



Tratamento de esgoto doméstico pelo método de escoamento superficial no solo: Uma revisão de literatura

Treatment of domestic sewage by the method of runoff in soil: A literature review

Larissa Cabral Milen*

Resumo: O consumo de água vem aumentando significativamente, devido ao crescimento populacional, desenvolvimento industrial e expansão do cultivo irrigado. Observa-se uma crescente produção de esgotos sanitários que são lançados diariamente nos corpos receptores naturais. Um dos requisitos básicos para se preservar o Meio Ambiente, mais precisamente a qualidade das águas, é o desenvolvimento de sistemas de coleta e tratamento de esgotos domésticos eficientes. Existem diversas formas de tratamento que buscam melhorar a qualidade e possibilitar o reuso de efluentes, dentre elas, está escoamento superficial, que têm se mostrado como uma alternativa econômica e ecologicamente eficiente. Neste tratamento o efluente é aplicado na parte superior de uma rampa vegetada, ficando sujeita ao escoamento superficial, condição que possibilita sua depuração. Este método possui baixos custos e ainda permite que seu efluente seja usado na irrigação de culturas agrícola. No entanto, apesar de seu grande potencial e vantagens, tem sido pouco utilizado, possivelmente devido à carência de informações técnico-científicas acerca do assunto. O objetivo do presente trabalho foi servir como consulta bibliográfica e fornecer informações que contribuam com a difusão e adequação de tal tecnologia, buscando contribuir com o tratamento de esgotos gerados em pequenos grupamentos humanos, tanto na área rural como na urbana.

Palavras-chave: efluente, rampas de tratamento, reuso

Abstract: Due to population growth, industrial development and the expansion of irrigated farming, water consumption has increased significantly. There is a growing production of sanitary sewers that are thrown daily in the bodies natural receptors. One of the basic requirements to preserve the environment, specifically the water quality, is the development of collection systems and the development of effective treatments of sewage domestic. There are several forms of treatment that seeks to improve the quality and enable the reuse of effluent, among which are the biological treatment. A biological method that has proven to be an economical alternative and environmentally efficient is the treatment for surface runoff. In this treatment the effluent is applied to the upper of a ramp vegetated, being subject to runoff, a condition which enable their debugging. This method has low costs while still allowing your effluent is used for irrigation of agricultural cultures. However, despite its great potential and advantages, has been little used, possibly due to the lack of technical and scientific information about the matter. The aim of this study was to serve as bibliographical consultation and provide information to assist with the dissemination and suitability of such technology, seeking help with the treatment of sewage generated in small human groups, both in rural as in urban areas.

Key words: effluent, treatment ramp, reuse

*Autor para correspondência

Recebido em 15/09/2014 e aceito em 14/12/2014

*Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: larissamilen@hotmail.com

INTRODUÇÃO

A escassez de água, problema que atualmente tem sido alvo de preocupações mundiais, tem se agravado nos últimos anos devido ao grande crescimento populacional e ocupação humana desordenada, notadamente nos meios urbanos; ao incremento na produção de bens de consumo, gerando grande quantidade de resíduos sólidos, líquidos e gasosos e a pouca eficiência na utilização dos recursos naturais (CERQUEIRA, 2004).

As Bacias Hidrográficas situadas nas cidades ou aglomerações urbanas são poluídas principalmente pelo lançamento indevido de esgoto doméstico em suas águas, sem nenhum tratamento. Considerando dados da PNSB (IBGE, 2008), estima-se que são lançadas em corpos d'água cargas de esgotos domésticos na ordem de 5,5 mil t DBO5/dia e que apenas 28,5% das cidades brasileiras realizam o tratamento de esgoto. Este lançamento indevido de efluentes domésticos nos corpos hídricos naturais é responsável pela instalação de processos poluidores fortemente prejudiciais aos sistemas aquáticos, que comprometem os diversos usos dos quais este recurso se destina (VON SPERLING, 1997).

Um dos requisitos básicos para se preservar o Meio Ambiente, mais precisamente a qualidade das águas, é o desenvolvimento de sistemas de coleta e tratamento de esgotos domésticos eficientes (PRZYBYSZ & GUIDI, 1997). O tratamento dos esgotos torna-se uma questão prioritária na medida em que contribui com a diminuição da degradação e do desperdício dos recursos hídricos. Assim, a busca por tecnologias simples e eficientes, tanto nos aspectos econômicos, quanto nos ambientais é necessária para que se alcance o equilíbrio no uso da água, garantindo condições saudáveis de utilização deste recurso (TONETTI et al., 2005).

O tratamento de esgoto se baseia na remoção dos poluentes contidos neste efluente, e existem diferentes métodos e tecnologias que buscam atingir este objetivo. A disposição controlada no solo é uma prática biológica bastante antiga que tem se mostrado eficiente nesta remoção, é um processo que pode ser considerado ao mesmo tempo de tratamento e reuso (TONETTI et al, 2009). Kruzic (1997) apresenta quatro métodos de tratamento de efluentes que se baseiam na aplicação de efluente no solo, são eles: infiltração rápida, infiltração lenta ou irrigação, infiltração sub-superficial e escoamento superficial.

