

# TRATAMENTO DE EFLUENTES E REÚSO DA ÁGUA NO MEIO AGRÍCOLA

Edna Ivani Bertoncini<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Eng. Agr., Doutora, Pesquisadora Científica, Pólo APTA Centro Sul, Rodovia SP 127, km 30, Caixa Postal 28, CEP: 13400-970, Piracicaba, SP. ebertoncini@apta.sp.gov.br.

## RESUMO

A escassez de água potável, os conflitos associados aos usos múltiplos e a cobrança pelo uso vem pressionando a tomada de decisões que envolvam o tratamento de água, esgoto e resíduos e o reúso de água. A atividade agropecuária é grande consumidora de água e geradora de resíduos, e o meio agrícola não é contemplado com abastecimento de água potável, coleta e tratamento de esgotos e dejetos. O binômio fossa-poço e a disposição não controlada de dejetos animais em solos é realidade no meio rural brasileiro, ocasionando contaminação ambiental e problemas de saúde pública. Diante deste contexto, este artigo técnico alerta para os contaminantes presentes em esgotos, dejetos animais e efluentes agroindustriais, assim como para as vantagens e desvantagens do reúso na agricultura. Técnicas alternativas, práticas, econômicas e eficazes de tratamento de água, esgotos e dejetos de animais são apresentadas. São discutidos os entraves legislativos e técnicos que dificultam a expansão do reúso da água o meio agrícola no Brasil. Comenta-se sobre o uso da vinhaça em solos agrícolas como sucesso da prática do reúso e as novas normas que regulamentam seu uso no estado de São Paulo. Legislação sobre o reúso da água é apresentada, assim como duas experiências controladas de aproveitamento de efluentes sanitários na irrigação agrícola.

**Palavras-chave:** saneamento rural, tratamento alternativo, efluentes, contaminantes, reúso de água.

## Tratamento e Reuso de Água

### INTRODUÇÃO

A ocupação urbana e o adensamento populacional desordenado têm resultado em graves crises de abastecimento de água. Como exemplos, pode-se citar a Região Metropolitana de São Paulo, que apresenta disponibilidade de água de 200 metros cúbicos por habitante por ano, e a cidade de Piracicaba, interior do estado de São Paulo, que apresenta 400 metros cúbicos de água por habitante por ano, índices muito abaixo dos internacionalmente recomendados: 1.500 metros cúbicos de água por habitante por ano.

A falta de tratamento de esgotos e de efluentes industriais e agroindustriais e o desperdício de água na irrigação agrícola contribuem para este cenário de escassez de água. A demanda por água potável e conflitos pelos usos múltiplos da água, especialmente na região Sudeste do Brasil, vem pressionando a tomada de decisões que envolvam o tratamento de água, esgoto e resíduos, assim como o aproveitamento dos efluentes tratados.

No Brasil, tentativas de gestão das águas iniciaram-se em 1934, com o Código das Águas. Contudo, somente a partir de 1997, com a promulgação da Lei 9433/97, instituiu-se a cobrança pelo uso da água, que consiste no conceito de “usuário pagador” e de “poluidor pagador”, de forma que quem desperdiça e polui paga mais.

A cobrança pelo uso da água está instituída nos Estados do Ceará, Paraná e Santa Catarina e, em nível federal, para rios que cortam mais de um estado. No estado de São Paulo, a cobrança pelo uso da água está funcionando na Bacia do Rio Paraíba do Sul e na Bacia dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. No mês de dezembro de 2007, o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e a Agência Nacional de Águas (ANA) enviaram cobrança aos usuários que captam mais de 100 litros por segundo para irrigação agrícola e mais de 20 litros por segundo para atividades de saneamento, como a lavagem de baias de animais.

A falta de tratamento de esgoto e dejetos animais na zona rural tem forçado a busca por soluções práticas, econômicas e eficientes para tratamento e reúso de águas servidas. Atualmente, a prática do reúso é realidade em alguns países. No Brasil, o reúso tem sido incentivado como forma de minimizar a escassez de água potável e a degradação de mananciais causada pelo despejo direto de esgotos e resíduos. Os entraves à expansão da técnica serão relatados e discutidos.

As propriedades rurais, geralmente, não são servidas pelos sistemas de tratamento de água e esgotos operados por empresas de saneamento. A associação

fossa-poço é comum, aumentando os riscos de proliferação de doenças e parasitas por meio da contaminação da água subterrânea. A irrigação e lavagem de verduras, hortaliças e frutas com água de mananciais contaminados com esgotos domésticos e o uso direto no solo de resíduos, como a cama-de-frango e resíduos de suínos e bovinos, são fontes de contaminação do produto agrícola e das águas subterrâneas. Neste informativo serão descritos os principais contaminantes presentes nestes resíduos e os problemas de saúde pública ocasionados pelo contato com água e produtos agrícolas contaminados.

Para o reaproveitamento de águas residuárias na agricultura é necessário que o seu tratamento seja eficaz. Técnicas de tratamento, eficazes, práticas, econômicas e recomendadas ao meio rural serão abordadas neste informativo.

Finalmente, será discutida a legislação que regulamenta a qualidade de efluentes tratados, visando ao reúso na irrigação, lavagem de baias de animais ou mesmo descarte nos corpos de água. Experimentos pilotos e monitorados utilizando irrigação de culturas, como o milho e café, com efluentes sanitários serão relatados e discutidos.

### DISCUSSÃO

#### Demanda de água na agricultura

A área irrigada no Brasil está em torno de três milhões de hectares, que representa apenas 1,9% dos 155,0 milhões de hectares cultivados. A região Sul apresenta 35% da área irrigada, seguida da região Sudeste com 30%, Nordeste com 24% e as regiões Centro-Oeste e Norte, juntas, com 11% do total.

Os Cadernos Setoriais dos Recursos Hídricos (Ministério do Meio Ambiente, 2006) citam que a agricultura brasileira consome 69% da água dos mananciais, seguindo-se o abastecimento doméstico (21%) e a atividade industrial (10%). Dados semelhantes foram obtidos pelo Banco Mundial (1994), indicando que a agricultura consome 69% da água, enquanto que o consumo residencial e industrial é de 23% e 8%, respectivamente.

Desperdícios de água na irrigação agrícola ocorrem devido ao uso de métodos de irrigação que favorecem perdas de até 60% da água por evaporação, como a inundação, os sulcos rasos, o pivô central e a aspersão. Contudo, deve-se considerar que a produtividade é aumentada com a irrigação, reduzindo a necessidade de expansão da fronteira agrícola.

## Tratamento e Reuso de Água

O excesso de água colocado no solo contribui para o transporte de fertilizantes e pesticidas, poluindo águas superficiais e subterrâneas. Dentro do conceito “poluidor pagador”, a propriedade pode ser taxada pela disposição de contaminantes oriundos da atividade agrícola via recarga da água subterrânea e/ou lançamento em corpos de água. A agricultura, como grande depositária de produtos químicos e orgânicos sobre corpos de água, seria um dos setores mais afetados por essa nova gestão dos recursos hídricos (Martins et al., 2001).

Agroindústrias, como as usinas produtoras de açúcar e álcool, são grandes tomadoras de água. Dados da safra de 2005 indicam que na Bacia do Rio Capivari, SP, houve um consumo de água de 12 bilhões de metros cúbicos, para o processamento da cana-de-açúcar cultivada em 66.000 hectares (Instituto de Economia Agrícola, SAA/SP). Na Bacia dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, a Usina Ester no município de Cosmópolis, ocupa o primeiro lugar como tomadora de água da bacia (Comitê PCJ, 1993-2003).

Por outro lado, para cada litro de álcool produzido há geração de 10 a 13 litros de vinhaça. A produção de vinhaça brasileira está em torno de 200 bilhões de litros, empregada quase que na sua totalidade para irrigação da cultura da cana-de-açúcar. A Resolução CONAMA N° 54 (2005) define efluentes líquidos de agroindústrias tratados ou não como água residuária, e o reúso da água como sendo a utilização de águas residuárias. Assim, o uso de vinhaça em solos brasileiros configura-se como maior exemplo de reúso da água, talvez até em nível mundial.

