



II-040 – RESULTADOS PRELIMINARES DO TRATAMENTO DO LODO DE FOSSA SÉPTICA COMBINADO COM ESGOTO SANITÁRIO BRUTO, EM REATORES ANAERÓBIOS DE FLUXO ASCENDENTE, EM ESCALA PILOTO

Guilherme Samways⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Meio Ambiente da Universidade Federal do Paraná.

Cinthia Monteiro Hartmann

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Paraná. Mestre pelo Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Meio Ambiente da Universidade Federal do Paraná. Engenheira da Sanepar.

Thiago Edwiges

Engenheiro Ambiental pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

Miguel Mansur Aisse

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Paraná. Doutor em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Professor da Universidade Federal do Paraná.

Cleverson Vítório Andreoli

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal do Paraná. Doutor em Meio Ambiente pela Universidade Federal do Paraná. Engenheiro da Sanepar. Professor da UNIFAE.

Endereço⁽¹⁾: PPGERHA da Universidade Federal do Paraná – UFPR. Departamento de Hidráulica e Saneamento – DHS. Centro Politécnico, Jardim das Américas – Curitiba - Paraná – CEP: 81.531.990 – Brasil - Tel: +55 (41) 3361-3144 -e-mail: guisamways@gmail.com

RESUMO

O lodo retirado dos sistemas de tratamento de águas residuárias por fossas sépticas apresenta um grande potencial poluidor, devido as suas características variadas, como quantidade de material orgânico, patogenicidade e atração de vetores. Para tanto, aconselha-se o tratamento do lodo gerado de forma a minimizar os seus efeitos, podendo ocorrer de forma isolada ou de forma combinada com um outro sistema de tratamento. O presente trabalho propõe divulgar os resultados preliminares dos estudos da eficiência do tratamento de lodo de fossa séptica pré-tratado combinado com esgoto bruto, em reatores UASB, em escala piloto. A pesquisa foi realizada nas dependências da ETE Belém da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), localizada no Município de Curitiba – PR (Brasil), onde esta instalada a estação experimental piloto, com o apoio do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB) em sua quinta edição. Foi construído um canal elevado em concreto (amostrador), dotado de grade e medidor de vazão, onde foram feitas as descargas dos caminhões. A adição de lodo de fossa séptica, em vazão constante, aos reatores anaeróbio tipo UASB, tratando esgoto sanitário, não afetou os seus desempenhos, medidos como DQO. As cargas (doses) de lodo testadas foram 16,3% e 7,2% da carga de esgoto, avaliadas como ST e DQO, respectivamente. Os dados preliminares deste trabalho serviram para estipular os novos valores de dosagem de lodo séptico para a mesma instalação.

PALAVRAS-CHAVE: Esgoto Sanitário, Lodo de Fossa Séptica, Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente em Manto de Lodo, Tratamento Combinado.

INTRODUÇÃO

A disposição inadequada de esgotos domésticos no solo e corpos d'água é comum em países em desenvolvimento, ocasionando uma série de efeitos deletérios ao meio ambiente e à saúde humana. Buscando minimizar este problema, difundiu-se a utilização de fossas sépticas como sistema individual de tratamento de esgoto, uma alternativa eficiente, de simples operação, compacta e econômica. No Brasil, segundo os dados da Pesquisa Nacional por Amostra em Domicílios (PNAD) – 2007, a adoção deste tipo de sistema corresponde a quase um quarto (22,3%) de toda a destinação do esgoto no país, o que significa aproximadamente 13 milhões de edificações atendidas pelo sistema (IBGE, 2009).

O lodo séptico retirado deste tratamento apresenta grande potencial poluidor devido as suas características, como quantidade de material orgânico, patogenicidade e atração de vetores. Para tanto, aconselha-se o



tratamento do lodo gerado de forma a minimizar os seus efeitos. Este tratamento pode se dar de forma isolada: como o uso de biodigestores anaeróbicos, lagoas, *wetlands*, estabilização alcalina (calagem), secagem com calor e valas de infiltração e por fim, a destinação em aterros; ou de forma combinada a outro sistema de tratamento de águas residuárias domésticas (Klingel *et al.*, 2002; EPA, 1995).

