso seguro de esgotos, produzidas como parte dessa função, são baseadas em pesquisas científicas e estudos epidemiológicos, proporcionando informação básica e orientação para a tomada de decisões que envolvem riscos à saúde pública e ao meio ambiente.

Diretrizes não são estabelecidas com a finalidade de aplicação direta e absoluta em todos os países. Elas são de natureza meramente orientativa, direcionadas para o estabelecimento de uma base de riscos aceitáveis e, como tal, proporcionam uma referência comum, para o estabelecimento de normas e padrões, em nível nacional (HESPANHOL; PROST, 1994).

O Grupo Científico sobre Diretrizes para o Uso de Esgotos em Agricultura e Aquicultura, reunido em Genebra, Suíça, em 1989, estabeleceu os critérios básicos para a proteção dos grupos de risco, associados a esquemas de reuso agrícola e recomendou as diretrizes mostradas na Tabela 4. Esses critérios e diretrizes, foram estabelecidos com base em um longo processo técnico e científico preparatório e na evidência epidemiológica, disponível até então.

O uso de esgotos para fertilizar lagoas para a produção de peixes, está associado a um grande número de infecções causados por organismos patogênicos, incluindo a invasão da carne por bactérias e alta concentração microbiana no trato digestivo e no fluido intra-peritoneal dos peixes.

Tabela 3
Matriz para análise de projetos de irrigação com esgotos

<p>Natureza do problema</p> <ul style="list-style-type: none"> Quais os volumes de esgotos produzidos e qual é a distribuição sazonal? Onde os esgotos serão produzidos? Quais são as características dos esgotos que serão produzidos? Quais são as alternativas de disposição possíveis?
<p>Viabilidade legal</p> <ul style="list-style-type: none"> Que usos se pode fazer dos esgotos, de acordo com a legislação existente, se disponível? Se não existem legislações estaduais ou federais, que usos se pode fazer dos esgotos dentro das diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS) e da Organização para Alimentos e Agricultura (FAO)? Quais são os direitos dos usuários dos recursos hídricos e como esses poderiam vir a ser afetados pelo reuso?
<p>Viabilidade Técnica</p> <ul style="list-style-type: none"> A qualidade dos esgotos tratados disponíveis é adequada para irrigação restrita ou irrestrita? Quanto de terra está disponível ou é necessária para os projetos de irrigação? Quais são as características do solo nesta terra? Quais são as práticas de uso da terra? Elas podem ser modificadas? Que tipos de culturas podem ser consideradas? A demanda de água pelas culturas é compatível com a variação sazonal dos esgotos disponíveis? Que técnicas de irrigação serão utilizadas? Se a possibilidade de recarga de aquíferos é uma das possibilidades para o uso dos esgotos, as características hidrogeológicas são adequadas? Qual seria o impacto dessa recarga na qualidade das águas subterrâneas? Existem problemas adicionais de saúde ou de meio ambiente, que necessitam ser considerados?
<p>Viabilidade política e social</p> <ul style="list-style-type: none"> Quais foram, no passado, as reações políticas a problemas de saúde e ambientais que, eventualmente tenham ocorrido em possível conexão com o uso de esgotos? Qual é a percepção pública da prática do uso de esgotos? Qual é a atitude de grupos de influência em áreas onde esgotos têm possibilidade de serem utilizados? Quais são os benefícios potenciais do reuso para a comunidade? Quais são os riscos potenciais?
<p>Viabilidade econômica</p> <ul style="list-style-type: none"> Quais são os custos de capital envolvidos? Quais são os custos de operação e manutenção? Qual é o valor da taxa de retorno? Quais são os custos de implantação dos sistemas de agricultura irrigada com esgotos, isto é, custos de transporte de água para a área de plantio, instalação de equipamentos de irrigação, infraestrutura, etc? Quais são os benefícios do sistema de irrigação com esgotos? Qual é a relação custo/benefício do projeto de irrigação com esgotos?
<p>Viabilidade operacional</p> <ul style="list-style-type: none"> São os recursos humanos e a capacidade operacional locais adequados para as atividades de operação e manutenção dos sistemas de tratamento, irrigação, recarga de aquíferos, operação agrícola e controle de aspectos de saúde e meio ambiente? Caso contrário, quais são os programas de treinamento que devem ser implementados?

Fonte: Biswas, 1988

Devido à pequena disponibilidade de dados disponíveis, tanto experimentais como de campo, relativos a efeitos sobre a saúde, da aquicultura fertilizada com esgotos ou excreta, o Grupo Científico recomendou as seguintes diretrizes preliminares:

- média geométrica inferior a 10^3 coliformes fecais por 100 ml nas lagoas, para prevenir a invasão de bactérias na carne dos peixes. O mesmo valor diretriz, deve ser mantido em lagoas nas quais se produzem vegetais aquáticos comestíveis (macrofitas), uma vez que esses são, em alguns países, comidos crus. Essa concentração pode ser obtida, abastecendo as lagoas com esgotos tratados, com concentrações máximas de 10^3 a

10^4 coliformes fecais por 100 ml, assumindo-se que a diluição na própria lagoa seja de uma ordem de magnitude;

- ausência total de ovos de trematodos, para evitar infecção por helmintos tais como clonorchiasis, fasciolopsia e schistomiasis. Esta condição pode ser obtida através de tratamento em lagoas de estabilização em série, pois ovos desses helmintos são facilmente removidos por sedimentação;
- manter padrões elevados de higiene durante a limpeza dos peixes, antes do cozimento, evitando a contaminação da carne pelo líquido intraperitoneal.

As características químicas dos efluentes utilizados para irrigação, são também de grande importância. Diversos parâmetros químicos são extremamente importantes para a agricultura, no que concerne a produtividade e qualidade das culturas, a manutenção da capacidade produtiva do solo, assim como a proteção do meio ambiente e da saúde dos consumidores. Essas variáveis são, principalmente, os sólidos dissolvidos totais, a condutividade elétrica, o índice de adsorção de sódio, ions específicos, elementos traço e metais pesados. Uma discussão dos aspectos químicos associados à irrigação, particularmente com esgotos, é encontrada na literatura especializada (FAO, 1985, CHANG; PAGE; ASANO; HESPANHOL, 1995).

Padrões e códigos de prática

Padrões são imposições legais promulgados através de leis, regulamentos, ou posturas técnicas. São estabelecidos em nível nacional, adaptando diretrizes às prioridades e levando em consideração as limitações e características técnicas, econômicas, sociais e culturais locais. São estabelecidos pela autoridade nacional competente, adotando critérios de risco/benefício. Significa que padrões assim produzidos, não se baseiam meramente em características relativas à saúde ou ao meio ambiente, mas integram uma base ampla de aspectos e consequências econômicas e sociais. Em qualquer época,

os padrões podem ser alterados ou complementados, sempre que novas evidências científicas ou novas tecnologias se tornarem disponíveis, ou em resposta às mudanças de prioridades e tendências nacionais.

Em muitos países, os padrões são complementados por códigos de prática, que proporcionam orientação para a construção, operação, manutenção e monitoramento de sistemas de reuso.