A vinhaça é constituída de 98% de água e 2% de sólidos. A parte sólida compreende material orgânico facilmente degradável em solos e teores de potássio na faixa de 0,1 a 0,2%. A irrigação da cana na dose de 100.000 litros de vinhaça por hectare resulta em economia no uso de fertilizantes potássicos da ordem de 75 a 100 dólares por hectare e proporciona a irrigação da cultura e aumento de produtividade, constituindo um exemplo de sucesso de reúso da água no setor canavieiro.

A pecuária confinada é outra atividade que consome grande volume de água, gerando resíduos, especialmente nos casos em que a limpeza de baias é efetuada por meio de lavagem. O caso da suinocultura talvez seja o mais grave. Nas granjas de suínos, o consumo de água para dessedentação dos animais e lavagem de baias varia de 7 a 45 litros de água para cada animal por dia. A água de lavagem das baias é impregnada de fezes, urina, restos de ração, pêlos, fármacos e hormônios utilizados na criação dos animais.

O uso direto desta água em solos agrícolas tem causado problemas de contaminação do solo com metais pesados, como o cobre e zinco, além do sódio, que estão presentes na ração animal. Contudo, a maior preocupação seria a contaminação do solo e água subterrânea com nitrato e patógenos.

Os dejetos de suínos apresentam concentrações elevadas de microrganismos como os coliformes termotolerantes (10 milhões em 100 mililitros de efluente), até 3.000 ovos de helmintos e 1.000 cistos de protozoários em um grama de dejetos seco (Nishi et al., 2000). No oeste de Santa Catarina estima-se que 85% das fontes de água estão contaminadas por coliformes termotolerantes oriundos do lançamento direto de dejetos suínos em cursos de água (Lohmann et al., 1999).

Valores elevados de nitrato na água de consumo humano estão associados à ocorrência de metahemoglobinemia infantil. O nitrato causa oxidação da hemoglobina normal à metahemoglobina, que não é capaz de transportar oxigênio para os tecidos. Em organismos adultos, tais compostos são responsáveis por elevados índices de câncer de estômago. A legislação brasileira (Ministério da Saúde, 2004) estabelece valores máximos de 10 miligramas por litro de nitrogênio na forma de nitrato para água de consumo humano. Nos Estados Unidos estimou-se que 75.000 crianças abaixo de 10 anos estavam expostas ao consumo de água contaminada com nitrato (U.S.EPA, 1999).

Atividades agropecuárias, como a suinocultura, representam elevado potencial poluidor, sendo necessário licenciamento ambiental para seu funcionamento (Resolução CONAMA N° 237, artigo 3°, 1997). O licenciamento ambiental da atividade das granjas é concedido mediante a comprovação de tratamento eficiente dos dejetos, e o reúso dos efluentes pode ser efetuado, desde que sua qualidade esteja dentro das normas ambientais vigentes.

## TRATAMENTO DE ÁGUA E DEJETOS NO MEIO RURAL

No Brasil, 65% das internações hospitalares de crianças menores de 10 anos estão associadas à falta de coleta e tratamento de esgotos (BNDES, 1998). Nos países em desenvolvimento, estima-se que 80% das doenças e mais de um terço das mortes estejam associados ao contato e uso de águas contaminadas (Galal-Gorchev, 1996).

## Tratamento e Reuso de Água

A coleta e tratamento de esgotos, no Brasil, não abrangem as zonas rurais, deixando por conta do proprietário rural a destinação dos dejetos, que quase sempre se dá por meio de fossa negra. No mercado há inúmeras técnicas de tratamento de água e dejetos que podem ser empregadas com sucesso. Contudo, o custo de aquisição de equipamentos, os insumos utilizados e a elevada manutenção dos sistemas inviabilizam sua implantação no meio rural.

Técnicas alternativas de tratamento de água, esgoto e dejetos desenvolvidas para a zona rural foram apresentadas por profissionais das áreas de saneamento e agrícola, em *workshop* promovido pelo Pólo APTA Centro Sul, em maio de 2005, em Piracicaba, SP, e serão discutidas neste texto (APTA, 2005). Nos Estados Unidos, técnicas alternativas de tratamento de esgoto são utilizadas com sucesso em 25% das moradias antigas e 40% das novas moradias (Prochaska & Zouboulis, 2003).

### TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO NO MEIO RURAL

#### Coleta e armazenamento de água de chuva

A coleta e armazenamento de água de chuva pode proporcionar o abastecimento da propriedade agrícola nos meses de escassez de água. A estrutura necessária para a coleta de água de chuva é pequena, com custo relativamente baixo. A coleta de água de telhados pode ser feita com calhas de bambu de três espécies do gênero *Dendrocalamus* (*D. giganteus*, *D. laevis* e *D. latiflorus*), conhecidas como bambu gigante, que cortado longitudinalmente substitui os canos de PVC. O bambu é um material resistente, e as varas podem ser tratadas por meio da imersão em suspensões contendo água e cal na proporção de um quilo de cal virgem para cada três litros de água, deixando-as imersas por período mínimo de 10 dias. As varas tratadas devem ser parafusadas no beiral de telhados e conectadas a tanque para armazenamento da água. A água armazenada será inicialmente tratada pela decantação do material suspenso e posteriormente desinfetada para consumo seguro nos meses de seca.

O bambu pode ser cultivado facilmente na propriedade rural. A Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento de Tatuí (UPD de Tatuí, Pólo APTA Capão Bonito) possui banco de germoplasma de aproximadamente 70 espécies de bambus identificadas, que podem ser fornecido para a produção de mudas.

Os principais contaminantes de água no meio rural consistem de argilas suspensas, matéria orgânica, patógenos originados de fossas sépticas, além de pesticidas e fertilizantes utilizados nas culturas agrícolas. Argila, matéria orgânica e patógenos podem ser eliminados por meio de processos de tratamento. Pesticidas, fármacos e hormônios dissolvidos na água raramente são eliminados, mesmo por processos de tratamentos de água utilizados pelas companhias de abastecimento público. Processos de decantação, filtração e desinfecção são utilizados na seqüência para o tratamento de água.

#### Coagulação e decantação com sementes de *Moringa oleifera* Lam.

A sedimentação de materiais orgânicos e argila suspensos pode ser acelerada pelo uso de produtos químicos, como o sulfato de alumínio e polímeros, substâncias amplamente utilizadas no sistema de tratamento de água das cidades. Contudo, o custo destes produtos é elevado e quando mal dosados deixam resíduos na água, podendo causar problemas de saúde, como o Mal de Alzheimer (Schintu et al., 2000), relacionado ao consumo de água com residual de alumínio.

Como alternativa a estes coagulantes podem-se utilizar as sementes da planta *Moringa*, que, trituradas e colocadas em contato com a água suja, coagulam os materiais suspensos. Outra vantagem do tratamento de água com sementes de *Moringa* é que estas agem em qualquer valor de pH da água, enquanto que o sulfato de alumínio é eficiente apenas em uma faixa restrita de valor de pH, necessitando de outros insumos para a correção de pH.

A planta *Moringa oleifera* Lam. pertence à família Moringaceae, composta de um gênero (*Moringa*) e quatorze espécies conhecidas. Nativa do Norte da Índia, é uma espécie de crescimento rápido, alcançando até 12 metros de altura, sendo amplamente cultivada nos trópicos. A produção de sementes ocorre durante todo o ano e um hectare plantado gera 3.000 kg de sementes, capaz de tratar 30 milhões de litros de água ou efluentes com turbidez acima de 100 UNT (unidade nefelométrica de turbidez). Os taninos vegetais, constituídos por polifenóis, presentes na semente da planta são responsáveis pela coagulação e sedimentação dos contaminantes. Tais compostos são produzidos pelas plantas superiores e reconhecidos pela coloração escura das folhas quando esmagadas e por seu sabor adstringente (Kumari et al., 2006).

## Tratamento e Reuso de Água

As sementes de Moringa são aproveitadas para extração de óleo e fabricação de cosméticos. As folhas são utilizadas como suprimento alimentar para crianças desnutridas e pessoas debilitadas, pois apresentam sete vezes mais vitamina C que a laranja, três vezes mais potássio que a banana, e quatro vezes mais cálcio e vitamina A que o leite e a cenoura, além de possuírem 27% de proteína (Amaya et al., 1992).