Devido as características variadas do lodo de fossa séptica, o lodo tratado concomitantemente com águas residuárias, não assegura a sua estabilização, quando da simples inserção do lodo no sistema. Teores muito altos de matéria orgânica e outros problemas operacionais podem resultar em uma diminuição significativa da eficiência do tratamento. Resch (1982), *apud* Heinss e Strauss (1999), verificou que as cargas intermitentes de lodo séptico, aplicado a um sistema de lodos ativados, resultaram em uma deterioração na ordem de 20 a 30% na eficiência da remoção de DBO, em relação ao fornecimento de carga contínua ao sistema. Para tanto, alguns critérios e parâmetros deverão ser analisados para uma boa operação do sistema de tratamento combinado, para que não haja deterioração do efluente final.

Além de sua grande variabilidade, o lodo séptico apresenta algumas outras características. Segundo EPA (1984) o lodo séptico possui uma má sedimentabilidade ou seja, Para sistemas de tratamento que dependem da capacidade de sedimentação do lodo, como tanques de sedimentação, por exemplo, é de extrema importância que sejam feitos ensaios para verificar a capacidade de sedimentação do lodo ou da mistura de lodo e esgoto doméstico (Heinss e Strauss, *op. cit.*). A concentração elevada de óleos e graxas (acima de 300 mg/L) é fator de extrema importância que pode afetar negativamente a capacidade de sedimentação.

Algumas recomendações já foram levantadas quanto ao tratamento combinado de lodo séptico. Segundo uma empresa de consultoria na área de saneamento, o lodo deverá ser submetido a um tratamento preliminar antes de ser aplicado no sistema de tratamento. O objetivo desta operação é remover materiais grosseiros e areia que possam ser inadequados aos processos biológicos e que possam prejudicar a operação do sistema, como entupimentos de tubulações e danos em bombas hidráulicas. A malha da peneira deve estar próxima a 13 mm (XCG, 2005). Continuando no conceito de pré-tratamento, Heinss e Strauss (*op. cit.*) recomendam que o lodo séptico deverá estar diluído antes de sua aplicação, possivelmente para diminuir os efeitos de choque de carga que o lodo séptico pode causar ao sistema. O pré-tratamento poderá ser feito em unidade independente ou a montante do sistema, dependendo da proposta do tratamento combinado.

Alguns estudos já foram realizados para verificar o impacto do lodo séptico em sistemas de tratamento de águas residuárias. Godoy *et al.* (2007) estudaram o efeito de descarga de caminhões limpa fossa em Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) de pequeno porte, no caso um sistema de Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo – *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* – (UASB) + Biofiltro Aerado Submerso (BAS), para 800 pessoas. O lodo, aparentemente diluído, é descarregado três vezes por semana, havendo de seis a oito lançamentos de 3 m³, em cada descarte. Os autores concluíram que, após a estabilização do reator UASB, o impacto do lançamento do lodo, na quantidade de 4% da vazão afluente, foi absorvido.

Dando continuidade a estas investigações, este trabalho propõe-se como objetivo geral divulgar os resultados preliminares dos estudos da eficiência do tratamento de lodo de fossa séptica pré-tratado combinado com esgoto bruto, em reatores UASB, em escala piloto. Este trabalho foi fomentado pelo Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB) em sua quinta edição.

METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada nas dependências da ETE Belém, da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), localizada no Município de Curitiba – PR (Brasil), onde esta instalada a estação experimental utilizada para o desenvolvimento do projeto. O piloto possui 3 reatores UASBs construídos em tubos de concreto, com um diâmetro de 0,80 metro por 4 metros de altura, tendo em sua concepção um decantador interno e gasômetro fabricado em fibra de vidro (Figura.1). Os três reatores foram utilizados para o projeto, cada um deles recebendo 250 L/h de esgoto bruto. Esta vazão corresponde a contribuição de uma população equivalente a 44 pessoas e o tempo de detenção hidráulico do reator é de aproximadamente 8 horas (Aisse, 2002). Para a realização das pesquisas para o tratamento combinado, foram avaliadas as seguintes condições de operação nos três reatores anaeróbios T1, T2 e T3 onde: T1 - mistura esgoto-lodo séptico (dosagem 1); T2 - mistura esgoto-lodo séptico (dosagem 2) e T3 - branco (apenas esgoto sanitário) sendo o seu início em



fevereiro de 2008 e previsão de término em junho de 2009. Os dados preliminares apresentados neste trabalho correspondem ao período de fevereiro a dezembro de 2008.