Dentre estes métodos, destaca-se o escoamento superficial, no qual o efluente é aplicado na parte superior de uma rampa vegetada, ficando sujeita ao escoamento superficial, condição que possibilita sua depuração ao longo da rampa de tratamento. Segundo Cerqueira (2004) este método possui baixos custos de implantação, operação e manutenção, e ainda permite que seu efluente seja usado na irrigação de culturas agrícola. No entanto, apesar de seu grande potencial e vantagens comparado a outros métodos de depurativos, tem sido pouco utilizado no Brasil e na América Latina, possivelmente devido à carência de informações técnico-científicas acerca do assunto. Por este motivo, torna-se de grande importância o estudo e a disseminação do conhecimento sobre tal técnica, o presente trabalho tem como objetivo fornecer informações que contribuam com a difusão e adequação de tal tecnologia, buscando contribuir com o tratamento de esgotos gerados em pequenos grupamentos humanos, tanto na área rural como na urbana.

SITUAÇÃO HÍDRICA ATUAL E POLUIÇÃO POR ESGOTO DOMÉSTICO

A água é uma substância essencial para a sobrevivência de todas as formas de vida do planeta. A Terra, apelidada de “planeta água”, por possuir pouco mais de dois terços de sua superfície coberta por este recurso, possui apenas 2,5% de toda essa reserva representada por água doce. No entanto, 68,9% da água doce encontram-se nas calotas polares, geleiras e neves que cobrem os cumes das montanhas mais altas da terra e 30,8% constituem as águas subterrâneas, restando apenas 0,3% de água doce nos rios e lagos, que é a forma mais facilmente disponível para o consumo humano (REBOUÇAS, 2006).

A preocupação em relação à disponibilidade de água não está relacionada apenas com a quantidade, mas também com a desigualdade na sua distribuição e qualidade. O Brasil, por exemplo, possui uma posição privilegiada em relação à maioria dos países quanto ao volume de recursos hídricos. No entanto, mais de 73% da água doce superficial encontra-se na bacia Amazônica que é habitada por menos de 5% da população, restando apenas 27% dos recursos hídricos disponíveis para os demais 95% da população (LIMA, 2001).

Este fato demonstra a necessidade de preservação e uso sustentável dos recursos hídricos principalmente nas áreas de escassez. Entende-se por uso do recurso hídrico qualquer atividade humana que, de algum modo, altere as condições naturais tanto das águas superficiais quanto das subterrâneas. Grande parte dos efeitos das atividades humanas sobre as águas é poluidor; como o lançamento de esgotos urbanos e industriais que provocam poluição orgânica e bacteriológica, além de despejar substâncias tóxicas e elevar a temperatura das águas; a irrigação que carrega agrotóxicos e fertilizantes; e a navegação, que pode lançar óleos e combustíveis nos corpos hídricos (BORSOI & TORRES, 1997).

Nas últimas décadas, o consumo de água vem aumentando significativamente, devido ao crescimento acelerado da população, que quadruplicou seu número no último século, ao desenvolvimento industrial e também à expansão do cultivo irrigado (COSTA & BARROS, 2005).

Somado ao aumento do consumo de água observa-se uma crescente poluição dos corpos hídricos devido ao lançamento diário de esgotos sanitários sem nenhum tratamento ou parcialmente tratados. Entende-se por poluição das águas a adição de substâncias ou de formas de energia que alteram a natureza do corpo hídrico de forma a prejudicar sua utilização (VON SPERLING, 2005). De acordo com a norma brasileira NBR 9.648 (ABNT, 1986) o esgoto doméstico é definido como o despejo líquido resultante do uso da água para a higiene e necessidades fisiológicas humanas.

Os esgotos domésticos brutos adquirem características diversas resultantes do tipo de uso que sofrerem, no entanto, são basicamente constituídos de água e uma parcela de impurezas que lhes confere características bastante acentuadas, como matéria orgânica, nutrientes e microrganismos que podem ser patogênicos. Quando voltam ao meio ambiente tendem a exercer ações deletérias no corpo hídrico receptor, resultando em consequências indesejáveis como contaminação microbiológica, eutrofização, aumento da turbidez, maus odores entre outras que tornam a qualidade da água imprópria para diversos usos (CERQUEIRA, 2004).

Considerando dados da PNSB (IBGE, 2008), estima-se que são lançadas em corpos d'água cargas de esgotos domésticos na ordem de 5,5 mil t DBO₅/dia e que apenas 28,5% das cidades brasileiras realizam o tratamento de esgoto. A contaminação da água no meio rural não é uma realidade diferente, pelo contrário, é uma situação ainda mais preocupante. Na zona rural e em pequenas comunidades o acesso às medidas de saneamento é menor e as atividades agropecuárias são altamente impactantes, poluindo as águas dos mananciais, que são utilizadas para o abastecimento da população. Nestas regiões é alta a incidência de doenças causadas pela utilização de água de má qualidade (SALARO JÚNIOR, 2008).

Em épocas passadas, com uma menor população, a menor quantidade de esgoto gerada era rápida e facilmente diluída e depurada por processos naturais, não causando grandes problemas aos mananciais e ao abastecimento da população. No entanto, atualmente a carga de material orgânico e mineral lançada em grande parte dos rios brasileiros é tão alta que supera a capacidade de autodepuração destes corpos receptores, gerando um grande problema ambiental (LEITE et al., 2005).

