



Faculdades Adamantinenses Integradas (FAI)

www.fai.com.br

TOMAZELLI, Thiago Vinicius de Almeida; PALMIERI, Dario Abel. Desenvolvimento, implantação e avaliação do desempenho de biorreator anaeróbico de leito fluidizado e leito fixo com filtros biológicos em materiais diversos. Omnia Exatas, v.4, n.2, p.87-102, 2011.

DESENVOLVIMENTO, IMPLANTAÇÃO E AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE BIORREATOR ANAERÓBIO DE LEITO FLUIDIZADO E LEITO FIXO COM FILTROS BIOLÓGICOS EM MATERIAIS DIVERSOS.

DEVELOPMENT, IMPLEMENTATION AND EVALUATION OF PERFORMANCE OF BIOREACTOR ANAEROBIC FLUIDIZED BED WITH FIXED BED AND WITH BIOLOGICAL FILTERS

Thiago Vinícius de Almeida Tomazelli

Graduando em Engenharia Biotecnológica – UNESP – Assis - SP

Dario Abel Palmieri

Professor Doutor - Universidade Estadual Paulista – UNESP de Assis

RESUMO

Esta pesquisa objetivou desenvolver, implantar e avaliar o desempenho de um novo modelo de biorreator anaeróbico para tratamento de esgoto sanitário utilizando diferentes materiais de enchimento como filtros biológicos percoladores pós-reator. Este biorreator possui características mistas entre os reatores UASB e os de fluxo horizontal, do ponto de vista da remoção de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), Ssed (Sólidos sedimentados), ST (Sólidos Totais), SS (Sólido Suspensos), SD (Sólidos Dissolvidos) e turbidez. O modelo experimental é constituído de um biorreator com volume de 12 m³, sendo 2/3 preenchido pelo leito fluidizado e 1/3 pelo fixo. O leito fluidizado é constituído de placas de poliestireno expandido usadas como sistema de percolação e um filtro biológico percolador compartimentado, onde cada compartimento foi preenchido com um meio suporte de características distintas (pedra brita n°4, anéis plásticos de poliestireno, PET e PEAD). Além disso, na saída do sistema foi instalado um filtro de três entradas preenchido com carvão ativado. O biorreator foi instalado em residência particular na cidade de Igarapava-SP (20°02'40.18" S e 47°45'01.36" O). O sistema mostrou-se altamente eficiente quanto à remoção da carga orgânica contaminante reduzindo 92% em média a DBO, resultado expressivo quando comparado a outros sistemas anaeróbicos. Para os demais parâmetros, as médias de redução foram: 96% para turbidez, 99% de Ssed, 67,5% de ST, 57% de SD e 88% de SS. Quanto a sua operacionalidade o sistema mostrou-se capaz de operar em fluxo contínuo sem necessidade de manutenção durante todo o período de avaliação e sem consumo de energia, já que opera aproveitando o desnível natural do terreno onde está instalado. Quanto aos impactos ambientais, foram minimizados devido à preservação da vegetação local permitindo que todo o ecossistema permanecesse inalterado além de que o protótipo foi totalmente vedado impedindo a exalação de odores desagradáveis e conseqüentemente não causando transtornos para populações vizinhas. Diante desses fatos foi possível concluir que o protótipo se mostra altamente viável para ser implantado como uma nova alternativa para tratamento de esgoto sanitário, em ambientes rurais e urbanos (residências individuais, condomínios, sítios, ranchos, etc.) devido à facilidade de dimensionamento e operacionalidade, assim como sua sustentabilidade em todas as etapas de execução.

Palavra-chave: biorreator anaeróbico, tratamento de esgoto, filtro biológico

ABSTRACT

This study aimed to develop, implement and evaluate the performance of a new type of bioreactor for anaerobic treatment of wastewater using different filling materials like trickling filters post-reactor. This bioreactor has mixed characteristics of the UASB reactors and horizontal flow from the point of view of removal of BOD (Biochemical Oxygen Demand) ssed (settled solids), TS (Total Solids), SS (Suspended Solid), SD (Dissolved Solids) and turbidity. The experimental model consists of a bioreactor with a volume of 12 m³, 2/3 filled by fluidized bed and 1/3 for fixed. The fluidized bed is made of polystyrene plates used as a system percolation and compartmentalized trickling filters, where each compartment was filled with a support medium with different characteristics (gravel number 4, plastic rings of polystyrene, PET and HDPE). In addition, the output of a filter system was installed three entries filled with activated carbon. The bioreactor was installed in private residence in the city of Igarapava-SP (20° 02'40.18"S and 47° 45'01.36" W). The system was highly efficient as the removal of organic contaminant load 92% on average reducing the BOD, a significant result when compared to other anaerobic systems. For the other parameters, the mean reduction was 96% for turbidity, 99% ssed, 67.5% ST, 57% SD and 88% of SS. As for its operation the system was capable of operating in continuous flow without the need for maintenance during the entire period of evaluation and without energy, as it operates taking advantage of the natural slope of the terrain where it is installed. The environmental impacts were minimized due to the preservation of local vegetation allowing the ecosystem to remain unchanged beyond the prototype was completely sealed preventing exhalation of odors and therefore not causing inconvenience to neighboring populations. Given these facts it was concluded that the prototype is shown to be highly feasible deployed as a new alternative for treatment of sewage in rural and urban settings (individual homes, condos, farms, ranches, etc.) Due to ease of design and operability, and sustainability at all stages of execution.

