

Tratamento anaeróbico de esgotos domésticos

Resultados de pesquisa e aplicação em escala real:
trabalho apresentado no 5th International Symposium on Anaerobic
Digestion, Bologna, Itália, de 22 a 26 de maio de 1988.

Sonia M.M. Vieira *

RESUMO A péssima qualidade das condições de vida da população brasileira tem como uma das causas principais a carência de oferta de serviços de saneamento. Este fato, aliado à grande concentração urbana existente no Brasil, com uma das regiões metropolitanas mais densamente povoadas do mundo, aponta para a busca de tecnologias compatíveis com essa realidade, levando ao desenvolvimento da aplicação do reator UASB para o tratamento de esgotos. Inicialmente foram realizados ensaios em um reator UASB de 106ℓ de capacidade, que mostraram a viabilidade do processo e forneceram respostas às principais questões típicas de um novo sistema de tratamento de esgotos domésticos, como seu comportamento frente a variações de carga hidráulica, carga orgânica e temperatura. Tendo-se obtido respostas positivas do sistema que operou com esgoto bruto à temperatura ambiente e TRH = 4h, fornecendo efluente com 57 mg DBO/ℓ, 155 mg DQO/ℓ e 59 mg SS/ℓ, passou-se à fase de demonstração da tecnologia para sua disseminação. Projetou-se um reator UASB de 120 m³ com os mesmos parâmetros do reator 106ℓ e sua operação comprovou os resultados anteriormente obtidos; TRH de 6,5 horas forneceu efluente com 113 mg DQO/ℓ e 48 mg DBO/ℓ e THR de 4,7 horas forneceu efluente com 132 mg DQO/ℓ e 59 mg DBO/ℓ mantendo sempre a média de 45 mg SS/ℓ. Processos de pós-tratamento fornecem o polimento e desinfecção do efluente. Esses resultados mostraram que o reator UASB como sistema alternativo de tratamento de esgotos, oferece uma nova opção tecnológica simples e econômica possibilitando a melhoria das condições de saneamento do país.

ABSTRACT The extremely bad quality of living conditions of Brazilian population has, as one of its main causes, the lack of sanitation services supply, in addition to the large urban concentration existing in Brazil, with one of the highest density metropolitan regions of the world. This fact points toward the search for technologies compatible to such actualities. This led to the development of the use of UASB reactor for sewage treatment. Initially, tests were made with a 106ℓ capacity UASB reactor, which showed the process feasibility and answered to the main typical questions of a new domestic sewage treatment system, e.g. its behaviour with hydraulic load variation, organic load and temperature. As positive results were obtained with this system at HRT = 4 h and ambient temperature, i.e. effluent values of 57 mg BOD/ℓ, 155 mg COD/ℓ and 59 mg SS/ℓ, the technology was tried out at demonstration scale looking for its further diffusion. A 120 m³ UASB reactor was designed and constructed and its operation confirmed the results obtained in the pilot plant; i.e. HRT of 6.5 hours gave effluents with 113 mg COD/ℓ and 48 mg BOD/ℓ and HRT of 4.7 hours gave effluents with 132 mg COD/ℓ and 59 mg BOD/ℓ, always with an average SS-concentration of 45 mg SS/ℓ. The investigated post-treatment processes gave a satisfactory polishing in terms of COD, BOD and disinfection of the effluent. These results clearly show that the UASB concept as sewage treatment system offers a new, simple and economical technological option for facilitating the improvement of sanitary conditions of the country.

KEYWORDS: Anaerobic treatment, domestic sewage, sewage treatment, UASB reactor, bioreactor, design, operation, granulation, performance, costs.

O Brasil que possui a oitava economia mundial, com capacidade produtiva de US\$ 290 bilhões, altamente diversificada e integrada ao sistema econômico mundial, mantém a maioria dos 142 milhões de habitantes em péssimas condições de vida.



Alguns parâmetros evidenciam a perversidade do padrão de acumulação de capital. Temos 72% da população economicamente ativa com um rendimento mensal de até US\$ 180 e, o salário mínimo nacional é um dos menores do mundo, cerca de US\$ 60. O índice de mortalidade infantil é um dos mais altos do mundo, sendo o quarto da América Latina, inferior somente ao da Bolívia, do Haiti e de Honduras. Em 1984, 68 crianças com menos de um ano de idade morreram para cada mil que nasceram. Este índice alarmante tem, como uma das principais causas, as doenças que derivam da falta de saneamento básico, como a febre tifóide, desintéria, diarreias, hepatite, infecções intestinais, colite e gastroenterites. Ainda em 1984, os dados gerais sobre saneamento básico mostram que somente 57% da população possuía abastecimento de água e 24% possuía esgotamento sanitário. As políticas sociais dos go-

* Química pelo Instituto de Química da USP e Mestre em Bioquímica pela Universidade de Paris. É química pesquisadora na Cetesb desde 1976 e Gerente do Setor de Pesquisa de Efluentes Domésticos.

vernos federal e estaduais, bem como as políticas tecnológicas e de planejamento urbano utilizadas em tais setores, ficaram sujeitas a um padrão de acumulação capitalista altamente excludente e concentrador de riquezas, sem melhoria significativa das condições de vida da população.

