

Tratamento de esgotos de pequenas comunidades pelo método do escoamento superficial no solo

Wastewater treatment of small communities by overland-flow system

Adriano Luiz Tonetti

*Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - FEC/UNICAMP; Avenida Albert Einstein, 951; Cidade Universitária "Zeferino Vaz"; Caixa Postal 6021; CEP: 13083-852; Campinas - SP.
Telefone: 19-3788-2381. E-mail: altonetti@yahoo.com.br.*

Raul Sandoval Cerqueira

*Departamento de Qualidade, Meio Ambiente, Segurança e Saúde da Construtora Andrade Gutierrez S.A.
São Paulo, Brasil, raul.cerqueira@agnet.com.br*

Bruno Coraucci Filho

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. FEC/UNICAMP; Avenida Albert Einstein, 951; Cidade Universitária "Zeferino Vaz"; Caixa Postal 6021; CEP: 13083-852; Campinas - SP. Telefone: 19-3788-2381. bruno@fec.unicamp.br

Marcos von Sperling

*Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG.
Belo Horizonte, Brasil, marcos@desa.ufmg.br*

Roberto Feijó de Figueiredo

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. FEC/UNICAMP; Avenida Albert Einstein, 951; Cidade Universitária "Zeferino Vaz"; Caixa Postal 6021; CEP: 13083-852; Campinas - SP. Telefone: 19-3788-2381. bob.feijo@hotmail.com

RESUMO: Este levantamento de trabalhos científicos busca apresentar o atual desenvolvimento tecnológico do emprego do método do escoamento superficial no solo no tratamento de esgotos de pequenas comunidades rurais e urbanas. Nesta revisão bibliográfica serão discutidos os resultados obtidos em pesquisas realizadas principalmente no Brasil, expondo os aspectos construtivos e operacionais que envolvem a adoção desta técnica, além dos benefícios que ela pode propiciar na atividade agrícola. O conjunto destes trabalhos leva a conclusão que este sistema é uma alternativa tecnológica viável ao tratamento de esgotos, pois gera um efluente que atende os padrões de lançamento da legislação brasileira, além de permitir algum tipo de reúso na agricultura.

ABSTRACT: This literature survey aims to show the current technological development of the overland flow using in Brazil as a method of wastewater treatment for small countryside and cities villages. In this literature survey results from Brazilian's research will be discussed, it will be shown the constructive and operational aspects which involve this techno, and also the benefits which can be given in the agriculture. With all the researches, it can be concluded that this system is a possible technological alternative for the wastewater treatment, because the effluent is according to the discharge values set by the Brazilian legislation. Moreover it is possible to reuse it in agriculture.

1. INTRODUÇÃO

O tratamento dos esgotos busca evitar a degradação e o desperdício dos recursos hídricos, tornando-se nos últimos tempos uma questão prioritária no Brasil. Assim, a busca por tecnologias mais eficientes nos aspectos econômicos e ambientais e aplicáveis às pequenas comunidades urbanas e rurais é necessária para que a sociedade alcance o equilíbrio no uso da água, garantindo condições saudáveis de utilização deste recurso tão importante (Ref. [1]).

O escoamento superficial no solo é um dos métodos que pode satisfazer a esta demanda, tendo demonstrado uma boa eficiência na remoção dos diversos poluentes presentes nas águas residuárias com custos de implantação, operação e manutenção mínimos, além de permitir que seu efluente seja empregado na irrigação de alguma cultura agrícola. Outro ponto que reforça sua viabilidade é a possibilidade de geração de uma biomassa que pode ser agregada à alimentação de animais ou a incorporação em solo cultivável.

Este tipo de tratamento, apesar de seu grande potencial e vantagens comparativas aos outros métodos depurativos, tem sido pouco utilizado no Brasil e na América Latina. Uma possível explicação para esta conduta pode ser a baixa difusão desta tecnologia no meio especializado. Deste modo, torna-se de grande importância o aumento da disseminação do conhecimento sobre tal técnica, objetivando-se a sua maior aplicação (Ref. [2]).

2. DESENVOLVIMENTO

Para o presente trabalho fez-se uma busca de referências bibliográficas relacionadas ao emprego do tratamento de esgotos por meio do método do escoamento superficial no solo, focando a atenção para o desenvolvimento desta tecnologia proporcionada por pesquisas desenvolvidas no Brasil. Tem-se com um dos objetivos deste artigo a difusão de tal tecnologia tanto no território brasileiro como na América Latina, buscando contribuir com o tratamento de esgotos gerados em pequenos agrupamentos humanos, tanto na área rural como na urbana.

A busca dos artigos científicos se deu em revistas científicas de circulação no território brasileiro e também de alcance internacional,

sendo realizada a partir do portal de periódicos da CAPES (Ref. [3]).

2.1. O escoamento superficial

De forma geral, o escoamento superficial é um método de tratamento que consiste na disposição do efluente líquido na parte superior de terrenos planos construídos que tenham uma pequena declividade e baixa permeabilidade. O efluente percorre por gravidade todo o terreno, que é recoberto por uma vegetação. Uma pequena parcela de seu fluxo é perdida por evapotranspiração e a maior parte é coletada na base do declive. A percolação pode ser insignificante, pois esse sistema é inicialmente concebido para solos com baixa permeabilidade (Ref. [4]). Na Figura 1, é apresentado um modelo simplificado deste sistema de tratamento.

