

Tratamento de esgotos pelo processo de escoamento superficial no solo (*)

Roberto Feijó de Figueiredo (1)

RESUMO

O processo de escoamento superficial no solo, também conhecido por **overland flow**, tem sido usado com êxito em outros países para tratamento de esgotos domésticos e industriais. É um processo simples e econômico, que ora encontra-se em fase de implantação neste país, com amplas possibilidades de uso em pequenas comunidades urbanas, zona rural ou bairros isolados de cidades maiores.

Neste processo, o efluente líquido residuário é lançado na parte superior de um tabuleiro inclinado por meio de aspersores ou tubos perfurados. O tabuleiro é constituído de solo coberto com uma vegetação, geralmente grama, com uma declividade variando de 2 a 8%. O tratamento é conseguido à medida que o esgoto avança pelo plano inclinado, através de processos físicos, químicos e bioquímicos, com excelentes resultados de remoção de sólidos suspensos, matéria orgânica, nutrientes e metais pesados. Efeitos da precipitação pluviométrica foram verificados para diferentes vazões de esgoto, períodos e frequências de aplicação, sendo que não foi observada piora nas concentrações de alguns parâmetros medidos no efluente tratado.

1. INTRODUÇÃO

Devido ao elevado custo de energia observado nestes últimos anos e também diante dos altos custos para projeto, construção e operação de estações de tratamento de esgotos por processos convencionais, houve a necessidade de se procurar técnicas alternativas, mais econômicas, para a depuração dessas águas residuárias. Tal processo de substituição vem ocorrendo em países mais avançados e também constitui-se alternativa pa-

ra a implantação desses sistemas em países menos desenvolvidos. Processos alternativos econômicos são especialmente indicados para pequenas comunidades urbanas, zona rural ou bairros isolados de cidades maiores.

Uma das opções de tratamento econômico de esgotos é o processo de escoamento superficial no solo, também conhecido por **overland flow**. Este processo, ainda inédito no Brasil, encontra-se em fase de implantação em algumas cidades do interior do Estado de São Paulo, com o assessoramento técnico da Unicamp, embora em países como a Austrália e Estados Unidos da América o seu desempenho já tenha sido devidamente comprovado com excelentes resultados.

1.1 Descrição do processo

No processo de tratamento do esgoto por escoamento superficial no solo, o efluente líquido residuário é lançado na parte superior de um plano inclinado por meio de aspersores ou através de tubos perfurados, conforme mostrado na figura 1.

O plano inclinado é constituído de solo coberto com vegetação, geralmente grama, com uma declividade variando de 2 a 8%. Tradicionalmente, tem-se usado um solo menos permeável para impedir a percolação do líquido na matriz do solo e permitir apenas

o escoamento superficial, mas estudos têm sido feitos para se utilizar também solos com maior porosidade.

Quanto à vegetação, esta tem que ser resistente às constantes condições de umidade devido à presença de esgoto, bem como a possíveis produtos tóxicos que porventura possam estar presentes no líquido. Em outros países têm sido utilizadas as variedades de grama "Bermuda" e "Reed Canary". No Brasil, espécies de grama estão sendo pesquisadas para que a eficiência do processo de tratamento não seja diminuída.

O tratamento do esgoto é conseguido à medida que este avança pelo plano inclinado, através de processos físicos, químicos e bioquímicos. Os resíduos sólidos são retidos fisicamente, em sua maioria, na parte superior do plano. Outros componentes são retirados, pela interação com o meio, principalmente devido à presença de microrganismos, os quais se fixam na vegetação. A grama age fisicamente, na retenção dos sólidos, também como suporte de microrganismos para a oxidação da matéria orgânica, e também contribui diretamente para a remoção parcial de nutrientes e metais pesados.

