

Método Alternativo de Tratamento de Esgotos

Reator anaeróbio com recheio de bambu associado com filtros biológicos de areia

Adriano Luiz Tonetti

Mestre em Saneamento e Ambiente - UNICAMP
atonetti@fec.unicamp.br

Bruno Coraucci Filho, Dr

Professor Associado da Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP

Alexandre Patto Kanegae

Mestre em Saneamento e Ambiente - UNICAMP

Ronaldo Stefanutti, Dr

Doutor pelo CENA-USP

Ilustrações cedidas pelos autores

Resumo

Este artigo apresenta os resultados encontrados para o estudo de um sistema alternativo de tratamento de esgotos constituído por reator anaeróbio com recheio de bambu associado a um filtro biológico de areia. Tal combinação possui baixo custo e busca minimizar o sério problema de saneamento pelo qual o Brasil passa.

O reator anaeróbio foi alimentado com uma vazão de 2 l/min e seu efluente era aplicado em cinco cargas hidráulicas (20, 40, 60, 80 e 100 l/m²) sobre a superfície de quatro filtros de areia com diferentes profundidades de leitos (25, 50, 75 e 100 cm).

Devido à ação dos microrganismos anaeróbios e aeróbios, que aderem à superfície do bambu e da areia, obteve-se uma excelente remoção de matéria orgânica do esgoto que, caso fosse lançada em um corpo de água antes do processo de tratamento, levaria ao consumo de oxigênio e a uma mortalidade da fauna e flora aquáticas. Quanto ao nitrogênio, ocorreu uma grande transformação da sua parte orgânica em nitrato, demonstrando a grande adaptação das bactérias responsáveis por esta reação bioquímica ao meio formado pela areia. Os organismos patogênicos foram em grande medida removidos, adequando o efluente a alguma prática de reuso.

Palavras-chave: filtro de areia, pós-tratamento, efluente anaeróbio, baixo custo.

Introdução

O Brasil é um dos países que possuem o maior fluxo interno de água. Porém, há uma enorme disparidade na distribuição deste recurso entre suas diferentes regiões. Enquanto que no norte existe uma abundância hídrica, no sul e sudeste, industrializados e populosos, ocorre a escassez causada pelo elevado consumo e grande poluição dos rios, resultante da precária situação do saneamento básico.

Este quadro alarmante acarreta sérios problemas à saúde pública e ao meio ambiente levando a mortalidade de um grande número de espécies. Portanto, um dos desafios atuais para a melhoria desta situação é o desenvolvimento de sistemas de tratamento simples, eficientes e adaptáveis às condições econômicas e estruturais do nosso país.

O Tratamento Anaeróbio

O tratamento anaeróbio depende dos microrganismos que agem na ausência de oxigênio, transformando os dejetos gerados pela ação humana em produtos mais simples como metano, gás carbônico e água (METCALF e EDDY, 1991). Estes compostos mais simples podem retornar ao meio ambiente sem comprometer o planeta e seu ecossistema. Apesar da boa eficiência deste sistema, entre 10 e 30% da matéria orgânica não é degradada, o que impede que seu efluente atenda à

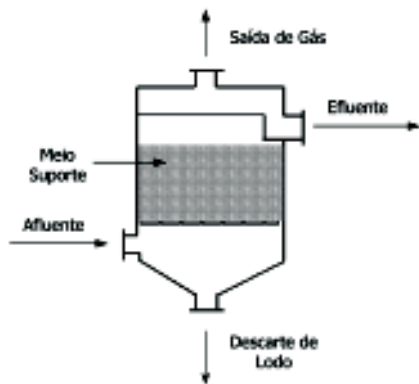


Figura 1: Filtro anaeróbico de fluxo ascendente.

legislação brasileira quanto a este parâmetro, havendo necessidade de um pós-tratamento.

O reator anaeróbico é caracterizado pela presença de um material de recheio estacionário e inerte no interior de um tanque fechado. O esgoto penetra pela parte inferior e flui até a sua saída na área superior. No decorrer do escoamento, o esgoto entra em contato com este material. Sobre a superfície deste recheio ocorre a formação natural de um biofilme que degrada o substrato contido no fluxo de esgoto (Figura 1).

O material de recheio no qual os microrganismos aderem deve ter as seguintes características: estrutura resistente, ser biológica e quimicamente inerte, leveza, porosidade elevada e preço reduzido. Tal sistema possui a vantagem de consumir pouca energia e produzir uma quantidade mínima de lodo, além de não depender da utilização de complexos equipamentos mecânicos.