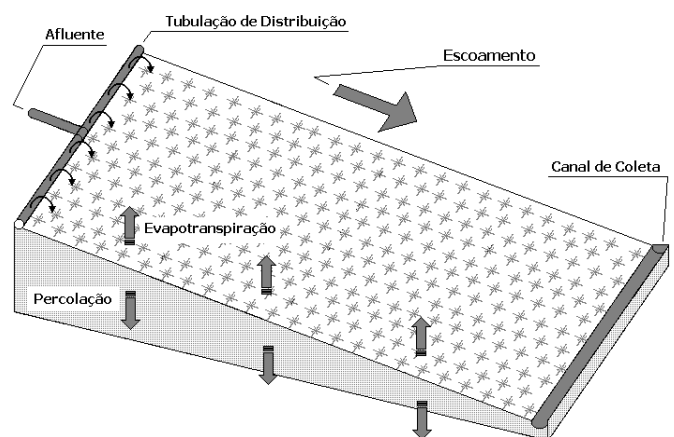


Figura 1 - Esquema de uma rampa de escoamento superficial no solo.

O processo de depuração dá-se à medida que o efluente escoar no terreno recoberto pela vegetação, onde os sólidos em suspensão são “filtrados” e a matéria orgânica é oxidada pelos microrganismos que se estabelecem na cobertura das plantas e no solo. Quando comparado com outros métodos de tratamento, o escoamento superficial apresenta as seguintes vantagens:

- É apropriado para o tratamento de esgotos de pequenas comunidades;
- Proporciona tratamento avançado, com operação relativamente simples e barata;
- A cobertura vegetal pode ser utilizada em atividades agrícolas;
- Não gera lodo e não produz maus odores;

- Os efluentes apresentam qualidade semelhante aos de lodos ativados, tendo custo de operação e manutenção 40% menor (Ref. [5]).

Destaca-se que na aplicação desta técnica existe a necessidade de um tratamento preliminar, que remova os sólidos grosseiros, evitando o rápido entupimento das tubulações e a danificação dos equipamentos da estação de tratamento (Ref. [4]).

2.2. Parâmetros de projeto

2.2.1. Taxa de aplicação (q)

A taxa de aplicação é definida como a vazão de esgoto aplicada por unidade de largura da faixa de tratamento, expressa em metros cúbicos por hora por metro de largura ($\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$), conforme apresentado na Equação 1 (Ref. [11]). Este parâmetro tem sido considerado como aquele de maior importância no projeto de sistemas de escoamento superficial, variando de acordo com o grau de pré-tratamento dos esgotos aplicados (Ref. [6]).

$$q = \frac{Q_{(A)}}{D} \quad (\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}) \quad (1)$$

Em que: q é a taxa de aplicação de esgoto ($\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$); $Q_{(A)}$ é a vazão de esgoto afluente (m^3h^{-1}) e D é a largura da faixa de tratamento (m).

A utilização de taxas de aplicação muito baixas, em torno de $0,10 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$, ocasiona a formação de caminhos preferenciais devido à diferença de velocidade entre as linhas de escoamento e pela ausência total de vazão em alguns trechos. Quando no local de instalação do projeto existem temperatura e insolação elevadas, podem-se empregar altas taxas, normalmente superiores a $0,30 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$ (Ref. [7]).

Na cidade de Populina, Estado de São Paulo (Brasil), segundo ref. [6] empregaram-se taxas que poderiam variar entre 0,18 e $0,67 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$. Em Itabira, Minas Gerais (Brasil), em projeto desenvolvido por ref. [8], adotaram-se taxas que oscilaram entre 0,20 a $0,60 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$, apresentando resultados de DBO (demanda bioquímica de oxigênio) inferiores a 51 mgL^{-1} e de sólidos suspensos totais abaixo de $18,5 \text{ mgL}^{-1}$.

2.2.2. Carga hidráulica (CH)

A carga hidráulica é correspondente ao volume de despejo aplicado sobre uma área do tabuleiro durante um tempo, que normalmente é expresso em dias ou semanas (cm.dia^{-1} ou cm.semana^{-1}). Este parâmetro é normalmente descrito em função da taxa, do período de aplicação e do comprimento do tabuleiro, de acordo com a Equação 2.

$$CH = \frac{q \cdot P}{z} \cdot 100 \quad (\text{cm.dia}^{-1}) \quad (2)$$

Em que: CH é a carga hidráulica (cm.dia^{-1}); q é a taxa de aplicação ($\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$); P é o período de aplicação (h.dia^{-1}) e z é o comprimento da rampa (m).

Conforme citado por ref. [9], a lâmina líquida a ser aplicada varia com a natureza do efluente. Para o esgoto bruto ela deve estar situada entre 1 e 2 cm.dia^{-1} , para um efluente com tratamento primário pode oscilar na faixa de 1,5 a 3,0 cm.dia^{-1} e de 1,5 a 6,0 cm.dia^{-1} quando originário de um tratamento secundário. Ou seja, quanto melhor a qualidade do afluente quanto aos valores para os parâmetros de matéria orgânica aplicado na rampa, maior a carga hidráulica possível de ser disposta.