Desta forma, controlar a qualidade dos recursos hídricos é uma tarefa indispensável para a manutenção da saúde da população. De acordo com a FUNASA (2010), cada R\$1,00 investido no setor de saneamento, representa cerca de R\$ 4,00 economizados com saúde. O que demonstra a grande vantagem do tratamento e/ou disposição adequada desses esgotos para a proteção da saúde pública.

TRATAMENTO DE ESGOTO POR DISPOSIÇÃO NO SOLO

O tratamento de esgoto busca a remoção dos poluentes contidos neste efluente. Existem diversas técnicas para o tratamento ou recuperação de águas residuárias, algumas possuem custos elevados e operações complexas, no entanto, é possível encontrar alternativas com custos mais baixos e tecnologias mais simples (GASI, 1988). No Brasil diversas metodologias para o tratamento de efluentes estão sendo estudadas a fim de adequá-las à realidade brasileira, alguns exemplos são os reatores anaeróbios de fluxo ascendente por meio de lodo; os decanto-digestores seguidos de filtro anaeróbios; as lagoas de estabilização e as diferentes formas de disposição controlada no solo (ANDRADE NETO & CAMPOS, 1999).

Processos de tratamento naturais são em grande parte alternativas apropriadas, por possuírem baixos custos de instalação e operação e fácil operação (TAEBI & DROSTE, 2008). O termo "sistemas naturais" é utilizado por muitos pesquisadores para designar os sistemas de tratamento não convencionais, onde a interação entre a força gravitacional, os microrganismos, o solo e as plantas são responsáveis pela purificação do efluente não necessitando, portanto, de outras fontes de energia não renováveis (REED et al., 1995).

Existem diferentes métodos de sistemas naturais que buscam aliar a melhoria da qualidade ao uso agrícola de efluentes. Segundo Cerqueira (2004) um método que reúne o tratamento e o reúso é o tratamento por disposição no solo. A disposição controlada de esgotos no solo constitui uma das formas mais antigas de disposição final de efluentes e tem se mostrado eficiente na remoção de microrganismos patogênicos e nutrientes eutrofizantes. Surgiu inicialmente

como forma de tratamento, mas despertou o interesse de agricultores para sua aplicação em cultivos agrícolas (MARA & CAIRNCROSS, 1989; LUCAS FILHO et al., 2001).

A disposição de águas residuárias no solo é uma alternativa interessante, principalmente em regiões de clima tropical e com disponibilidade de áreas, como é o caso do Brasil. Permite o reaproveitamento de água, matéria orgânica e nutrientes, diminuindo a utilização de fertilizantes químicos, proporcionando dessa forma, não apenas benefícios econômicos como também redução dos impactos causados pelo lançamento de esgoto nos corpos hídricos (SINGH et al., 2012). Estudos já demonstraram que a aplicação de águas residuárias no solo, desde que adequadamente manejadas, aumentam significativamente a produtividade agrícola de diversas culturas, substituindo eficientemente a água limpa. (ERTHAL et al., 2010).

O objetivo de se utilizar o solo como meio de tratamento de águas residuárias está ligado ao aproveitamento do filtro natural formado pelas plantas, microrganismos e pelas propriedades de adsorção química e física do solo. Os microrganismos possuem a capacidade de transformar a matéria orgânica em compostos mais simples, utilizando-se dessa matéria orgânica para obter alimento e produzir energia. Como resultado final, tem-se um efluente tratado e um solo revitalizado (HUBBARD et al., 1987). No entanto, o conhecimento da capacidade suporte do sistema solo-planta é essencial para que a disposição de efluentes não cause efeitos negativos nas características do solo, como a salinização (MATOS & SEDIYAMA, 1995).

ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO SOLO

Uma alternativa de disposição controlada de efluentes no solo é o escoamento superficial. Neste sistema, a cobertura vegetal cresce em um terreno inclinado e relativamente impermeável, o efluente é aplicado na parte superior do leito, que flui lentamente sobre a rampa vegetada. Processos químicos, físicos e biológicos que ocorrem no solo e a capacidade de absorção de nutrientes e produção de biomassa pela vegetação são responsáveis pela remoção de poluentes do efluente que é recolhido posteriormente ao final da rampa (PARANYCHIANAKIS et al., 2006).

Como em outros sistemas de tratamento natural de efluentes, o desempenho do escoamento superficial depende do solo, das características do efluente, da cobertura vegetal, da carga hidráulica e orgânica, do comprimento das rampas de tratamento, da inclinação e do clima; para cada condição específica, dados adicionais de construção e operação do sistema serão necessários (WEN et al., 2007; TAEBI & DROSTE, 2008).

O desempenho de sistemas de escoamento superficial já foi estudado por diversos autores e os dados obtidos a partir destes estudos indicam que o sistema pode atingir uma redução da DBO₅ e sólidos suspensos totais (SST) de aproximadamente 90%, de nitrogênio entre 70 a 90% e de fósforo total entre 40 a 60% (TAEBI & DROSTE, 2008). Na Flórida, por exemplo, resultados obtidos por Overman e Wolfe (1989) utilizando um sistema de tratamento por escoamento superficial que recebeu efluente doméstico secundário indicaram remoção de cerca de 90% de DBO₅ e SST. Surampalli et al. (1996) avaliando o desempenho de um sistema de escoamento superficial sob condições de inverno e de verão, obtiveram eficiências médias de remoção de DBO₅

e SST de 89% e 85%, respectivamente, nos dias mais quentes, e 81% e 69%, respectivamente, na estação fria.