No setor de saneamento básico há o mesmo modelo concentrador, apresentando as distorções já citadas ou seja, a expansão na oferta de serviços, foi dirigida fundamentalmente às camadas de alta e média renda. Por outro lado, o perfil da tecnologia utilizada, além de ser convencional e possuir elevados custos de operação e manutenção, não é compatível com os níveis de renda da maioria da população, nem com a configuração do espaço urbano, das regiões metropolitanas brasileiras. Com efeito, as soluções tecnológicas para saneamento básico têm que levar em consideração a extratificação, rigidez e complexibilidade adquiridas pelas regiões metropolitanas brasileiras. Por exemplo, dez destas regiões (Brasília, Belém, Fortaleza, Recife, Salvador, Belo Horizonte, Rio de Janeiro, São Paulo, Curitiba, Porto Alegre) são responsáveis por 30% da população do Brasil.

A míngua condição de esgotamento sanitário da população brasileira (25%) se refere somente às condições de coleta. As cidades brasileiras em, sua quase totalidade, não são dotadas de tratamento de esgotos.

A situação na Região Metropolitana da Grande São Paulo (RMSP), não foge a essas características. Localizada no Estado de São Paulo, ocupando uma extensão de 8.000 km², a RMSP compreende 37 municípios entre os quais a cidade de São Paulo, capital do estado. Com cerca de 16 milhões de habitantes e responsável por 25% da produção industrial do país, menos de 50% da população possui rede de esgotos dos quais 6% são tratados a nível primário e 1% a nível secundário. Os rios Tietê e seus afluentes, Pinheiros e Tamanduateí, que cortam a RMSP, tornaram-se verdadeiros esgotos a céu aberto.

A responsabilidade do tratamento e disposição final de esgotos da RMSP está a cargo da Cia. de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), a concessionária dos serviços de saneamento básico em 300 municípios do Estado. Atualmente esta empresa revê um plano de coleta, tratamento e disposição de esgotos SANEGRAN — que existe há 12 anos, e que possui o mesmo princípio dos planos elaborados a partir de 1953, empregando tratamento convencional, baseado em lodos ativados e lagoas de estabilização. A revisão estuda sete alternativas que diferem no número e localização das estações de tratamento. Uma das opções, que inclui uma grande lagoa de estabilização, tem como pré-tratamento um reator UASB. A capacidade final de tratamento é de 53,2 m³/s, correspondendo a 80% do esgoto coletado. O horizonte do projeto é o ano 2005. Para tal, foi dimensionado um conjunto de redes coletoras e coletores tronco, comum às sete alternativas, com

extensão de 25.213 km. Seu custo é de US\$ 780 milhões aproximadamente. Já os investimentos correspondentes ao tratamento para cada uma das sete alternativas, incluindo elevatórias, interceptores, tratamento, emissários e desapropriações são avaliados entre US\$ 984 milhões e US\$ 1.402 milhões.

Desenvolvimento do reator UASB para o tratamento de esgotos domésticos no Brasil

Com a crise de energia na década de setenta, diversos processos anaeróbios de alta taxa vinham sendo desenvolvidos, apresentando soluções mais simples e econômicas para o tratamento de resíduos industriais. A adaptação desses processos ao tratamento de resíduos diluídos poderia representar uma excelente solução para o tratamento de esgotos domésticos.

No Brasil, o uso de filtro anaeróbio, para instalações de pequeno porte passou a ser bastante utilizado, sobretudo depois que a Associação Brasileira de Normas Técnicas normalizou seu emprego para o tratamento de efluentes de fossas sépticas.

Experimentos realizados num sistema deste tipo apresentaram excelentes resultados de remoção de carga orgânica (Vieira e Alem, 1983), mostrando seu potencial.

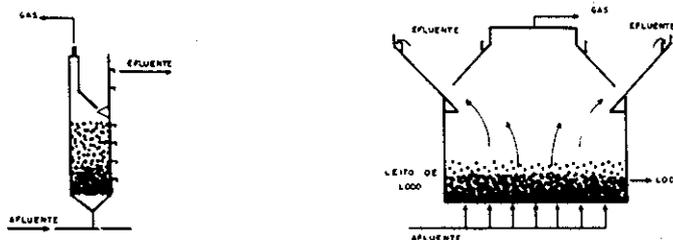
Dentre os processos que vinham sendo desenvolvidos para o tratamento de altas cargas orgânicas, o reator UASB se destacava pela sua simplicidade (Lettinga, 1980). Decidiu-se, então, adaptar este tipo de reator ao tratamento de esgotos domésticos que, desde as primeiras experiências (Lettinga, 1983), mostraram resultados interessantes.

Neste trabalho são apresentados os desenvolvimentos de sistemas de tratamento de esgotos domésticos através de reator UASB pelo grupo de Digestão Anaeróbia da CETESB, que é o órgão encarregado de efetuar o controle da poluição e o desenvolvimento de tecnologia em Saneamento Ambiental no Estado de São Paulo. Aponta ainda o esforço que vem sendo realizado no país para aplicar soluções não convencionais a fim de suprir as necessidades de tratamento de esgotos da população brasileira.