Assim como os padrões, os códigos de prática devem ser elaborados de acordo com as condições locais, mas os seguintes elementos básicos são frequentemente incluídos:

- culturas permitidas sob a política de seleção e restrição de culturas;
- tratamento dos esgotos e qualidade do efluente tratado;
- sistema de distribuição de esgotos para irrigação;
- metodologia de irrigação;
- operação e manutenção;
- controle da exposição humana;
- monitoramento e vigilância;
- relatórios;
- sistema tarifário;
- multas e penalidades;

Aspectos institucionais

Os sistemas de reuso, estabelecidos a nível nacional, envolvem a responsabilidade de diversos

Tabela 4
Diretrizes microbiológicas recomendadas para uso de esgotos na agricultura*

Categoria	Condições de reuso	Grupos de risco	Nematodos intestinais ⁽¹⁾ (Nº ovos/litro) ⁽²⁾	Coliformes fecais (Nº/100 ml) ⁽²⁾	Sistema de tratamento recomendado para atingir a qualidade microbiológica
A	Irrigação de culturas a serem ingeridas cruas, campos esportivos, parques públicos ⁽⁴⁾	Operários, consumidores, público	? 1	? 1000	Lagoas de estabilização em série ou tratamento equivalente
B	Irrigação de cereais, culturas industriais, forragem, pastos e árvores ⁽⁵⁾	Operários	? 1	n.a.	Retenção em lagoas de estabilização por 8 a 10 dias ou remoção equivalente de helmintos e coliformes fecais
C	Irrigação localizada de culturas da categoria B, se não ocorrer exposição de trabalhadores e do público	Nenhum	n. a.	n. a.	Pré-tratamento requerido pela técnica de irrigação aplicada, mas não menos do que tratamento primário

Fonte: WHO, 1989

* Em casos específicos, fatores epidemiológicos, socio-culturais ou ambientais devem ser levados em consideração e essas diretrizes modificadas de acordo; (1) *Ascaris*, *Trichuris*, *Necator americanus* e *Ancilostomus duodenalis*; (2) Média aritmética durante o período de irrigação; (3) Média geométrica durante o período de irrigação; (4) Um valor diretriz mais restritivo (200 coliformes fecais por 100 ml) é apropriado para gramados públicos, tais como os de hotéis, com os quais o público tenha contato direto; (5) No caso de árvores frutíferas, a irrigação deve cessar duas semanas antes dos frutos serem colhidos, e frutos não devem ser colhidos do chão. Irrigação por sistemas de aspersores não deve ser utilizada.

ministérios. Para uma operação adequada e minimização de conflitos administrativos, os seguintes ministérios devem ser integrados, desde a fase de planejamento:

- Agricultura – planejamento e coordenação geral do projeto; gestão das terras pertencente ao governo; instalação e operação da infra-estrutura de irrigação; controle do mercado.
- Recursos Hídricos – integração dos projetos de reuso no planejamento e gestão de recursos hídricos, em nível nacional.
- Fazenda e Planejamento – avaliação econômico-financeira dos projetos, análises de custo/benefício, financiamento, estabelecimento de critérios para subsídios, etc.
- Saúde – vigilância da qualidade do efluente tratado, de acordo com os padrões estabelecidos; proteção da saúde dos grupos de risco e vigilância da ocorrência de doenças associadas ao sistema de reuso; responsabilidade pela área de controle de exposição humana, promovendo vacinação, controle de anemia e doenças diarreicas, e educação sanitária.
- Obras públicas e companhias de água e saneamento – coleta e tratamento de esgotos.

De acordo com condições nacionais específicas, outros ministérios e entidades, públicas ou privadas, tais como os do meio ambiente, de desenvolvimento rural, cooperativas rurais, etc., poderão ser envolvidos nas fases de projeto e operação de esquemas de reuso agrícola.

Os países que pretendem institucionalizar atividades de reuso, se beneficiarão enormemente com a criação de um corpo executivo, com as características de um comitê técnico, integrado pelos ministérios ou secretarias competentes, e sob a égide de um ministério ou secretaria líder (agricultura ou recursos hídricos), que assumirá a responsabilidade pelo desenvolvimento do setor e pelo planejamento e gestão do empreendimento. A responsabilidade desses comitês inter-agências estaria associada à implementação das seguintes atividades básicas:

- desenvolver uma política nacional ou regional para reuso e administrar a sua implementação;

- definir as competências inerentes a cada ministério, secretarias estaduais e agências envolvidas, e os arranjos para a colaboração mútua;
- analisar e avaliar os projetos de reuso propostos, principalmente sob o ponto de vista de saúde pública e meio ambiente;
- coordenar a promoção e a aplicação da legislação nacional e os correspondentes códigos de prática;
- estabelecer uma política de desenvolvimento de recursos humanos para o setor.

Em países que contam com uma administração federal, os arranjos para colaboração inter-agências, são ainda mais importantes em níveis regionais ou estaduais. Enquanto a estrutura geral das políticas de reuso e os padrões são definidos em nível nacional, os comitês regionais ou estaduais se encarregarão de sua interpretação e adaptação, levando em conta as características e condições locais.

No México por exemplo, que possui uma das maiores áreas agrícolas irrigadas com esgotos do mundo (156.000 hectares, com planos para expandir para um total de 237.000 hectares, abrangendo 17 distritos de irrigação, em seis Estados), a Comissão Nacional de Águas, CNA, vinculada ao Ministério de Agricultura e Recursos Hídricos, administra os recursos hídricos do país e, como tal, é a instituição encarregada pelo planejamento, administração e controle de todos os sistemas de reuso de água, em nível nacional (CNA, 1993). Outras entidades governamentais tais como o Ministério da Saúde, o Ministério de Desenvolvimento Urbano e Ecologia e o Ministério de Desenvolvimento Social, também participam, de acordo com os interesses específicos de seus campos de atividades. Em nível regional, os governos estaduais também se integram na administração de sistemas locais. No Vale de Mesquital, por exemplo, o Estado de Hidalgo colabora com as agências locais do CNA para a operação e manutenção dos distritos de irrigação e para atividades de monitoramento, vigilância e ações legais. No Vale de Mesquital, ocorre ainda, participação muito forte do setor privado, administrando pequenas unidades de irrigação integradas em sistemas cooperativos.

Embora possa vir a desenvolver-se legislação nacional relativa a reuso, é pouco provável que, no Brasil, se estabeleça um projeto único em nível nacional, devido às nossas dimensões geográficas e características regionais distintas. Nas condições brasileiras, os projetos de reuso deverão ter dimensões estaduais ou municipais, com as respectivas secretarias efetuando as atividades de planejamento e gestão, suportadas pelas companhias estaduais de saneamento, no que tange à coleta e tratamento de esgotos. Da mesma maneira que em nível federal, as secretarias da agricultura, planejamento, obras, meio ambiente, etc., deverão integrar a estrutura organizacional e gerencial dos planos e projetos de reuso regionais, cabendo, (como deveria acontecer também com os sistemas públicos de abastecimento de água potável), às secretarias de saúde fazer o controle de qualidade dos efluentes utilizados para irrigação.