Destaca-se que na aplicação de pequenas espessuras de lâminas líquida, existe o favorecimento das trocas gasosas com a atmosfera, caracterizando o predomínio de processos aeróbios, garantindo a não geração de odores desagradáveis.

2.2.3. Taxa de carregamento orgânico (TCO)

Segundo ref. [9] a taxa de carregamento orgânico é a massa de matéria orgânica aplicada ao sistema por unidade de área por dia, e pode ser representada pela Equação 3. Deve-se destacar que caso o sistema de tratamento seja constituído por mais de uma rampa, onde haja períodos de parada, o cálculo será feito levando-se em consideração somente aquelas em operação.

$$TCO = \frac{C \cdot Q}{A} \quad (\text{kg.ha}^{-1}\text{dia}^{-1}) \quad (3)$$

Em que: TCO é a taxa de carregamento orgânico ($\text{kg.ha}^{-1}\text{dia}^{-1}$); C é a concentração de matéria orgânica no afluente (kgm^{-3}) em DQO

(demanda química de oxigênio) ou DBO; Q é a vazão afluyente (m^3/dia^{-1}) e A é a área superficial da rampa (ha).

Este parâmetro é limitado pela taxa de transferência de oxigênio para a lâmina de efluente na rampa. Segundo ref. [10], esta taxa limitante está próxima a $100 kg.ha^{-1}dia^{-1}$, sendo que valores superiores a este podem criar condições anaeróbias excessivas na rampa, prejudicando o seu desempenho.

2.2.4. Período de aplicação (P)

O período de aplicação é definido como o tempo de disposição do esgoto em um dia, que geralmente oscila entre 6 e 12 horas. Normalmente adota-se um período de $8 h.dia^{-1}$, buscando compatibilizar com o horário de trabalho dos funcionários da estação de tratamento (Ref. [10]). No restante do tempo, a rampa permanece sem o recebimento de novas aplicações de afluyente, permitindo a reconstituição do meio aeróbio. Deste modo, é importante notar a necessidade de mais de uma rampa na concepção do projeto.

Quanto maiores forem os períodos secos, tem-se a facilitação da aeração do solo e a conseqüente oxidação da amônia (Ref. [8]). A diminuição do período seco leva ao aumento da possibilidade de inundação da rampa, ocasionando a diminuição da nitrificação pelas baixas concentrações de oxigênio (Ref. [9]).

2.2.5. Frequência de aplicação ou ciclo de operação (F)

A frequência de aplicação é definida pelo número de dias em que o sistema permanece em funcionamento por semana (Ref. [11]). Ciclos de operação de 4 dias de aplicação e 2 dias secos, evitam a propagação de insetos (Ref. [12]).

Na cidade de Populina (Brasil), ref. [6] empregou um dia de aplicação de afluyente seguido por um dia de secagem. Esta frequência mostrou-se ineficiente, pois além de dificultar a aeração do solo propiciou o incremento das condições anaeróbias, com a ocorrência de maus odores. Posteriormente empregou-se um dia de aplicação seguido de três dias de secagem. Os benefícios com esta nova rotina operacional foram muitos, indo desde uma aeração adequada do solo até a facilidade operacional.

2.2.6. Solo

Este método de tratamento deve ser utilizado em solos que possuam baixa capacidade de infiltração, como os argilosos (Ref. [16]). Na Figura 2 está apresentado um gráfico que mostra as possibilidades existentes para aplicação de esgotos no solo e as respectivas faixas de valores para a infiltração de esgotos. Pode-se constatar que o escoamento superficial é mais adequado para solos argilosos e argila/calcário.

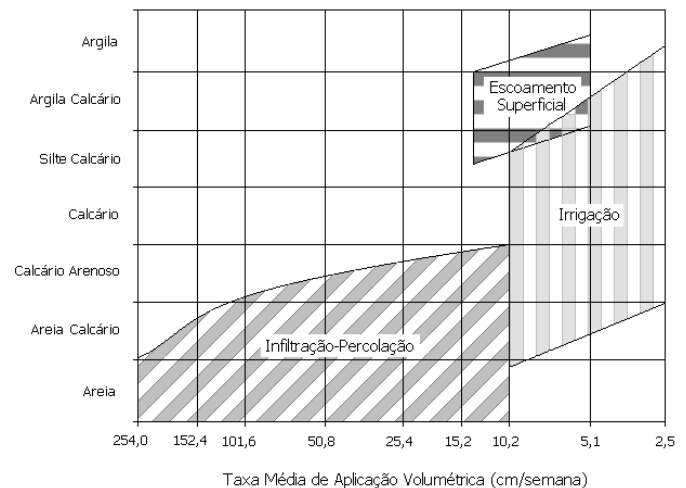


Figura 2 - Tipo de solo e valores de aplicação de esgotos.

A preparação do terreno para a construção das rampas inicia-se com a sua adequada planificação e compactação e logo após com a aeração, por meio de um gradeamento dos primeiros 30 cm de profundidade. Caso seja necessário, devem-se aplicar aditivos agrícolas (corretivos de acidez e fertilizantes), realizando em seguida, a incorporação através do revolvimento do solo.