Resultados obtidos em escala de laboratório — reator UASB de 106 l de capacidade

Inicialmente foram realizados ensaios em um reator de 106 l de capacidade com os seguintes parâmetros adaptados ao tratamento de esgotos domésticos: TRH = 4 h; velocidade superficial no decantador: 0,7 m³.m⁻².h⁻¹; taxa de liberação de gás, 1,0m³.m⁻².h⁻¹; velocidade do líquido através da abertura inferior do decantador: 5 m³.m⁻².h⁻¹; inclinação das paredes do decantador: 50°. Um esquema do reator é mostrado na figura 1a (Vieira, 1984).

Figura 1 — Esquema dos reatores UASB utilizados nos experimentos em escala de laboratório (106 l) e em escala de demonstração (120 m³)



Tratamento de esgoto sob temperatura e carga hidráulica constante — Reator UASB de 106 l.

O digestor de 106 l de capacidade, foi operado continuamente com esgoto pré-decantado, durante sete meses, à temperatura de 35°C. Utilizou-se como inóculo, lodo digerido de esgoto com 1% em sólidos totais. Após quatro meses, atingiu-se estabilidade do processo e, durante mais três meses, o mesmo foi operado em estado estacionário. O tratamento mostrou-se bastante eficiente, apresentando os resultados mostrados na tabela 1 (Vieira, 1984).

Tratamento de esgoto frente às variações de carga orgânica e hidráulica.

Mantendo-se as mesmas condições operacionais observou-se o comportamento do processo frente às variações de DBO e DQO, apresentadas pelo esgoto ao longo do dia.

Verificou-se estabilidade nas características do efluente, na faixa de 25 a 65 mg DBO/l e 79-170 mg DQO/l apesar das variações na alimentação: mínimo de 60 mg DBO/l e 145 mg DQO/l e máximo de 220 mg DBO/l e 430 mg DQO/l (Vieira, 1984).

Também as variações de carga hidráulica a que foi submetido o reator, mostram sua estabilidade (Figura 2). O mínimo TRH atingido foi de 1,6 hora (Vieira et alii, 1987 a).

Tratamento de esgoto bruto à temperatura ambiente

O mesmo reator foi operado durante um ano com esgoto bruto à temperatura ambiente e tempo de detenção hidráulico de 4 horas. As eficiências de remoção obtidas, nos períodos de inverno e verão, foram praticamente as mesmas e os resultados são apresentados na tabela 2. (Vieira and Souza, 1986). (Ver página ao lado)

Figura 2 — Dados do reator UASB de 106 l de capacidade tratando esgotos domésticos.

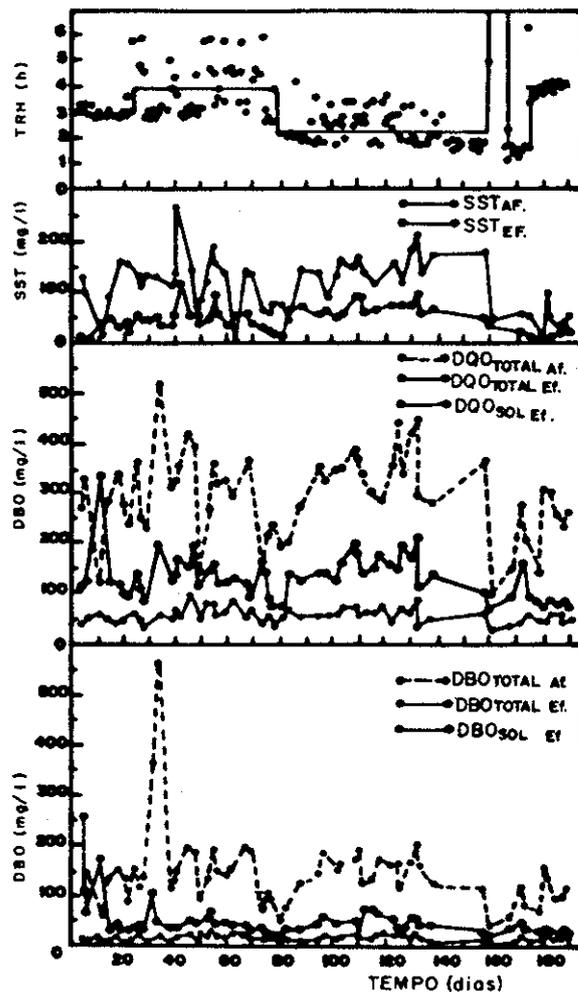


Tabela 1. Tratamento de esgoto decantado em reator UASB de 106 l de capacidade

Tempo de detenção hidráulica	4 hs
Temperatura	35°C
Eficiência do tratamento	72% remoção DBO 65% remoção DQO 61% remoção SS 70% remoção coliformes fecais
Características do efluente	38 mg DBO/l 119 mg DQO/l 34 mg SS/l 2,8x10 ⁶ NMP/100ml coliformes fecais
Produção de gás	118 Nl/kg DQO ad.
Composição do gás	75% CH ₄ ; 20% N ₂ ; 5% CO ₂

Tabela 2. Tratamento de esgoto bruto em reator UASB de 106 ℓ de capacidade à temperatura ambiente