Pesquisadores da UNICAMP diagnosticaram que o uso de anéis de bambu poderia satisfazer a tais pré-requisitos (CAMARGO, 2000). Este material apresenta a vantagem de possuir um baixo custo e ser facilmente encontrado no Brasil. Desta forma, construíram e operaram quatro reatores que possuíam o bambu como recheio e obtiveram uma remoção média de matéria orgânica (DBO) superior a 75%. Quanto ao nitrogênio orgânico, somente uma parcela de sua concentração foi transformada em amônia.

Pode-se concluir ao final deste

trabalho inicial que, apesar dos bons resultados, havia a necessidade de se realizar um pós-tratamento do efluente anaeróbico gerado pelo reator de bambu, pois ele não se adequava à legislação brasileira. Assim, buscando manter as características de um tratamento alternativo e barato decidiu-se aplicar o efluente gerado sobre a superfície de filtros biológicos de areia.

A associação do reator anaeróbico com filtros biológicos de areia seria uma alternativa que preservaria o baixo custo total. Outro item importante seria a possibilidade de dispor o efluente gerado diretamente sobre os cursos d'água, ou reutilizá-lo na irrigação, ou no consumo não-humano, seguindo a orientação da Organização Mundial de Saúde (OMS, 1989).

No Brasil, esta combinação seria aplicável nas pequenas cidades, em bairros isolados e condomínios fechados das metrópoles, onde a instalação de uma rede coletora de esgotos apresentaria custo elevado.

Filtros Biológicos de Areia

O filtro biológico de areia é um método de tratamento bastante antigo, inicialmente adotado na remoção de turbidez da água potável. A partir do século XIX, na Europa e nos Estados Unidos, passou a ser aproveitado na depuração de esgotos (MICHELS, 1996).

O funcionamento deste sistema baseia-se na aplicação de afluente intermitentemente sobre a superfície de um leito de areia. Durante a infiltração do líquido ocorre a purificação por mecanismos físicos, químicos e biológicos.

O tratamento físico é resultante do peneiramento e o químico ocorre pela adsorção de determinados compostos. A purificação depende principalmente da oxidação bioquímica que ocorre no contato do afluente com a cultura biológica. Devido a esta característica, Jordão e Pessoa (1995) afirmam que este tipo de sistema é incorretamente chamado de filtro, pois seu funcionamento não possui como explicação primordial o peneiramento ou a filtragem. Neste mesmo sentido, KRISTIANSEN (1981) sustenta que o leito de areia, em conjunto com os microrganismos, forma um filtro vivo.

Material e Métodos

Este projeto de pesquisa está instalado em uma área experimental situada na Estação de Tratamento de Efluentes Graminha, na cidade de Limeira, Estado de São Paulo. O esgoto bruto é originário de um bairro residencial denominado Graminha. Inicialmente esta água residuária passa por um tratamento preliminar composto por grades de retenção e caixa de areia e em seguida, uma pequena



Figura 2: Vistas externa (esquerda) e interna (direita) dos reatores anaeróbicos.

Tabela 1: Denominação dos filtros biológicos e profundidades do leito de areia.

Filtro	Profundidade do Leito (centímetros)
F025	25
F050	50
F075	75
F100	100

porção do seu fluxo é direcionada até quatro reatores anaeróbios com recheio de bambu.

Cada reator possui volume de 500 l e foi construído em aço inox tendo formato cilíndrico e fundo cônico, que funcionou como um compartimento para a distribuição do esgoto (Figura 2). O meio suporte foi constituído de anéis de bambu da espécie *Bambusa tuldooides*. O caule do bambu foi cortado em pedaços de aproximadamente 5 cm (CAMARGO, 2000).

Estes reatores anaeróbios foram operados com fluxo ascendente, tendo uma vazão de 2 l/min e tempo de detenção hidráulica de 3 horas, controlados diariamente.

Filtros de Areia

Na construção do leito dos filtros foram empregadas três camadas posicionadas a partir da base. A primeira foi constituída por brita e pos-

suía 20 cm de profundidade. Logo acima estava a camada formada por pedregulho, com 10 cm de profundidade, que objetivava sustentar a areia, impedindo que suas partículas fossem arrastadas para fora da estrutura do sistema. Quanto à camada de areia, buscando-se determinar qual era a espessura ideal para a realização do tratamento, empregou-se quatro filtros com diferentes profundidades de leito, conforme apresentado na Tabela 1.

A areia empregada foi a popularmente denominada de grossa comercial, possuindo um diâmetro efetivo (D_{10}) de 0,093 mm. Salienta-se que estes materiais foram os mais comumente encontrados na região de desenvolvimento do projeto.

Na construção dos filtros, foi utilizada uma caixa cilíndrica com estrutura de fibra de vidro e diâmetro de 100 cm. Na Figura 3 há um esquema da disposição das diferentes camadas que compõem os filtros.