No Brasil, são poucos os registros da utilização do escoamento superficial para o tratamento de esgotos domésticos. No entanto, na década passada as universidades em parcerias com as companhias de saneamento iniciaram experiências bem sucedidas de tratamento, utilizando forrageiras, dentre estas é possível citar:

- Populina-SP: implantada pela Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo/SABESP, em 1984, esta estação de tratamento de esgoto por escoamento superficial no solo tem capacidade para receber e tratar 12 L/s. A vegetação utilizada é a *Brachiaria humidicola*, e a eficiência na remoção de DBO5 e DQO (demanda química de oxigênio) alcançada é em média 85% e 81%, respectivamente (TERADA et al., 1985).

- Vila Varejão-DF: em parceria com a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), a estação de tratamento por escoamento superficial tem capacidade de atender 4000 habitantes, utilizando a taboa (*Typha latifolia*) e alcança eficiência de 86,7% de remoção de DBO5 e 95,9% na remoção de sólidos suspensos totais (BERNARDES & SOUZA, 1996).

- Cana Brava-MG: a estação implantada pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais/COPASA possui capacidade de tratamento de esgoto de 3 L/s, sendo utilizada a forrageira *Brachiaria humidicola*, e apresentando redução média de 83% na DBO5 (FREIRE, 1997).

- Itabirito-MG: em 1996 foi implantada uma unidade piloto de tratamento de esgoto por escoamento superficial pela Universidade Federal de Minas Gerais, a qual utiliza também a forrageira *Brachiaria humidicola*, obtendo eficiências médias de remoção DQO e DBO5, variando de 48 a 53% (ARAÚJO et al., 1991).

Apesar da eficiência demonstrada por diversos estudos ainda existe uma preocupação em relação à aplicação de efluente no solo, devido à possibilidade de contaminação ambiental. Dessa forma, se faz necessária à compreensão dos mecanismos que afetam o destino e o transporte de nutrientes, a fim de se avaliar com precisão os riscos ecológicos, permitindo a adoção de modelos adequados de gestão de modo a tornar esta prática compatível com os rigorosos padrões ambientais e de saúde atualmente definidos pelos órgãos ambientais (TZANAKAKIS et al., 2009).

Outras questões que ainda precisam ser abordadas para se alcançar melhor entendimento e eficiência sobre a técnica de escoamento superficial e ampliar sua aplicação são as taxas hidráulicas e orgânicas ideais; o impacto para as gramíneas; os efeitos nas características do solo, que são importantes na medida em que determinarão o tempo de vida do sistema e a necessidade de substituição do solo, caso as características deste forem desfavoráveis para o crescimento das plantas; e o efeito de poluentes acumulados no tecido vegetal, uma vez que as gramíneas poderão ser utilizadas na alimentação animal (WEN et al., 2007).

VANTAGENS E DESVANTAGENS DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

É possível listar várias vantagens do tratamento de esgoto por escoamento superficial no solo, dentre elas temos: o tratamento de grandes volumes de efluentes em pequenas áreas tornando possível o aproveitamento do potencial

fertilizante do efluente aplicado; método apropriado para o tratamento de esgotos de comunidades rurais e indústrias que geram resíduos orgânicos; construção e operação relativamente simples e de baixo custo que proporciona um tratamento em nível avançado; reaproveitamento e possível produção de uma cultura agrícola; baixo consumo de energia, não gera lodo e maus odores e possui menor restrição em relação às características do meio, necessitando apenas de um solo relativamente impermeável para a sua instalação (CAVINATTO & PAGANINI, 2007).

O tratamento de esgoto pelo método de escoamento superficial também apresenta algumas desvantagens; a qualidade da depuração do efluente sofre influência de fatores como o clima, a tolerância da vegetação, a declividade do terreno e a temperatura, apresentando resultados significativos apenas em épocas mais quentes. Outro ponto importante é que o método oferece riscos de contaminação do meio ambiente, como a contaminação da vegetação de cobertura, do lençol freático, do corpo receptor e ainda pode transformar o solo em um vetor e fonte de agentes causadores de várias doenças, o que representa riscos à saúde pública (SANTAMARIA & TORANZOS, 2003).

Para diminuir o receio acerca desse problema, de acordo com Campos (1999), estudos demonstraram que, mediante práticas que respeitem a capacidade natural do meio e obedeçam aos limites e critérios estabelecidos para o processo de tratamento é possível controlar os riscos de agressão à saúde pública e promover a proteção ambiental. Um estudo realizado por Cavinatto e Paganini (2007) na estação de tratamento por escoamento superficial de Populina/SP demonstrou que a incidência de ovos de helmintos no esgoto foi inferior aos valores encontrados em outros trabalhos para efluentes tratados por reatores anaeróbios. Neste mesmo estudo ficou constatado que estes organismos ficam retidos nas camadas mais superficiais do terreno, o que protege o lençol freático da contaminação; assim como, a concentração de ovos de *Ascaris* diminui com a distância do ponto de aplicação do efluente, reduzindo seu número no efluente final.