Key-words: anaerobic bioreactor, wastewater treatment, biological filter.

INTRODUÇÃO

As águas residuárias de origem doméstica são denominadas de esgotos sanitários ou simplesmente esgotos. Seus diversos constituintes, em função do impacto produzido no meio ambiente, podem ser reunidos em vários grupos: sólidos em suspensão, sólidos sedimentados, sólidos dissolvidos, sólidos totais matéria orgânica, nutrientes, organismos patogênicos e outros contaminantes que quando são lançados em concentrações elevadas no meio ambiente podem ter conseqüências desastrosas, por isso há a necessidade de tratamento desses esgotos.

Segundo van HAANDEL E LETTINGA (1994) o objetivo principal do tratamento de esgoto é corrigir as suas características indesejáveis de tal maneira que o seu uso ou a sua disposição final possa ocorrer de acordo com as regras e critérios definidos pelas autoridades regulamentadoras. Segundo dados da PNSB/08 (Pesquisa Nacional de Saneamento Básico) do IBGE, dos 5.564 municípios pesquisados, apenas 3.069 apresentam esgotamento sanitário por rede coletora, ou seja, pouco mais de 55% de coleta, e destes apenas 1.587 municípios apresentam tratamento de esgoto sanitário, perfazendo cerca 28% do total de municípios com sistema de tratamento de esgoto. Diante destes números, aliados ao quadro epidemiológico e ao perfil sócio-econômico das comunidades brasileiras, constata-se a necessidade por sistemas simplificados de tratamento dos esgotos. Segundo VON SPERLING (1995) esses sistemas devem apresentar baixo custo de implantação; elevada sustentabilidade do sistema, existência

de flexibilidade em relação à carga hidráulica de entrada, pouca dependência de fornecimento de energia, de peças e equipamentos de reposição, etc.; simplicidade operacional, de manutenção e de controle (pouca dependência de operadores e engenheiros altamente especializados); baixos custos operacionais; adequada eficiência na remoção das diversas categorias de poluentes; pouco ou nenhum problema com a disposição do lodo gerado na estação; baixos requisitos de área; possibilidade de aplicação em pequena escala (sistemas descentralizados), com pouca dependência da existência de grandes interceptores; fluxograma simplificado de tratamento (poucas unidades integrando a estação); elevada vida útil; ausência de problemas que causem transtorno à população vizinha e possibilidade de recuperação de subprodutos úteis, visando sua aplicação na irrigação e na fertilização de culturas agrícolas.

Procurando atender esses pré-requisitos, os sistemas anaeróbios apresentam grandes vantagens em relação ao emprego de processos aeróbios, já que estes exigem grandes custos de implantação e operação. No Brasil vem aumentando o uso de sistemas anaeróbios devido à sua grande praticidade. Segundo CAMPOS et al. (1999), a aplicação da biotecnologia anaeróbia pode ser considerada como relativamente recente já que vem sendo utilizada de forma sistemática há pouco mais de cem anos.

A biodegradação anaeróbia é uma reação bioquímica complexa que envolve uma seqüência de ações realizadas por uma gama muito grande e variável de bactérias, no qual se podem distinguir quatro fases subseqüentes: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (VAN HAANDEL E LETTINGA, 1994). Estas reações apesar de complexas ocorrem de forma natural ou em sistemas hermeticamente fechados, os biorreatores anaeróbios, esses sistemas podem apresentar varias tecnologias, podendo esses biorreatores ser de leito fluidizado, quando apresenta a biomassa suspensa ou em ou em pequenos flocos auto-agrupantes, ou então podem ser de leito fixo quando a biomassa se apresenta de forma aderida a um material suporte. Muitos estudos vêm sendo desenvolvidos na área, aumentando cada vez mais o desempenho desses biorreatores anaeróbios e a sua aplicabilidade em sistemas de tratamento de esgoto sanitário.

OBJETIVO

O presente trabalho teve por objetivo desenvolver, implantar e avaliar o desempenho de um novo modelo de biorreator anaeróbio que permita uma alta eficiência no tratamento do esgoto doméstico com baixo consumo de energia e de manutenção e mínimo impacto ambiental para o local de implantação.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido em três etapas: A primeira foi o desenvolvimento do protótipo, levando em consideração fatores tais como: local de implantação e características do resíduo a ser tratado; a segunda etapa envolveu a implantação do sistema projetado; a terceira e última etapa, foi constituída pela avaliação de desempenho do biorreator.

Desenvolvimento do Protótipo

Para que se chegasse a um modelo de biorreator que fosse eficiente e não causasse impacto ao ambiente em que estava inserido, foi necessário uma pré-avaliação do local onde ele seria instalado e uma estimativa do volume de efluente e sua respectiva carga orgânica, em seguida foi elaborado o projeto de engenharia e arquitetura do protótipo. O período de 07/08/2009 ao dia 15/01/2010 foi o tempo de duração dessa fase.