Resultados da ação depuradora, indicados por alguns parâmetros tais como: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), Sólidos Suspensos (SS), em

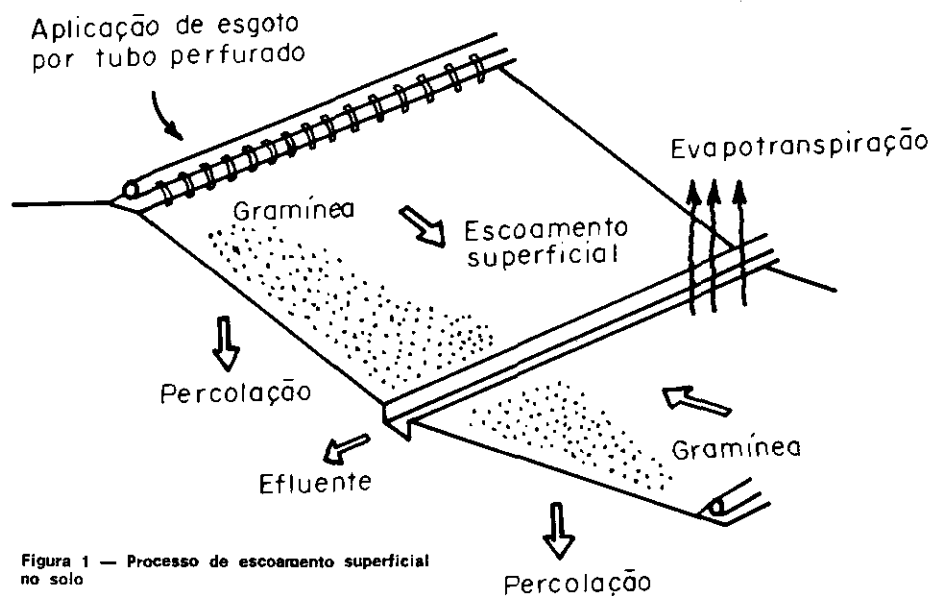


Figura 1 — Processo de escoamento superficial no solo

(*) Trabalho aceito no I Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, realizado em Lisboa, Portugal, no período de 25 a 30 de setembro de 1984.

(1) Engenheiro civil, M.Sc. em Engenharia Sanitária, Ph.D. em Engenharia Ambiental, professor assistente doutor do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Faculdade de Engenharia de Limeira da Unicamp, Limeira, Estado de São Paulo, Brasil.

outros países, têm sido altamente compensadores e tudo indica que no Brasil com boas condições de temperatura, insolação, terras disponíveis etc., o processo poderá ter amplo sucesso.

1.2 Objetivos

Os objetivos deste trabalho são o de reportar os resultados de remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) e Sólidos Suspensos (SS), obtidos pelo autor, bem como compará-los com outros existentes na literatura. Resultados de remoção de nutrientes e de metais pesados conseguidos por outros pesquisadores serão apresentados e comentados. Efeitos da precipitação pluviométrica na remoção de DBO₅ e SS serão vistos e discutidos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em uma área experimental localizada na cidade de Davis, Califórnia, EUA. Um total de aproximadamente 4,5 ha foi utilizado como área experimental, consistindo de 40 tabuleiros individuais separados por bermas de terra, conforme esquema mostrado na figura 2. Cada unidade mede 25 m de largura por 41,5 m de comprimento tendo todos uma declividade de 2%. Dos tabuleiros, 18 receberam esgoto bruto, 18 esgoto primário e os quatro restantes foram utilizados como controles, não recebendo esgoto. Os estudos de precipitação pluviométrica foram feitos em um tabuleiro recebendo esgoto primário, juntamente com um controle.