2.2.7. Comprimento da Rampa

O comprimento da rampa refere-se a extensão longitudinal do terreno, definida pelo sentido do escoamento do efluente. Quanto maior esta extensão, melhor será a eficiência no que tange a remoção de matéria orgânica, sólidos e nitrogênio (Ref. [10]).

A literatura sugere rampas de 30 a 45 m, sendo que comprimentos superiores e estes, seriam úteis para flexibilizar a operação do sistema, permitindo a absorção de sobrecargas (Ref. [6]). Geralmente, os valores podem variar entre 30 e 70 m (Ref. [10]). Alguns projetos desenvolvidos no Brasil

confirmam estes comprimentos citados na literatura, como por exemplo:

- Pesquisa da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP (Campinas, Brasil), onde foram construídas rampas de escoamento que tratavam os esgotos provenientes de filtros anaeróbios. Neste caso, a largura das rampas era de 4,35 m e o comprimento de 40 m;

- Estação de tratamento de esgotos da cidade de Populina, São Paulo (Brasil), na qual segundo ref. [6], o comprimento de cada rampa é de 70 m e a largura chega a 25 m.

- Projeto em desenvolvimento pela CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento) para o município de Jaguarão, Rio Grande do Sul (Brasil), onde um conjunto de rampas com comprimento de 43 m e largura de 8 m irá tratar parte do esgoto gerado nesta cidade.

- Pesquisa desenvolvida por ref. [8] em que um sistema de tratamento por escoamento superficial, implantado na cidade de Itabira, Minas Gerais (Brasil), era alimentado por um reator anaeróbio em escala real. O sistema de rampas deste projeto possuía uma área unitária de 75 m², com comprimento de 25 m e largura de 3 m.

2.2.8. Declividade

Para que o escoamento ocorra de forma natural na rampa de tratamento, a superfície do terreno deverá ter uma inclinação suficiente para que o líquido escoe somente por ação da gravidade. Deste modo, a declividade da rampa deve estar entre 2 e 8%, sendo que valores superiores podem levar a um tempo de detenção insuficiente para um efetivo tratamento (Ref. [6]). Declividades inferiores a 1% não são recomendadas neste processo por propiciar condições de retenção prolongada do líquido, permitindo o empoçamento do efluente e a conseqüente proliferação de insetos e mau cheiro.

Em Minas Gerais (Brasil), ref. [8] pesquisou uma rampa que possuía a declividade de 4,0% e na UNICAMP (Campinas, Brasil), ref. [7] adotou 3,5%, sendo que em ambos os casos estudados foram obtidos excelentes resultados quanto ao escoamento do afluente sobre o terreno. Por outro lado, ref. [6], adotando 2,0% de declividade constatou a existência de empoçamentos e caminhos preferenciais para o líquido.

2.2.9. Vegetação

Devido ao escoamento do efluente pela vegetação que recobre a rampa, os sólidos em suspensão acabam sendo retidos e a matéria orgânica é oxidada pelos microrganismos que vivem aderidos à vegetação e ao solo (Ref. [14]). O sistema radicular destas plantas acaba por diminuir o efeito da lixiviação e absorve os macro e microelementos mineralizados da matéria orgânica (Ref. [15]).

Deste modo, as plantas que irão recobrir a rampa deverão ter uma alta resistência às condições de umidade do solo e aos possíveis efeitos tóxicos dos constituintes do afluente, além de suportar uma elevada quantidade de matéria orgânica presente nos esgotos. Esta vegetação, devido aos nutrientes e a água existente nos esgotos, cresce rapidamente, exigindo uma maior frequência de poda (Ref. [16]).

Testando duas espécies de gramíneas em rampas de escoamento superficial no município de Piracicaba, São Paulo (Brasil), ref. [17] observaram que as duas espécies de capins estudadas, *Brachiaria humidicola* e *Tifton 85* (*Cynodon sp*) mostraram-se eficientes na remoção de DBO. Nesta pesquisa, constatou-se que a espécie *Tifton 85* teve algumas características diferenciadas, tais como: a dominância total sobre as espécies invasoras e o preenchimento homogêneo e denso de toda a área da rampa, além de possuir uma recuperação mais rápida após o corte.

Na cidade de Populina, Estado de São Paulo (Brasil), de acordo com ref. [6], foi empregada *Brachiaria humidicola*. Após quatro anos de operação da estação de tratamento, observou-se a invasão de outras espécies, com a predominância da gramínea *Cynodon plectostachyus* (Estrela da África).

2.2.10. Forma de plantio da vegetação de cobertura

No experimento de Populina, o plantio foi feito com mudas e reforçado com sementes de *Brachiaria humidicola* (Ref. [6]). A preparação do solo e a adubação foram necessárias, pois o plantio foi efetuado em terreno resultante de corte e aterro, ou seja, sem conteúdo orgânico mínimo para sustentar a implantação da vegetação.