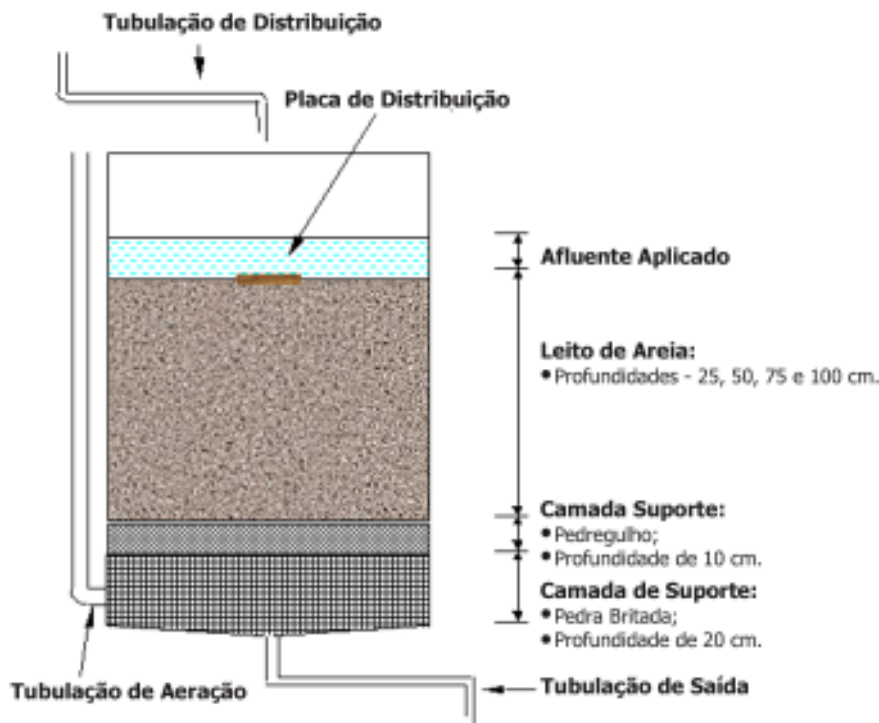


Figura 3: Esquema dos filtros de areia.

Para a distribuição uniforme do afluente sobre o leito dos filtros, empregou-se uma placa quadrada de 20 cm de comprimento, feita de madeira e posicionada no centro da camada superficial (Figura 4). Após o lançamento do afluente pela tubulação de distribuição, existe o choque do líquido com esta placa, distribuindo as gotículas sobre a superfície.

Buscando-se determinar a capacidade de tratamento dos filtros biológicos de areia, foram aplicadas as cargas hidráulicas de 20, 40, 60, 80 e 100 l/m² de efluente proveniente dos reatores anaeróbios sobre as superfícies. Cada carga hidráulica foi empregada pelo período de um mês entre as segundas e sextas-feiras.

Na Figura 5 está apresentado de forma esquemática o fluxograma de funcionamento deste sistema de tratamento em estudo.

As seguintes amostras foram obtidas semanalmente: esgoto bruto, efluente dos reatores anaeróbios com recheio de bambu e efluentes dos filtros de areia. Todas as análises foram baseadas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (AWWA/ANHA/WEF, 1999).

Os parâmetros físicos, químicos e biológicos analisados foram os seguintes: pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), série do nitrogênio (nitrogênio orgânico e amoniacal, nitrito e nitrato) e coliformes totais.

Resultados

pH

O estudo deste parâmetro é de extrema importância em um sistema biológico. Isto porque os microrganismos responsáveis pelo tratamento dos esgotos necessitam de um pH que varie entre 4 e 8. Caso contrário existe o impedimento da formação do biofilme responsável pela depuração do efluente.

De acordo com a Figura 6 pode-se fazer uma divisão dos valores de



Figura 4: Vista externa (esquerda) e superior (direita) de um filtro de areia, tendo ao centro a placa de distribuição de afluente.

pH encontrados para os filtros biológicos de areia em dois grupos básicos. O primeiro engloba os pHs encontrados nas cargas hidráulicas de 20, 40 e 60 l/m² onde houve tendência para valores superiores a 7. No segundo grupo, constituído pelas cargas de 80 e 100 l/m² nota-se valores inferiores ao pH neutro.