Tempo de detenção hidráulico	4 h
Temperatura do reator	média no verão 22° média no inverno 20°
Eficiência do tratamento	69% remoção DBO 62% remoção DQO 69% remoção SS 66% remoção de coliforme totais 50% remoção de coliforme fecais
Características do efluente	57 mg DBO/ℓ 155 mg DQO/ℓ 59 mg SS/ℓ 4,7x10 ⁷ NMP/100 ml coliformes totais 1.1x10 ⁷ NMP/100 ml coliformes fecais
Produção de gás	110 Nℓ/kgDQO ad
Composição do gás	72% CH ₄ , 22% N ₂ ; 6% CO ₂

Observação do lodo produzido

O reator UASB, de 106 ℓ, foi operado durante 3 anos, tendo sido inoculado apenas no início da operação com lodo em digestão. Após 4 a 5 meses de operação, o lodo apresentou granulação coincidindo com a entrada do processo em estado estacionário. Os grânulos apresentavam diâmetro médio de 4 mm.

Durante um ano de funcionamento do digestor, não houve necessidade de retirada de lodo, exceto o necessário para determinações analíticas. Após esse período, iniciou-se a retirada de lodo por um ponto localizado a meia altura entre a base do digestor e a base do decantador.

Reator UASB em escala de demonstração

Para que se pudesse difundir a utilização da tecnologia comprovada em escala de laboratório, restava a demonstração da sua viabilidade técnica e econômica em escala real (Souza et alii, 1987 and Vieira et alii, 1987 b).

Com este propósito, um reator UASB de 120 m³ de volume útil foi projetado para uma vazão nominal de 30m³ h⁻¹ (TRH médio de 4 horas), velocidade superficial no decantador de 0,7 m³m⁻².h⁻¹ e, atendendo uma população equivalente a 3.600 hab., considerando-se uma contribuição de 200 l hab⁻¹.dia⁻¹ (Souza 1986).

O reator foi construído em aço carbono, revestido com tinta epóxi, com secção circular, formato cilíndrico na parte inferior e tronco-cônico no decantador. A altura útil é de 4,8 m, sendo 1,6 m correspondente à altura do decantador. O diâmetro da base é de 5,2 m e do topo 7,9 m.

O reator está instalado na Cetesb e recebe os esgotos coletados pela estação de tratamento da região. A figura 1b mostra o esquema do reator.

O sistema de tratamento completo compreende o digestor, estação de bombeamento, caixa de areia e gradeamento.

Após sua instalação, o sistema foi submetido a testes e ajustes, tendo sido iniciada sua operação definitiva em dezembro de 1986.

Operação do Sistema

As temperaturas do ambiente e do reator são registradas automaticamente; os pHs do esgoto, do lodo e do efluente, assim como a vazão, são medidos de hora em hora.

A produção de gases é medida continuamente e sua composição determinada diariamente.

As análises efetuadas no esgoto e no efluente do sistema, (amostras compostas de 24h) são as seguintes:

— pH, DQO, DBO, sólidos em suspensão, ácidos voláteis, alcalinidade, turbidez, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitratos, fosfatos, sulfatos, sulfeto, óleos e graxas, detergentes, cor, coliformes totais e fecais, ovos e larvas de helmintos, cistos de protozoários, colifagos, Salmonella sp, Clostridium perfringens estreptococos fecais e metais pesados (Zn, Ni, Cr, Cu, Pb, Cd, Fe, Hg, Mn).

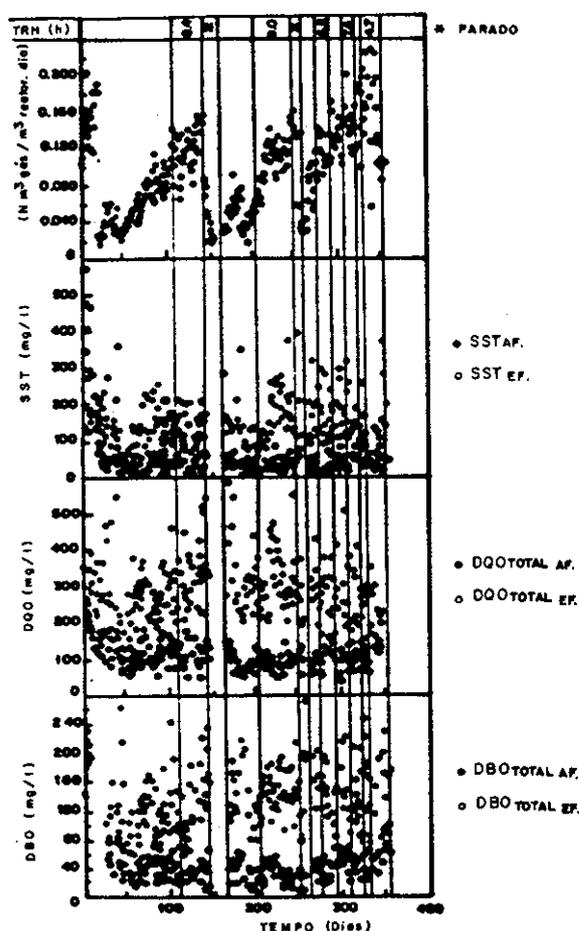
Todas as determinações são efetuadas de acordo com "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (1985).