Aspectos econômicos e financeiros

A avaliação econômica dos projetos de reuso, deve ser baseada nos custos incrementais e nos benefícios proporcionados pelo empreendimento. Uma metodologia adotada em diversos projetos, é a de ajustar os custos marginais e os benefícios ao valor presente, a uma taxa de desconto real e projetar o sistema de maneira que a relação benefício/custo seja superior à unidade. Outra possibilidade é a de determinar a taxa interna de retorno do projeto, e de verificar se esta é competitiva (FORERO, 1993).

A avaliação financeira pode ser efetuada, por comparação, com um dos seguintes possíveis cenários, cada um dos quais configurado com diferentes custos e benefícios:

- ausência de agricultura;
- agricultura sem irrigação (apenas água de chuva);
- irrigação com água de fonte alternativa, sem aplicação de fertilizantes;
- irrigação com água de fonte alternativa, com aplicação de fertilizantes.

Os custos, benefícios e recuperação de custos, em sistemas de reuso agrícola, possuem as seguintes características básicas:

Custos

Os seguintes custos devem ser considerados em projetos de reuso em irrigação (PAPADOPOULOS, 1990):

- custos de sistemas de tratamento, incluindo a área e preparação do terreno, projetos, serviços de engenharia, construção, materiais e equipamentos;
- custos de irrigação, incluindo os sistemas de transporte, reservação e de distribuição de esgotos;
- custos de campo, associados com o desenvolvimento institucional das fazendas, incluindo instalações e treinamento, medidas para proteção da saúde e instalações sanitárias para os trabalhadores;
- custos de operação e manutenção, incluindo custos adicionais de energia, mão de obra, roupas especiais para os trabalhadores, complementação de fertilizantes, se necessário, custos de administração e de overhead, testes e monitoramento.

Apenas custos marginais devem ser incluídos na avaliação financeira. Por exemplo, apenas os custos adicionais, necessários para atingir os padrões locais de efluentes para reuso, devem ser considerados. Os custos associados a sistemas de tratamento para proteção ambiental (que deveriam ser implementados, independentemente do reuso) não devem ser levados em consideração na avaliação econômica. Da mesma maneira, os custos de irrigação, de implantação e desenvolvimento institucional das fazendas a serem considerados, são unicamente os associados ao uso de esgotos, isto é, aqueles que podem ocorrer em adição aos eventuais custos inferidos pelo uso de qualquer outra fonte convencional de água.

Benefícios

Não há dificuldade para a avaliação dos benefícios diretos. Em sistemas de agricultura ou aquícul-

tura, eles podem ser estimados diretamente em termos de aumento da produtividade ou da produção, economia no uso de fertilizantes comerciais, economia no uso de água, etc. Por outro lado, os benefícios indiretos são difíceis de ser adequadamente quantificados.

Entre os muitos benefícios indiretos que atraem a atenção dos avaliadores econômicos e tomadores de decisão, capazes de visualizar as vantagens ambientais, de saúde e sociais do reuso agrícola, estão os seguintes:

- aumento do nível nutricional das populações mais pobres, através do aumento da produção de alimentos;
- aumento da disponibilidade de empregos e assentamentos populacionais nas áreas rurais;
- redução de danos ao meio ambiente;
- proteção de recursos subterrâneos contra depleção;
- proteção dos recursos de água de boa qualidade contra a poluição;
- controle da erosão, redução da desertificação, etc.

Os benefícios indiretos são "elementos não monetários" e, infelizmente, não são levados em consideração na avaliação econômica de projetos de reuso. Entretanto, as melhorias ambientais motivadas pelo reuso, principalmente em termos de preservação de recursos hídricos, e o incentivo proporcionado para a construção de sistemas de coleta de esgotos urbanos, são extremamente relevantes. Esse benefícios são tão importantes, que tornam meramente subsidiárias as análises de custo/benefício como elemento de decisão para a implementação de projetos de reuso, principalmente em países em desenvolvimento, ou em rápido estágio de industrialização, como é o caso do Brasil.

Recuperação de custos

A adoção de uma política tarifária adequada, é de fundamental importância para a sustentabilidade de sistemas de reuso. A base de custos incrementais, que aloca apenas os custos marginais associados ao reuso, é um critério aceitável em países em desenvolvimento, onde os projetos de reuso são considerados como benefícios sociais. A cobrança,

na forma de taxas ou tarifas, baseada nos volumes de esgotos tratados distribuídos, é utilizada em muitos países. Quando os volumes são muito grandes, e a rede de distribuição cobre áreas muito extensas, servindo um número muito grande de usuários, como é o caso do Vale do Mesquital, no México, onde a cobrança é efetuada por meio de taxas, em função das áreas individuais irrigadas.

Subsidiar sistemas de reuso pode ser necessário, nos estágios iniciais de implantação dos sistemas, principalmente quando os custos associados são muito elevados. Essa possibilidade poderá encorajar o interesse dos agricultores, despertado pela permissão de utilizar esgotos tratados. De maneira a determinar a necessidade de suporte governamental para o esquema de recuperação de custos, é necessário investigar a capacidade e o interesse dos agricultores em pagar pelos serviços. A melhor maneira de exercer a cobrança é através da imposição das taxas e/ou tarifas, imediatamente após o término da colheita.

A influência religiosa e sócio-cultural

A aceitação pública do uso de esgotos na agricultura e aquícultura é influenciada por fatores religiosos e sócio-culturais. Nas Américas, África e Europa, por exemplo, há uma forte objeção ao uso de excreta como fertilizante, enquanto que em algumas partes da Ásia, notadamente na China, Japão e Indonésia, a prática é efetuada regularmente e considerada como econômica e ambientalmente recomendável.

Na maioria dos países, entretanto, não há objeção cultural ao uso de esgotos, principalmente tratados. O uso de esgotos é, normalmente bem aceito, onde outras fontes de água não são facilmente disponíveis, ou por razões econômicas.

A prática do reuso agrícola é adotada em diversos países islâmicos, uma vez demonstrada que as impurezas (najassa), foram removidas. Isso acontece, entretanto, mais por razões econômicas do que por preferência cultural. De acordo com os éditos do Alcorão, a prática do reuso pode ser aceita do ponto de vista religioso, somente se a água impura é transformada em água pura (tahur) através dos métodos seguintes: auto-purificação, adição de água

pura em quantidade suficiente para diluir as impurezas, remoção das impurezas pela passagem do tempo e remoção das impurezas por efeitos físicos (FARROQ; ANSARI, 1983).

Devido à grande variabilidade de crenças culturais, dogmas religiosos, e do comportamento humano em geral, a aceitação ou rejeição da prática de reuso em uma determinada cultura, não implica em sua aceitação ou rejeição de maneira indiscriminada. Um levantamento completo do contexto sócio-cultural e crenças religiosas locais é sempre necessário, como etapa preliminar para a implantação de projetos de reuso (CROSS, 1985).

Informação e participação pública

Para uma ampla aceitação de projetos de reuso, é de importância fundamental envolver ativamente o público, desde a fase de planejamento, até a implementação definitiva do projeto.

Esse relacionamento deve ser iniciado nas primeiras fases do empreendimento, através de contatos com os usuários potenciais, da formação de um comitê consultivo e da realização de seminários para discutir possíveis modalidades de reuso. A troca contínua de informações, entre os representantes do público e as autoridades garante que a adoção de um determinado programa de reuso atenderá às verdadeiras necessidades dos usuários, assim como os objetivos comunitários associados à saúde, segurança e meio ambiente.