Avaliação do Local de Implantação

O protótipo foi instalado na cidade de Igarapava-SP, localizado nas coordenadas 20°02'40.18" S e 47°45'01.36" O. O sistema foi implantação em uma área de 24 m² (6x4 m), com relevo plano e abaixo do nível de escoamento dos dejetos sanitários; a área é circundada por algumas árvores frutíferas (aceroleira, goiabeira e limoeiro) além de várias espécies de plantas ornamentais. A topografia do terreno, portanto, favoreceu o fluxo de dejetos evitando o uso de moto bombas e conseqüentemente não consumindo energia. Dadas as dimensões do sistema não foi necessário derrubar a vegetação adjacente.

Outro desafio relativo ao local de implantação foi o grande número de residências na vizinhança, 20 num raio de 50 m. Se desenvolvido e implantado se considerar esses dados, o protótipo poderia ocasionar maus odores, trazendo um enorme desconforto à vizinhança e inviabilizando o projeto.

Estimativas das Características do Esgoto

A estimativa do volume diário de esgoto a ser tratado foi feito com base no volume médio gasto de água mensalmente durante um ano, sendo que o volume de efluente a ser tratado é igual à metade do volume água gasto mensalmente ($V_{ef} = V_{ag}/2$).

Com relação às características gerais do esgoto sanitário a ser tratado, estas foram estimadas com base nos valores encontrados na literatura. Na Tabela 1 são apresentados os valores da composição típica dos esgotos sanitários (GONÇALVES, 1997).

Tabela 1: Composição típica de esgotos sanitários (GONÇALVES, 1997).

CONSTITUINTES	Concentrações (em mg/l, onde não indicados)		
	Forte	Médio	Fraco
1 Sólidos Totais	1200	720	350
1.1 Dissolvidos totais	850	500	250
1.1.1 Fixos	525	300	145
1.1.2 Voláteis	325	200	105
1.2 Suspensos totais	350	220	100
1.2.1 Fixos	75	55	20
1.2.2 Voláteis	275	165	80
2 Sólidos sedimentáveis (ml/l)	20	10	5
3 DBO ₅ , 20°C	400	220	110
4 Carbono Total (TOC)	260	160	80
5 DQO	1000	500	250
6 Nitrogênio Total (como N)	85	40	20
6.1 Orgânico	35	15	8
6.2 Amônia livre	50	25	12
6.3 Nitritos	0	0	0
6.4 Nitratos	0	0	0
7 Fósforo total	15	8	7
7.1 Orgânico	5	3	1
7.2 Inorgânicos	10	5	3
8 Cloretos	100	50	30
9 Alcalinidade (como CaCO ₃)	150	100	50
10 Graxa	150	100	50

No presente trabalho somente alguns dos parâmetros referentes à carga orgânica foram considerados na avaliação do tratamento do esgoto.

Pelos dados da literatura podemos considerar que o esgoto sanitário a ser tratado apresenta uma alta carga orgânica poluidora devido ao fato do esgoto ser proveniente somente da água utilizada no banheiro que contempla a água da pia, a do chuveiro e a do vaso sanitário que é, de fato, o grande responsável pela elevação da carga orgânica poluidora.

Projeto de Engenharia e Arquitetura

Para poder desenvolver o projeto de engenharia foi necessário levar em consideração o meio ambiente, os custos de implantação e, acima de tudo, a eficiência do tratamento. Devido aos fatores citados acima, optou-se pela tecnologia de digestão anaeróbia.

De acordo com a equação da estimativa do volume de esgoto mensalmente produzido ($V_{ef} = V_{ag}/2$), e sabendo que a média do consumo de água é de aproximadamente $12 \text{ m}^3/\text{mês}$ temos, portanto $6 \text{ m}^3/\text{mês}$ de efluente gerado ou $200 \text{ L}/\text{dia}$.

O biorreator foi construído estimando um tempo de detenção hidráulica (θ_h) de aproximadamente 40 dias, este elevado tempo de detenção hidráulica permite uma maior segurança quanto à tratabilidade do efluente, sobretudo devido à suscetibilidade do sistema às sobrecargas hidráulicas.

O protótipo foi desenvolvido com a configuração de uma carcaça retangular em concreto armado dividido em dois compartimentos sendo o compartimento de leito fixo $1/3$ do volume total e o volume restante ($2/3$) destinado ao leito fluidizado.

O protótipo possui 2 m de comprimento por 3 m de largura e 2 m de altura, apresentando um leve declive para facilitar a sedimentação e coleta de lodo.