O digestor é operado à temperatura ambiente, sem qualquer sistema de controle ou isolamento térmico. Lodo digerido de esgoto foi usado como inóculo e o sistema é alimentado com esgoto de origem doméstica. A vazão foi incrementada lentamente, tendo-se iniciado com um TRH de 40 horas e atingindo-se após 60 dias, TRH de 10 horas.

Eficiência de Remoção de Carga Orgânica

A evolução de alguns dos principais parâmetros medidos durante a operação do reator UASB de 120 m³ é mostrada na figura 3. (Ver pág. 20)

Figura 3 — Dados do reator UASB de 120m³ tratando esgoto doméstico.



Uma avaliação do comportamento do sistema nos períodos de TRH constantes, correspondente a TRHs de 8,4 h, 6,5 h, 7,4 h e 4,7 h mostraram que se pode obter efluente de boa qualidade em termos de DBO e DQO. A porcentagem de remoção varia muito com a DQO da alimentação. Durante o período de chuvas, a DQO diminuiu bastante sendo, portanto, fundamental observar-se a estabilidade do efluente (figura 3).

A tabela 3 mostra esses resultados. Os períodos em que se observa parada da alimentação foram devidos a problemas com a bomba de recalque.

Observa-se que, embora o rendimento do processo no reator de 120m³ tenha sido ligeiramente inferior, a qualidade do efluente é um pouco superior à obtida em laboratório, sob as mesmas condições de temperatura e TRH de 4 h.

A tabela 4 apresenta características adicionais do afluente e efluente do reator durante todo o período de operação. (Ver pág. 21)

Tabela 3. Resultados de Operação do Reator UASB de 120 m³ tratando Esgoto Doméstico a Temperatura Ambiente.

Período (dias)	110-140	207-256	283-297	311-327	331-354
TRH(h)	8,4	9,0	6,5	7,4	4,7
DQO afl(mg/l)	298	316	273	278	265
DQO efl(mg/l)	118	96	113	115	132
% Rem DQO	60	70	59	59	50
DBO afl(mg/l)	128	151	138	148	150
DBO efl(mg/l)	37	31	48	52	59
% Rem. DBO	71	80	65	65	61
SS afl (mg/l)	128	170	160	139	123
SS efl (mg/l)	53	35	39	61	33
% Rem. SS	59	79	76	56	73
Prod. gás (Nm ³ /d)	13,9	13,6	14,7	18,5	19,6
(Nm ³ /kgDQO afl)	0,136	0,135	0,121	0,172	0,121
DESCARTE					
DE LODO (kg SS/dia)	10,8	14,3	29,7	24,4	16,7

Produção e Composição dos Gases

Os resultados obtidos (Figura 3) possibilitam a avaliação da quantidade de biogás gerada no tratamento direto de esgotos. Considerando uma geração de cerca de 100 gDQO.hab.⁻¹dia⁻¹, o fator de conversão de 150 Nl gás.Kg⁻¹DQO ad. corresponde a uma produção de 15 Nl gás.hab.⁻¹dia⁻¹, o que representa uma considerável quantidade de energia a ser aproveitada.

A composição média do biogás foi: 70% CH₄, 8% CO₂ e 22% N₂.

Características e produção de lodo

O lodo formado no reator UASB de 120m³ apresentou características bastante diferentes das obtidas nos reatores de laboratório, mostrando um aspecto floculento e não granulado. Mesmo assim, sua atividade e sedimentação foram semelhantes às observadas em escala de laboratório. O Índice Volumétrico de Lodo (IVL) dos diversos pontos amostrados, manteve-se sempre inferior a 30 ml/g, indicando excelentes características de sedimentação.

O descarte de lodo foi efetuado a partir do início de operação. A quantidade total de sólidos dentro do reator esteve entre 1.000 e 1.400 KgSS. A produção de lodo é de cerca de 45 a 60 KgSS desc/1.000m³ de esgoto tratado, ou seja, de 0,15 a 0,20 KgSS desc/KgDQO aplic. A figura 4 mostra as concentrações de sólidos em suspensão às diversas alturas do reator, ao longo de todo o período de operação.

Avaliação do Comportamento do Sistema

Embora o sistema possa acomodar incrementos de Vazão, o TRH foi mantido em 7 horas, por necessidade de se operar a vazão constante para realização dos ensaios de pós-tratamento do efluente. Depois a vazão foi aumentada até

Tabela 4. Características Médias da Alimentação e Efluente do Digestor de 120 m³ durante o período total.

DETERMINAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS			MICROORGANISMOS PATOGENICOS		
Parâmetro (mg/l)	Alimentação	Efluente	Parâmetro	Alimentação	Efluente
NKT	25	26	Coliformes Totais*	1,1.10 ⁸	1,2. 10 ⁷
NH ₄ - N	15	20	Coliformes Fecais*	1,6.10 ⁷	4,1.10 ⁶
P _{total}	3,4	3,3	Estreptococcus Fecais*	3,3.10 ⁶	6,9.10 ⁵
SO ₄	18	12	Clostridium perfringens*	9,8.10 ⁴	3,0.10 ⁴
Óleos e Graxas	33	23	Salmonela sp*	Presentes	Presentes
Surfactantes	3,0	2,7	Colifagos**	2,7.10 ⁵	1,1.10 ⁵
Cor Verdadeira	80	50	Ovos e Larvas de Helmintos	Presentes	Raros
Zn	0,19	0,15	Cistos de Protozoários	Presentes	Ausentes
Fe	1,9	1,2			
Hg (mg/l)	0,7	0,2			