Ref. [18], construíram três rampas em solo classificado como Franco-arenoso, constatando que a análise da camada superficial para o cultivo de *Brachiaria humidicola* exigia uma calagem para elevar a saturação de 27% para 40%. Para isso empregaram 1 t.ha^{-1} desse corretivo, além de 40 Kg.ha^{-1} de nitrogênio, 60 Kg.ha^{-1} de P_2O_5 , 40 Kg.ha^{-1} de K_2O e 20 Kg.ha^{-1} de enxofre. Essas correções foram necessárias para garantir uma cobertura vegetal adequada ao bom funcionamento do sistema de tratamento.

2.2.11. Sistema de distribuição do esgoto

A aplicação uniforme do esgoto na parte superior da rampa deve ocorrer em toda a largura do terreno, sendo que esta etapa do processo é um ponto crítico para o adequado desempenho do tratamento. Existem diversos dispositivos empregados para este fim:

- Tubulações recortadas ou perfuradas;
- Tubulações com aberturas reguláveis;
- Orifício borbulhante: neste caso, tem-se a adoção de luvas que são conectadas a tubulações enterradas;
- Canais de distribuição: nesta situação, tem-se a adoção de pequenos canais, geralmente construídos em alvenaria, com comportas laterais que distribuem o esgoto.

Para melhorar a distribuição do afluente e impedir a erosão na cabeceira do plano inclinado, pode-se aplicar o esgoto sobre uma camada de brita.

Na UNICAMP ref. [18] empregaram uma tubulação com diâmetro de 100 mm, possuindo perfurações de 10 mm a cada 120 mm. Esta instalação garantiu a boa distribuição do afluente ao longo de toda a extensão superior do terreno. Deve-se salientar que o nivelamento adequado da tubulação perfurada é um dos principais fatores dentre os que determinam a boa distribuição do fluxo na cabeceira da rampa, permitindo a saída uniforme do efluente em todos os orifícios. Na Figura 3 é mostrado o sistema adotado na estação da cidade de Populina, São Paulo (Brasil), onde foram adotadas tubulações perfuradas.



Figura 3 - Vista da tubulação de distribuição adotada na estação de tratamento da cidade de Populina, Estado de São Paulo, Brasil.

2.2.12. Sistema de coleta

Os canais de coleta devem ser projetados com capacidade e declividade suficientes para comportar o efluente que chega até a base da rampa, incluindo a água das chuvas (Ref. [18]). Na Figura 4 está apresentada a calha de coleta empregada no projeto de pesquisa executado na UNICAMP.



Figura 4 - Canal de coleta empregado em pesquisa na UNICAMP, posicionado na base da rampa de escoamento superficial no solo.

2.2.13. Corte e colheita da vegetação de cobertura

Em Populina, o corte e a colheita de cada rampa de tratamento é efetuado mecanicamente, em média a cada 35 dias. Nesta operação existe a necessidade de se impedir a aplicação dos esgotos nestas rampas por um período de 5 ou 6 dias. Este procedimento dá-se por questões operacionais e

sanitárias, evitando-se o aparecimento de fluxos preferenciais e o contato da biomassa produzida com os esgotos dispostos.

Nas rampas instaladas na cidade de Limeira, São Paulo (Brasil) e testadas por uma equipe de pesquisadores da UNICAMP tendo a participação de ref. [7], o corte ocorria com a parada da aplicação de esgotos pelo prazo de 24 horas, sendo que este era feito por meio de cortadoras mecanizadas, tal como pode ser visto na Figura 5.



Figura 5 - Corte da vegetação produzida em uma rampa de escoamento no solo.

A biomassa produzida nesta operação pode ser empregada na alimentação de animais sendo que, de acordo com os resultados de testes, os consumidores que foram analisados durante 6 anos, não demonstraram contaminação por organismos patogênicos (Ref. [6]). Outra alternativa seria sua incorporação em solo agrícola para seu enriquecimento (Ref. [16]).

2.3. Desempenho do sistema e característica do efluente

Na Tabela 1, são apresentados os resultados obtidos por alguns pesquisadores brasileiros, em seus estudos ou em projetos operando em escala real. Nota-se que o nível de remoção de matéria orgânica medido por meio da DBO está compreendido entre 51% e 83% o que demonstra o bom desempenho do sistema, mesmo com características de construção e operação distintas. Cabe salientar que onde os valores foram menores, próximos a 50%, o escoamento superficial estava operando como pós-tratamento de alguma unidade.

Nos subitens seguintes, descreve-se de forma mais detalhada os resultados obtidos por estes

pesquisadores, no que diz respeito aos mais diferentes parâmetros estudados.

2.3.1. DBO e DQO

A maior parte da remoção da matéria orgânica, segundo ref. [8], ocorre nos primeiros 5 metros da rampa. Ref. [18] ao aplicar taxas inferiores a $0,30 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$, obtiveram valores de DBO abaixo do estabelecido pela legislação do Estado de São Paulo (Decreto Estadual 8.468, 1976) e Rio Grande do Sul (CONSEMA 128, 2006), que estipula o limite de $60 \text{ mg de DBO.L}^{-1}$. Especificamente para a aplicação de $0,20 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$, são apresentados na Figura 6 os resultados obtidos para a concentração de matéria orgânica (em termos de DQO) ao longo da extensão da rampa.