A aceitação de sistemas de reuso, depende do nível de sucesso com o qual as agências governamentais conseguem comunicar-se com o público alvo: uma idéia clara e completa do programa que se pretende implementar; um conhecimento adequado da qualidade dos esgotos tratados, e de como ele será utilizado; confiabilidade na capacidade de gestão da agência encarregada dos serviços e na adequabilidade dos sistemas de tratamento propostos; certeza de que o sistema envolve riscos mínimos de saúde e de degradação ambiental e segurança na sustenta-

bilidade do abastecimento e na adequabilidade dos esgotos tratados para os tipos de cultura estabelecidos nos programas de reuso.

A Tabela 5 sugere uma série de mecanismos para contatar, educar e informar o público, durante as diversas fases de implementação de programas de reuso (CROOK; AMMERMMAN; OKUN AND MATTHEWS, 1992).

A troca contínua de informações, entre os representantes do público e as autoridades garante que a adoção de um determinado programa de reuso atenderá às verdadeiras necessidades dos usuários, assim como os objetivos comunitários associados à saúde, segurança e meio ambiente

Monitoramento e avaliação

Conforme mencionado anteriormente, os projetos e programas de reuso devem ser coordenados por comitês inter-agências, sob a égide de um ministério líder. Esta entidade deve ser, também, encarregada de monitorar e avaliar o desenvolvimento do projeto e deve ter a competência legal para exigir o atendimento da legislação correspondente.

O monitoramento das atividades de projetos de reuso compreende dois tipos básicos: monitoramento para controle do processo e monitoramento legal.

O primeiro visa proporcionar dados para o controle e otimização do sistema, de maneira a garantir desempenho adequado. Inclui o monitoramento das estações de tratamento, sistemas de distribuição e equipamentos de irrigação, aspectos ambientais (tais como salinização, águas de drenagem, níveis do lençol freático, etc.), aspectos agrícolas (tais como produção e produtividade) e problemas de saúde (tais como o desenvolvimento de vetores de

Tabela 5
Mecanismos para a participação do público

Objetivo	Mecanismo
Educação e informação	Artigos de jornais, programas de rádio e TV, palestras, visitas de campo, exposições, programas escolares, filmes, brochuras e boletins, relatórios, cartas, conferências.
Acompanhamento	Reuniões públicas, audiências públicas, pesquisa de opinião e questionários, programas de perguntas e respostas.
Interação e diálogo	Seminários, grupos de trabalho especiais, entrevistas, grupos consultivos, contatos informais, discussão em grupos.

Fonte: Crook, Ammerman, Okun and Matthews, 1992

doença e problemas de saúde, associadas ao uso de esgotos). Além de proporcionar elementos para o controle de todo o processo, este nível de monitoramento gera informação para revisão e aperfeiçoamento do projeto e para atividades de pesquisa e desenvolvimento. A responsabilidade deste tipo de monitoramento, cabe à agência encarregada da operação do sistema (por exemplo, uma companhia estadual de saneamento), que seja parte integrante do comitê inter-agências.

O monitoramento legal é necessário para a verificação do atendimento dos regulamentos estabelecidos na legislação vigente de reuso, e não deve ser efetuado pela mesma agência encarregada do monitoramento de controle. A responsabilidade por esta fase do monitoramento, deve ser outorgada a outra agência do comitê, que possua competência legal para exigir o atendimento aos padrões de qualidade, códigos de prática e outros elementos da legislação pertinente. Esta responsabilidade é geralmente outorgada aos ministérios ou secretarias de saúde, uma vez que os problemas de saúde são de importância fundamental em sistemas de reuso.

Para que atinjam seus objetivos básicos, os programas de monitoramento devem ser efetivos em termos de custos (apenas dados considerados necessários devem ser coletados e analisados); ter cobertura adequada (monitorando apenas setores representativos do sistema); ser confiável (com amostragem representativa, análise acurada, com controle de qualidade analítica adequada, processamento apropriado dos dados e preparação de relatórios concisos e eficientes) e; deve estar disponível a curto prazo, de maneira a proporcionar aos responsáveis pela operação e aos tomadores de decisão, informações atualizadas, que permitam a adoção de medidas rápidas e seguras, principalmente em situações de emergência.

Aspectos técnicos do reuso – medidas para proteção dos grupos de risco

Os grupos de risco associados a sistemas de reuso agrícola são os seguintes: consumidores de culturas, carne e leite originários de campos irrigados com esgotos, operários agrícolas e suas famílias, manuseadores/ transportadores de colheitas, e

populações localizadas nas proximidades de campos irrigados através de sistemas de aspersores.

A saúde pública dos grupos de risco é protegida através da aplicação de quatro medidas básicas: tratamento dos esgotos, seleção e restrição de culturas, técnicas de aplicação dos esgotos e controle da exposição humana.

Tratamento dos esgotos

Os métodos de tratamento de esgotos foram, inicialmente, concebidos como resposta à preocupação pelos efeitos negativos causados pela descarga de efluentes no meio ambiente. Os objetivos primários do tratamento eram a remoção de sólidos suspensos e flutuantes, a remoção de compostos orgânicos biodegradáveis e a remoção de organismos patogênicos. Em agosto de 1973, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos publicou a definição de tratamento secundário, incluindo três parâmetros característicos: DBO de 5 dias, sólidos suspensos e pH (CODE OF FEDERAL REGULATIONS, 1973). O padrão coliformes, que havia sido incluído na versão original, foi excluído em julho de 1973 (METCALFF; EDDY, 1979), provavelmente devido à preocupação com os riscos ambientais e de saúde pública associados à desinfecção através de compostos de cloro.

Os critérios de tratamento para reuso agrícola são, entretanto, distintos daqueles estabelecidos para a descarga de efluentes líquidos em corpos de água. É extremamente benéfico que os efluentes tratados contêm concentrações significativas de matéria orgânica e o máximo possível dos nutrientes e micro-nutrientes contidos no esgoto bruto. Portanto, os critérios de tratamento para reuso agrícola devem ser associados à manutenção da DBO até um máximo de aproximadamente 100 miligramas por litro, manutenção de nutrientes e eliminação de organismos patogênicos em níveis estabelecidos pela legislação local, se Tabela 6. Remoção de organismos patogênicos em sistemas de tratamento de esgotos

A Tabela 6 (FEACHEM; BRADLEY; GANELICK; MARA, 1983), sumariza a informação disponível sobre a remoção de bactérias e helmintos presentes em esgotos domésticos por diversos sistemas de tratamento, indicando onde as diretrizes da Organi-

Tabela 6
Remoção de organismos patogênicos em sistemas de tratamento de esgotos

Tratamento	Remoção (log ₁₀)			
	Bactérias	Helmintos	Vírus	Cistos
Sedimentação primária:				
Simples	0 - 1	0 - 2	0 - 1	0 - 1
Com coagulantes	1 - 2	1 - 3 ^(b)	0 - 1	0 - 1
Lodos ativados ^(a)	0 - 2	0 - 2	0 - 1	0 - 1
Filtro biológico ^(a)	0 - 2	0 - 2	0 - 1	0 - 1
Lagoa aerada ^(b)	1 - 2	1 - 3	1 - 2	0 - 1
Valo de oxidação ^(a)	1 - 2	0 - 2	1 - 2	0 - 1
Desinfecção ^(c)	2 - 6 ^(b)	0 - 1	0 - 4	0 - 3
Lagoa de estabilização ^(d)	1 - 6 ^(b)	1 - 3 ^(b)	1 - 4	1 - 4
Reservatórios de acumulação ^(e)	1 - 6 ^(b)	1 - 3 ^(b)	1 - 4	1 - 4

Fonte: Feachem, Bradley, Ganelick and Mara, 1983

^(a) Incluído decantador secundário;

^(b) Incluída lagoa de sedimentação;

^(c) Cloração ou ozonização;

^(d) A eficiência depende do número de unidades em série e outros fatores ambientais;

^(e) A eficiência depende do tempo de detenção;

^(f) Com projeto e operação adequados às diretrizes para irrigação irrestrita podem ser atendidas.

zação Mundial da Saúde, para irrigação irrestrita (categoria A, na Tabela 4) podem ser atendidas.