Para o desenvolvimento deste experimento foi construído um canal elevado em concreto (amostrador), dotado de grade e medidor de vazão, onde foram feitas as descargas dos caminhões. O amostrador funcionou como um pré-tratamento do lodo séptico, além de possibilitar a coleta padronizada das amostras individuais para compor uma amostra representativa. A grade, fabricada em ferro fundido e com espaçamento de 5 mm entre barras, teve o objetivo de retirar materiais grosseiros que possam estar presentes no lodo. A medição da vazão, realizada através de uma calha Parshall marca Environquip, pré-fabricada em fibra de vidro e com dimensão $W=3''$, teve também como função o controle da tomada da alíquotas das amostragens.

A ETE Belém recebe espontaneamente caminhões limpa-fossa que dispõem o lodo de fossa séptica em um canal específico a montante da elevatória da estação. Os caminhões utilizados na pesquisa foram selecionados na entrada da estação somente após a liberação dos mesmos pelos funcionários da empresa de saneamento que fazem o monitoramento do pH, que serve como parâmetro de aceitação do lodo séptico para a disposição na ETE. Valores de pH abaixo de 5,0 ou acima de 10,0 não são aceitos pela empresa pois podem interferir negativamente na qualidade do tratamento da estação. Outro parâmetro de seleção é o tempo entre esgotamentos da fossa. Muitos dos caminhões que descarregam da ETE Belém, são caminhões contratados por empresas que fazem esgotamentos frequentes (até mesmo diários) de suas fossas, não permitindo então a digestão da matéria orgânica solúvel e a formação de sólidos com características sépticas, descaracterizando o objeto da pesquisa. Com o auxílio dos operadores do caminhão, o lodo séptico foi bombeado sob pressão ao canal elevado pela mangueira de coleta do próprio caminhão, utilizando o registro esfera na saída do mesmo para regular a saída do lodo para que o lodo tenha uma vazão constante de descarte. O tempo médio de descarga dura cerca de 20 minutos variando de acordo como volume do caminhão (Figura 2. e 3.).



Figura 1 – Instalação Piloto para o tratamento de esgotos junto a ETE Belém.



Figura 2 – Sistema amostrador seguido por adensador.



Figura 3 – Descarte do lodo no amostrador.



O amostrador possui um sistema de comportas metálicas, acionadas manualmente, logo após o medidor de vazão, de forma a separar as vazões, ora para descarte (ETE Belém) ora para o tanque adensador e a para a coleta de amostra.

Notaram-se nos descartes que o lodo séptico apresenta algumas variações quanto a concentração de sólidos. De uma maneira geral, a parte com maior sedimentação fica armazenada no fundo do caminhão, quando do momento do descarte uma parte mais concentrada é descartada primeiro e em sequência uma fração mais líquida do lodo a substitui, vindo a tornar-se mais concentrada a medida do termino do descarte. A Figura 4 demonstra a concentração de sólidos totais do lodo séptico descartado em relação ao tempo de descarte do lodo.