O princípio de funcionamento é bem simples, o processo começa quando o efluente bruto entra pela parte inferior do reator, em seguida ele tende a percolar ascendentemente e horizontalmente à medida que passa pelas placas de percolação de isopor na primeira câmara de biodigestão. As placas de isopor auxiliam no processo de fluidização ao mesmo tempo em que servem como leito para imobilização celular. Após a passagem pela primeira etapa do processo, inicia-se a etapa de leito fixo onde está localizado um filtro de pedra brita n°4 de dimensões $0,5 \times 0,5 \times 0,5 \text{ m}$ posicionado na extremidade superior 1 m acima do fundo do reator. Após a passagem do efluente pelo filtro de pedra brita se encontra o início do filtro de polímeros diversos constituído de resíduos plásticos. Estes materiais foram selecionados devido à facilidade de obtê-los, já que, de outra maneira seriam descartados como lixo, no entanto encontra-se grande aplicação em sistemas de tratamento de efluente, pois se trata de um material barato e eficiente. Esse filtro é construído de garrafas PET e PEAD cortadas transversalmente e copos plásticos de PS com o fundo removido. Por último se encontra o filtro de carvão ativado com três entradas. A grande variedade de materiais possibilita que uma gama maior de bactérias adere ao sistema, aumentando dessa maneira sua eficiência.

Na saída do sistema há um sifão de contenção de odores que opera em fluxo contínuo seguido de um tampão de inspeção e coleta de amostras e, 20 cm abaixo, há duas válvulas manuais que possibilitam a remoção do lodo proveniente dos dois tanques de biodigestão.

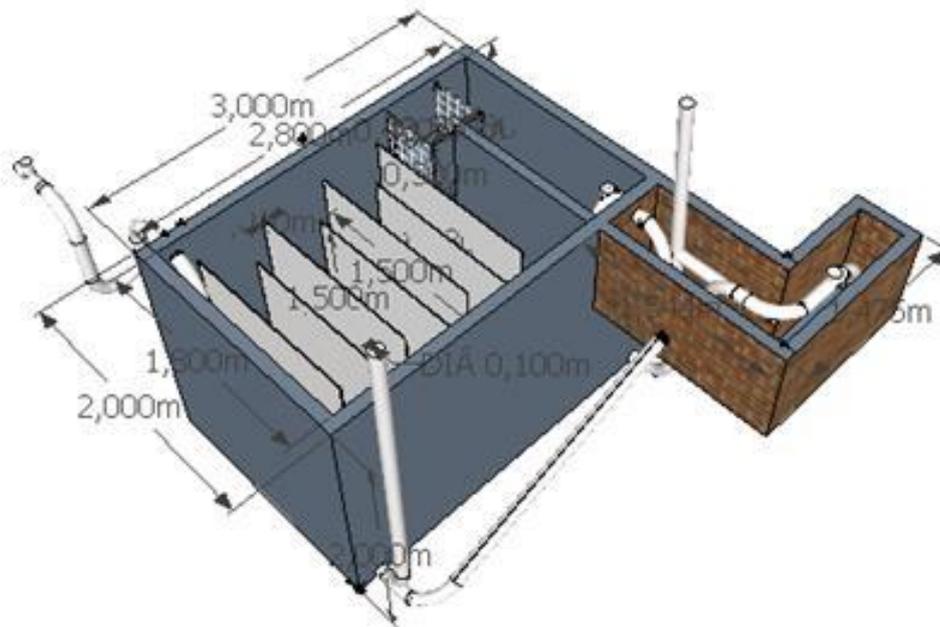


Figura 1: Planta do protótipo em perspectiva 3D, escala 1:25.

Implantação do Sistema

Para construção do biorreator, foi necessário preparar o terreno, construir as estruturas do protótipo e verificar sua operacionalidade.

Preparo do Terreno

O terreno se encontrava bem plano e cerca de 30 cm abaixo da saída do efluente, o que favorecia o fluxo de resíduo através do sistema facilitando tanto operação quanto manutenção. Inicialmente foi escavado um buraco no solo nas dimensões do biorreator e, em seguida, um segundo buraco lateral na saída do reator para comportar a saída de fluxo contínuo e as válvulas manuais de coleta de lodo proveniente de seus respectivos tanques. Foi também escavada lateralmente a estrutura que contém as tubulações. A terra, proveniente das escavações, foi reaproveitada na construção civil, evitando assim um possível impacto causado pela obra.

Na última etapa do preparo do terreno foram escavadas as estruturas para comportar os sifões de entrada e saída além de se fazer o nivelamento das laterais, da escavação das estruturas de sustentação da estrutura de barras de ferro e a compactação da base. Na Figura 3 são apresentadas as obras realizadas no terreno para a construção do biorreator.



Figura 3: Fundação preparada para comportar o sistema.

Construção das Estruturas do Biorreator

Basicamente a estrutura do biorreator é dividida em três partes principais: a estrutura hidráulica, que compreende todos os tubos, conexões e válvulas do sistema necessário à sua operacionalidade; a estrutura de sustentação, que é basicamente a carcaça do biorreator e a parede que divide os dois tanques e serve de suporte para instalação do filtro de pedra brita e, por fim, a estrutura de enchimento, percolação e impermeabilização.

Estrutura Hidráulica

Para que ocorra o escoamento do fluido perfeitamente e sem consumo de energia foi necessária a utilização de tubulações de esgoto de 100 mm de diâmetro, as quais foram dispostas na entrada e na saída do sistema.

A entrada do sistema apresenta um sifão que permite a retenção de gases sem a exalação de odores, seguido de um tubo que leva o esgoto para dentro do reator que encurva 90° e termina na base inferior do protótipo.



Figura 4: Sistema de entrada do efluente no biorreator.