Esgotos brutos contêm de 10⁷ a 10⁹ coliformes por 100 mililitros necessitando, portanto, serem tratados através de sistemas que permitam uma remoção de quatro a seis unidades log₁₀ para atingir as diretrizes para reuso irrestrito, o que pode ser obtido apenas através de desinfecção, lagoas de estabilização e reservatórios de acumulação. Nota-se, também, que a remoção de ovos de helmintos, não pode ser atendida através de sistemas convencionais de tratamento, tais como os sistemas de lodos ativados, filtros biológicos ou desinfecção.

Tabela 8
Desempenho de um sistema de lagoas de estabilização em série no Nordeste do Brasil (temperatura média de 26° C)

Amostra coletada no:	Tempo de detenção (dias)	DBO ₅ (mg/l)	Sólidos suspensos (mg/l)	Coliformes fecais (NMP/100 ml)	Ovos de helmintos (ovos/litro)
Esgoto bruto	—	240	305	4,6 x 10 ⁷	804
Efluente da:					
Lagoa anaeróbia	6,8	63	56	2,9 x 10 ⁶	29
Lagoa facultativa	5,5	45	74	3,2 x 10 ⁵	1
Lagoa de maturação 1	5,5	25	61	2,4 x 10 ⁴	0
Lagoa de maturação 2	5,5	19	43	450	0
Lagoa de maturação 3	5,8	17	45	30	0

Fonte: Mara and Silva, 1986

A análise da Tabela 6, leva a concluir que, em países de clima predominantemente quente, como o Brasil, a tecnologia mais adequada para tratamento de efluentes para uso agrícola são as lagoas de estabilização (MARA; 1976, ARTHUR, 1983). Lagoas em série constituídas por unidades anaeróbias, facultativas e de maturação, com tempos de detenção hidráulicos médios de 10 a 30 dias (dependendo da temperatura) podem ser projetadas para atender às diretrizes da Organização Mundial da Saúde, tanto para coliformes fecais como para helmintos.

As Tabelas 7 e 8 (MARA; PEARSON; SILVA, 1963; MARA; SILVA, 1986), indicam a segurança com a qual lagoas de estabilização em série atendem às diretrizes para reuso irrestrito. A Tabela 8 mostra, também, as remoções significativas de DBO e sólidos suspensos proporcionados por sistemas de lagoas em série.

Uma discussão mais ampla sobre a adequabilidade de sistemas de tratamento de esgotos para reuso agrícola pode ser encontrado na literatura especializada (HESPANHOL; 1994; METCALFF; EDDY, 1979; WEGELIN, 1997).

Tabela 7
Concentração de coliformes fecais em lagoas de estabilização em série, com tempo de detenção de 25 dias

Sistema de lagoas	Número de lagoas em série	Coliformes fecais no efluente (NMP/100 ml)
Melbourne, Austrália	8 - 11	100
Extrabes, Brasil	5	30
Cogolin, França	3	100
Amman, Jordania	9	30
Lima, Peru	5	100
Tunis, Tunísia	4	200

Fonte: Mara, Pearson and Silva, 1963

Seleção e restrição de culturas

O tratamento, completo ou parcial dos esgotos, constitui-se na opção tecnológica de primeira escolha como medida protetora em sistemas de reuso agrícola. Por outro lado é a que envolve os maiores custos, tanto de capital como de operação e manutenção. Deve-se, portanto, considerar alternativas associadas a sistemas de tratamento simplificados. No Vale do Mesquital, por exemplo, onde são utilizados aproximadamente 80 metros cúbicos por segundo de esgotos oriundos da cidade do México, o tratamento é proporcionado apenas por reservatórios naturais de acumulação, localizados ao longo dos rios e canais que transportam e distribuem os esgotos às áreas irrigadas. Como medida protetora complementar foi implementada uma política rígida de seleção e restrição de culturas, estabelecendo aquelas que podem ser irrigadas com esgotos e impondo sanções aos agricultores que irrigam culturas proibidas.

Dentro desse critério, as culturas permitidas são aquelas incluídas na categoria B (ver Tabela 3), na qual a proteção é necessária apenas para trabalhadores agrícolas, ou seja, cereais, culturas industriais (algodão, sisal, etc.), culturas alimentícias que sofrem processamento industrial como por exemplo as que são enlatadas, culturas forrageiras (alfafa, aveia forrageira, capim elefante, etc.), pastagens e árvores frutíferas. Alguns vegetais podem ser incluídos nessa categoria se não são ingeridos crus (tais como batatas e ervilhas) ou se crescem em estacas, bem acima do solo (como alguns tipos de feijão, tomates e os "chilies"). Nesse caso, é necessário assegurar que a irrigação não seja efetuada por sistemas de aspersores, que as culturas não sejam contaminadas por contato com o solo irrigado, e que a manipulação desses alimentos não provoque riscos à saúde, antes do cozimento.

As políticas de seleção e restrição de culturas são efetivas quando:

- a sociedade obedece às leis ou ocorre efetiva aplicação da legislação;
- um órgão público controla a alocação dos esgotos aos agricultores;
- os projetos de irrigação são subordinados a uma administração central, forte e atuante;
- ocorre uma demanda adequada das culturas

permitidas dentro da política de seleção e restrição e que essas sejam disponíveis no mercado, a preços acessíveis;

- existe pequena pressão de mercado sobre as culturas excluídas na política de seleção e restrição (aquelas da categoria A).

Técnicas de irrigação

A aplicação de esgotos tratados pode ser efetuada através dos seguintes métodos básicos de irrigação:

- por inundação ou por canais laterais, molhando praticamente toda a superfície do solo;
- por sulcos, molhando apenas uma pequena parte da superfície do solo;
- por aspersores, fazendo com que o solo e as culturas sejam molhados de maneira semelhante ao que ocorre durante chuvas;
- por irrigação sub-superficial, na qual apenas uma pequena porção do solo é molhada, mas permitindo a saturação do sub-solo;
- por irrigação localizada (gota a gota, exudação em mangueiras plásticas e bubbler), na qual a água é aplicada a cada planta, individualmente, e a uma taxa ajustável.