A característica encontrada para o primeiro grupo não se adequa aos

resultados esperados. De acordo com a análise dos compostos nitrogenados, esperava-se que a transformação dos nitrogênios orgânico e amoniacal em nitrato causasse a redução do pH. Tal fato ocorreria devido à redução de alcalinidade provocada pelas bactérias aeróbias no processo metabólico da degradação da matéria orgânica. Uma possível explicação para esta característi-

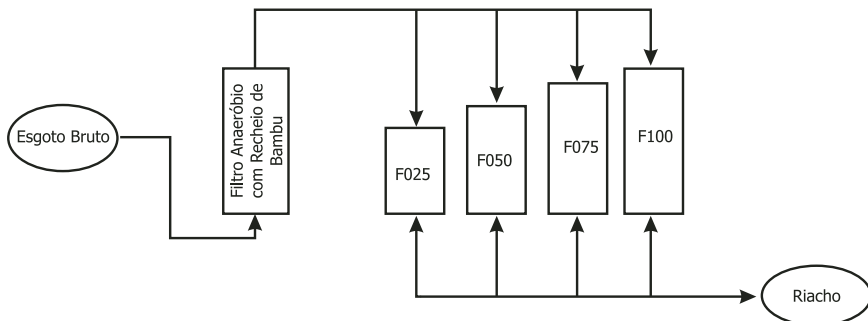


Figura 5: Fluxograma do sistema de tratamento em estudo.

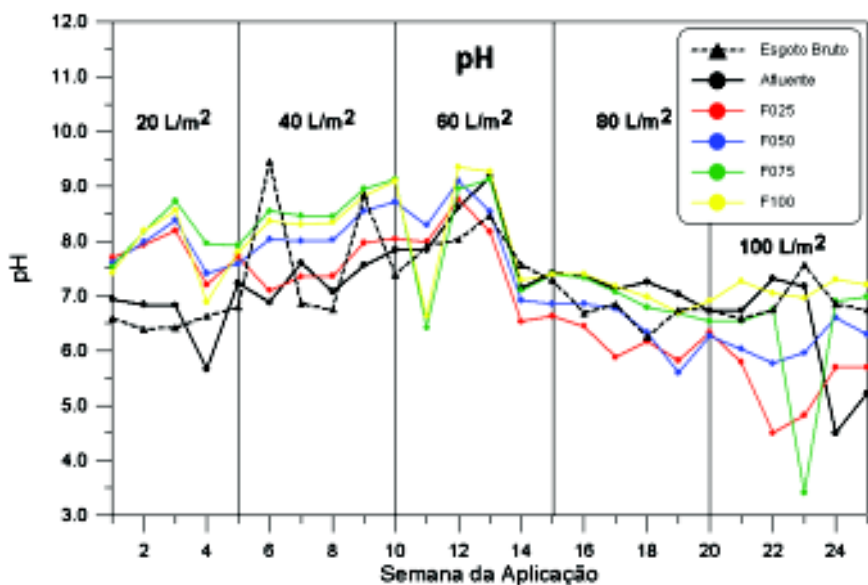


Figura 6: Variação do pH durante as semanas de coleta.

ca pode ser a formação de um sistema tampão químico pela areia. Assim, apesar do consumo de compostos alcalinos, haveria o impedimento da queda do pH do efluente dos filtros de areia.

A formação do sistema tampão pelo leito de areia pode ser comprovada pelo fato do filtro F025, que possui o menor volume de areia, possuir tendência aos menores pHs e também por ter sido o primeiro a apresentar os valores mais baixos. O filtro de 100 cm manteve valores altos de pH até o final da aplicação da carga de 100 l/m².

Vê-se também que o sistema, mesmo sob condições temporárias de aplicações de pHs bastante anormais, conforme encontrado na sexta semana, mostrou-se capaz de amortecê-los. Isso também pode ser notado nas duas últimas semanas de aplicação da carga de 100 l/m², quando houve a geração de um efluente ácido pelos reatores anaeróbios de bambu. Observa-se que nesta situação os efluentes dos quatro filtros não tiveram uma tendência a acompanhá-lo nesta queda brusca.

Quando se comparam os valores encontrados para o pH com aqueles exigidos pela legislação brasileira (CONAMA 20/86), que permite a emissão de um efluente cujo pH varie entre 4 e 9, nota-se que o sistema propiciou valores bastante satisfatórios.

Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO

Caso seja lançado em um corpo de água uma grande quantidade de matéria orgânica, haverá o consumo parcial dela pelos microrganismos presentes no meio. Como consequência desta degradação, esta colônia formada consome grande quantidade de oxigênio, levando à morte diversas espécies da fauna e da flora.

No que se refere a DBO, parâmetro que determina a quantidade de matéria orgânica, os reatores

Tabela 2: Remoção média de DBO no sistema de tratamento nas cargas hidráulicas aplicadas.