Na lateral adjacente à saída do reator foram instalados: um sistema de coleta de lodo dos dois tanques, a saída de fluxo contínuo de efluente tratado e as saídas de manutenção e verificação do nível do biorreator.

Do lado oposto à saída do biorreator encontra-se a saída de biogás com uma válvula manual de retenção de gases. Na caixa de inspeção, manutenção e coleta de lodo há um sifão para a saída de fluxo contínuo e dois registros independentes de coleta de lodo. A Figura 5 mostra a caixa com esses dispositivos.



Figura 5: Caixa contendo os sistemas de saída do reator.

Estrutura de Sustentação

No área interno inferior da estrutura foram escavados 10 buracos de formato cilíndrico de 10 cm de diâmetro por 20 cm de profundidade distribuídos de 1m em 1m, estes serviram para sustentar a estrutura de barras de ferro de 5/16" e 2 m de comprimento. Essas barras de ferro são afixadas com concreto deixando a estrutura firme para entrelaçar perpendicularmente com as barras de ferro de 3/16" e 12 m de comprimento que circundam o perímetro interno da carcaça, dispostas de 40 em 40 cm, paralelas umas as outras. A Figura 6 mostra a armação de ferro construída.



Figura 6: Armação de ferro construída no perímetro interno.

Após a montagem da estrutura de ferro foi desenvolvida a etapa de concretagem, a qual tem por finalidade construir as paredes da carcaça em concreto armado de 10 cm de espessura nas laterais e 20 cm de espessura no fundo do tanque. Essa etapa foi realizada utilizando uma placa de compensado de madeira de 2,20x1,10 m e 10 mm de espessura, a placa de madeira foi afixada por meio de escoras e o espaço entre a lateral e a placa foi preenchida com concreto, após a secagem do concreto a placa foi retirada e utilizada em outro trecho da lateral, esse procedimento foi repetido até que toda lateral estivesse revestida. A Figura 7 mostra o processo de construção das paredes do biorreator.



Figura 7: Processo de construção das paredes laterais.

Foi também construída uma caixa lateral de manutenção e coleta de amostras feitas de tijolos comuns e uma divisória dos tanques também em tijolos comuns deixando um espaço para o encaixe do filtro de pedra.

Estrutura de Enchimento, Percolação e Impermeabilização

O protótipo do presente trabalho é constituído de diferentes materiais que preenchem seu interior o possibilitam um melhor desempenho no tratamento do esgoto sanitário. Essas estruturas são formadas pelas placas de percolação, material formador do leito fixo e estruturas de impermeabilização e vedação.

Sistema de Percolação

O sistema de percolação foi instalado no primeiro compartimento do reator, esse sistema é constituído de placas de percolação de poliestireno expandido (isopor), as quais foram afixadas no fundo do reator e em uma de suas laterais. As placas possuem 1,5 m de altura por 1,8 m de comprimento e 1,5 cm de espessura, elas estão dispostas paralelamente umas às outras equidistantes 25 cm. A Figura 8 mostra a disposição das placas de percolação no protótipo.

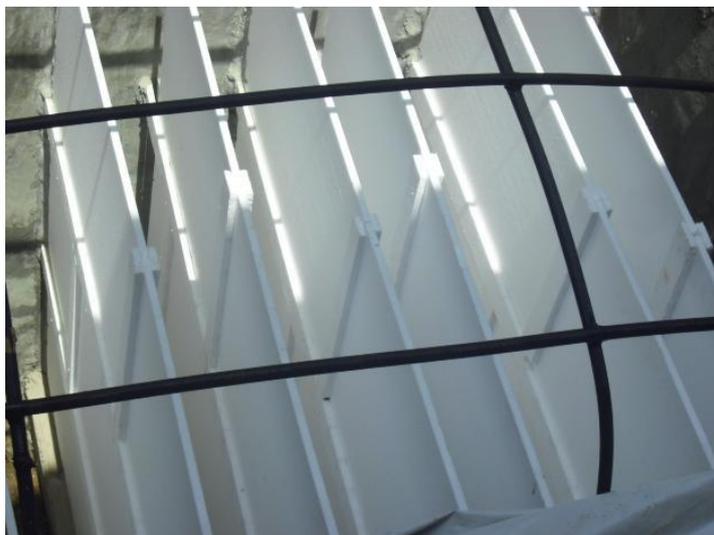


Figura 8: Placas de percolação em poliestireno expandido.

Sistemas de Filtros Biológicos

O sistema de filtros biológicos é constituído de três sistemas de filtração, o primeiro filtro é o de pedra brita nº4, o segundo é o filtro de polímeros diversos e o terceiro é o filtro biológico de carvão ativado granular.

O filtro de pedra brita nº4 foi construído de forma cúbica de lado igual a 0,5 m; a carcaça de sustentação é constituída de quatro barras de ferro de 3/8" paralelas dispostas 15 cm umas das outras e entrelaçadas perpendicularmente com barras de ferro 3/16" dispostas 15 cm umas das outras. Essas barras de ferro foram revestidas com mangueiras de PVC flexível que evita o contato do metal com esgoto evitando assim o desgaste ocasionado pela corrosão.