Cada um desses métodos de irrigação implica em diferentes riscos de saúde pública para os grupos de risco, diferentes custos e diferentes eficiências no uso da água aplicada. A Tabela 9 relaciona todos esses fatores e serve como base para levantar os benefícios e custos associados a cada método de irrigação.

Controle da exposição humana

Os métodos para minimizar a exposição humana se constituem em medidas que devem ser implementadas pelas autoridades responsáveis pela operação e vigilância dos projetos de reuso e são estabelecidas em função dos grupos de risco.

Essas medidas mitigadoras são as seguintes:

- Operários rurais e suas famílias e manuseadores de culturas:
Os riscos potenciais são associados, principalmente, às infecções parasitárias causadas por hel-

Tabela 9
Fatores que afetam a escolha do processo de irrigação e as medidas protetivas requeridas quando se utiliza esgotos

Método de irrigação	Fatores que afetam a escolha	Medidas protetivas necessárias
Inundação	Menores custos; não é necessário nivelamento preciso do terreno.	Proteção completa para operários agrícolas, consumidores e manuseadores de culturas.
Sulcos	Custo baixo; nivelamento pode ser necessário.	Proteção para operários agrícolas; possivelmente necessária para consumidores e manuseadores de culturas.
Aspersores	Eficiência média do uso da água; não há necessidade de nivelamento.	Algumas culturas da Categoria B, principalmente árvores frutíferas, são excluídas; distância mínima de 100 metros de casas e estradas.
Sub-superficial ou localizada	Custos elevados; elevada eficiência do uso da água; alta produtividade agrícola.	Filtração para evitar entupimento de orifícios (exceto no caso de irrigação por bubblers).Fonte

Fonte: Kandiah, 1994

mintos e as medidas protetoras básicas são as seguintes:

- prover imunização contra febre tifóide e hepatite A e B;
 - prover quimioterapia, principalmente para infecções intensas de helmintos em crianças e controle de anemia;
 - prover instalações médicas adequadas para o tratamento de doenças diarreicas;
 - promover campanhas de educação sanitária;
 - estimular padrões elevados de higiene pessoal e alimentar;
 - exigir uso de calçados e de luvas apropriadas para reduzir a infecção por helmintos.
- Consumidores:
 - cozer carne e vegetais e ferver o leite;
 - prover vigilância sanitária da carne, onde há risco de ocorrência de teníases (*Taenia solium* e *T. saginata*);
 - cessar a aplicação de esgotos pelo menos duas semanas antes de liberar os plantéis nas pastagens, onde há risco de cisticercose (*Cysticercosis bovis* e *C. cellulosae*);
 - cessar a irrigação de árvores frutíferas duas semanas antes da colheita e não permitir que frutas sejam colhidas do chão;
 - promover campanhas de educação sanitária;
 - estimular padrões elevados de higiene pessoal e alimentar;
 - colocar sinais indicativos e de advertência ao longo do perímetro das áreas irrigadas com esgotos.

- Populações vivendo nas proximidades dos campos irrigados:

Não existe, até o presente, evidência epidemiológica de que aerossóis originados na irrigação com aspersores impliquem em riscos significativos de infecção. Entretanto, visando proporcionar uma margem razoável de segurança e minimizar problemas de odor deve-se manter uma distância mínima de 100 metros entre os campos irrigados e casas e estradas.

Para os planejadores de sistemas de reuso agrícola o tratamento dos esgotos se apresenta como a medida mais direta e visível, secundada apenas pela seleção e restrição de culturas. Entretanto, ambas são relativamente difíceis de serem implementadas de uma maneira completa, a primeira limitada por custos elevados e a segunda pela falta de mercados adequados para determinadas culturas e por restrições legais e institucionais. Por outro lado, a experiência tem demonstrado que a aplicação de medidas isoladas proporciona proteção limitada aos grupos de risco. A política de restrição de culturas, por exemplo, protege os consumidores mas proporciona pequena proteção aos operários rurais e suas famílias. Da mesma maneira o controle da exposição humana tem se mostrado, pelas dificuldades operacionais e culturais que implica, muito pouco efetivo, notadamente em termos de proteção de operários agrícolas.

As medidas protetoras adequadas devem, portanto, ser aplicadas de maneira integrada e otimizada em função das características específicas de cada projeto de reuso, procurando proporcionar, aos

menores custos de capital e operacionais, o máximo de proteção aos grupos de risco envolvidos.

AÇÕES A SEREM DESENVOLVIDAS EM PROL DO REUSO NO BRASIL

A incorporação da filosofia de reuso nos planos nacionais de gestão de recursos hídricos e desenvolvimento agrícola, é de fundamental importância para regiões áridas e semi-áridas, e naquelas onde a demanda é precariamente satisfeita, através de transposição de água de bacias adjacentes. O reuso implica em redução de custos, principalmente se é considerado em associação com novos projetos de sistemas de tratamento, uma vez que os padrões de qualidade de efluentes, necessários para diversos tipos de uso, são menos restritivos do que os necessários para proteção ambiental.

O uso de esgotos tem sido praticado em muitas partes do mundo, por muitos séculos. Sempre que água de boa qualidade não é disponível, ou é difícil de ser obtida, águas de menor valor, tais como esgotos, águas de drenagem agrícola ou águas salobras, são, espontaneamente utilizadas, principalmente em agricultura e aquícultura. Infelizmente, essa forma de uso não institucionalizado, não planejado e, as vezes, inconsciente, é realizada sem quaisquer considerações para com os aspectos de saúde, de meio ambiente e de práticas agrícolas adequadas.

Embora ocorram manifestações de reuso agrícola não planejado ou inconsciente em diversas regiões brasileiras, inclusive em algumas regiões metropolitanas, a prática do reuso de água associada ao setor público ainda é extremamente incipiente no Brasil. Em alguns Estados do nordeste, particularmente Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco alguns projetos foram implantados visando a irrigação de capim elefante com efluentes domésticos, sem nenhum tratamento e sem nenhuma forma de proteção à saúde pública dos grupos de risco envolvidos.

Por outro lado o setor privado, particularmente o industrial, vem, gradualmente se conscientizando de que a prática de reuso e reciclagem pode trazer benefícios significativos tanto no que concerne ao processamento industrial quanto em relação às águas

de utilidades. As políticas tarifárias, praticadas pela maioria das companhias municipais e estaduais de saneamento, assim como o advento e a implementação das estruturas de outorga e cobrança, tanto na tomada de água como na diluição dos despejos produzidos, têm levado as indústrias a dedicarem especial atenção às novas tendências e tecnologias disponíveis para reuso e reciclagem de efluentes.

Torna-se necessário, portanto, estabelecer mecanismos para institucionalizar, regulamentar e incentivar a prática do reuso estimulando as que permanecem embrionárias e promover o desenvolvimento daquelas que ainda não se iniciaram no Brasil.

A Agência Nacional de Águas – ANA, dentro de sua função básica de promover o desenvolvimento do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos previsto no inciso XIX do art. 21 da Constituição e criado pela Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, tem competência para administrar, entre uma gama significativa de atribuições (relacionadas no Art. 4º, Capítulo II, Lei Nº 9.984 de 17 de julho de 2000), os aspectos relativos às secas prolongadas, especialmente no nosso Nordeste e à crescente poluição dos cursos de água, no território nacional.