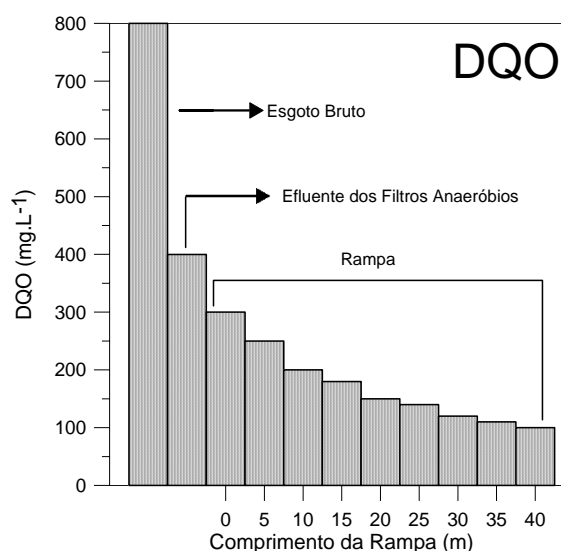


Figura 6 - Demanda química de oxigênio (DQO) ao longo da extensão de uma rampa empregada no pós-tratamento de efluente anaeróbio.

Nota-se que os valores de DQO caíram paulatinamente ao longo do percurso do líquido sobre a rampa, enquanto que a concentração de oxigênio dissolvido aumentou, conforme pode ser visualizado por meio da Figura 7.

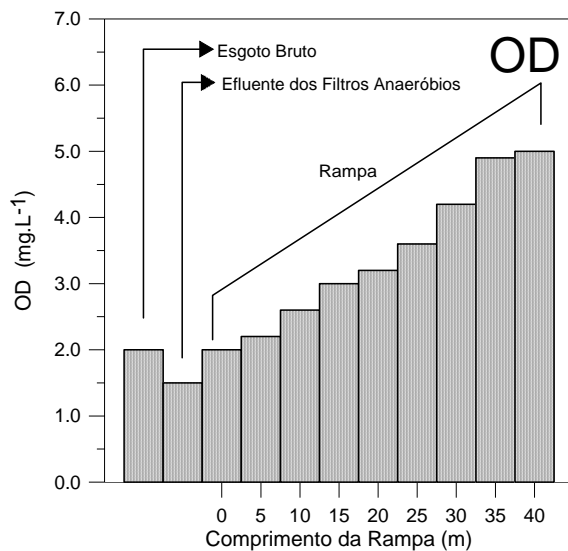


Figura 7 - Oxigênio dissolvido (OD) ao longo da extensão de uma rampa empregada no pós-tratamento de efluente anaeróbio.

Em pesquisa conduzida por ref. [8] encontrou-se uma remoção bastante acentuada de matéria orgânica, levando o efluente da rampa a ter concentrações que não superaram 51 mg.L^{-1} , em termos de DBO. Quanto a DQO, esta foi sempre inferior a 64 mg.L^{-1} .

2.3.2. Nitrogênio

O principal mecanismo da remoção de nitrogênio no escoamento superficial ocorre devido a nitrificação seguida de absorção pela vegetação e também pela desnitrificação, além da volatilização da amônia (Ref. [8]). Esta remoção é inversamente proporcional à taxa de aplicação (Ref. [9] e Ref. [6]). Tal característica leva a valores de NTK (nitrogênio total Kjeldahl, que é a soma do nitrogênio amoniacal e orgânico) decrescentes ao longo do percurso do líquido sobre a rampa, tal como o encontrado por ref. [18] e apresentado na Figura 8. Quanto à contaminação do lençol freático pelo nitrato gerado durante o processo de tratamento que ocorre nas rampas, ref. [16] constatou que não houve elevada infiltração deste composto.

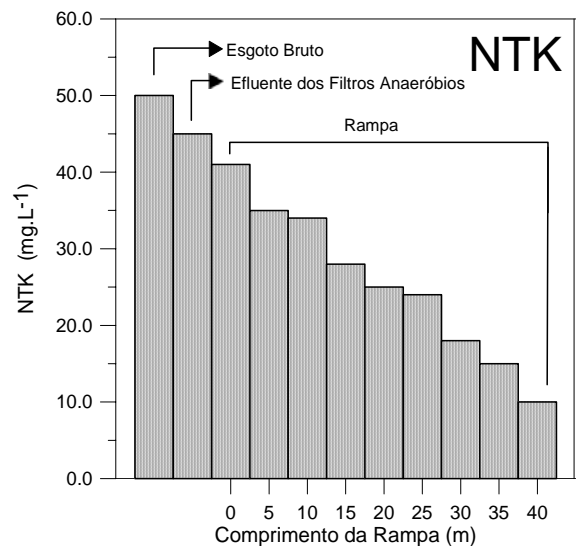


Figura 8 - Nitrogênio total Kjeldahl (NTK) ao longo da extensão de uma rampa empregada no pós-tratamento de efluente anaeróbio.

2.3.3. Fósforo

A remoção de fósforo envolve diversos mecanismos como adsorção, precipitação química, imobilização na forma de compostos orgânicos na camada de lodo biológico e remoção pela vegetação em seu metabolismo. Ref. [13] observaram que uma maior frequência de corte na vegetação aumentava a remoção deste composto. Neste caso, tem-se que o fósforo passa a ser utilizado no metabolismo da planta durante seu crescimento, indicando que a remoção deste nutriente está ligada diretamente com a remoção da massa vegetal do sistema de tratamento.