O uso da semente no tratamento de água em larga escala é praticado em Malawi, na África, e em escala domiciliar no Sudão e Indonésia. Recomenda-se a adição de 2,0 (dois) gramas de sementes trituradas de Moringa para cada 20 litros de água contaminada. A água deve ser agitada rapidamente a cada dois minutos e, após, lentamente a cada 10-15 minutos. Após uma hora, observa-se a remoção de 99% das bactérias intestinais presentes na água (Folkard & Sutherland, 2004). Estudos recentes revelam a remoção eficaz de metais pesados de águas tratadas com sementes de Moringa (Kumari et al., 2006), indicando o potencial da semente para estudos de remediação de águas e efluentes contaminados.

No Brasil, alguns grupos de pesquisa estudam e recomendam o uso de sementes de Moringa no tratamento de água e das folhas no tratamento da desnutrição. Entre os trabalhos podem-se citar os da Embrapa Tabuleiros Costeiros, em Aracaju, Sergipe, que possui programa de distribuição de sementes, e estudos do grupo Prof. Dr. José Euclides Stipp Paterniani da Feagri, Unicamp, com o uso de semente de Moringa no tratamento de esgotos e efluentes (Paterniani, 2005).

Na fazenda do Pólo APTA Centro Sul, Piracicaba, SP, implantou-se em 2007 um bosque com 100 plantas de Moringa (Figura 1), que se encontra em plena produção. O objetivo deste plantio é gerar estudos para tratamento de água, esgotos e efluentes com diferentes níveis de contaminação e conduzir pesquisas para o uso das folhas da planta na alimentação humana e animal (Bertoncini et al., 2008).

### Desinfecção da água no meio rural

Após a remoção de materiais sólidos, é necessária a desinfecção da água de abastecimento, para eliminação de bactérias indicadoras de contaminação fecal, de modo que atenda aos parâmetros de potabilidade de água prescritos na Portaria 518/2004 (Ministério da Saúde, 2004).

No mercado há diversos desinfetantes utilizados para desinfecção da água, mas, historicamente, o cloro tem sido o desinfetante mais utilizado. Pesquisas recentes mostram que alguns vírus e protozoários como

a *Giardia* sp e o *Cryptosporidium* sp (Tchobanoglous, 2003) sobrevivem mesmo após o tratamento da água com elevadas doses de cloro, causando preocupações aos serviços de tratamento de água e de saúde pública.



A - Bosque de Moringa



B - Aspecto da vagem



C - Aspecto da vagem

**Figura 1.** Aspecto de bosque de Moringa e tratamento de água no Pólo APTA Centro Sul - Piracicaba.

## Tratamento e Reuso de Água

A presença de matéria orgânica na água juntamente com o cloro pode propiciar a formação de compostos organoclorados, prejudiciais ao Homem e à biota aquática (Monarca et al., 2000), e também reduzir a eficiência da radiação ultravioleta usada para substituir o cloro como desinfetante. O ozônio vem sendo estudado com sucesso na desinfecção de águas, contudo, em nossa realidade, o processo ainda é pouco conhecido e oneroso. Assim, a remoção eficaz da matéria orgânica é de fundamental importância para o sucesso do processo de desinfecção.

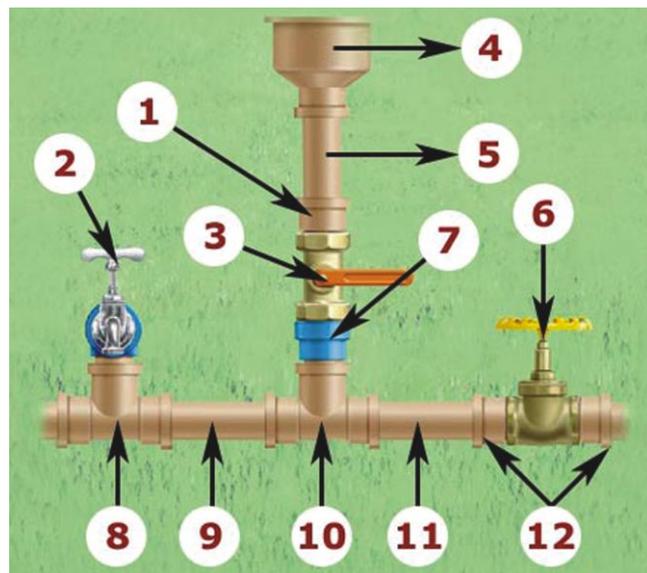
A desinfecção de água de chuva, água coletada em minas, córregos, poços para abastecimento e irrigação de hortas pode ser efetuada por meio da cloração. A Embrapa Instrumentação Agropecuária, com sede em São Carlos, SP, desenvolveu um sistema dosador de cloro para uso em pequenas comunidades. O clorador de água pode ser montado pelo próprio usuário a um custo muito baixo, menos de R\$ 50,00 (referência: ano de 2006; Novaes, 2005), e o cloro pode ser adquirido em lojas que comercializam produtos para piscina.

A Figura 2 apresenta o modelo do clorador com as peças necessárias para sua confecção. O clorador é adaptado na canalização de distribuição de água, antes da caixa de armazenamento de água. A cloração deve ser efetuada da seguinte maneira: 1- Fechar o registro de entrada de água para o reservatório (Peça 6); 2- Abrir a torneira (Peça 2) para que toda água da tubulação escorra; 3- Dissolver uma colher rasa de café com cloro granulado 60% em meio copo de água (quantidade suficiente para tratar 500 litros de água) e adicionar a solução ao funil (Peça 4); 4- Abrir o registro do clorador vagarosamente (Peça 3); 5- Lavar o funil com água, fechar o registro e tampar o funil com placa de PVC; 6- Abrir novamente o registro de entrada de água (Peça 6). O tempo de contato mínimo do cloro com a água deve ser de uma hora, e após o uso da água esta operação deve ser repetida. No caso de volumes maiores de água, calcular o volume de água a ser tratada e a quantidade de cloro que deve ser adicionada. Cabe ressaltar que a legislação brasileira (Ministério da Saúde, 2004) recomenda que a água que chega até a torneira tenha níveis de 0,2 miligramas de cloro para cada litro de água, de modo a tratar possíveis recontaminações que ocorram na tubulação.

### Tratamento de esgoto e dejetos animais no meio rural

Inúmeras são as técnicas de tratamento de esgotos e dejetos disponíveis no mercado, dependentes

do volume gerado e da carga orgânica e química do resíduo. Para o dimensionamento de cada sistema, seu monitoramento e o reúso da água necessita-se de conhecimentos aprofundados, que devem ser buscados junto a profissionais da área de saneamento, ambiente e agronomia. A seguir, serão abordadas as técnicas adaptadas ao meio rural.



- 1 - bucha de redução soldável longa de 60 por 25 milímetros (Peça 4)
- 3 - tubos de PVC de 25 milímetros de diâmetro e 30 centímetros de comprimento (Peças 5,9 e 11);
- 3 - adaptadores de 25 milímetros por 3/4 de polegada (Peças 1 e 12);
- 2 - registros de esfera com borboleta em PVC de 3/4 de polegada (Peças 3 e 6);
- 1 - nipel de 3/4 de polegada (Peça 7);
- 1 - Te soldável de 25 milímetros (Peça 10);
- 1 - e soldável de 25 milímetros por 0,5 polegada com rosca (Peça 8);
- 1 - torneira de jardim de 0,5 polegada (Peça 2);
- Lixa especial para PVC; Cola para PVC

**Figura 2.** Clorador de água modelo EMBRAPA. Imagem cedida pelo Pesquisador Antonio Pereira de Novaes.

### Pré-tratamento de esgotos e dejetos animais

O pré-tratamento consiste na retirada de materiais grosseiros, como papéis, plásticos, absorventes, no caso do esgoto doméstico, por meio da passagem do esgoto por grades de ferro, espaçadas de 20 a 100 milímetros e com espessura do ferro de 6 a 13 mm (Figura 3A). Dejetos animais, restos de ração e pêlos podem ser retirados em caixas de sedimentação ou pela passagem dos resíduos em peneira rotativa (Figura 3B).