Uma política de reuso adequadamente elaborada e implementada contribuiria substancialmente ao desenvolvimento de ambos os temas: a seca, dispondo de volumes adicionais para o atendimento da demanda em períodos de oferta reduzida, e a poluição, atenuada face à diversão de descargas poluidoras para usos benéficos específicos de cada região.

Atualmente, nenhuma forma de ordenação política, institucional, legal ou regulatória orienta as atividades de reuso praticadas no território nacional. Os projetos existentes são desvinculados de programas de controle de poluição e de usos integrados de recursos hídricos nas bacias hidrográficas onde estão sendo implementados, não empregam tecnologia adequada para os tipos específicos de reuso implementados e não incluem as salvaguardas necessárias para preservação ambiental e proteção da saúde pública dos grupos de risco envolvidos. Além disso, não são formulados com base em análises e avaliações econômico-financeiras e não possuem estruturas adequadas de recuperação de custos.

Embora possa não ser atribuição específica da ANA promover e regulamentar as atividades de reuso de água no Brasil, a sua ação coordenadora no setor permitiria a elaboração e implementação de projetos sustentáveis de reuso, ajustados aos programas e objetivos de gerenciamento integrado nas bacias hidrográficas nas quais esteja atuando. Além disso, as atividades de reuso adequadamente coordenadas se constituiriam em elemento valioso para melhor utilização dos recursos hídricos disponíveis, controle da poluição e atenuação do problema de seca em regiões semi-áridas.

Os elementos básicos para a promoção e regulamentação da prática sustentável de reuso de água no território nacional, poderiam ser efetuados através das seguintes atividades:

- estabelecer uma política de reuso, definindo objetivos e metas, tipos de reuso, áreas prioritárias e condições locais e/ou regionais para a implementação da prática;
- propor estruturas institucionais para a promoção e gestão de programas e projetos de reuso a níveis nacional, regionais e locais;
- estabelecer um arcabouço legal incluindo diretrizes, padrões e códigos de prática;
- estabelecer um arcabouço regulatório, incluindo atribuições, responsabilidades, incentivos e penalidades;
- definir os critérios de tratamento de efluentes para reuso e proposição de tecnologias adequadas para a prática em função de características climáticas, técnicas e culturais regionais ou locais;
- estabelecer critérios para a avaliação econômico-financeira de programas e projetos de reuso;
- estabelecer normas e programas para informação, para educação ambiental e para participação pública nos programas e projetos de reuso;
- estabelecer um sistema de monitoramento, avaliação e divulgação dos programas a níveis nacional, regionais e locais.

Como não existe no Brasil, experiência em reuso planejado e institucionalizado, é necessário implementar projetos pilotos. Essas unidades experimentais, devem cobrir todos os aspectos das diversas modalidades de reuso, principalmente os relativos ao setor agrícola, e deverão fornecer subsídios para

o desenvolvimento de padrões e códigos de prática, adaptados às condições e características nacionais. Uma vez concluída a fase experimental, as unidades piloto serão transformadas em sistemas de demonstração, objetivando treinamento, pesquisa e o desenvolvimento do setor.

REFERÊNCIAS

- AGENDA 21. The Earth Summit Strategy to save our Planet. Boulder, Colorado: Ed. Daniel Sitarz, Earthpress, 1994. 321 p.
- ARNOLD, R. G.; QUANRUD, D. M. Soli Aquifer Treatment – Performance Studies in Simulations Conducted in Column Reactors, a joint study conducted by the University of Arizona and Arizona State University, draft, unpublished. 1998.
- ARTHUR, J. P. Notes on the Design and Operation of Waste Stabilization Ponds in Warm Climates of Developing Countries. Technical Paper nº 7. Washington D. C.: The World Bank, 1983.
- BARTONE, C. R. Reuse of Wastewater in the San Juan de Miraflores Stabilization Ponds: Public Health, Environmental and Socio-Economic Implications. PAHO Bulletin, Washington, D. C., v. 19, n. 2, p. 146 164, 1985.
- _____. ARLOSOROFF, S. Irrigation Reuse of Pond Effluents in Developing Countries. Wat. Sci. Tech., v. 19, n. 12, p. 289 297, 1987.
- _____. MOSCOSO, J.; NAVA, H. Reuse of Waste Stabilization Effluents for Fishculture: Productivity and Sanitary Quality Results, in: Charles R. O'Melia, Ed., Environmental Engineering, of the 1990 In: SPECIALITY CONFERENCE, Arlington, Virginia, 8 11 July 1990, Proceedings. New York: American Society of Civil Engineers, 1990.
- BISWAS, A. K. The Role of Wastewater Reuse in Planning and Management. In: A. K. Biswas; A. Arar, (Ed.). Treatment and Reuse of Wastewater. London: Butterworths, 1988.
- BOUWER, H. Role of Groundwater Recharge in Treatment and Storage of Wastewater for Reuse. Water Science Technology, UK, n. 24, 1991. p. 295 302.
- _____. RICE, R. C. Effect of Water Depth in Groundwater Recharge Basins on Infiltration Rate. Journal of Irrigation and Drainage Engineering . n. 115, 1989. p.556-568.
- CHANG, A. C.; PAGE, A. L.; ASANO, T.; HESPANHOL, I. (1995). Developing Human Health-Related Chemical Guidelines for Reclaimed Wastewater and Sewage Sludge Applications in Agriculture. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WASTEWATER AND SLUDGE APPLICATIONS IN AGRICULTURE, 2º, Iraklio, Crete: IWQA. Proceedings.
- CITY OF SCOTTSDALE. Arizona, Water Resources Department, Scottsdale Water Campus. Annual Recharge Summary for the period January, n. 1, December 31, 2000