O sistema de alimentação de esgo-

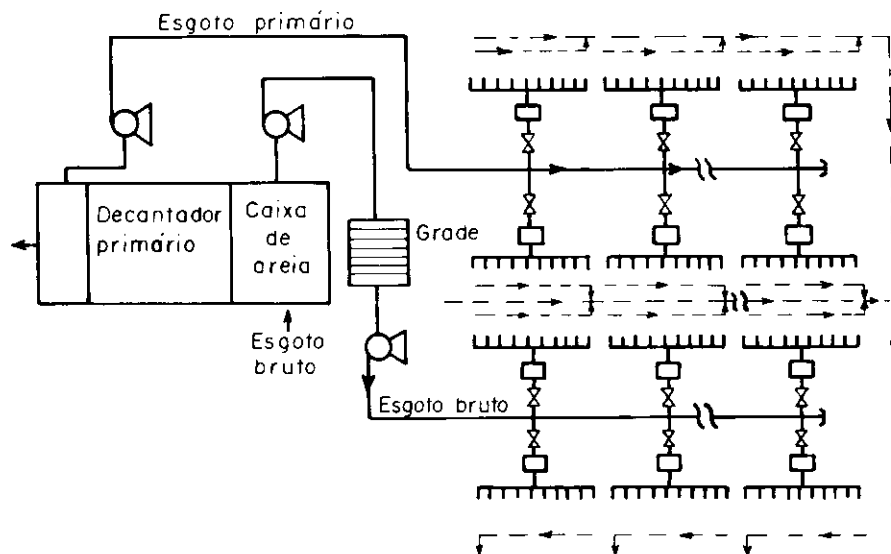


Figura 2 — Esquema da estação experimental de escoamento superficial no solo

Fonte: Figueiredo, R. F. de et alii — 1983

DBO ₅ , mg/l			SS, mg/l		
AFLUENTE	EFLUENTE	% REMOÇÃO	AFLUENTE	EFLUENTE	% REMOÇÃO
72,1	7,7	89,3	72,9	8,2	88,7

to (primário e bruto) era constituído por bombas, sendo que para a aplicação do esgoto nos tabuleiros foram utilizados tubos perfurados com furos distanciados de 0,6 m. Na entrada de cada tabuleiro havia um registro e um medidor de vazão.

Amostras do efluente para o estudo de precipitação pluviométrica eram coletadas em um amostrador automático, controlado por um medidor de

tempo, com capacidade de 24 garrafas de 500 ml cada. A vazão do efluente era medida através de um medidor de vazão ultra-sônico. Dados de intensidade e duração de chuvas foram obtidos em um pluviógrafo.

Resultados de DBO₅ e SS foram conseguidos de acordo com metodologias descritas no "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 1980.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item serão apresentados os resultados de remoção de DBO₅ e SS obtidos pelo autor e outros investigadores, bem como o efeito da precipitação pluviométrica sobre estes parâmetros. Valores de remoção de nutrientes e metais pesados serão também apresentados.

3.1 Demanda bioquímica de oxigênio e sólidos suspensos

Resultados médios de Demanda Bioquímica de Oxigênio e Sólidos Suspensos obtidos pelo autor, quando na aplicação de esgoto primário aos sistemas, estão indicados na tabela acima de Figueiredo, 1982.

Estes valores foram conseguidos com a taxa de aplicação de esgoto primário de 0,16 m³/h.m, período de aplicação de 8 h/dia e frequência de cinco dias/semana.

TIPO DE ESGOTO	REFERÊNCIA	DBO ₅ , mg/l			SS, mg/l		
		AFLUENTE	EFLUENTE	% REMOÇÃO	AFLUENTE	EFLUENTE	% REMOÇÃO
BRUTO	1						
	Smith & Schroeder 1982	111,9	5,7	94,9	185,0	9,0	95,1
	2						
	Smith & Schroeder 1982	111,9	12,7	88,6	185,0	13,0	93,0
PRIMÁRIO	3						
	Ada, OK	132,0	10,0	92,4	185,0	16,0	91,4
	4						
	Easley, SC	200,0	23,0	88,5	186,0	8,0	95,7
PRIMÁRIO	1						
	Smith & Schroeder	72,5	7,7	89,4	72,0	8,0	88,9
	2						
	Smith & Schroeder	72,5	9,3	86,9	72,0	10,0	86,1
	3						
Ada, OK	70,0	8,0	88,6	56,0	7,0	87,5	
5							
Hanover, NH	72,0	9,0	87,5	59,0	7,0	88,1	

Outros investigadores, trabalhando com diferentes taxas e período de aplicação, conseguiram os resultados que estão tabulados na página anterior.

Ada, OK; Easley, SC; Hanover, NH em U.S. Environmental Protection Agency, 1981.