Na Figura 9 está apresentado um gráfico que mostra a variação da concentração de fósforo ao longo de uma rampa empregado no tratamento de efluentes anaeróbios (Ref. [18]).

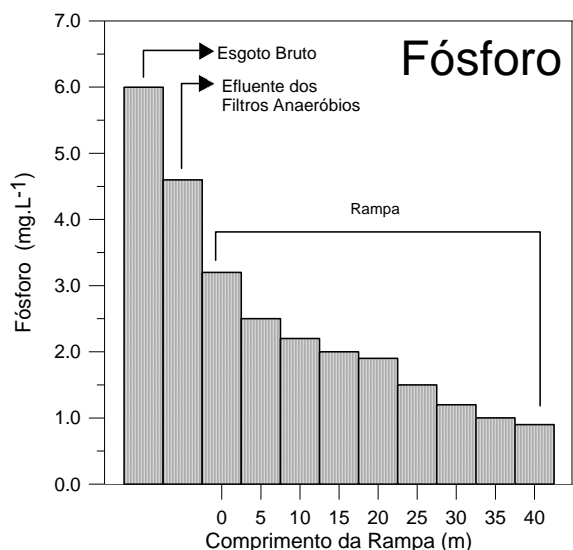


Figura 9 - Fósforo ao longo da extensão de uma rampa empregada no pós-tratamento de efluente anaeróbico.

2.3.4. Coliformes e patógenos

Nos sistemas de escoamento superficial os principais mecanismos de remoção de microrganismos ocorrem devido à sedimentação e a filtração através do biofilme formado na vegetação e na camada superficial do solo, além da adsorção pelas partículas de solo, predação e irradiação solar.

Ref [8] encontrou no afluente anaeróbico que era aplicado em uma rampa a média geral de 13 ovos.L⁻¹, identificados como *Nematodas* e de *Cestóides*, os quais foram completamente eliminados no processo de tratamento. Quanto aos coliformes totais, houve uma remoção de 1 a 2 unidades logarítmicas em relação ao afluente. Todavia a qualidade bacteriológica do efluente final ainda não era satisfatória para a sua utilização na irrigação irrestrita, uma vez que foi superior ao valor máximo recomendado pela Organização Mundial de Saúde, que estabelece o máximo de 1000 UFC.100mL⁻¹.

Quanto ao lençol freático, ref. [6], realizou análises da água colhida nesta região e após 12 anos de atividades do projeto, constatou que havia a inexistência de coliformes totais e fecais nas amostras coletadas.

3. CONCLUSÕES

O sistema de tratamento por escoamento superficial é uma tecnologia viável, possuindo parâmetros construtivos e operacionais bastante

simplificados que permitem sugerir-lo como uma alternativa ao tratamento de esgotos das pequenas comunidades rurais e urbanas existente no Brasil e na América Latina. No caso da área rural este sistema trás como grande benefício, além do adequado tratamento dos esgotos, a possibilidade de geração de uma água de reúso, que pode ser empregada no cultivo de diversos produtos. Outro ponto a ser destacado seria a grande quantidade de biomassa produzida, aplicável na alimentação de animais ou no enriquecimento de solo agrícola.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] TONETTI, A. L.; CORAUCCI FILHO, B.; STEFANUTTI, R.; FIGUEIREDO, R. F.; SÃO PEDRO, C. C. O. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, v.10, n° 3, 2005, pp. 209-218.
- [2] CERQUEIRA, R. S. Pós-tratamento de efluente de lagoa anaeróbia por escoamento superficial no solo. 2004. 200 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de pós-graduação em engenharia civil, UNICAMP.
- [3] CAPES. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. <http://www.periodicos.capes.gov.br/portugues/index.jsp>. Acesso em 15 de abril de 2008. 20h30min.
- [4] CHERNICHARO, C. Reatores Anaeróbios. 1ª edição. Belo Horizonte: UFMG, 1997. 245p. 245 p.
- [5] OVERCASH, M. R. Implications of overland flow for municipal waste management. Journal WPCF. v. 50, n° 10, 1978, pp. 2337-2347.
- [6] PAGANINI, W. S. Disposição de esgoto no solo, através de escoamento à superfície, com utilização de gramíneas: avaliação do processo quanto aos aspectos sanitários, operacionais, construtivos e de manutenção. 1997. 197 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de pós-graduação em engenharia civil, USP.
- [7] KLÜSENER FILHO, L. C. Pós-tratamento de efluente de filtro anaeróbico utilizando o método do escoamento superficial no solo: avaliação de taxas de aplicação. 2000. 267 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia

- Civil) – Programa de pós-graduação em engenharia civil, UNICAMP.
- [8] ARAÚJO, G. C. Avaliação do pós-tratamento de efluentes de reatores UASB através de um sistema de aplicação superficial de esgotos no solo. 1998. 213 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de pós-graduação em engenharia civil, UFMG.
- [9] SMITH, R. G.; SCHROEDER, E. D. Field studies of the overland flow process for the treatment of raw and primary treated municipal wastewater. *Journal WPCF*. v. 57, n° 7, 1985, pp. 785-794.
- [10] REED, S. C.; CRITES, R. W.; MIDDLEBROOKS, E. J. Natural systems for waste management and treatment. 2ª edição., McGrawHill, 1995. 256 p.
- [11] FONSECA, S. P. P. Tratamento de esgoto doméstico pelo método de escoamento superficial utilizando o capim-coastcross (*Cynodon dactylon*). 2000. 234 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de pós-graduação em engenharia civil, Universidade Federal de Viçosa.
- [12] CORAUCCI FILHO, B.; ANDRADE NETO, C. O.; MELO, H. N. S.; SOUZA, J. T.; NOUR, E. A. A.; FIGUEIREDO, R. F. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. PROSAB. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. 1ª Edição. 2005. 544 p.
- [13] PAYER, F. S.; WEIL, R. R. Phosphorus renovation of wastewater by overland flow land application. *Journal of Environmental Quality*, v. 16, n° 4, 1987, pp. 391-397.
- [14] NOUR, E. A. A. Tratamento de efluentes de uma indústria cítrica pelo processo de escoamento superficial no solo. 1990. 326 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de pós-graduação em engenharia civil, UNICAMP.
- [15] TERADA, M; ZUCCOLO, A. C. F.; PAGANINI, W. S. Tratamento de esgotos domésticos por disposição no solo com utilização de gramíneas. *Revista DAE*, v. 45, n° 142, pp. 249-254, 1985.
- [16] CORAUCCI FILHO, B. Tratamento do esgoto doméstico no solo pelo método do escoamento superficial. 1992. 867 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de pós-graduação em engenharia civil, USP.
- [17] 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.
- [18] CORAUCCI FILHO, B.; NOUR, E. A. A.; FIGUEIREDO, R. F.; STEFANUTTI, R.; KLÜSENER FILHO, L. C.; BROLEZE, S. T. Estudo do pós-tratamento de efluente com aplicação do método do escoamento superficial no solo: polimento de efluentes de filtros anaeróbios. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios, Coletânea de trabalhos técnicos. v. 1. Carlos Augusto de Lemos Chernicharo (coordenador), Belo Horizonte, 2000. 219 p.

Tabela 1 - Dados disponíveis para as eficiências obtidas em alguns sistemas de tratamento de efluentes por escoamento superficial pesquisados no Brasil

	Araújo (1998)	Coraucci Filho (1992)	Klüsener Filho (2001)	Paganini (1997)
Origem do Efluente	Efluente anaeróbio	Esgoto bruto	Efluente anaeróbio	Esgoto bruto
Largura (m)	3,0	3,7	4,25	25
Comprimento (m)	25	40	40	70
Inclinação (%)	4	8	3,5	2
Vegetação	<i>Brachiara humidicula</i>	<i>Brachiara humidicula</i>	<i>Tifton 85 (Cynodon sp)</i>	<i>Brachiara humidicula</i>
Período (h.dia ⁻¹)	8	8	8	24
Frequência (dia.semana ⁻¹)	5	5	5	1 a 4
Taxa de aplicação (m ³ h ⁻¹ m ⁻¹)	0,20 a 0,60	0,1 e 0,4	0,10 a 0,40	0,18 a 0,66
DBO ¹ Afluente (mgL ⁻¹)	104	288	172	373
DBO Efluente (mgL ⁻¹)	50	83	56	65
Remoção (%)	51	71	67	83
DQO ² Afluente (mgL ⁻¹)	134	504	395	n.d. ⁶
DQO Efluente (mgL ⁻¹)	64	146	124	n.d.
Remoção (%)	52%	71%	69%	n.d.
SST ³ Afluente (mgL ⁻¹)	67	736	n.d.	430
SST Efluente (mgL ⁻¹)	18	176	n.d.	122
Remoção (%)	72	76	n.d.	72
N-NTK ⁴ Afluente (mgL ⁻¹)	39	n.d.	41	38
N-NTK Efluente (mgL ⁻¹)	20	n.d.	14	20
Remoção (%)	49	n.d.	66	47
N-NH ₃ Afluente (mgL ⁻¹)	34	n.d.	20	n.d.
N-NH ₃ Efluente (mgL ⁻¹)	17	n.d.	7	n.d.
Remoção (%)	51	n.d.	65	n.d.
Fósforo Afluente (mgL ⁻¹)	n.d.	4,7	5,4	n.d.
Fósforo Efluente (mgL ⁻¹)	n.d.	2,5	2,0	n.d.
Remoção (%)	n.d.	47	64	n.d.
Coliformes Fecais Afluente (NMP ⁵)	4,7x10 ⁶	1,0 x10 ⁸	n.d.	n.d.
Coliformes Fecais Efluente (NMP)	4,1 x10 ⁵	5,1 x10 ⁷	n.d.	n.d.
Remoção (%)	91	50	n.d.	n.d.

¹demanda bioquímica de oxigênio; ²demanda química de oxigênio; ³sólidos suspensos totais; ⁴nitrogênio total Kjeldahl; ⁵número mais provável; ⁶não disponível.