## Tratamento e Reuso de Água

### Tratamento primário de esgotos e dejetos

O tratamento primário de esgotos e dejetos objetiva a remoção de sólidos e matéria orgânica, de modo a reduzir os valores de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio). A DBO representa a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar a matéria orgânica biodegradável existente na água por meio da ação de microrganismos, enquanto que a DQO representa a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar a matéria orgânica total presente na água. Em termos comparativos podem-se citar os exemplos do esgoto doméstico e dos dejetos de suínos, que apresentam valores de DBO de 500 e 90.000 miligramas de oxigênio para cada litro de resíduo, respectivamente. Valores elevados de DBO e DQO indicam que os resíduos são mais poluentes e seu tratamento mais complicado.

### Fossa séptica biodigestora

Pesquisadores da Embrapa Instrumentação Agropecuária desenvolveram um sistema de fossa séptica biodigestora para tratamento primário de esgoto para pequenas comunidades, baseado nos antigos sistemas biodigestores, que datam de 1919, em Bombain, Índia. O sistema trata apenas o esgoto do vaso sanitário. Detergentes e sabões das águas de lavagens prejudicam o desenvolvimento dos microrganismos decompositores de matéria orgânica. (Novaes, 2005).

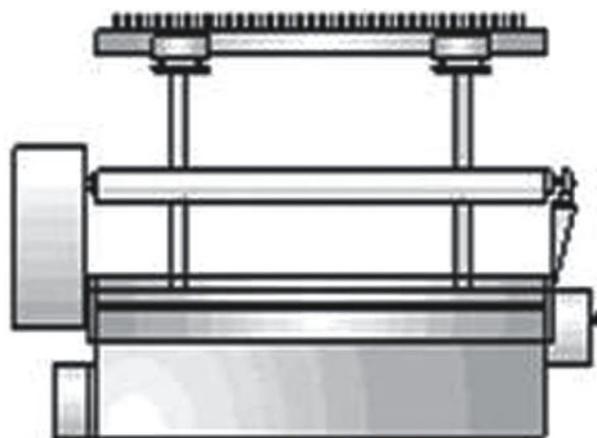
O sistema pode ser instalado de modo que trate o esgoto de uma família de 05 (cinco) pessoas, considerando que cada pessoa descarta 10 litros de água e dejetos, totalizando 50 litros diários e 1.500 litros por mês, ou pode ser ampliado para que trate o esgoto de maior número de residências. É indicado que se utilize vaso sanitário com descarga acoplada, que utiliza menor volume de água. A partida do sistema é dada pela adição de esterco bovino, que apresenta grande diversidade de microrganismos decompositores que promovem a digestão da matéria orgânica na ausência de oxigênio.

O esgoto é canalizado para a primeira caixa, a qual se ligará a outras duas caixas em série, por tubulação de PVC de 4", com auxílio das conexões curvas longas de 90° no interior das caixas e Te, conectadas externamente a Te de inspeção (desentupimentos) (Figura 3D). Estas caixas representarão os tanques sépticos. Para a partida do sistema, a cada 30 dias a primeira caixa é abastecida com uma mistura de 20 litros de esterco bovino e 20 litros de

água. As caixas serão vedadas com borracha fixa nas bordas das tampas, e deve ser colocado um sistema de alívio de gases composto por peça de conexão CAP de 25 mm de diâmetro, com quatro furos de 2 mm, e ligados à tampa das caixas por meio de flange de 25 mm (Figura 3C). O lodo formado na terceira caixa (Figura 3D) deverá ser retirado periodicamente.



A - Grade retentora de sólidos



B - Peneira rotativa de escovas



C - Fossa biodigestora séptica

## Tratamento e Reuso de Água



D - Caixas montadas no solo



E - Lodo formado na terceira caixa



F - Aspecto do efluente gerado

**Figura 3.** Pré-tratamento de esgoto (A e B). Tratamento primário - fossa biodigestora séptica.

O efluente gerado (Figura 3E) tem sido utilizado na irrigação de culturas agrícolas, e o lodo, utilizado como fertilizante orgânico. Cabe ressaltar, que a Resolução CONAMA N° 375/2006 (CONAMA, 2006) proíbe o uso de lodo de esgoto e derivados no cultivo de verduras, hortaliças e pastagens.

O lodo poderia ser utilizado em culturas como a cana-de-açúcar, milho e laranja. A fossa biodigestora séptica trata apenas o esgoto sanitário, sendo necessários estudos para verificar sua real eficiência na remoção de matéria orgânica e patógenos. Contudo, constitui uma opção paliativa para o tratamento de esgoto sanitário na zona rural.

### Rampa de escoamento superficial

No Brasil, a experiência com o método de escoamento superficial é pequena, conhecendo-se alguns trabalhos feitos na UNICAMP e em uma ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) construída em Populina, SP. A técnica consiste na depuração da carga orgânica presente nos resíduos no solo e na absorção dos nutrientes pelas plantas. Taxas de remoção de matéria orgânica de esgotos de até 95% foram obtidas com este método (Paganini, 1997).

A rampa de escoamento deve ser construída em solo argiloso, com declividade de 1 a 4%, comprimento de 30 a 45 metros e largura que facilite o manejo da área (Figura 4A). Para deposição do efluente no solo utiliza-se o método superficial, com lançamento no topo da rampa usando canalização de PVC perfurada (Figura 4 B). A irrigação por aspersão é desvantajosa, pois o esgoto entope os bicos dos aspersores, há consumo de energia elétrica e maior dispersão de contaminantes no ar. Após passagem por pré-tratamento, o esgoto bruto, ou dejetos, é distribuído uniformemente no topo da rampa e caminha por gravidade até o sistema de coleta do efluente montado no final da rampa. Estima-se que 25% da água disposta no solo seja evapotranspirada, 10% evaporada, 10% infiltrada no solo e que em torno de 55% escorra, sendo recuperada na parte inferior da rampa.

Após a terraplanagem para inclinação da rampa, o solo deve ser arado e gradeado, sendo ainda efetuada calagem, para receber sementes ou mudas. A rampa deve ser cultivada com capins como a *Brachiaria humidicola*, *Brachiaria arrecta*, *Typha latifolia* e *Cynodon dactylon* (Tyfotn85), pois permitem o desenvolvimento dos microrganismos decompositores da matéria orgânica em seu sistema radicular abundante, são bons controladores de erosão e produzem elevada massa verde, absorvendo grandes quantidades de nutrientes do solo (Figura 4C). Após a germinação do capim aplicam-se os efluentes na taxa de 200 litros por metro quadrado por hora. A aplicação deve ser efetuada de 6 a 12 horas a cada 4 a 5 dias.

No topo e final da rampa utiliza-se uma camada de brita para evitar processos erosivos e melhorar a filtração do efluente.

## Tratamento e Reuso de Água

O efluente tratado ao longo da rampa é recolhido em calhas e, dependendo de sua qualidade, pode ser desinfetado com cloro e reutilizado. O capim deve ser cortado a cada 50 dias aproximadamente (Figura 4D), após a suspensão da irrigação, e recomenda-se que seja efetuada a fenação antes de ser fornecido a animais.



A - Construção das rampas de escoamento



B - Sistema de irrigação superficial



C - Rampa vegetada



D - Corte do capim

**Figura 4.** Rampa vegetada para tratamento de esgotos e dejetos

## Tratamento e Reuso de Água

Outra opção seria usá-lo na compostagem com outros resíduos, como cama-de-frango e dejetos sólidos de suínos e bovinos, de modo que houvesse a eliminação de patógenos em razão das elevadas temperaturas que ocorrem no processo, seja de fenação ou compostagem.

Cabe ressaltar que a Resolução CONAMA N° 375/2006 (CONAMA, 2006) proíbe o uso de lodo de esgoto e derivados em pastagens. O solo da rampa deve ser monitorado por meio de análises químicas, pois pode ficar saturado, prejudicando o desenvolvimento das plantas e inviabilizando o sistema.

### Reatores anaeróbios com recheio de bambu

O processo anaeróbio baseia-se na utilização de microrganismos, na ausência de oxigênio, para a degradação de matéria orgânica, gerando gases como o metano, dióxido de carbono e amônia. Mais de 130 espécies diferentes de microrganismos decompositores são encontradas em sistemas anaeróbios, sendo as bactérias as mais numerosas. As reações que compõem o processo de digestão anaeróbia são complexas, gerando produtos intermediários, decorrentes da microbiologia e bioquímica do processo anaeróbio.