1 0,16 m³/h.m e 8 h/dia

2 0,25 m³/h.m e 8 h/dia

3 0,10 m³/h.m e 12 h/dia

4 0,22 m³/h.m e 6 h/dia

5 0,13 m³/h.m e 7 h/dia

Resultados de remoção de DBO₅ e SS conseguidos por outros investigadores para o esgoto bruto, foram aí colocados para se fazer uma comparação com os resultados obtidos com esgoto primário. Nota-se uma grande coerência entre os valores obtidos pelo autor e aqueles indicados na tabela acima. Ressalte-se o fato das porcentagens de remoção de DBO₅ e SS com esgoto primário estarem próximas de 90%, o que já indica uma boa eficiência deste processo de tratamento. Melhor ainda são as porcentagens de remoção para o esgoto bruto, com valores próximos de 95% de remoção para ambos os parâmetros. Estes altos índices de remoção conseguidos para o esgoto bruto vêm dar ainda maior importância ao processo de tratamento por escoamento superficial no solo, haja vista a economia que se consegue com a eliminação do tratamento primário, tornando o sistema mais simples.

No texto foram citados alguns parâmetros tais como taxa de aplicação de esgoto, período e frequência de aplicação. Estes são de extrema importância no projeto destes sistemas, pois deles vai depender a eficiência do processo. Segundo Smith, 1982, a taxa de aplicação de esgoto parece ser o parâmetro de maior influência na eficiência do processo. Ela é definida como sendo o volume de esgoto aplicado ao tabuleiro, dividido pelo período de aplicação em horas. Há uma tendência em se uniformizar este parâmetro expressando-o em termos de largura unitária do tabuleiro, isto é, em metro cúbico de esgoto por hora por metro unitário de largura (m³/h.m).

O período de aplicação refere-se ao tempo em que o esgoto é aplicado ao tabuleiro por dia, ou seja, horas por dia (h/d). Quanto à frequência de aplicação, esta está relacionada com