- _____. Water Quality Report – An Annual Report on Scottsdale Drinking Water. 2000.
- CITY OF TUCSON'S. Wastewater Reclamation Facility – The Sweetwaterwetlands. Evaluation of Actual and Projected Wetland Performance", unpublished. 2000.
- CNA. Información General de los Districtos de Riego 03 e 100, Alfajayucan. Gerencia Estatal, Pajuca, Hidalgo, México. Cidade do México: Comision Nacional de Aguas, 1993.
- CODE OF FEDERAL REGULATIONS. Title 40, Part 35, Appendix A. Sept. 1973.
- CRITES, R. W., M. Micropollutant Removal in Rapid Infiltration. In: ASNO, Takashi (Ed.). Artificial Recharge of Groundwater. Butterworth Publishers, 1985. p.579 608.
- CROOK *et al.* Guidelines for Water Reuse. Camp. Cambridge, Massachusetts, USA: Dresser & McKee, Inc, 1992. 253 p.
- CROOK, J.; AMMERMAN, D. K.; OKUN, D. A.; MATTHEWS, R. L. Guidelines for Water Reuse. Cambridge, Massachusetts: Camp Dresser & Mc Kee, Inc., 1992.
- CROSS, P. Existing Practices and Beliefs in the Utilization of Human Excreta. In: Health Aspects of Night Soil and Sludge Use in Agriculture and Aquaculture, Part 1. IRCWD Report no. 04/85. Dübendorf: International Reference Centre for Waste Disposal, 1985.
- EDWARDS, P. Reuse of Human Excreta in Aquaculture – A Technical Review. UNDP and World Bank Water and Sanitation Programme. Washington, D. C.: World Bank, 1992.
- FAO. World Agricultural Statistics. In: FAO Statistical Pocket Book. Roma, Italy: FAO, 1987.
- _____. Production. Roma, Italy: FAO Yearbook, v. 42, 1988.
- _____. Water Quality for Agriculture. Rome: FAO, 1985. (FAO Irrigation and Drainage Paper n. 29, Rev.1).
- FARROQ, S.; ANSARI, Z. I. Water Reuse in Muslim Countries – An Islamic Perspective, Environ. Manag., v. 7, n. 2, p. 119 123, 1983.
- FEACHEM, R. G.; BRADLEY, D. J.; GANELICK, H.; MARA, D. D. Sanitation and Disease – Health Aspects of Wastewater Management, World Bank Studies in Water Supply and Sanitation 3, John Wiley & Sons, 1983.
- FORERO, R. S. Institutional, Economic and Socio-Cultural Considerations. In: REGIONAL WORKSHOP FOR THE AMERICAS ON HEALTH, AGRICULTURE AND ENVIRONMENTAL ASPECTS OF WASTEWATER USE, 8 12 November 1993, WHO/FAO/ UNCHS/UNEP. Jiutepec, Mexico: Instituto Mexicano de Tecnología de Aguas (IMTA), 1993.
- FOSTER, S. S.; GALE, D.; HESPANHOL, I. Impacts of Wastewater Use and Disposal on Groundwater. Technical Report WD/94/ 55. Keyworth, Nottingham, UK: British Geological Survey, 1994.
- GONOHE, K. Reuse of Treated Effluents in Aomori City: The Snow Drain System. In: Sewage Works in Japan. 1987. p.17 24.
- HAFER, J. L.; ARNOLD, R. G.; LANSEY, K.; CHIPELLO, P. L. Nitrogen Transformations During Soil-Aquifer Treatment of Wastewater Effluent-Oxygen Effects in Field Studies, draft for submission. 2001.
- HESPANHOL, I. Water Resources Management and Use of Wastewater – A Case Study – Sultanate of Oman. In: Integrated Rural Water Management, FAO, UNDP, WHO, Mar. 1993.
- _____. Health and Technical Aspects of the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. Chapter 10. In: RODRIGUES, Fritz (Ed.). Socioeconomic and Environmental Issues in Water Projects – Selected Readings. The Economic Developing Institute of the World Bank, The World Health Organization, 1994.
- _____. Esgotos como Recurso Hídrico. Parte I: Dimensões Políticas, Institucionais, Legais, Econômico-financeiras e Sócio-culturais. Engenharia, São Paulo: Instituto de Engenharia de São Paulo, v. 55, n. 523, 1997.
- HESPANHOL, I.; PROST, A. WHO Guidelines and National Standards for Reuse and Water Quality, Water Research, London, v. 28, n. 1, p. 119 124, 1994.
- IDELOVITCH, E.; MICHAIL, Medy. Soil Aquifer Treatment – A New Approach to an Old Method of Wastewater Reuse. Journal WPCF, v. 56, n. 8, p. 936 943. 1984.
- IKRAMULLAH, M. Integrated Duck-weed based Aquaculture and Rural Enterprise Promotion Project, presented at the Regional Workshop on Health, Agricultural and
- KANDIAH, A. The Use of Wastewater for Irrigation, presented at the WHO/FAO UNCHS/UNEP Workshop on Health, Agriculture and Environment Aspects of the Use of Wastewater, Harare, Zimbabwe, 31 October to 4 November, 1944, WHO, Geneva.
- LIGHT, M. Operating Effluent Recharge Project, China Seminar, Tucson Water, Tucson. Arizona, 2000. (documento interno).
- MARA, D. D. Sewage Treatment in Hot Climates, Chicester, John Wiley & Sons, 1976.
- _____. PEARSON, H. W.; SILVA, S. A. Brazilian Stabilization Pond Research Suggest Low Cost Urban Applicatio. World Water, v. 6, v. 7, 1963.
- _____. SILVA, S. A. Removal of Intestinal Nematode Eggs in Tropical Waste Stabilization Ponds. Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 1986.
- MATZUSAKI, S. Reuse of Effluent from Sewage Treatment Plants in Tokyo. Sewage Works in Japan, p. 54 66, 1987.
- METCALFF and EDDY, INC. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse. 2. ed. New York: Mc Graw-Hill, 1979.
- NARUMI, S. Reuse of Treated Effluents for Moat Restoration. In: Ooita City, Sewage Works in Japan, 1987. p. 36 43.

- PAPADOPOULOS, I. Wastewater Management for Agricultural Production and Environmental Protection ion the Near East – A Manual. Nycosia, Cyprus: Agricultural Research Institute, 1990.
- SANO, K.; MIURA, T. Dual Water Supply System Using Reclaimed Wastewater In: Fukuoka City. Sewage Works in Japan, 1990. p. 96 100.
- SHENDE, G. B. Status of Wastewater Treatment and Agricultural Reuse with Special Reference to Indian Experience and Research and Development Needs. In: PESCOD, M. B.; ARAR, A. (Ed.). SEMINAR ON THE TREATMENT AND USE OF SEWAGE EFFLUENTS FOR IRRIGATION, Nicosia, Cyprus, 7 9 Oct. Butterworths. Proceedings. London: FAO, 1985.
- TUCSON WATER Annual Water Quality Report, Water Treatment/Quality Division. 1988.
- _____. Annual Water Quality Report, Water Treatment/Quality Division. 1999.
- _____. MALCOLM PIRNIE. Reclaimed Water System Master Plan for Tucson Water-Executive Summary, Tucson, AZ, 1999.
- UNITED NATIONS. Water for Industrial Use Economic and Social Council, Report E/3058STECA/50. New York: United Nations, 1958.
- VAN DER MERWE, B.; PETERS, I.; MENGE, J. Namibia Case Study. In: Health, Agricultural and Environmental Aspects of Wastewater and Excreta Use, Report of a Joint WHO/FAO/UNEP/ UNCHS Regional Workshop. Harare, Zimbabwe: World Health Organization, Geneva, 1994.
- VAN GENUCHTEN, M. TH. A Closed Form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils, Soil Sci. Soc. Am. J., n. 44, p. 982 998, 1980.
- WEGELIN, M. Surface Water Treatment by Roughing Filters – A Design, Construction and Operation Manual", Water and Sanitation in Developing Countries. Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology, 1997.
- WHO. Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. Report of a Scientific Group Meeting. Geneva: World Health Organization, 1989. (Technical Report Series n. 778).
- _____. Legal Issues in Water Resources Allocation, Wastewater Use and Water Supply Management. Report of a Consultation of the FAO/WHO Working Group on Legal Aspects of Water Supply and Wastewater Management. Geneva: World Health Organization, 22 27 Sept. 1990.
- _____. Basic Documents, 38 ed. Geneva: World Health Organization, 1990.
- WORLD BANK/UNDP/ICID. Irrigation and Drainage Research – A Proposal for an Internationally Supported Program to Enhance Research on Irrigation and Drainage Technology in Developing Countries. Washington, D. C.: World Bank/UNDP in collaboration with ICID, 1990. v. 2.