Ponto de Coleta	Remoção média de DBO (%)				
	20 l/m ²	40 l/m ²	60 l/m ²	80 l/m ²	100 l/m ²
F025	95,3	97,3	93,7	95,8	91,3
F050	98,0	98,9	98,7	96,5	94,9
F075	97,5	98,9	98,8	98,3	97,0
F100	97,6	98,8	99,4	99,3	98,7

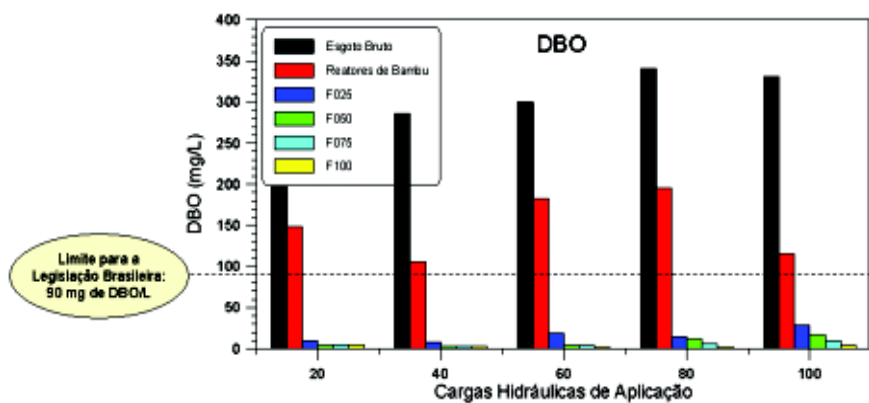


Figura 7: DBO média para cada uma das cargas hidráulicas aplicadas.

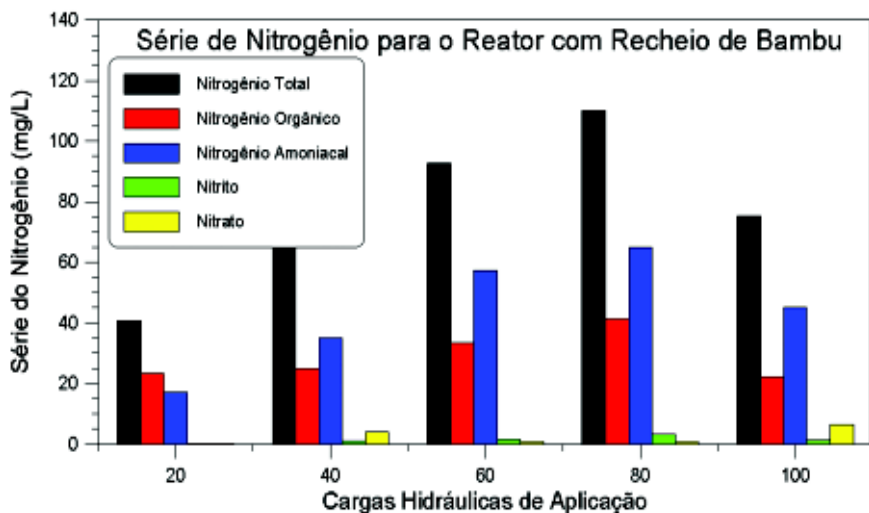
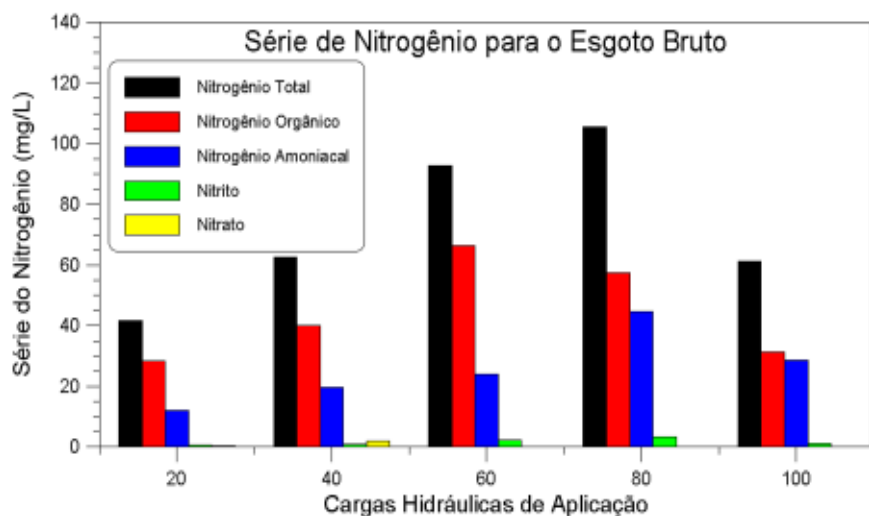


Figura 8: Média para a concentração dos compostos nitrogenados no esgoto bruto e efluente dos reatores de bambu em cada carga hidráulica.

anaeróbios propiciaram uma remoção média de aproximadamente 48%. Este resultado está de acordo com as possibilidades dos microrganismos anaeróbios e com os dados encontrados para materiais de recheio normalmente empregados em estações de tratamento de grande porte.