O filtro de polímeros diversos é constituído de materiais recicláveis. Esse filtro foi feito utilizando garrafas PET de 50 a 100 mm de diâmetro cortadas em anéis plásticos de aproximadamente 10 cm; garrafas de PEAD cortadas nas mesmas dimensões das garrafas PET e copos plásticos de PS usados e com suas bases retiradas para facilitar o fluxo ao longo do leito, apresentando diâmetro variando de 2 a 7 cm e comprimento variando de 2 a 10 cm.



Figura 9: Sistema de filtro de pedra brita e polímeros diversos. Completando o sistema de tratamento foi instalado um filtro biológico de carvão ativado granular em uma conexão de três entradas adaptadas com uma tela de contenção de material suporte.



Figura 10a: Carvão Ativado



Figura 10b: Estrutura filtrante

4.2.8. Impermeabilização e Vedação do Sistema

No presente trabalho houve a necessidade de que o sistema fosse totalmente vedado e impermeabilizado para que a contaminação ambiental fosse evitada. Na impermeabilização do sistema foi utilizado um vedante usado na construção civil, o Vedajá[®]. Esse impermeabilizante foi utilizado nas paredes laterais e no fundo do reator.

Para se obter uma vedação eficiente do sistema e evitar o escape de gases foi instalado uma cobertura de geomembrana de PEAD instalada em uma armação de barras de ferro de 5/16" dispostas em um número de 4x4 barras entrelaçadas perpendicularmente equidistantes cerca de 0,5 m umas das outras, revestidas com mangueiras de PEAD para evitar o contato da geomembrana com o ferro, essas barras foram fixadas nas paredes laterais com grampos e depois chumbadas. No perímetro superior foi construído um sistema de presilha com parafusos dispostos de 20 em 20 cm atravessando ripas de madeira que serviram par fixação e vedação do sistema após a aplicação de uma camada de silicone em gel.



Figura 11: Estrutura de sustentação da geomembrana.

Avaliação do Desempenho do Protótipo

Para avaliação precisa do desempenho do protótipo, os seguintes parâmetros foram selecionados: DBO, sólidos sedimentados (S_{sed}), sólidos totais (S_{totais}), sólidos dissolvidos (S_{dis}), sólidos suspensos (S_{susp}) e turbidez. Foi seguida a metodologia de análise estabelecida no “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*”.

A padronização das amostras é um fator determinante para o desenvolvimento de um projeto com resultados confiáveis. A seguir serão apresentados os métodos analíticos e de padronização das amostras.

Padronização e Conservação das Amostras

A padronização das amostras é muito importante, pois a amostra coletada para análise deve representar o todo, ou seja, a porção de esgoto coletada deve realmente conter as características que indiquem o nível de contaminação no sistema e o grau de contaminação que está saindo do sistema.

Para proceder a padronização, o esgoto foi coletado e transferido para um recipiente de 60 litros, durante 24 h; posteriormente o esgoto foi agitado, as amostras coletadas e acondicionadas em garrafas plásticas com tampa de rosca. Para as coletas na saída do sistema, não houve necessidade deste procedimento sendo as amostras coletadas diretamente na saída. A preservação das amostras é outro fator determinante na confiabilidade dos resultados, pois se não acondicionadas de forma correta os resultados dos parâmetros podem se alterar comprometendo todo o trabalho.

Após a coleta, as amostras foram embaladas em sacos plásticos pretos e colocadas em uma caixa térmica contendo gelo. As amostras foram conservadas em uma temperatura acima de 0°C e abaixo de 4°C e no caso específico da análise DBO₅, por no máximo 12 h até a análise deve ser realizada.

Análise DBO₅

A análise DBO₅ indica o quanto de matéria orgânica oxidável via ação biológica uma determinada amostra contém. Após a chegada da amostra no laboratório, ela foi homogeneizada por agitação e em seguida um litro da amostra foi colocado em um Becker para ajuste do pH entre 6,8 e 7,2 com o uso de uma solução básica ou ácida dependendo do pH inicial.

Terminada a preparação da amostra, foi adicionado um determinado volume de amostra em um recipiente de DBO de 500 ml de acordo com o fator de diluição.

- 0 – 40 = 432 ml
- 0 – 80 = 365 ml
- 0 – 200 = 250 ml
- 0 – 800 = 164 ml
- 0 – 2000 = 43,5ml

A DBO_5 mede a demanda bioquímica de oxigênio na faixa carbonácea, por isso foram utilizadas 10 gotas de um inibidor de nitrificação em cada frasco e também uma pequena barra de agitação magnética para homogeneização da amostra. Posteriormente o recipiente foi fechado com tampão de borracha do kit de análise DBO e adicionados ao tampão algumas raspas de NaOH P.A. Em seguida, o medidor OXITOP[®] é fechado e, depois de zerado, realizada a leitura dos gases produzidos. O conjunto então é encaminhado para incubação em estufa a 20 °C com agitador magnético. Após cinco dias de incubação é feita a leitura no aparelho e o resultado multiplicado pelo fator de diluição correspondente e expresso em mg de O_2/L .