PARÂMETROS DE CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO

As rampas devem ser construídas em solos que possuam baixa capacidade de infiltração, como por exemplo, os argilosos. A preparação do terreno inicia-se com a sua planificação e compactação seguidas da aeração, por meio de um gradeamento dos primeiros 30 cm de profundidade. Caso seja necessário, podem ser aplicados aditivos agrícolas, como corretivos de acidez e fertilizantes (TONETTI, 2009).

O comprimento é definido pela medida de extensão da rampa no sentido do escoamento do efluente. O desempenho dos sistemas é diretamente proporcional ao comprimento da rampa. Quanto maior for esta medida, maior será a remoção de matéria orgânica, sólidos e nitrogênio e conseqüentemente, maior purificação do efluente. A literatura sugere rampas de 30 a 45 m, no entanto, os valores podem variar entre 30 e 70 m (REED, 1995).

De acordo com Smith e Schroeder (1985), o valor de remoção do material orgânico do efluente ocorre em função do comprimento da rampa. Isso por que a maior quantidade de matéria orgânica é removida nos primeiros metros de rampa, permanecendo a outra parte do material orgânico solúvel para ser removido, por degradação bacteriana,

adsorção do solo e absorção pela biomassa no comprimento restante da rampa.

A superfície do terreno deverá ter uma declividade suficiente para que o líquido escoar apenas por ação da gravidade. A inclinação ideal deve estar entre 2 e 8%, valores superiores podem levar a um escoamento muito rápido do efluente e insuficiente para um tratamento efetivo. Por outro lado, declividades inferiores a 1% levam a uma retenção prolongada do líquido, promovendo o empoçamento do efluente o que favorece a proliferação de insetos e mau cheiro. (PAGANINI, 1997)

Nos estudos realizados por Klüsener Filho (2000) utilizando respectivamente rampas com declividade de 4% e 3,5% foram obtidos excelentes resultados quanto ao escoamento do afluente sobre o terreno. Na estação de tratamento de Populina-SP onde foi adotado um declividade de 2,0% constatou a existência de empoçamentos e caminhos preferenciais para o líquido (CAVINATTO, 2007).

A taxa de aplicação é o parâmetro considerado o de maior importância no dimensionamento de sistemas de tratamento de esgoto por escoamento superficial e varia de acordo com o grau de pré-tratamento do efluente aplicado (PAGANINI, 1997). Representa a vazão de esgoto aplicada por unidade de largura da faixa de tratamento, expressa em metros cúbicos por hora por metro de largura ($m^3 h^{-1} m^{-1}$) (FONSECA, 2000). Nas localidades onde a temperatura e insolação são elevadas pode-se aplicar taxas superiores a $0,30 m^3 h^{-1} m^{-1}$. A aplicação de taxas em torno de $0,10 m^3 h^{-1} m^{-1}$ são muito baixas e levam a formação de caminhos preferenciais devido à ausência de vazão em alguns trechos (KLÜSENER FILHO, 2000).

O período de aplicação representa o número de horas nas quais o esgoto é aplicado no solo em um dia, normalmente emprega-se um período de 8 h.dia⁻¹, a fim de se compatibilizar com o horário de trabalho dos funcionários da estação de tratamento (REED, 1995). Todo o resto do tempo, a rampa não recebe novas cargas de afluente, o que permite a reconstituição do meio aeróbio. O encurtamento desse período seco aumenta a possibilidade de inundação da rampa, ocasionando a diminuição da nitrificação pelas baixas concentrações de oxigênio. Deste modo, é importante notar a necessidade de mais de uma rampa na concepção do projeto. (SMITH & SCHROEDER, 1985)

A frequência ou ciclo de aplicação é dada pelo número de dias em que o efluente é aplicado ao sistema de tratamento por semana (FONSECA, 2001). Na estação de tratamento de Populina a experiência realizada utilizando um dia de aplicação seguido por um dia de secagem não foi eficiente, pois dificultou a aeração do solo e ocasionou um aumento das condições anaeróbias, causando maus odores. Na mesma estação, quando se empregou um dia de aplicação seguido de três dias de secagem proporcionou-se uma aeração adequada do solo. (CAVINATTO, 2007)

A taxa de carregamento orgânico é igual à massa de matéria orgânica aplicada ao sistema por unidade de área por dia (SMITH & SCHROEDER, 1985). Este parâmetro é limitado pela taxa de transferência de oxigênio para a lâmina de efluente na rampa, este valor está próximo de $100 kg \cdot ha^{-1} \cdot dia^{-1}$, valores superiores podem criar condições anaeróbias excessivas na rampa, prejudicando o seu desempenho (REED, 1995).

VEGETAÇÃO

No escoamento superficial de águas residuárias sobre o solo, a vegetação tem fundamental influência na eficiência de remoção dos nutrientes contidos no efluente, evitando seu acúmulo no solo, que podem levar a salinização e contaminação dos lençóis freáticos. A cultura ideal deve ser tolerante às condições de umidade, baixa oxigenação e alta salinidade e pouco suscetível a pragas e doenças (MATOS et al., 2001).