Quanto aos filtros de areia, vê-se pela Figura 7 a excelente remoção de DBO. O maior valor encontrado foi de somente 29 mg/l, obtido no efluente do filtro com 25 cm de profundidade, durante a aplicação da maior carga hidráulica. Este resultado está muito abaixo do máximo permitido pela legislação brasileira, que é de 90 mg/l.

Outra característica observada é que quanto mais profundo o leito de areia, melhores foram os resultados. Isto pode ser explicado pelo fato de que quanto maior a profundidade, maior a quantidade de areia revestida com biofilme. Assim existe uma ampla possibilidade de contato do material orgânico com os microrganismos.

Quando se observa a Tabela 2, que apresenta os percentuais de remoção da DBO em todo o sistema, observa-se o valor mínimo de 91,3%. O filtro com 100 cm de profundidade nunca removeu menos que 97,6%, independente da carga de aplicação.

Nitrogênio

A remoção dos compostos nitrogenados presentes no esgoto é de extrema importância. Caso isto não ocorra tem-se o lançamento de um efluente tóxico que pode levar à morte de micro e macrorganismos. Tal fato ocorre devido ao nitrogênio amoniacal ou devido à eutrofização, que acaba por criar um meio propício à floração de algas.

Pela Figura 8 percebe-se que tanto o esgoto bruto como o efluente dos reatores de bambu eram constituídos de compostos nitrogenados pouco degradados (nitrogênio orgânico e amoniacal). Assim, desde a produção dos

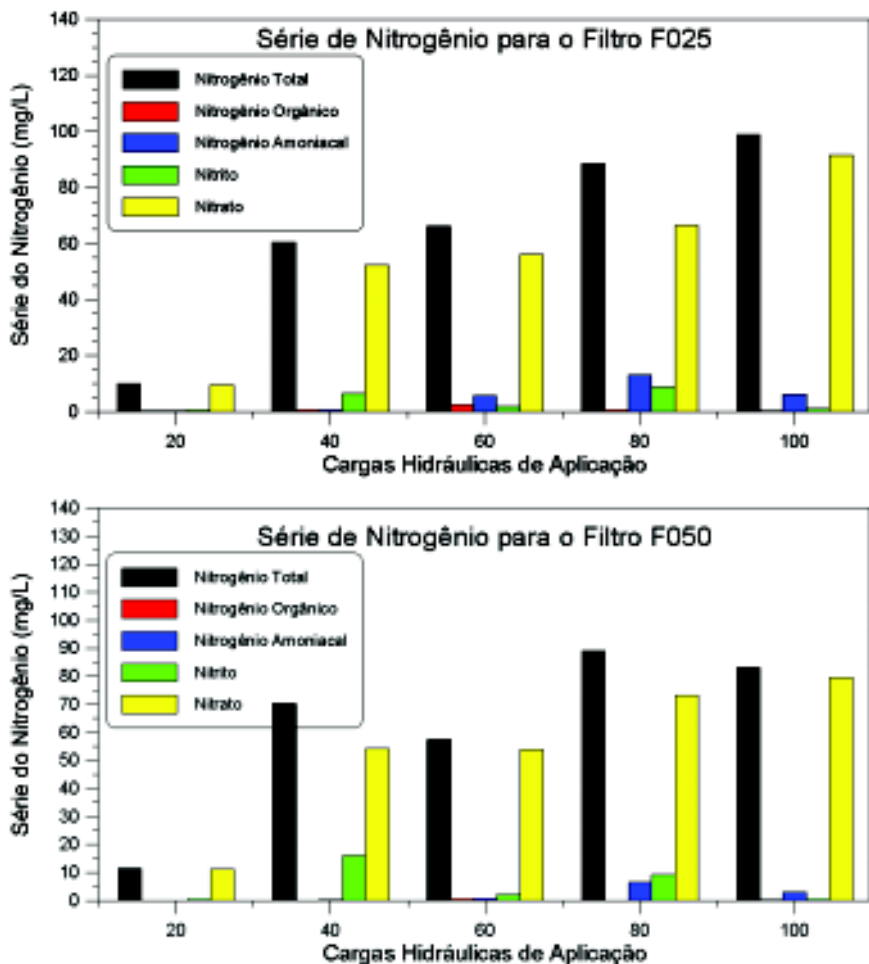


Figura 9: Média para a concentração dos compostos nitrogenados no filtro F025 e F050 em cada carga hidráulica.

dejetos pelo ser humano até a chegada à estação de tratamento ocorreram poucas transformações em sua composição. Isto ocorre principalmente devido ao fato de os organismos responsáveis pela decomposição dos compostos nitrogenados agirem somente em presença de oxigênio.