- 0 – 40 → x 1
- 0 – 80 → x 2
- 0 – 200 → x 5
- 0 – 800 → x 10
- 0 – 2000 → x 50

O fator de diluição é determinado de acordo com o aspecto físico do efluente. No presente trabalho, foi estabelecido que as análises seriam feitas em duplicadas. Para as amostras de entrada, que se mostravam mais poluídas, foram utilizados os fatores de diluição 0 – 800 e 0 – 2000. Para as amostras de saída foram utilizados os fatores de diluição 0 – 80 e 0 – 200. Dos resultados obtidos foram selecionados aqueles que apresentavam maior valor após a multiplicação pelo fator de multiplicação. Foram feitas quatro análises de DBO_5 pra a entrada e saída do sistema durante o período de oito meses de funcionamento do biorreator.

Análise de Turbidez

A análise de turbidez é rápida e simples. Foi utilizado, na determinação desse parâmetro, um turbidímetro de bancada da marca Adamo, modelo TB1000. No início da análise é feita a calibração do equipamento com as cubetas de calibração e depois é feita a medição com da amostra. O resultado é expresso em NTU (Unidade Nanofelométrica de turbidez).

Análise de Sólidos Sedimentados

A análise de sólidos sedimentados também é uma análise muito simples. Utiliza-se um cone de Imhoff com volume de 1 litro; após a agitação da amostra coloca-se um litro de amostra no cone, espera-se uma hora e anota-se o volume de sólidos que decantou no fundo do cone. O resultado é expresso em h^{-1} .

Análise de Sólidos: (S_{totais}), (S_{dis}), (S_{susp})

Esta análise foi feita por gravimetria, a qual consiste na diferença de peso antes e depois do processo de secagem. Inicialmente 50 ml da amostra são agitadas, para homogeneização e, em seguida, colocado em um Becker de 50 ml tarado com uma proveta graduada. A seguir pesa-se em uma balança analítica e anota-se o valor obtido esse valor é denominado P_1 , em seguida o Becker contendo a amostra é transferido para estufa aquecida a 105°C e deixado para evaporação durante 24 h. Após resfriamento em dessecador, o Becker é pesado novamente para obter o P_2 . Os sólidos totais são obtidos pela fórmula: (S_{totais})= $P_1 - P_2$.

Para obter os sólidos dissolvidos a amostra é filtrada em papel filtro Whatman e depois repetido o procedimento anterior e, então é feito o cálculo de (S_{dis}). Os sólidos suspensos são obtidos pela fórmula: (S_{susp}) = (S_{totais}) - (S_{dis}).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação à primeira etapa, o projeto se mostrou viável quanto à sua implantação, pois apresentou custo relativamente baixo, de aproximadamente R\$ 2.000,00. Outra vantagem foi sua operacionalidade, pois não há utilização de energia para seu funcionamento. Existe ainda a possibilidade de geração de energia através da produção de biogás decorrente do processo. A segunda etapa se mostrou altamente dispendiosa, pois a pouca mão de obra disponível, em média dois trabalhadores, e o volume do protótipo, relativamente grande, consumiram um tempo maior para a finalização da etapa construtiva, tempo esse de 16 meses.

Na terceira etapa, de avaliação do desempenho, foram feitas quatro análises DBO_5 , turbidez e sólidos sedimentados. Para os outros parâmetros, S_{totais} , S_{dis} e S_{susp} , foram feitas duas análises, considerando que esses parâmetros são secundários, na avaliação do desempenho do protótipo, e não se alteram consideravelmente com o tempo, portanto não necessitando de um número maior de análises. Os resultados são apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 2: valores encontrados durante o monitoramento sendo E os valores de entrada e S os de saída do biorreator

Anál.	DBO_5 (mg de O_2 /l)		Turbidez (NTU)		S_{sed} (h^{-1})		S_{totais} (mg/l)		S_{dis} (mg/l)		S_{susp} (mg/l)	
	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S
Amostra												
1ª.26/04/11	1000	100	914	38,5	0,01	0,0005	-	-	-	-	-	-
2ª.24/05/11	700	70	661	38,0	0,006	0	940	420	700	390	240	30
3ª.28/06/11	7700	35	652	15,5	0,0041	0	-	-	-	-	-	-
4ª.09/08/11	1150	75	870	10,3	0,011	0,0001	1730	340	1094	320	635,7	20

Sendo o parâmetro DBO a principal análise na avaliação do desempenho, o gráfico a seguir mostra os valores de DBO encontrados em mg de O_2 por dias de operação.