As principais funções da cobertura vegetal nos sistemas de tratamento de efluentes por escoamento superficial, citadas por Paganini (1997) são:

- Proteção contra erosão: a vegetação proporciona uma superfície com obstáculos, o que reduz a velocidade do fluxo, além de redistribuí-los, evitando os caminhos preferenciais;

- Remoção de nutrientes: a vegetação retira os macro e micronutrientes presentes no efluente e utilizam para seu desenvolvimento e reprodução;

- Suporte de microrganismos: o colo da planta suporta a formação do biofilme onde se desenvolvem os microrganismos e que funciona como filtro biológico.

Em um estudo realizado por Thawale et al. (2006) na Índia, utilizando a disposição de esgoto no solo foi observado um decaimento de DBO_5 entre 80 a 94,3% nos solos vegetados e 68 a 79% nos não vegetados. A remoção de nitrogênio e fósforo também demonstrou a importância das plantas neste sistema; a remoção de nitrogênio, por exemplo, foi de 60 a 76,2 % nos solos vegetados, em contraste com 25 a 32 % nos não vegetados. Neste estudo, observou-se também aumento no crescimento das plantas que receberam o esgoto, em comparação com aquelas que receberam apenas água de poço.

Nos sistemas de tratamento por escoamento superficial tem-se utilizado espécies forrageiras. Esse tipo de vegetação permite o desenvolvimento de microrganismos decompositores da matéria orgânica em seu sistema radicular, controla bem a erosão e produz elevada massa verde, absorvendo grandes quantidades de nutrientes do solo (BERTONCINI, 2008).

A quantidade de biomassa e o teor de nutrientes dos tecidos vegetais são fatores importantes que devem ser considerados na escolha da vegetação para maximizar a remoção de nutrientes. A seleção de espécies de plantas com uma alta capacidade de produção de biomassa aliada a práticas de gestão que induzem o aumento desta produção resultaram em maior remoção de nutrientes (PARANYCHIANAKIS et al., 2006).

É essencial que as culturas utilizadas como cobertura vegetal, em sistema de tratamento por escoamento superficial, sejam eficientes, sobretudo na remoção de nitrogênio, pois este quando mineralizado se transforma em nitrato, um ânion de alta mobilidade que pode vir a contaminar as águas subterrâneas (MATOS et al., 2003).

Na escolha das forrageiras a serem utilizadas no tratamento de efluentes, deve-se preferir espécies perenes, que suportem cortes frequentes e sucessivos, e que apresentem rápida recuperação após o corte, que sejam predominantes sobre espécies invasoras, possuam fechamento homogêneo e denso e sejam aceitáveis aos animais; outras características desejáveis são: boa adaptação às condições de clima e solo locais, baixa susceptibilidade a pragas e doenças

e tolerância à salinidade e toxicidade a íons específicos (CORAUCCI FILHO et al., 1999).

As taxas de aplicação de efluente necessárias para suprir a evapotranspiração da cultura geralmente excedem a capacidade da vegetação de absorver os nutrientes (PARANYCHIANAKIS et al., 2006). Este desequilíbrio é agravado em regiões áridas e semi-áridas, com elevadas taxas de evapotranspiração. Dessa forma, o referencial para se definir as taxas de aplicação de efluentes não deve ser lâminas calculadas em função da evapotranspiração da cultura e, sim, da capacidade do sistema solo-planta em absorver o resíduo aplicado sem comprometer a qualidade do solo, da planta nem das águas subterrâneas (ERTHAL et al., 2010).

A avaliação da composição química-bromatológica das forrageiras utilizadas em sistemas de tratamento de esgoto doméstico é fundamental para o controle da eficiência do tratamento. É importante ressaltar que, como a avaliação das forrageiras é feita para que se possa escolher a espécie que melhor se adapte às condições de cultivo em uma rampa de tratamento por escoamento superficial, a produção de forragem não deve ser vista como o objetivo principal de seleção da espécie.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A grande finalidade das estações de tratamento de esgotos é a de que elas representem barreiras sanitárias capazes de proteger o meio ambiente. Desta maneira é de fundamental importância que as estações de tratamento sejam projetadas de maneira perfeitamente integrada ao ecossistema ao qual foram incluídas e representem uma solução definitiva e eficaz, dando destinos definitivos à fase sólida e líquida dos esgotos, de forma que a natureza não sofra impactos irreversíveis.

Os nutrientes contidos nos esgotos ainda são por muitos considerados como um rejeito, enquanto ampliam-se as extensões de terras áridas e agrava-se a escassez mundial de fertilizantes. Esta constatação tem despertado o interesse para os processos de tratamento de esgotos por disposição no solo, tanto para a remoção de cargas poluidoras, como para a fertilização das terras, considerando-a uma alternativa tecnológica viável de polimento, disposição final e também de tratamento de esgotos. De uma só vez, consegue-se a custos bem mais reduzidos, atingir a eficiência pretendida pelos tratamentos convencionais terciários, a utilização dos nutrientes contidos nos esgotos como fertilizantes e o aumento da disponibilidade de água para reuso.