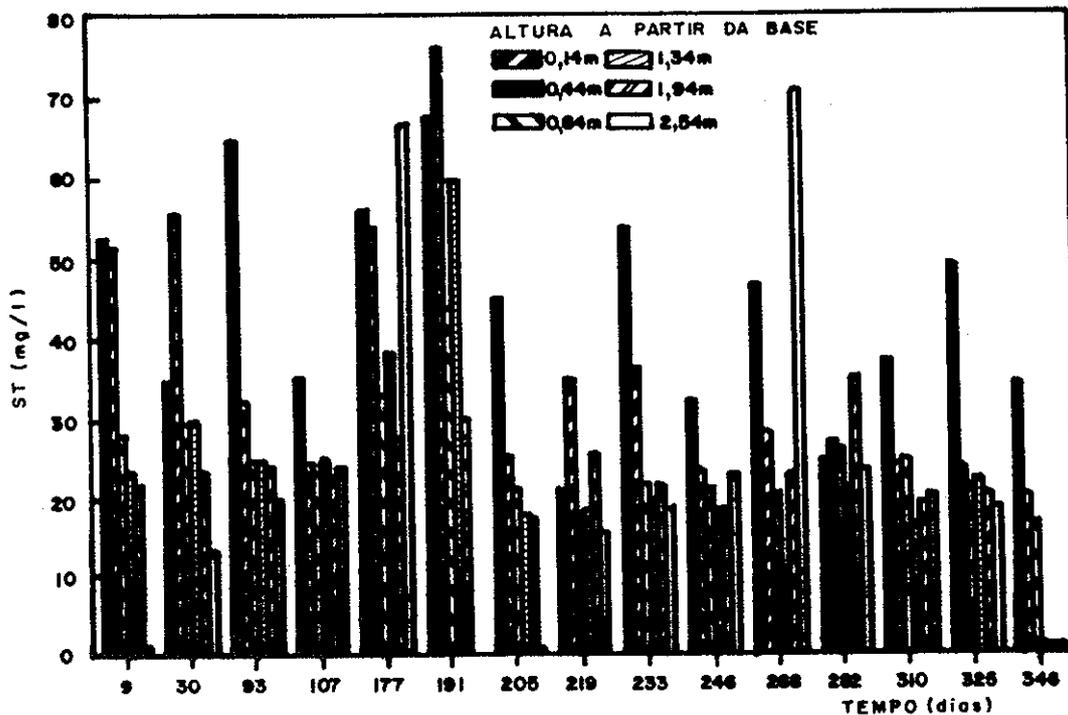
* NMP/100 ml
** UFP/100 ml

atingir-se 5h TRH. O sistema operou durante 25 dias nesta condição quando foi necessário interromper seu funcionamento devido a problemas causados pelo acúmulo de espuma e material flotante no topo do compartimento de saída de gases. Formou-se uma camada de material semi-sólido que impedia a saída de gases pela sua saída normal acumulando gás no interior do reator, prejudicando o movimento normal dos sólidos e a qualidade do efluente. A operação do

digestor foi interrompida para remoção da espuma e manutenção (pintura).

O desempenho do sistema foi avaliado. A remoção de carga orgânica é cerca de 15% inferior aos processos convencionais. Apenas o início do processo necessita cuidados especiais para as primeiras unidades a serem instaladas. Após a partida, o processo não necessita maiores cuidados, a não ser os dispendidos com manutenção e limpeza inerentes às

Figura 4 — Características do lodo nos respectivos pontos de amostragem do reator UASB de 120m³, ao longo do tempo.



estações de tratamento de esgotos e a retirada de lodo. O sistema, além de não necessitar equipamentos eletromecânicos como bombas e aeradores, produz energia na forma de gás combustível, o metano. Adicionalmente, o sistema é constituído de uma única unidade, favorecendo a modulação. Este é mais um fator de economia para as instalações de coleta de esgotos, já que reduz a necessidade de coletores, interceptores e emissários com a adoção de soluções setorizadas.

Da mesma forma que a maioria dos processos convencionais de tratamento secundário, o processo não remove nitrogênio e fósforo e os níveis de remoção de organismos patogênicos são insuficientes. O efluente ainda contém grandes quantidades de bactérias e vírus e concentrações variáveis de cistos de protozoários e ovos e larvas de helmintos.

Frente às necessidades urgentes de desinfecção do efluente para possibilitar seu lançamento em corpos d'água sem prejuízo à saúde pública, e ainda devido aos altos custos inerentes aos processos de tratamento terciário para remoção de nutrientes foi dada prioridade aos estudos de pós-tratamento para desinfecção do efluente.

Pós-tratamento

A desinfecção do efluente de reatores UASB foi testada utilizando-se, inicialmente, sistemas de cloração e ozonização. Sistema de filtração lenta e radiação ultravioleta serão realizados posteriormente.

O sistema de cloração estudado consistiu de três tanques de contato, com capacidade útil total de 240 litros, operando com 20, 40 e 60 minutos de tempo de contato (Gasi et al., 1988).