Um dos sistemas de tratamento anaeróbio de dejetos recomendado para pequenas comunidades pela rede PROSAB (Programa de Saneamento Básico) é o sistema de filtros anaeróbios com recheio de bambu. O tratamento ocorre pela filtração no meio poroso de bambu e pela decomposição da matéria orgânica proporcionada pelos filmes microbianos aderidos aos anéis de bambu (Camargo, 2000). O método apresenta baixo custo, consome pouca energia, produz uma quantidade mínima de lodo e, mesmo após a interrupção do seu funcionamento por longos períodos, apresenta eficiência. O uso do bambu como recheio barateia o custo de construção do reator, pois, além de ser facilmente encontrado na zona rural, é bem mais barato que outros tipos de enchimento. Remoções de 80% dos sólidos e 75% dos valores de DQO e DBO foram obtidas no tratamento de esgoto bruto em filtros com recheio de bambu (Coraucchi et al., 2000).

O esgoto ou o dejetos bruto, após passar por pré-tratamento, é encaminhado para reservatório elevado por meio de bomba hidráulica e distribuído no reator de bambu. Os reatores são confeccionados em formato cilíndrico, de aço inox, com diâmetro interno de até 1,95 m e altura superior a 1,8 m (Norma Técnica NBR 13969, 1997). Silos de grãos sem uso na propriedade podem ser utilizados para este fim.



Recheio de bambu



Figura 5. Reator anaeróbio com recheio de bambu. Fonte: Ronaldo Stefanutti.

## Tratamento e Reuso de Água

No interior do silo, deixa-se um fundo falso de até 0,60 m, sobre o qual se coloca uma esteira de lascas de bambu que suportará o recheio. Sobre a esteira são colocados anéis de bambu da espécie *Bambusa tuldooides*, cortados no comprimento de 5,0 centímetros, de varas com diâmetro de aproximadamente 4,0 centímetros. A altura do leito de bambu deve restringir-se a 1,20 m, incluindo o fundo falso. A operação dos reatores se dá pela entrada do líquido pela base do filtro ou pela sua parte superior (fluxo vertical ascendente ou descendente) e é recolhido na parte oposta (Figura 5).

O esgoto ou dejetos permanecem por 6 horas dentro do reator, podendo ser redirecionado a outro reator ou ao tratamento secundário. O dimensionamento do número de reatores necessários para o tratamento depende do volume de esgoto ou dejetos a ser tratado diariamente, da capacidade dos reatores e da carga orgânica contida nos resíduos.

### Tratamento secundário de esgotos e dejetos

O tratamento primário dos esgotos e dejetos promove a remoção de sólidos e matéria orgânica, mas não é eficaz na remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos, cujos teores devem estar dentro das normas para serem reutilizados ou despejados em cursos de água. Para tanto, são necessários tratamentos secundários, pós-tratamento, e a desinfecção dos efluentes.

### Lagoa de estabilização

As lagoas de estabilização funcionam bem na remoção do nitrogênio, pois promovem a desnitrificação (perda de nitrogênio para a atmosfera). O fósforo é removido pelo processo de precipitação, e os microrganismos, como os coliformes, ovos de helmintos e cistos de protozoários, são sedimentados no fundo da lagoa.

As lagoas são rasas, com profundidade de até 0,5 metro e formato retangular, sendo escavadas na terra e compactadas com máquinas. O fundo e as laterais são revestidos com geomembrana de PEAD (Polietileno de Alta Densidade), que impede a penetração dos líquidos no solo (Figura 6A). Dimensiona-se a lagoa conhecendo-se o volume de efluente a ser tratado diariamente e o tempo de permanência do efluente, que gira em torno de 10 a 12 dias (Figura 6B). Lagoas com chicanas podem ser construídas para possibilitar maior circulação do efluente, maior desnitrificação e remoção do nitrogênio quando seus teores no efluente forem altos.



A - Impermeabilização lagoa - Manta PEAD



B - Vista geral de lagoa de estabilização

**Figura 6.** Lagoas de estabilização para tratamento de esgotos e dejetos.

### Pós-tratamento de efluentes

Efluentes gerados nos sistemas de tratamento anteriormente citados e com caracterização inadequada aos padrões da legislação para descarte em mananciais devem passar ou por sistemas de pós-tratamento, como os filtros de areia, ou pela decantação com sementes de *Moringa oleifera*, como já descrito para o tratamento de água.

### Filtros de areia

O funcionamento dos filtros de areia baseia-se na aplicação do efluente sobre leito de areia, no qual o líquido é tratado por meio de processos físicos, químicos e biológicos. O tratamento físico consiste na retenção de sólidos entre as partículas de areia, enquanto que o químico se dá pela retenção química entre as partículas do leito e aquelas presentes no efluente.

## Tratamento e Reuso de Água

Os processos biológicos são os mais importantes e consistem na decomposição do material orgânico por microrganismos decompositores.

Os filtros de areia são construídos em tanques de fibra, utilizando como leito três camadas montadas a partir da base. A primeira camada é constituída de 0,20 m de brita 2, em que se apóia tubulação de aeração do leito (captação natural de ar), composta por tubo de PVC de 50 mm de diâmetro interno, possuindo perfurações com diâmetro de 30 mm, espaçadas por 60 mm, em toda a sua extensão superior, inferior e laterais. Acima desta camada, é montada camada de 0,10 m de brita 1, que sustenta a camada de areia, impedindo sua saída do sistema. O leito de areia é formado com camada de areia média de 0,75 a 1,0 m (Tonetti, 2008), e o efluente é distribuído pela ação da gravidade (Figura 7A). A tubulação de saída do efluente deve ser instalada no centro do filtro e ter uma leve inclinação. As unidades de filtros podem receber aplicações de até 200 litros de efluentes previamente tratados.



A - Aspecto de distribuição de líquido



B - Aspecto de efluente gerado

**Figura 7.** Pós-tratamento de esgotos e dejetos. Filtros de areia

Os filtros proporcionam efluentes praticamente isentos de sólidos (Figura 7B), contudo os teores de nitrogênio, fósforo e patógenos devem ser avaliados para verificar sua qualidade e confrontá-la com o que consta na legislação que regulamenta seu descarte.

### Desinfecção de efluentes

Como já citado para a desinfecção da água, os efluentes devem ser tratados com cloro.

### REÚSO AGRÍCOLA

O reúso da água é hoje um fator importante para a gestão dos recursos hídricos. O poder depurador do solo é muito maior que o poder depurador das águas, pois o solo funciona como filtro, além de promover a decomposição da matéria orgânica ainda presente em efluentes tratados. Para a agricultura, o reúso de efluentes fornece, além de água, alguns nutrientes de plantas. Entretanto, o uso de resíduos em solos deve ser constantemente monitorado, para que não haja contaminação do sistema solo-água-planta.

Há diversas modalidades de reúso da água, como: o urbano, o industrial, o paisagístico, o agrícola, o doméstico, o recreacional, a recarga de aquíferos e o reúso na aquicultura e pesca. Neste texto será abordado apenas o reúso na irrigação agrícola.

O reaproveitamento de águas residuárias é realidade em alguns países, como Israel, no qual 65% do efluente sanitário tratado são utilizados na irrigação agrícola (Capra & Sciclone, 2004). No México, 45.000 litros de esgoto produzidos na cidade do México são misturados diariamente, por segundo, com água de chuva, sendo a mistura encaminhada por meio de canais a uma distância de 60 km, para irrigação de 80.000 hectares cultivados com cereais e forragens (Bastos et al., 2003). No caso de Israel, a prática do reúso é planejada e controlada por meio de legislação, e no caso do México, não há tratamento, nem controle da disposição de efluentes sanitários no solo, caracterizando uma situação não recomendável.

Na Austrália, áreas de 600 hectares cultivadas com cana-de-açúcar estão sendo irrigadas com efluentes de tratamento de esgoto. A utilização dos efluentes proporcionou aumento de 45% da produção e 62,5% da produção de açúcar (Braddock & Downs, 2001).