Ao comparar-se o esgoto bruto com o efluente dos reatores de bambu, nota-se que apesar da sua característica anaeróbia, a amônia na maioria das situações superava o valor de nitrogênio orgânico. Quanto às concentrações de nitrato e nitrito, observa-se que foram muito pequenas para estes dois pontos de coleta.

Pelas Figuras 9 e 10, nota-se que o efluente dos reatores anaeróbios de recheio de bambu ao infiltrar-se através do leito de areia dos filtros biológicos sofreu grandes alterações no que se refere aos compostos nitrogenados. Ou seja,

existiu uma grande transformação do nitrogênio orgânico e do amoniacal para nitrato, independente da carga que era empregada. Tal modificação é resultante das nitrobactérias, que em ambientes aerados levam tais compostos à sua forma mais oxidada.

Para os filtros F025 e F050, a partir da carga de 60 l/m² passa a haver um aumento da concentração de nitrogênio amoniacal, que foi ampliada na de 80 l/m². Este aumento pode ser explicado pelo acréscimo de carga, que acarretou na diminuição do tempo de contato entre o líquido que se infiltrava e a cultura biológica aderida à areia.

Quanto maior era a profundidade do leito, maior era o processo de nitrificação, ou seja, de transformação do nitrogênio orgânico em nitrato. Assim, de acordo com a Figura 10, nota-se que o filtro com 100 cm de profundidade de leito propiciava uma

completa nitrificação. Assim, a somatória das concentrações de todos os compostos nitrogenados era muito semelhante à de nitrato.

Coliformes Totais

Os coliformes totais são uma classe de organismos adotada pela engenharia sanitária como um indicador da presença de organismos patogênicos. Assim, caso esteja em pequenas quantidades, pode-se supor que a água também não conterá seres vivos que possam causar algum dano a saúde.

Ao analisar-se as concentrações de coliformes totais pela Figuras 11, vê-se que o afluente sempre possuía valores superiores a 10^6 NMP/100 ml, chegando em alguns casos a superar 10^9 NMP/100 ml. Desta forma, pode-se constatar que os reatores anaeróbios com recheio de bambu realmente não removem estes organismos, conforme afirma a literatura.

Quanto aos filtros de areia, nas baixas cargas o F025 já apresentava valores mais altos que os outros três, e no decorrer do desenvolvimento do projeto, sempre possuía as maiores concentrações. Por outro lado, o filtro com 100 cm de profundidade chegava a gerar um efluente capaz de atender à legislação brasileira para a água potável quanto a coliformes totais.

Ao observar-se a comparação entre o afluente e o efluente do filtro de areia apresentada na Tabela 3, percebe-se a grande remoção de coliformes totais que este sistema propiciou. O filtro com menor profundidade de leito, o F025, apresentou altos percentuais, sendo no mínimo igual a 84%. Os dois filtros mais profundos tiveram valores superiores a 99% em praticamente todas as situações em estudo.

Conclusões

A análise destes resultados demonstra a grande viabilidade deste sistema biológico para o tratamento de efluente de pequenas comunidades, utilizando materiais presentes nas próprias comunidades.

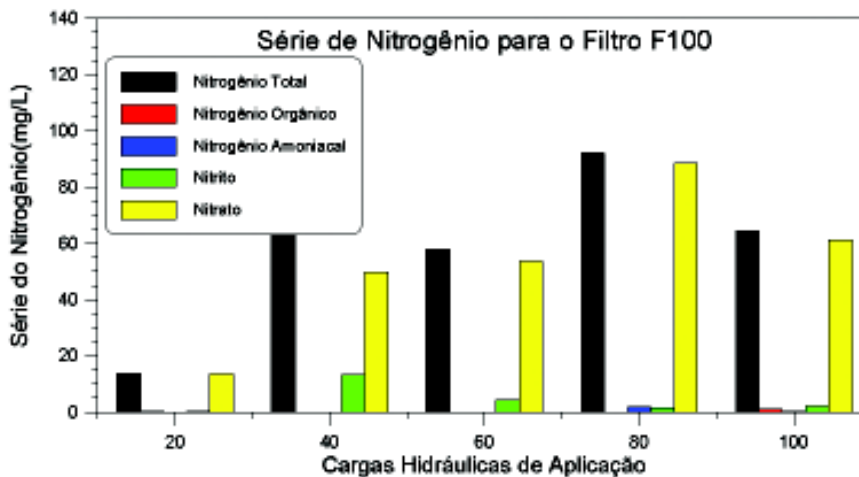
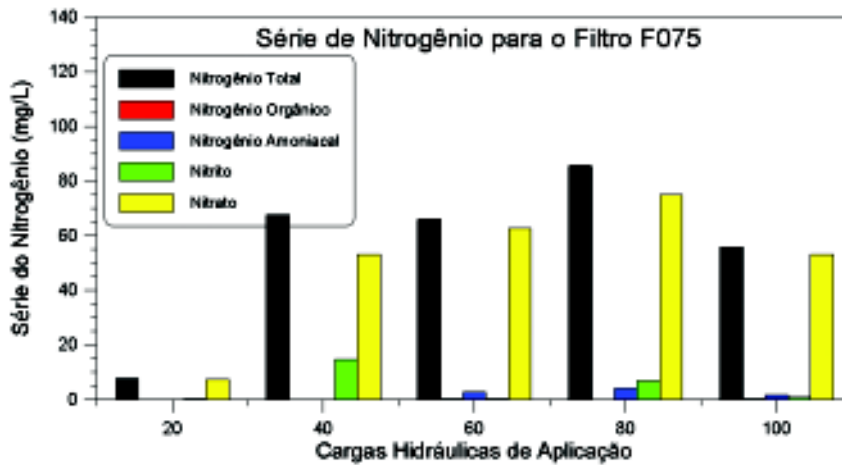