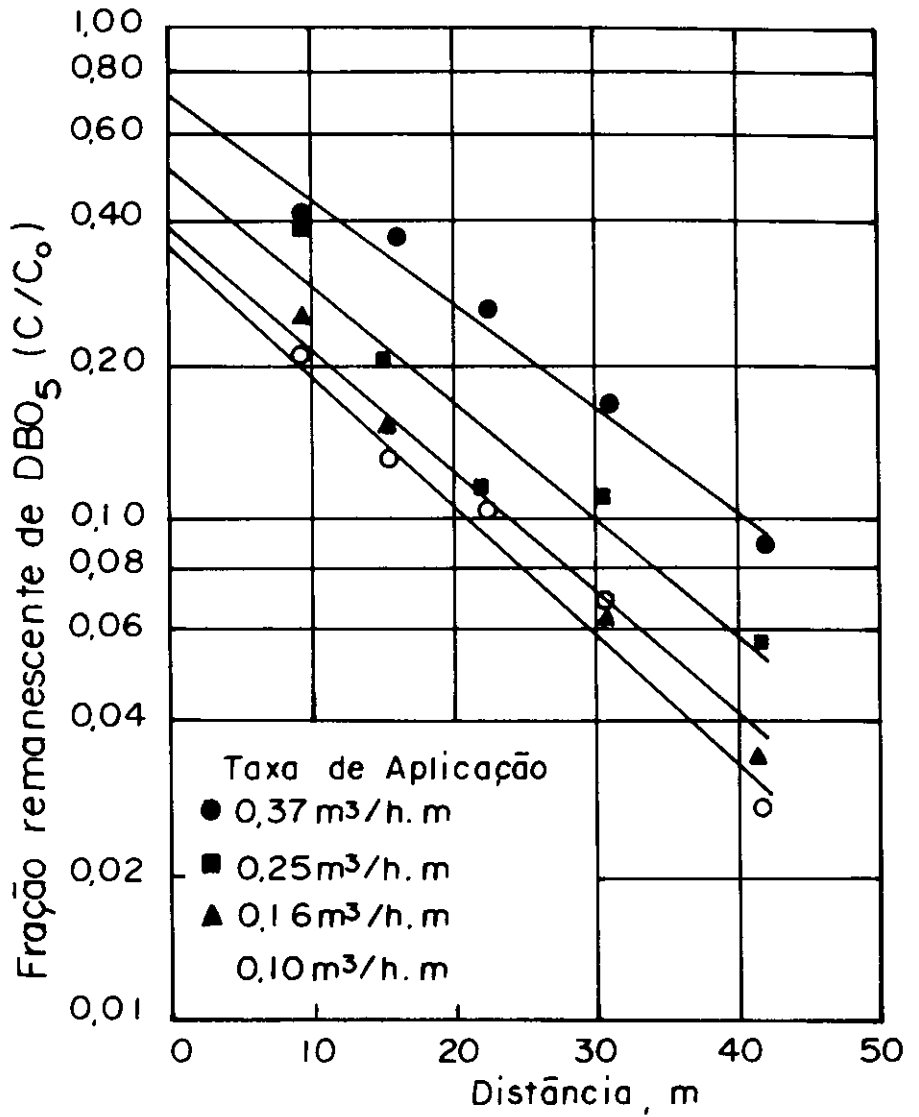


Figura 3 — Variação da fração remanescente de DBO₅ com a distância de escoamento (esgoto primário)
Fonte: Smith e Schroeder, 1982

o número de dias por semana que o sistema está em operação (dia/semana). Valores típicos destes parâmetros estão citados em Smith, 1982.

Resultados de estudos feitos por Smith & Schroeder, 1982, quanto à influência da taxa de aplicação de esgoto primário na eficiência do processo de escoamento superficial no solo, estão indicados na figura 3. Nota-se claramente a importância deste parâmetro nos resultados finais de remoção de DBO₅, sendo que às taxas de aplicação maiores corresponderam uma menor eficiência do sistema, e vice-versa. Outros resultados semelhantes estão mostrados no mesmo

trabalho, para remoção de outros parâmetros e aplicação de esgoto bruto, sendo que em todas as figuras nota-se a mesma tendência.

3.2 Efeitos da precipitação pluviométrica

Os efeitos da precipitação pluviométrica sobre a eficiência do processo de escoamento superficial no solo quanto a remoção de DBO₅ e SS foram estudados e apresentados por Figueiredo, em 1983 e 1984. Os resultados estão baseados em termos de concentração e descarga de massa daqueles constituintes dos efluentes.

Parâmetro	Unidade	Intervalo Típico
Taxa de aplicação	m ³ /h.m	0,08 - 0,24
Período de aplicação	h/d	4 - 24
Frequência de aplicação	d/sem	3 - 7

Valores de concentração e descarga de massa, em condições normais de operação, durante a aplicação de esgoto primário, estão indicados na seguinte tabela, para uma taxa de aplicação de 0,16 m³/h.m. período de 8 h/dia e frequência de cinco dias/semana.

Parâmetro	Concentração, mg/l		Descarga de massa, mg/min	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
DBO ₅	72,1	7,7	4.830	485
SS	72,9	8,2	4.884	517

Devido à elevada quantidade de dados obtidos durante esse estudo, apenas alguns casos serão mostrados para ilustrar o comportamento do sistema.

Valores máximos de concentrações de DBO₅ e SS do efluente, obtidos durante alguns eventos pluviométricos, estão indicados na seguinte tabela. Na mesma tabela aparecem também resultados dos mesmos parâmetros obtidos em um tabuleiro-controle, isto é, onde não era aplicado esgoto.

Máxima intensidade de chuva, mm/h	Duração da chuva, min	Efluente		Contrôle	
		DBO ₅	SS	DBO ₅	SS
5,2	90	14,6	50,9	11,5	21,1
3,9	55	14,1	98,4	-	-
5,8	155	8,9	38,3	6,7	44,5
10,8	20	5,9	78,1	-	-
10,9	35	11,6	45,0	8,8	32,8
3,1	210	17,8 ^a	127,0 ^a	10,7	189,0

^aEsgoto não estava sendo aplicado.