Países como o Japão, Estados Unidos, Austrália e países da União Européia na região mediterrânea possuem mais de 3.300 instalações para tratamento e recuperação da água.

## Tratamento e Reuso de Água

No Japão, Estados Unidos e Europa predomina o reúso urbano, enquanto que nas regiões mediterrâneas e América Latina há predomínio do reúso agrícola (Bixio et al., 2008).

No Brasil, a prática do reúso na irrigação agrícola é ainda nova, restringindo-se praticamente as imensas áreas de cana-de-açúcar irrigadas com vinhaça. Alguns entraves legislativos e técnicos têm limitado sua expansão não apenas no Brasil, mas também em outros países. Entre os entraves políticos podem-se citar: - Falta de tratamento de esgoto e dejetos e risco de uso de produtos não tratados para o ambiente e saúde pública; - Falta de estudos que subsidiem a construção de legislação que regulamente o reúso; - Falta de legislação apropriada para cada tipo de efluente; - Legislações muito restritivas em alguns casos; - Elevado custo de investimento inicial em sistemas de tratamento e distribuição; - Baixa competitividade de custo de água de reúso, quando comparada à água tratada: o custo da água de reúso deve ser menor que R\$ 3,00 por metro cúbico para competir com a água tratada (Costanzi, 2008).

Como entraves técnicos podem-se citar: - a mistura de esgoto doméstico e industrial na mesma rede coletora; - a falta de tratamento de esgoto, resultando em baixa oferta de efluentes tratados; - a ausência de tratamentos secundários e desinfecção, que removeriam contaminantes do efluente, possibilitando seu uso em culturas agrícolas.

### Contaminantes presentes em efluentes

A presença de metais pesados, oriundos de esgoto industrial descartado junto a esgotos domésticos, pode ocasionar a contaminação do solo, dos produtos agrícolas e de águas subsuperficiais. De modo geral, os teores totais de metais pesados em efluentes podem ser considerados baixos. No entanto, sucessivas aplicações, associadas à incorporação de matéria orgânica de rápida degradação e muito pouco estabilizada, podem ocasionar seu acúmulo no solo. Mudanças das condições físico-químicas do solo podem ocasionar a liberação destes metais para a solução do solo, disponibilizando-os à absorção pelas plantas e/ou para a percolação no solo (Bertoncini & Mattiazzo, 1999). A absorção de metais pesados pelas plantas pode reduzir a produtividade agrícola. No organismo humano, são acumulativos e podem ocasionar doenças.

Outro fator preocupante no reúso agrícola seria o excesso de sais e de sódio em efluentes sanitários e outros tipos de efluentes. O excesso de sais pode ocasionar a salinidade do solo e a deficiência hídrica das

plantas, isto é, mesmo havendo água disponível no solo, as plantas não conseguem absorvê-la. O excesso de sódio em efluentes sanitários e outros efluentes agroindustriais, como aqueles de indústria cítrica, de papel e celulose, de gelatinas e curtumes, dentre outros, pode ocasionar dispersão das argilas, dificuldade de infiltração de água no solo e formação de camadas de impedimento no perfil do solo.

Os patógenos humanos, como, por exemplo, ovos de helmintos, cistos de protozoários e vírus presentes em efluentes sanitários, podem contaminar a cultura, os trabalhadores rurais e o lençol freático. Esgoto doméstico bruto contém mais de 3,0 milhões de coliformes termotolerantes em 100 mililitros, microrganismos esses considerados indicadores de contaminação fecal.

Efluentes sanitários contêm elevadas quantidades de patógenos intestinais, como os helmintos, protozoários, bactérias e vírus. Os principais helmintos presentes no esgoto são o ancilóstomo, que causa o amarelão (Figura 8A), o *Ascaris lumbricoides*, ou lombriga (Figura 8B), e as tênias, ou solitárias (Figura 8C).



A - Ancilóstomo



B - *Ascaris lumbricoides*



C - Tênia ou solitária



D - Giárdia

**Figura 8.** Principais parasitos presentes em esgotos e efluentes sanitários.

## Tratamento e Reuso de Água

O porco e o boi são hospedeiros intermediários das tênias e o homem é o hospedeiro definitivo. Assim, o uso de derivados de esgotos em pastagens deve ser evitado, de modo a quebrar o ciclo de vida dos parasitas. Os sintomas da teníase no homem são dores abdominais e fraqueza, e cistos podem atingir o cérebro, levando o indivíduo a óbito.

Como representantes dos protozoários nos esgotos podem ser citadas as amebas, a *Giardia* sp (Figura 8D) e o *Cryptosporidium* sp, que causam diarreia e desnutrição. As principais bactérias patogênicas são as salmonelas e o *Vibrio cholerae*, causador da cólera. Os vírus presentes em esgotos e efluentes podem causar hepatite infecciosa (vírus da hepatite A), gastroenterite aguda (rotavírus) e infecções respiratórias (reovírus).

Os microrganismos patogênicos podem sobreviver no solo por períodos de dias, meses e até anos, pois possuem em seu ciclo de vida formas de resistência que os protegem dos efeitos adversos do ambiente. A maioria deles permanece na superfície dos solos, mas há indícios de que os vírus percolam e atingem as águas subterrâneas, explicando os casos de hepatite em pessoas que consomem água de poço na zona rural. Assim, o tratamento e a desinfecção de efluentes sanitários são de extrema importância para o sucesso do reúso agrícola.

Entre todos estes fatores, sem dúvida, a lixiviação de nitrato, é fator de maior preocupação quando se considera o uso de efluentes em solos sob condições tropicais, onde a mineralização de sua carga orgânica é rápida. O nitrogênio presente em efluentes encontra-se preferencialmente na forma de N-orgânico e N-amoniaco. Em solos cultiváveis, é rapidamente transformado a nitrato, podendo atingir a água subterrânea. Os problemas ocasionados pelo nitrato na saúde humana já foram expostos anteriormente.

Assim, o uso de resíduos provenientes de esgotos sanitários em solos agrícolas deve ser visto com cautela. O reúso deve ser priorizado na irrigação de plantas cujas partes comestíveis não apresentem contato direto com o solo, como a cana-de-açúcar e o eucalipto, que são cultivadas em grandes extensões de terra, que passam ser mecanizadas.

### LEGISLAÇÕES SOBRE REÚSO

Não somente no Brasil, mas em muitos países, a legislação sobre reúso é inexistente, muito branda ou muito restritiva. Faltam estudos que evidenciem quais as taxas seguras de aplicação para cada cultura e quais os reais danos que cada contaminante pode ocasionar ao sistema solo-água-plantas.

No Brasil, o CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos) lançou, em 2003, uma minuta de resolução, bastante similar à recomendação da Organização Mundial da Saúde, incentivando o reúso de águas de qualidade inferior e estabelecendo os padrões de qualidade dos efluentes para cada modalidade de reúso, o que representou um grande passo na legalização da técnica no país. Contudo, tal resolução não entrou em vigor e no ano de 2005 o órgão lançou a Resolução N° 54, que incentiva a prática do reúso em diversas modalidades, mas não estabelece parâmetros específicos para seu emprego. O CNRH incentiva discussões e estudos sobre o tema, por meio do grupo técnico GT-Reúso, composto por pesquisadores, técnicos e demais interessados no assunto.

Em 2006, a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) do estado de São Paulo lançou a Instrução Técnica N° 31, que define procedimentos internos e critérios mínimos para disciplinar o reúso de água proveniente de Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário. São vários os parâmetros estipulados para caracterização do esgoto doméstico tratado. Efluentes que apresentam condutividade elétrica entre 0,75 e 2,9 dS/cm somente podem ser utilizados para aplicação em solos bem drenados e para o cultivo de espécies tolerantes a salinidade. Essa Instrução estabelece concentrações máximas permitidas para várias substâncias, dentre elas, boro, cloreto e sódio (0,5; 106,5 e 69 miligramas por litro de efluente, respectivamente), que são tóxicas a plantas sensíveis, como as frutíferas. Quanto aos parâmetros microbiológicos, os valores permitidos de coliformes fecais e ovos de helmintos foram compilados da OMS (2006), que recomenda densidades de  $10^3$  a  $10^6$  de *Escherichia coli* em 100 mililitros de efluente, e iguais ou inferiores a 1,0 (um) ovo de helminto por litro de efluente, dependendo do tipo de cultura a ser irrigada.