Nesses três tempos de contato, com adição de 15mg Cl_2/l , observou-se redução de coliformes totais, fecais e estreptococos fecais de cerca de 10^5 a $10^6/100ml$ para virtual ausência ($<100ml$). Houve remoção total de Salmonella, boa remoção de colifagos e, praticamente, nenhuma

remoção de Clostridium. Não se observou remoção de matéria orgânica. A formação de trihalometanos foi negligenciável.

O sistema de ozonização utilizado foi cedido pela Fil-san Equipamentos e Sistemas S/A para realização dos estudos em conjunto com a Cetesb.

A unidade consistiu de um gerador de ozônio que alimentava duas colunas operando em série com o efluente do digestor. Cada coluna tinha 4,6m de altura útil, sendo o volume útil de 208 l por coluna.

O tempo de contato foi de 70 minutos com aplicação média de 16 mgO_3/l . Foram observadas boas remoções de coliformes fecais, estreptococos fecais e colifagos. Ocorreu remoção total de Salmonella e nenhuma remoção de clostridium e coliformes totais. Houve remoção significativa de matéria orgânica (acima de 50%).

Aplicação de Reatores UASB para Tratamento de Esgoto Doméstico no Brasil

Esforços começam a ser despendidos no sentido de se instalar reatores UASB para tratamento de esgotos domésticos no Brasil, como mostra a tabela 5. No entanto, todos os reatores descritos aguardam financiamento para sua construção, alguns desde 1985.

No Estado do Paraná vem-se utilizando processos anaeróbios para o tratamento de esgotos domésticos, também misturados a outros resíduos, visando a recuperação do biogás. Vários reatores estão instalados (Gomes, 1985).

Custos

Avaliações efetuadas dos custos de instalação e operação de reatores UASB para o tratamento de esgotos sanitários e sua comparação com o sistema de lodos ativados, fornecem as seguintes cifras:

Tabela 5 — Reatores UASB em Escala Real a serem Construídos no Brasil para Tratamento de Esgotos Domésticos.

Local	População atendida (hab)	Volume	Estágio	Realizadores
Manaus — AM	200.000	7.200 (6x1.200)	Pré-Projeto	Cetesb Pleuston Eng.
Ribeirão Pires — SP	40.000	1.600 (4x400)	Projetado	Sabesp
Barcarena — PA	20.000	1.280 (4x320)	Pré-Projeto	Cetesb/Codebar
Itapeverica da Serra	4.076	260	Projetado	Sabesp
Diadema — SP	25.000	1.560 (3x520)	Projetado	Sabesp
Piracicaba — SP	15.000	—	Contratado	Cetesb/Fund. Ensino Piracicaba
Hospitais Públicos São Paulo — SP	*	*	Contratado	Cetesb/Secr. Saúde

*Módulos para 220 leitos

— Apenas o reator:	Custo de Instalação: US\$ 300/m ³ reator ou US\$ 10/hab (para contribuições de 200€/hab dia)
— Estação de tratamento completa incluindo caixa de areia, digester e leito de secagem	Custo de Instalação: US\$ 30/hab Custo de Operação: US\$ 0,4/hab. ano
— Sistema de lodos ativados. Estação de tratamento completa	Custo de Instalação: US\$ 50/hab Custo da Operação: US\$ 0,8 a 1,0/hab. ano

Observa-se que a alternativa da utilização do reator UASB, mesmo com a desvantagem da menor eficiência com relação ao sistema de lodos ativados, se mostra uma alternativa bastante atraente para aplicação em saneamento. A diferença entre os custos para um sistema de lodos ativados e reatores UASB pode permitir a implantação de sistemas de pós-tratamento de custo baixo que permitam, simultaneamente, a desinfecção e melhoria da qualidade do efluente tratado.

Conclusões

Os resultados obtidos em escala de demonstração com o reator UASB de 120m³ tratando esgoto doméstico, confirmaram os resultados obtidos em laboratório. Ficou evidenciada a aplicabilidade do processo para tratamento de esgotos a nível secundário, à temperatura ambiente e com TRH reduzido (4 a 6 h). A unidade de demonstração forneceu efluente de qualidade estável ao longo do período de operação, mantendo a concentração de DBO₅ abaixo de 60 mg/l e a de SS₅ abaixo de 50 mg/l. O efluente tratado, entretanto, necessita de um sistema posterior para sua desinfecção. A aplicação de 5 mg Cl₂/l, com tempo de contacto de 20 minutos é suficiente para permitir o lançamento do efluente tratado a corpos receptores.

A ozonização, com dosagem de 16 mg O₃/l e tempo de contacto de 70 minutos, além da desinfecção do efluente, promove uma redução adicional na concentração de matéria orgânica, com valores de DBO da ordem de 20 mg/l, DQO de cerca de 60 mg/l e SS de 15 mg/l.

Estes valores são comparáveis aos que podem ser obtidos pelo processo de lodos ativados, restando, ainda, avaliar de maneira mais precisa os custos de instalação e operação. Outros sistemas de pós-tratamento devem também ser avaliados.

Os resultados apresentados indicam claramente a adequação desta tecnologia para as necessidades de saneamento da população brasileira.

Embora diversos reatores estejam sendo planejados, falta ainda um maior empenho das autoridades competentes e maior integração entre as instituições brasileiras envolvidas na solução do problema de saneamento no País.