Figura 10: Concentração dos compostos nitrogenados nos filtros F075 e F100.

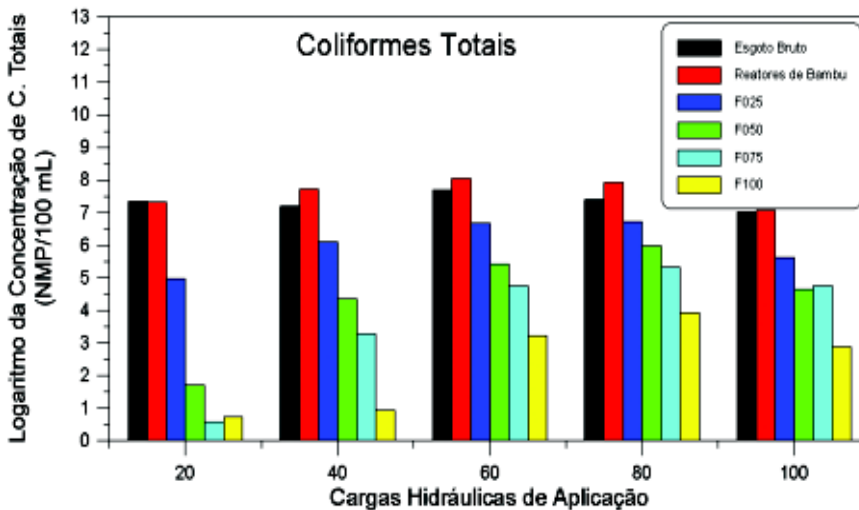


Figura 11: Concentração de coliformes totais.

Tabela 3: Remoção média da concentração de Coliformes Totais nos filtros biológicos de areia em cada carga hidráulica.

Ponto de Coleta	Remoção dos Coliformes Totais (%)				
	20 l/m ²	40 l/m ²	60 l/m ²	80 l/m ²	100 l/m ²
F025	97,5	89,8	84,8	84,9	87,0
F050	99,9	99,2	98,0	87,4	96,3
F075	100,0	99,9	99,4	99,5	97,0
F100	100,0	100,0	99,9	99,9	99,9

O efluente gerado estava em conformidade com o exigido pela legislação brasileira para a emissão em um corpo receptor, sendo compatível com aqueles produzidos nas grandes estações de tratamento existentes nas grandes cidades brasileiras. Outro ponto é a possibilidade do reuso deste líquido em alguma atividade humana, resguardando os mananciais naturais para usos mais nobres.

Agradecimentos

A FAPESP, CNPq, FINEP, Caixa Econômica Federal e PROSAB pelo apoio e financiamento na construção do projeto e em sua manutenção.

Referências Bibliográficas

AWWA/ANHA/WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19ª edição. Nova Iorque: American Public Health Association, 1999.

CAMARGO, S. A. R. Filtro anaeróbio com enchimento de bambu para tratamento de esgotos sanitários: avaliação da partida e operação. **Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2000. Dissertação de Mestrado.**

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 3ª edição. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

KRISTIANSEN, R. Sand-filter trenches for purification of septic tank effluent: III. The micro flora, **Journal of Environmental Quality**, n. 10, p. 361-364, 1981c.

METCALF e EDDY. **Wastewater engineering, treatment, disposal and reuse**. 3ª edição. Nova Iorque: McGraw - Hill, International Editions, 1991.

MICHELS, C. J. System suited for small communities. **Water Environmental & Technology**, n. 8, v. 7, p. 45-48, 1996.

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Directrices sanitárias sobre el uso de águas residuales en agricultura e aquicultura. Séries de reportagens técnicas**. N 778. OMS, Geneva, 1989.