Em geral, as concentrações máximas de DBO₅ obtidas durante as diferentes chuvas estão um pouco acima daquelas obtidas em condições normais de operação (sem chuvas), porém ainda abaixo do limite de 30 mg/l estabelecido pela Usepa, citado em Metcalf & Eddy, 1979. Por outro lado, valores de SS foram maiores do que aqueles obtidos em condições normais, e também maiores do que o limite de 30 mg/l, da mesma forma adotado para SS. No entanto, determinações feitas de sólidos suspensos voláteis, indicaram que a grande porcentagem de SS era constituída de matéria orgânica, sendo que esta provavelmente era originária do canal de coleta do efluente, o qual não era revestido. Os resultados de SS para o controle foram, em geral, mais altos do que aqueles obtidos para o sistema em operação, indicando que a camada biológica formada neste último no sistema solo-vegetação pode estar agindo como proteção contra erosão.

Resultados da variação da taxa de descarga de massa para DBO₅ e SS, durante uma determinada precipitação pluviométrica, estão indicados na figura 4. Nesta figura observa-se que o aumento de SS é muito mais pronunciado do que para a DBO₅, devido a maior concentração de sólidos suspensos inorgânicos no efluente. Observou-se que a massa total daqueles constituintes descarregada no efluente, durante uma certa precipitação pluviométrica, foi maior do que a massa total sendo descarregada em condições normais de operação, e além do mais, esta diferença aumenta com a elevação da intensidade e duração da chuva.

De uma maneira geral, a precipitação pluviométrica pode afetar a eficiência deste sistema de tratamento de esgoto em termos de concentração e descarga de massa de DBO₅ e SS.