Para o uso da vinhaça em solos agrícolas, que representa situação de maior reúso de águas no estado de São Paulo, a CETESB adotou, em 2005, a Norma Técnica CETESB P4.231, que dispõe sobre critérios e procedimentos para armazenamento, transporte e plano de aplicação da vinhaça em solos agrícolas do estado de São Paulo. A norma estipula como dose máxima a de 185 kg de  $K_2O$  por hectare, a ser disposta no solo em função do teor de potássio da vinhaça, e considera valores da capacidade de troca de cátions do solo.

Algumas regiões do estado de São Paulo tradicionalmente produtoras de cana-de-açúcar encontram-se sobre áreas ambientalmente vulneráveis, como pontos de recarga de importantes aquíferos paulistas.

## Tratamento e Reuso de Água

Nos próximos anos serão realizados experimentos para monitoramento do potássio, nitrato, nitrogênio amoniacal e sulfato no solo e na água subterrânea de solos tratados com vinhaça, de modo a verificar se as doses atuais são seguras para evitar a contaminação de aquíferos. O Pólo APTA Centro Sul, Piracicaba, coordena este estudo juntamente com a UNICA (União da Agroindústria Canavieira) do Estado de São Paulo, sob a supervisão da CETESB.

### EXPERIÊNCIAS CONTROLADAS DE REÚSO AGRÍCOLA DE EFLUENTE SANITÁRIO NO BRASIL

O reúso agrícola de efluente sanitário no Brasil limita-se, praticamente, a experiências controladas em sistemas-pilotos coordenados pela Rede PROSAB (Programa de Saneamento Básico) e financiadas pelo CNPq, Finep e Caixa Econômica Federal, envolvendo pesquisadores de universidades e institutos de pesquisa de todo Brasil.

As experiências de irrigação agrícola com efluente sanitário utilizam na maior parte dos ensaios a irrigação por inundação, sulcos rasos (Figura 9A) e gotejamento, evitando-se os métodos de pulverização que produzem aerossóis e podem disseminar patógenos e outros contaminantes. Serão citados dois exemplos, um deles desenvolvido pela Unicamp na cultura do milho e outro desenvolvido pela USP na cultura do café.

O ensaio com milho foi conduzido pela equipe do Prof. Bruno Coraucci Filho, da Unicamp, durante quatro anos, usando efluente sanitário tratado em lagoa anaeróbia e em reator anaeróbio de bambu (Souza et al., 2003). Foram utilizadas diversas taxas de irrigação, que foi efetuada pelo método de sulcos rasos (Figura 9B). Avaliou-se a presença de nitrogênio, patógenos e metais pesados no solo, na água coletada no perfil do solo e na água subterrânea coletada de poços de monitoramento. A irrigação com efluente não alterou a fertilidade do solo, havendo necessidade de adubação completa de fósforo e potássio. Houve pequeno incremento de P, Ca, S, Cu e Zn com a aplicação de efluentes. O teor de matéria orgânica permaneceu constante, pois sua natureza proporciona rápida degradação em solos sob condições tropicais. Houve redução de 99% nos valores de carbono orgânico total e de DQO e DBO na água coletada no solo, indicando que solos são bons depuradores da carga orgânica. Foram verificados teores de nitrato acima do valor permitido em 60% dos líquidos coletados no perfil do solo,

indicando riscos de contaminação da água subterrânea. Indícios da lixiviação de vírus nos poços de monitoramento da água subterrânea foram observados. A produtividade da safra de inverno foi maior que a das safras de verão, indicando que o fornecimento de água via efluente pode ser benéfico à cultura em épocas secas. A absorção de metais pesados pelas plantas não foi significativo.

O grupo de pesquisa da USP, coordenado pela Prof. Célia Regina Montes, desenvolveu pesquisa durante três anos e sete meses com plantas de café irrigadas com efluente sanitário tratado em lagoa facultativa, verificando aumento da concentração de sódio no solo, que sinalizou para riscos de salinidade do solo (Herpin et al., 2007). Os teores de matéria orgânica do solo e os valores de capacidade de troca catiônica reduziram-se nos tratamentos irrigados com efluente.



A - Terreno sistematizado em sulcos rasos



B - Irrigação de milho com efluente sanitário

Figura 9. Reuso de efluente sanitário na cultura do milho.

## Tratamento e Reuso de Água

Os elevados teores de sódio proporcionaram a liberação de cálcio, magnésio e potássio do complexo de troca do solo, e maiores teores destes elementos foram encontrados nas plantas. Apenas a irrigação com efluente não supriu as necessidades de nitrogênio, fósforo e enxofre das plantas, sendo necessária a fertilização química.

Os autores concluíram que o reúso de efluente sanitário na cultura do café pode suprir as necessidades de água da cultura, mas cuidados devem ser tomados quanto à elevação do teor de sódio e a desequilíbrios nutricionais ocasionados no solo.

Os estudos citados prosseguem em outras culturas agrícolas. Estudos de técnicas não onerosas de retirada de sódio do efluente devem ser conduzidos, assim como experimentos ao longo prazo, com monitoramento do sistema solo-água-planta.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

- As atividades agrícolas demandam grandes volumes de água e geram grandes quantidades de resíduos.

- Em um cenário de escassez e cobrança do uso da água, tornam-se urgentes medidas de tratamento da água, esgotos, dejetos animais e efluentes agroindustriais e seu reúso nas atividades agrícolas.

- Há técnicas alternativas, práticas, econômicas e viáveis de tratamento de água de abastecimento e de tratamento de esgotos e dejetos, condizentes com o meio rural.

- Os produtos gerados nos tratamentos de águas e resíduos devem ser amostrados e analisados periodicamente. Os resultados das análises devem ser confrontados com a legislação vigente, para definição do seu destino: descarte em mananciais, irrigação agrícola, criação de peixes, lavagem de baias.

- A irrigação de canaviais com vinhaça é o maior exemplo de reúso da água na agricultura no Brasil. É regulamentada por legislação no estado de São Paulo, e estudos estão sendo conduzidos para sua futura manutenção ou revisão.

- O reúso de efluente sanitário proporciona suprimento de água para as plantas e ao mesmo tempo o solo funciona como um sistema de pós-tratamento do resíduo, depurando a carga orgânica.

- Há riscos de sodicidade do solo e de contaminação da água subterrânea com nitrato e patógenos no reúso agrícola de efluente sanitário.

- O uso sustentável de efluentes e outros resíduos orgânicos em solos devem ser incentivados, desde que haja monitoramento constante das áreas tratadas.

### REFERÊNCIAS

AMAYA, D. R.; KERR, W. E.; GODOI, H. T.; OLIVEIRA, A. L.; SILVA, F. R. Moringa: hortaliça arbórea rica em beta-caroteno. *Horticultura Brasileira*, v.10, n.2, p.126, 1992

AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS (APTA) PÓLO APTA CENTRO SUL. In: WORKSHOP: "Esgoto doméstico em propriedades rurais: uma alternativa de preservação ambiental e uso racional na agricultura" Estudo de Caso: APTA Fazenda-Sede do Pólo Regional Centro-Sul. Piracicaba, SP: Pólo APTA Centro Sul, 11 de maio de 2005. CD-ROM.

BANCO MUNDIAL. La ordenación de los recursos hídricos. 1994.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÓMICO E SOCIAL BNDES: Modelagem de desestatização do setor de saneamento básico (trabalho realizado por um consórcio de empresas contratadas). Rio de Janeiro, Maio de 1998, IV volumes. Mimeo.

BASTOS, R.K.X. Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura. PROSAB. Viçosa, Minas Gerais, 2003.

BERTONCINI, E.I.; MARANGON, R.C.; AREVALO, R.A.; AMBROSANO, E.J. *Moringa oleifera* Lam Tratamento de água e efluentes. In: 2º Seminários do Programa Estratégico da APTA Sustentabilidade Ambiental. Barra Bonita, SP, 13 e 14 de março de 2008. CD-ROM.