Agradecimentos

Os estudos aqui apresentados foram executados pelo Grupo de Digestão Anaeróbia da CETESB, cabendo aqui mencionar o Eng^o Marcos Eduardo de Souza que participou, desde o início, de forma decisiva para o desenvolvimento da pesquisa. Agradecimentos especiais faço aos

colegas: Eng^o Alcides Diniz Garcia Jr.; Quím. Carlos Eduardo Pacheco; Eng^a Tânia M.T. Gasi; Eng^a Jussara de Lima Carvalho; Eng^o Raimundo Alves de Lima Filho; Biol. Rosana F. Vazollér Novaes; Eng^a Eloísa Brasil de M. Mathias; Analista Wanderley Borba; Anal. Carlos Henrique Catabi; Anal. Roberto Cavalheiro Martins; Quím. Ivan C. Horcel; e Biól. Petra S. Sanches.

Agradecemos a Superintendência e a Diretoria, nas pessoas dos Eng^{os} Roberto Eduardo Bruno Centurión e José Roberto Costa e a datilografia e desenho de Toshiko U. Tadaka, Delci R. da Silva e Marisa Cury.

Nossos agradecimentos à Eng^a Marisa de Oliveira Guimarães, e ao Econ. Roberto Guerra Cavalcanti, da SABESP, e Eng^o Celso Savelli, da SANEPAR, pelas informações tão gentilmente cedidas.

Referências

- Gasi, T.M.T.; Vieira, S.M.M.; Pacheco, C.E.M. (1987). Resultados preliminares de cloração de efluente de digester anaeróbio de fluxo ascendente tratando esgotos domésticos. In: *14.º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Sept. 1987, São Paulo, Brazil.
- Gomes, C.S. (1985). Research at SANEPAR and State of Paraná, Brazil, with Anaerobic Treatment of Domestic Sewage in Full Scale and Pilot Plants. *Proceedings Seminar/Workshop: Anaerobic Treatment of Sewage*, June, 1985, Univ. of Massachusetts, Amherst, USA, 30 p.
- Lettinga, G.; Van Velsen, A.F.M.; Hobma, S.W.; Zeew, W. (1980). Use of the Upflow Sludge Blanket (USB) Reactor Concept for Biological Wastewater Treatment, Especially for Anaerobic Treatment. *Biotechnology and Bioengineering*, 22 (4): 699-734.
- Lettinga, G.; Roersma, R.; Grin, P. (1983). Anaerobic Treatment of Raw Domestic Sewage at Ambient Temperature Using a Granular Bed UASB Reactor. *Biotechnology and Bioengineering*, 25: 1701-23.
- Novaes, R.F.V. (1986). Microbiology of anaerobic digestion. *Wat. Sci. Tech.*, 18 (12): 1-14.
- Nucci, N.L.R.; Giacaglia, G.E.O.; Nobre, P.A.; Souza, M.E.; Vieira, S.M.M.; Craveiro, A.M.; Gomes, I.C. (1985). Anaerobic treatment — research, development and perspectives in the State of São Paulo, Brazil. *Proceedings Seminar/Workshop: Anaerobic Treatment of Sewage*, June, 1985, Univ. of Massachusetts, Amherst, USA, 43 p.
- Souza, M.E. (1986). Criterio for the utilization, design and operation of UASB reactors. *Wat. Sci. Tech.*, 18 (12): 55-69.

- Souza, M.E.; Vieira, S.M.M.; Catabi, C.H.; Borba, W. (1987). Demonstração em escala real da tecnologia de tratamento de esgotos domésticos por digestor anaeróbio de fluxo ascendente. Primeiros Resultados. In: *14º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Sept. 1987, São Paulo, Brasil.
- Souza, M.E.; Vieira, S.M.M. (1986). Uso do reator UASB para tratamento de esgoto sanitário. *Revista DAE*, 46 (145): 165-8.
- Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (1985). 16 th Ed. Amer. Public Health Assoc., Amer. Water Works Assoc., Water Poll. Control Fed.; Washington, D.C.
- Vieira, S.M.M.; Alem S.P. (1983). Resultados de operação e recomendações para o projeto de sistemas de decanto-digestor e filtro anaeróbio para o tratamento de esgotos sanitários. *Revista DAE*, (135): 51-7.
- Vieira, S.M.M. (1984) Tratamento de esgotos por digestores anaeróbios de fluxo ascendente. *Revista DAE*, 44 (139): 322-28.
- Vieira, S.M.M.; Souza, M.E. (1986). Development of technology for the use of the UASB reactor in domestic sewage treatment *Wat. Sci. Tech.*, 18 (12): 109-21.
- Vieira, S.M.M.; Pacheco, C.E.M.; Souza, M.E. (1987a). Efeito da Variação de vazão em digestor anaeróbio de fluxo ascendente tratando esgoto doméstico. In: *14º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Sept. 1987, São Paulo, Brazil.
- Vieira, S.M.M.; Souza, M.E.; Carvalho, J.L.; Garcia Jr., A.D.; Pacheco, C.E.M.; Catabi, C.H.; Borba, W. (1987b). Tratamento de esgotos por digestão anaeróbia *Ambiente*, 1 (3): 132-7.