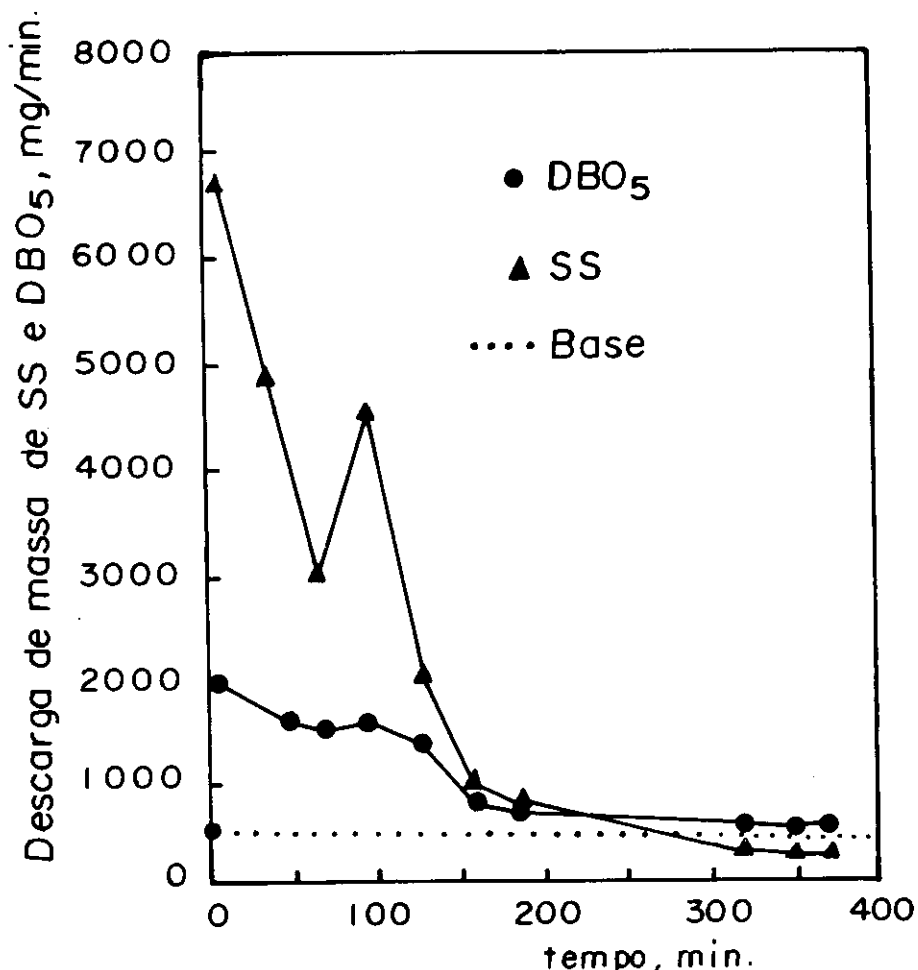


Figura 4 — Variação da taxa de descarga de massa de DBO e SS para uma única chuva
Intensidade da chuva = 6,2 mm/h — Duração da chuva = 90 min.
Taxa de aplicação de esgoto = 0,16 m³/h.m.
Fonte: Figueiredo, R. F. de et alii, 1983

As concentrações de DBO₅ no efluente não foram significativamente alteradas, porém as de SS estiveram acima do limite, como já citado acima. As descargas de massa de DBO₅ e SS aumentaram durante as chuvas, de acordo com a duração e intensidade

das mesmas. A questão resume-se em se definir o modo como vão ser estabelecidos os padrões de qualidade do efluente, em termos de concentração ou descarga de massa, com valores médios, diários, semanais ou mensais.

Note-se também que a qualidade do efluente dos tabuleiros recebendo esgoto, durante precipitações pluviométricas, foi melhor do que o do efluente coletado no tabuleiro-controle, sem esgoto.

3.3 Nutrientes

O processo de escoamento superficial no solo é eficiente na remoção de nutrientes provenientes do esgoto municipal. Resultados de remoção de nitrogênio e fósforo em alguns experimentos estão apresentados em Hinrichs et alii, 1980, e mostrados a seguir.

Além destes, resultados obtidos em Utica, M. S., indicaram remoção de 90% de nitrogênio total, e até 50% de remoção de fósforo total, sem adição de coagulantes, segundo Hinrichs et alii, 1980.

De acordo com Smith et alii, 1983, é esta a possível seqüência de mecanismos propostos para a remoção de nitrogênio por este processo de tratamento:

- 1 — Nitrogênios orgânico coloidal e suspenso são removidos por sedimentação e filtração;
- 2 — A maioria da amônia é removida inicialmente por troca iônica na superfície do solo;
- 3 — A amônia é nitrificada durante a fase de secagem do solo, mas uma quantia significativa pode também ser nitrificada durante a fase de aplicação de esgoto, enquanto o solo tiver condições aeróbicas. Como resultado da nitrificação aqueles locais no solo ocupados pela amônia tornam-se vagos;
- 4 — Parte do nitrato formado durante a fase de secagem pode ser desnitrificado se houver condições anaeróbicas em parte do solo;
- 5 — Durante a próxima aplicação de esgoto, uma porção de nitrato é desnitrificada devido a presença de outros locais anaeróbicos bem como o surgimento de material carbonáceo. O nitrato remanescente acompanha e efluente. O fato da desnitrificação exigir uma maior quantidade de carbono é também citado por Smith et alii, 1983, exaltando a melhor eficiência do processo com o uso do esgoto bruto, onde existe uma maior taxa de carbono para nitrogênio.

3.4 Metais pesados

A remoção de metais pesados foi investigada por Peters et alii, 1981. Aqueles autores concluíram que o processo de escoamento superficial no so-

Local	Parâmetro	Esgoto	Concentração	Concentração
			do Afluente, mg/l	do Efluente, mg/l
Ada, OK	Nitrogênio Total	bruto	23,6	2,2
	Nitrogênio Kjeldahl		22,8	1,7
	Nitrato + Nitrito		0,8	0,4
	Fósforo total		10,0	4,3
Pauls Valley	Amônia	bruto	16,7	3,1
	Nitrogênio Org.		8,5	2,9
	Nitrato		< 0,05	0,16
	Fósforo total		8,3	7,9

lo e excepcionalmente eficiente na remoção de metais pesados provenientes do esgoto aplicado. Eles obtiveram reduções de 88, 94, 84 e 86% para os metais Cd, Ni, Cu, e Zn, respectivamente. As concentrações de Cd, Ni, Cu e Zn no esgoto aplicado foram mantidas artificialmente por adição de sais, com os valores de 0,077, 0,141, 0,120 e 0,339 mg/l, respectivamente.