BERTONCINI, E.I.; MATTIAZZO, M.E. Lixiviação de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.737-744, 1999.

BIXIO, D.; THOEYE, C.; WINTGENS, T.; RAVAZZINI, A.; MISKA, V.; MUSTON, M.; CHIKUREL, H.; AHARONI, A.; D. JOKSIMOVIC, V.; MELIN, T. Water reclamation and reuse: implementation and management issues. *Desalination*, v. 218, 13-23, 2008.

BRADDOCK, D AND DOWNS, P Wastewater irrigation A strategy for increasing suga cane production. In International Society of Sugar Cane Technologists. Vol. 24. Ed. D M Hogarth. pp. 171-173. Proceedings of the XXIV Congress, September 2001. ISSCT, Brisbane, Australia.

## Tratamento e Reuso de Água

CAMARGO, S. A. R. Filtro anaeróbio com enchimento de bambu para tratamento de esgotos sanitários: avaliação da partida e operação. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, 2000.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. *Agricultural Water Management*, v.68, 135-149, 2004.

CETESB Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Norma Técnica P4.231 Vinhaça-Critérios e Procedimentos para Aplicação no Solo Agrícola. São Paulo: CETESB, Janeiro, 2005.

CETESB Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Instrução Técnica N° 31. Aplicação de água de reúso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico na agricultura. São Paulo, 2006.

CNRH CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. RESOLUÇÃO N° 54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, 2005.

COMITÊ PCJ COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ 1993-2003. In: BELMONTE, W.; CASTANHO, A. (Eds.). Água. São Paulo: Foco, 2003. 135p.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - RESOLUÇÃO N° 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre licenciamento ambiental; competência da União, Estados e Municípios; listagem de atividades sujeitas ao licenciamento; Estudos Ambientais, Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - RESOLUÇÃO N° 54, de 28 de novembro de 2005 Estabelece critérios gerais para reúso de água potável. Publicada no DOU em 09/03/06.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. RESOLUÇÃO N° 375 de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, 2006.

CORAUCCI FILHO, B.; NOUR, E. A. A.; FIGUEIREDO, R. F.; STEFANUTTI, R.; CAMARGO, S. A.R. Estudo hidrodinâmico de um filtro anaeróbio utilizando o bambu como meio suporte. In: ABES; CNPQ; FINEP; RECOF. (Org.). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2000, p. 200-209.

COSTANZI, R.N. Técnicas combinadas. [Entrevista a Fábio de Castro]. *Revista Fapesp*. São Paulo. 21 de janeiro de 2008. Disponível em: [http://www.agencia.fapesp.br/boletim\\_dentro.php?id=8317](http://www.agencia.fapesp.br/boletim_dentro.php?id=8317). Acesso em: 28 de abril de 2008.

FOLKARD, G.; SUTHERLAND, J. 2004. Moringa. O Movimento Gaia Folheto 26. Inglaterra: Tear Fund. Passo a passo número 20. Disponível em: <http://www.gaia-movement.org/files/Folheto%2026p%20Moringa.pdf>. Acesso em: 28 de abril de 2008.

GALAL-GORCHEV, Desinfección Del agua potable y subproductos de inter's para la salud. In: La calidad del agua potable en America Latina: Ponderación de los riesgos microbiológicos contra los riegos de los subproductos de la desinfección química, Craun, G.F. e Castro, R., eds., p. 89-100. ILSI Press: Washigton, EUA, 1996.

HERPIN, U.; GLOAGUEN, T.C; FONSECA, A.F.; MONTES, C.R.; MENDONÇA, F.C.; PIVELI, R.P.; BREULMANN M.C.; MELFI, A.J. Chemical effects on the soilplant system in a secondary treated wastewater irrigated coffee plantationA pilot field study in Brazil. *Agricultural Water Management*, v. p.105-115, 2007.

KUMARI, P.; SHARMA, P.; SRIVASTAVA, S; SRIVASTAVA, M.M.. Biosorption studies on shelled *Moringa oleifera* Lamarck seed powder: Removal and recovery of arsenic from aqueous system. *Int. J. Miner. Process.*, v.78, p.131-139, 2006.

Lohmann, O.; Silva, R.F.; Fontoura, T.B., Silva, D.M.; Jacques, R.J.S.; Fries, M.R., Aita, C. 1999. Determinação de microrganismos fecais em solo, sob campo nativo, submetidos a aplicações periódicas de esterco suíno. In: EMBRAPA Cerrados. XXVII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Brasília, 11-16 julho. CD-ROM

MARTINS, C. R.; VALENCIO, N.F.L.da S.; LEME, A. A valoração dos recursos hídricos e impasse sócio-ambiental na agricultura paulista: alguns desafios para a gestão de políticas públicas. In: IV Congresso Nacional de Recursos Hídricos. Anais. Foz do Iguaçu-PR, 2001.

## Tratamento e Reuso de Água

Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Caderno Setorial de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2006. 4 v. Localização: Acervo da Biblioteca da ANA AG 5142.

MINISTÉRIO DA SAÚDE, Portaria N° 518, de 25 de março de 2004.

MONARCA, S. The influence of different disinfectants on mutagenicity and toxicity of urban wastewater. *Water Research*, v.34, n.17, p. 4261-4269. 2000.

NBR 13969 Tanques sépticos Unidades de tratamento complementar e disposição final de efluentes líquidos Projeto, construção e operação. São Paulo, ABNT, 1997.

Nishi, S.M.; Gennari, S.M.; Lisboa, M.N.T.S.; Silvestrim, A.; Caproni Jr., L.; Umehara, O. Parasitas intestinais em suínos confinados nos estados de São Paulo e Minas Gerais. *Arq. Inst. Biol.*, São Paulo, v.67, n.2, p.199-203, 2000.

NOVAES, A.P. Fossa séptica biodigestora e clorado Embrapa. Qualidade de vida na agricultura familiar. In: WORKSHOP: "Esgoto doméstico em propriedades rurais: uma alternativa de preservação ambiental e uso racional na agricultura" Estudo de Caso: APTA Fazenda-Sede do Pólo Centro-Sul. Piracicaba, SP: Pólo APTA Centro Sul, 11 de maio de 2005. CD-ROM.

OMS Organização Mundial da Saúde. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. vol. 1: Policy and regulatory aspects. 2006. Disponível em: [http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546824\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546824_eng.pdf). Acesso em; 28 de abril de 2008.

PAGANINI, W. S. Disposição de esgotos no solo (escoamento à superfície). Fundo Editorial da AESABESP, São Paulo, 1997, 232 p.

PATERNIANI, J.E.S.; Pós-tratamento de efluente doméstico com sementes de Moringa. In: WORKSHOP: "Esgoto doméstico em propriedades rurais: uma alternativa de preservação ambiental e uso racional na agricultura" Estudo de Caso: APTA Fazenda-Sede do Pólo Regional Centro-Sul. Piracicaba, SP: Pólo APTA Centro Sul, 11 de maio de 2005. CD-ROM.

PROCHASKA, C.A.; ZOUBOULIS, A.I. Performance of intermittently operated sand filters: a comparable study, treating wastewater of different origins. *Water, Air, and Soil Pollution*, v.147, 367-388, 2003.

SCHINTU, M.; MELONI, P.; CONTU, A. Aluminum fractions in drinking water from reservoirs. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* v. 46, 2933, 2000.

SOUZA, S.B.S.; BERTONCINI, E.I.; Figueiredo, R.F.; CORAUCCI FILHO, B.; STEFANUTTI, R. Pós-tratamento do efluente doméstico de uma lagoa anaeróbia utilizando um sistema de irrigação por sulcos. *TECBAHIA*, v.18, n.2-3, p.77-88, 2003.

TCHOBANOGLOUS, G.; BURTON, F.L.; STENSEL, H.D. *Wastewater engineering, treatment and reuse*. 4th ed. revised. New York: Metcalf & Eddy Inc. McGraw-Hill. 2003. p. 1819.

TONETTI, A. L. Método para tratamento de esgotos e produção de água de reúso: Filtro anaeróbico combinado com filtro de areia e reator de desnitrificação. Campinas, 2008. 167p. Tese de Doutorado -Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). *Alternative Disinfectants and oxidants guidance manual*. 1999.