Dessa forma é possível concluir que o sistema de tratamento por escoamento superficial representa uma tecnologia viável de tratamento de esgoto doméstico, possuindo parâmetros construtivos e operacionais bastante simplificados que permitem sugerir-lo como uma alternativa ao tratamento de esgotos das pequenas comunidades rurais e urbanas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE NETO, C. O.; CAMPOS, J. R. Introdução. In: CAMPOS, J. R.. (Coord.) Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 464 p.
- ARAÚJO, G. C.; COSTA, R. S.; CHERNICHARO, C. A. L.; SPELING, M. V. Avaliação da operação em regimes hidráulicos permanentes e transiente de um sistema de aplicação superficial de esgotos no solo para o pós-tratamento de efluentes de reatores UASB. In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro-RJ, Anais... 1991.
- BERNARDES, R. S.; SOUZA, L. E. L. In: Assembleia Nacional da Asseae. 22, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte, MG, p.126-129, 1996.
- BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola, Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária, São Paulo, v. 1, n. 1, p 152-169, 2008.
- BORSOI, Z. M. F.; TORRES, S. D. A. A política de recursos hídricos no Brasil. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, v. 4, n. 8, p. 143-166, 1997.
- CAMPOS, J. R. (Coord.). Tratamento de esgotos Sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Projeto PROSAB. São Carlos, 1999.
- CAVINATTO, A. S.; PAGANINI, W. S. Os microrganismos nas atividades de disposição de esgotos no solo - estudo de caso. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campina Grande, vol. 12, n. 1, p 42-51, 2007.
- CERQUEIRA, R. S. Pós-tratamento de efluente de lagoa anaeróbia por escoamento superficial no solo. São Paulo: UNICAMP, 2004. 200 p. Dissertação Mestrado.
- CORAUCCI FILHO, B.; CHERNICHARO, C. A. L.; ANDRADE NETO, C. O.; NOUR, E. A.; ANDREOLI, F. N.; SOUZA, H. N.; VON SPERLING, M.; LUCAS FILHO, M.; AISSE, M. M; FIGUEIREDO, R. F. Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. PROSAB. Rio de Janeiro, Brasil. 1ª Edição, 1999. 456 p.
- COSTA, D. M. A.; BARROS JÚNIOR, A. C. Avaliação da Necessidade do Reuso de Águas Residuais. Holos, Ano 21, p. 82, 2005.
- ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; PEREIRA, O. G.; MATOS, A. T. Características fisiológicas, nutricionais e rendimento de forrageiras fertirrigadas com água residuária de bovinocultura. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 14, n. 5, p.458-466, 2010.
- FONSECA, P. P. S. Experiências operacionais em uma unidade de tratamento de esgoto doméstico pelo método de escoamento superficial. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21, Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental, 4, 2001, João Pessoa. Anais... João Pessoa, 2001.
- FREIRE, A. Estudo de casos de reciclagem de águas residuárias em Minas Gerais - Roças Novas e Canabrava. In: Congresso sobre o Benéfico Reuso de Águas e Biosólidos. p 6-9, Marbella, Málaga, Espanha, 1997.

- FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA. Manual de saneamento. Brasília: Ministério da Saúde, 2010.
- GASI, T. M. T. Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades. São Paulo: CETESB, 1988. 36 p. (Série manuais, 3)
- HUBBARD, R. D.; THOMAS, D. L.; LEONARD, R. A.; BUTLER, J.L. Surface runoff and shallow ground water quality as affected by center pivot applied dairy cattle waste. Transactions of ASAE, St Joseph, v.30, n.2, p.430-437, 1987.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Pesquisa nacional de saneamento básico**. Rio de Janeiro: IBGE; 2008.
- KLÜSENER FILHO, L. C. Pós-tratamento de efluente de filtro anaeróbio utilizando o método do escoamento superficial no solo: avaliação de taxas de aplicação. São Paulo: UNICAMP, 2000. 267p. Dissertação Mestrado.
- KRUZIC, A. P. Natural Treatment and on-site processes. Water Environment Research, Alexandria, v.69, n.4, p.522-528, 1997.
- LEITE, V. D.; ATHAYDE JÚNIOR G. B.; SOUSA, J. T.; LOPES, W. S.; PRASAD, S.; SILVA, S. A. Tratamento de águas residuárias em lagoas de estabilização para aplicação na fertirrigação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.9, p.71-75, 2005.
- LIMA, J. E. F. W. Recursos Hídricos no Brasil e no Mundo, 1. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001, p-44.
- LUCAS FILHO, M.; ANDRADE NETO, C. O.; SILVA, D. A.; MELO, H. N. S.; PEREIRA, M. G. P. Evolução do processo de disposição de esgoto tratado através do escoamento subsuperficial em solo preparado com cobertura vegetal. In: CHERNICHARO, C.A.L. (Coord.). Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. 1. ed. Belo Horizonte: Segrac Editora e Gráfica Ltda, 2001, p. 29-38.
- MARA, D.; CAIRNCROSS, S. Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture: Measures for public health protection. World Health Organization, Geneva, p 187, 1989.
- MATOS, A. T., PINTO, A. B.; PEREIRA, O. G.; SOARES, A. A.; MONACO, P. A. L. Produtividade de forrageiras utilizadas em rampas de tratamento de águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do caféiro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.7, n.1, p.154-158, 2003.
- MATOS, A.T.; EMMERICH, I.N.; RUSSO, J.R. Tratamento de águas residuárias da lavagem e despolpa de frutos do caféiro em rampas cultivadas com azevém. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL. Anais... Vitória, ES, p. 1037-1044, 2001.
- MATOS, A. T.; SEDIYAMA, M. A. N. Riscos potenciais ao ambiente pela aplicação de dejetos líquidos de suínos ou compostos orgânicos no solo. In: Seminário mineiro sobre manejo e utilização de dejetos de suínos, 1, 1995, Ponte Nova. Anais...Viçosa, MG: EPAMIG, p.45-54, 1995.
- OVERMAN, A.R., WOLFE, D.W. Overland flow treatment of wastewater at Florida State Prison. Journal of Water Pollution Control Federation, Washington, v. 58, n. 9, p. 903-910, 1989.
- PAGANINI, W.S. Disposição de esgotos no solo (escoamento a superfície). 2ª Ed. São Paulo: AESABESP, 1997.
- PARANYCHIANAKIS, N. V.; ANGELAKIS, A. N.; LEVERENZ, H.; TCHOBANOGLOUS, G. Treating wastewater through land treatments systems: a review of treatment mechanisms and plant functions. Critical Reviews in Environmental Science and Technology. v. 36, p 187-259, 2006.
- PRZYBYSZ, L. C. B.; GUIDI, E. F. Uso Adequado dos Sistemas de Coleta e Tratamento de Esgotos Domésticos - Enfoque Ambiental. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19, 1997, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: ABES, 1997. p. 793-802.
- REBOUÇAS, A. C. Água doce no Brasil e no mundo. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Org.). Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Escrituras, 2006. 35 p.
- REED, S. C.; CRITES, R. W.; MIDDLEBROOKS, E. J. Natural systems for waste management and treatment. New York: McGraw-Hill, 1995. 435 p.
- SALARO JÚNIOR, R. Avaliação da eficiência de sistema fito-pedológico (wetlands) na depuração de efluentes domésticos gerados em pequenas comunidades. Botucatu: Unesp, 2008. 156p. Dissertação Mestrado.
- SANTAMARÍA, J.; TORANZOS, G. A. Enteric pathogens and soil: a short review. International Microbiology, v. 6, n. 1, p 5-9, 2003.
- SINGH, P. K.; DESHBHRATAR, P. B.; RAMTEKE, D. S. Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. Agricultural Water Management, v. 103, p. 100-104, 2012.
- SMITH, R. G.; SCHROEDER, E. D. Field studies of the overland flow process for the treatment of raw and primary treated municipal wastewater. Journal of Water Pollution Control Federation, Washington, v.57, n.7, p.785-794, 1985.
- SURAMPALLI, R. Y., FELLOW, P. E., CHOU, S. C., BANERJI, S. K. Performance evaluation of overland flow wastewater treatment system under winter and

- summer conditions. *Journal of Cold Regions Engineering*, Davies, v. 10, n. 4, p. 163-177, 1996.
- TAEBI, A.; DROSTE, R. L. Performance of an overland flow system for advanced treatment of wastewater plant effluent. *Journal of Environmental Management*, New York, v. 88, n. 4, p.688-96, 2008.
- THAWALE, P. R.; JUWARKAR, A. A.; SINGH, S. K. Resource conservation through land treatment of municipal wastewater. *Current Science*, Bangalore, v.90, n.5, p. 704-711, 2006.
- TONETTI, A. L.; CERQUEIRA, R. S.; CORAUCCI FILHO, B.; VON SPERLING, M.; FIGUEIREDO, R.F. Tratamento de esgoto de pequenas comunidades pelo método de escoamento superficial no solo. *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, Rio Grande, n.13, p.69-79, 2009.
- TONETTI, A. L.; CORAUCCI FILHO, B.; STEFANUTTI, R.; FIGUEIREDO, R. F.; SÃO PEDRO, C. C. O. Remoção de matéria orgânica, coliformes totais e nitrificação no tratamento de esgotos domésticos por filtros de areia. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Campina Grande, v.10, nº 3, p. 209-218, 2005.
- TERADA, M.; ZUCCOLO, A. C. F.; PAGANINI, W. S. Tratamento de esgotos domésticos por disposição no solo com utilização de gramíneas. *Revista DAE*, vol. 45, n. 141, p. 249-254, 1985.
- TZANAKAKIS, V. A.; PARANYCHIANAKIS, N. V.; ANGELAKIS, A. N. Nutrient removal and biomass production in land treatment systems receiving domestic effluent. *Ecological Engineering*, v. 35, n.10, p. 1485–1492, 2009.
- VON SPERLING, E. *Qualidade de água*. 1.ed. Brasília: ABEAS, 1997. 59p.
- VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3. ed. Belo Horizonte: DESA, Universidade Federal de Minas Gerais; 2005. 243p.
- WEN, C.G.; CHEN, T.H.; HSU, F.H.; LU, C.H.; LIN, J.B.; CHANG, C.H.; CHANG, S.P.; LEE, C.S. A high loading overland flow system: Impacts on soil, characteristics, grass constituents, yields and nutrient removal. *Chemosphere*, Oxford, v. 67, n. 8, p. 1588-600, 2007.