Segundo os mesmos autores a eficiência do processo em reter metais pesados é o resultado da capacidade de adsorção da camada orgânica na superfície do solo, e os metais tendem a se acumular perto do ponto de aplicação do esgoto. Por sua vez, a vegetação localizada neste ponto também tem a sua concentração de metais pesados aumentada.

4. CONCLUSÕES

O processo de escoamento superficial no solo para tratamento de esgotos domésticos e industriais tem demonstrado ser de alta eficiência na remoção de matéria orgânica, sólidos suspensos, nutrientes e metais pesados. Além desta boa eficiência de tratamento, o processo tem a grande vantagem de ter um baixo custo de instalação, manutenção e operação, o que o torna economicamente viável de ser utilizado em países em desenvolvimento.

Outra grande vantagem deste processo é o de poder depurar esgoto bruto, com algum tratamento preliminar, com resultados altamente compensadores e melhores do que aqueles conseguidos com esgotos que sofrem tratamento primário.

A eficiência do sistema de tratamento é dependente da taxa de aplicação de esgoto, e também do período e frequência de aplicação, obtendo-se melhores resultados com menores taxas de aplicação.

As concentrações de DBO₅ no efluente, durante eventos de chuva, são menores do que o limite de 30 mg/l. Já as concentrações de SS ultrapassaram este limite, porém mesmo assim são menores do que as concentrações de SS no efluente do controle, e são em sua maioria de origem inorgânica.

Em geral, são estas as eficiências conseguidas por este processo:

Parâmetro	% redução
DBO ₅	87 - 95
SS	86 - 96
Nitrogênio	70 - 90
Fósforo	50
Metais Pesados	84 - 94

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 — Figueiredo, R. F. de, et alii, 1983. Effects of Rainfall on Overland Flow Process Performance. Trabalho apresentado na "National Conference on Environmental Engineering — ASCE", em Boulder, Colorado (julho 1983).
- 2 — Figueiredo, R. F. de, et alii, 1984. Rainfall and Overland Flow Performance. ASCE — Journal of Environmental Engineering, pp. 678-694, vol. 110, n.º 3 (junho 1984).
- 3 — Figueiredo, R. F. de, 1982. Effects of Rainfall on the Performance of the Overland Flow Wastewater Treatment Process. Tese de Ph.D., Dept. of Civil Eng., Univ. of California, Davis, CA.
- 4 — Hinrichs, D. J., et alii, 1980. Assessment of Current Information on Overland Flow Treatment of Municipal Wastewater. Preparado para a Usepa, Office of Water Programs — 430/9-80-002 (maio 1980).
- 5 — Metcalf & Eddy, Inc., 1979. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, reuse — 2nded. McGraw — Hill Book Co.
- 6 — Peters, R. E., et alii, 1981. Field Investigations of Overland Flow Treatment of Municipal Lagoon Effluent. Preparado para a Usepa, Relatório Técnico EL-81-9 (set 1981).
- 7 — Smith, R. G. et alii, 1983. Performance of Overland Flow Wastewater Treatment Systems. Dept. of Civil Eng., Univ. of California, Davis, CA.
- 8 — Smith, R. G. e E. D. Schroeder, 1982. Demonstration of the Overland Flow Process for Treatment of Municipal Wastewater-Phase II Field Studies. Preparado para a California State Water Resources Control Board, Sacramento, CA.
- 9 — Smith, R. G., 1982. The Overland Flow Process. Environmental Progress, pp. 195-205, vol. 1, n.º 3 (agosto 1982).
- 10 — Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater — 15 th.ed., 1980. American Public Health Association.
- 11 — U. S. Environmental Protection Agency, 1981. Land Treatment of Municipal Wastewater — Process Design Manual — EPA — 625/1-81-013 (out 1981).