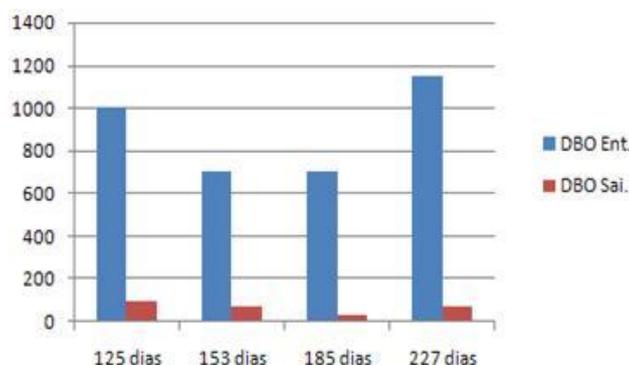


Gráfico 1: Valor de DBO por dias de operação

Podemos calcular a eficiência de remoção de determinado parâmetro de acordo com a fórmula: $E_{FcX} = 100 - V_{sX} \cdot 100 / V_{eX}$, sendo E_{Fc} a eficiência de remoção, V_s o valor de saída, V_e o valor de entrada e (X) é o indicador do parâmetro avaliado. É possível observar que o protótipo apresentou uma eficiência média de remoção de DBO de 92,11% sendo que nos primeiros meses de operação apresentou uma eficiência de 90% aumentando para 95% e depois retraindo para 93,47%, outros parâmetros também apresentaram grande redução, como a turbidez que apresentou uma remoção média de 96% e os sólidos sedimentados que apresentou uma redução de quase 100%. Esses valores são excepcionalmente satisfatórios já que estão dentro dos valores estabelecidos pela maioria dos órgãos brasileiros de regulamentação ambiental de acordo com o tipo de disposição final do resíduo. Isso se deve ao fato de no início de operação do sistema não ter sido feita a adição de inóculo, que nada mais é do que uma cultura mista de microorganismos já pré-estabelecida e adaptada, o que fez com que o protótipo demorasse um pouco mais para se adaptar às condições abióticas do esgoto.

Os demais parâmetros, por serem regidos diretamente por características físicas, não foram tão suscetíveis às variações de resultados sendo, portanto, dependentes em maior grau da característica do efluente na entrada e dimensionamento do sistema, tornando-se praticamente estático portanto, de menor relevância para o trabalho. Os resultados obtidos mostram uma redução média de 67,5% de sólidos totais, 57% de sólidos dissolvidos e 88% de sólidos suspensos.

Podemos observar, com base nos valores encontrados, que o modelo de biorreator desenvolvido se mostra muito eficiente quanto à remoção de muitos poluentes detectados pelos testes feitos, portanto apto a ser utilizado como uma nova alternativa no tratamento de esgoto sanitário.

CONCLUSÕES.

O protótipo se mostrou altamente viável, corroborando nossa proposta, pois reduziu consideravelmente as cargas poluentes.

O biorreator instalado mostrou-se eficiente também quanto a sua operacionalidade, pois opera em fluxo contínuo sem consumo de energia, devido à topografia do terreno, e com manutenção periódica de intervalo de tempo relativamente grande, quando comparado com outros sistemas de células imobilizadas, pois estes são mais suscetíveis ao bloqueio de fluxo devido à biomassa aderida ao material suporte.

Quanto ao impacto ambiental, o protótipo apresentou ótimos resultados, já que minimizou consideravelmente os prejuízos ao ambiente local, pois a fauna e flora foram preservadas e as residências vizinhas não foram afetadas por odores desagradáveis pelo fato desse sistema ser totalmente vedado e com sistema de coleta de biogás.

O protótipo apresenta boas perspectivas para trabalhos futuros, levando em consideração a grande demanda por novas tecnologias que possibilitem melhores condições de tratamento de esgoto e que sejam viáveis funcional, econômica e sustentavelmente. Além disso, abre novos horizontes para projetos futuros que visem aumentar sua eficiência e adequar a disposição final e local do efluente tratado podendo ser utilizado pela indústria da construção civil em novos projetos de engenharia e também utilizado pelo poder público como uma nova alternativa no tratamento dos esgotos urbanos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

AWWA/APHA/WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19th edition. Washington, 1995.

GONÇALVES, F. B., SOUZA, A. P. **Disposição oceânica de esgotos sanitários: história e prática**. 1ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 1997. 348 p.

IBGE: **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB/2008**. Disponível em:

<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb>. Acesso em: 12

IWAI, S.; KITAO, T. *Wastewater treatment with microbial films*. Technomic publishing Co, Lancaster, EUA, 1994, 184p.

LESSARD, P.; LE BIHAN, Y. Fixed film process. In: MARA, D.; HORAN, N. *The handbook of water and wastewater microbiology*. Elsevier, 2003. 819 p.

MACINTYRE, A. J. **Instalações hidráulicas prediais e industriais**. 3. ed. Rio de Janeiro:

LTC, 1996. JORDÃO, E. P., PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995. 720 p.

NETTO, J.M.A. et al. **Sistemas de esgotos sanitários**. 2ª ed. São Paulo: CETESB, 1977. 467p.

ROUXHET, P. G.; MOZES, N. **Physical chemistry of the interface between attached microorganisms and their support**. *Water Science and Technology*. v.22, nº1/2, p.1-16, 1990.

Sayed, S. K. I. (1987). *Anaerobic Treatment of Slaughterhouse Wastewater Using the UASB Process*, Univ. of Wageningen, Wageningen, Holanda.

VAN HAANDEL, A. C., LETTINGA, G. (1994). *Tratamento Anaeróbio de Esgotos: Um Manual para Regiões de Clima Quente*, Epgraf, Campina Grande, 240 p.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: [s.n.], 1996. 211p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.2)

VANVIVERE, P.; KIRSHMAN, D.L. **Attachment stimulates exopolysaccharide synthesis by bacterium**. *Applied and environmental technology*.v.59, 3280-3286, 1993.