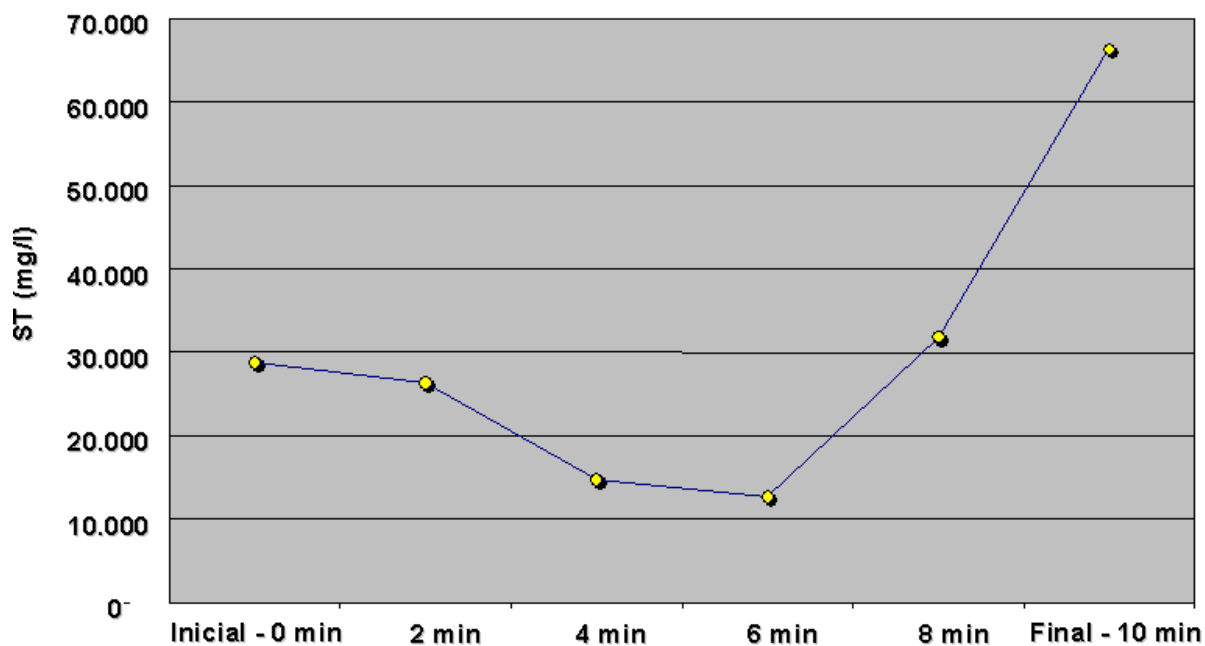


Figura 4 – Concentração de Sólidos Totais em mg/L de lodo séptico de um caminhão limpa fossa em relação ao tempo de descarte (14/05/2008).

Para a coleta de amostras, estabeleceu-se a retirada de uma alíquota no início do descarte no amostrador, outra no final e de uma alíquota a cada tantos minutos de descarte, o suficiente para compor uma amostra constituída de um total de 10 alíquotas proporcionais a vazão. Os tempos das tomadas das alíquotas intermediárias eram estimados de acordo com o volume do caminhão para uma vazão de 20 m³/h, o qual procurou-se atender durante o descarte, diminuindo possibilidade de descaracterizar o lodo pela segregação do lodo no caminhão.

Na saída do sistema amostrador foi instalada uma unidade para adensamento do lodo, que objetiva separar o excesso de gordura que possa estar presente no lodo e descartar lodo que possa apresentar valores baixos de Sólidos Totais (ST) ou outra característica que impossibilite o seu uso. O adensador possui um volume útil de 7 m³ e tempo de detenção hidráulico de no mínimo de 24 horas. Parte do lodo do adensador (fundo) é encaminhado para um tanque de armazenamento, com volume de 4 m³, dotado de misturador rápido de eixo **vertical**, com potência de 0,75 CV, que tem por objetivo homogeneizar e armazenar o lodo para a aplicação nos reatores UASBs. O material restante é composto pela parte sobrenadante do lodo séptico, ou seja, lodo com grandes concentrações de gorduras que prejudicariam o tratamento. Uma bomba centrífuga de rotor aberto, marca ABS Robusta 300T, de 1,0 CV é a responsável pelo transporte do lodo do adensador ao tanque de armazenamento (ou ao descarte).

Em seguida o lodo é enviado a um reservatório elevado de volume igual a 500L dotado de misturador lento de baixa potência para evitar uma possível sedimentação, através de uma bomba helicoidal de deslocamento positivo Netzsch, modelo Nemo de 0,75 CV. Deste reservatório é dosado aos reatores UASBs piloto o lodo séptico através, de uma bomba peristáltica Milan, modelo BPI 634.10.60-Dupla, dotada de inversor de frequência e mangueiras Marpren da Watson-Marlow, aos reatores UASBs piloto o lodo séptico.



O esgoto bruto da ETE Belém é enviado a uma caixa de distribuição elevada, através de uma bomba ABS Piranha, instalada logo após o gradeamento da estação. O lodo séptico e o esgoto bruto são misturados na caixa de distribuição do esgoto na entrada de cada reator (T1 e T2). A Figura 5 descreve o fluxograma do sistema.

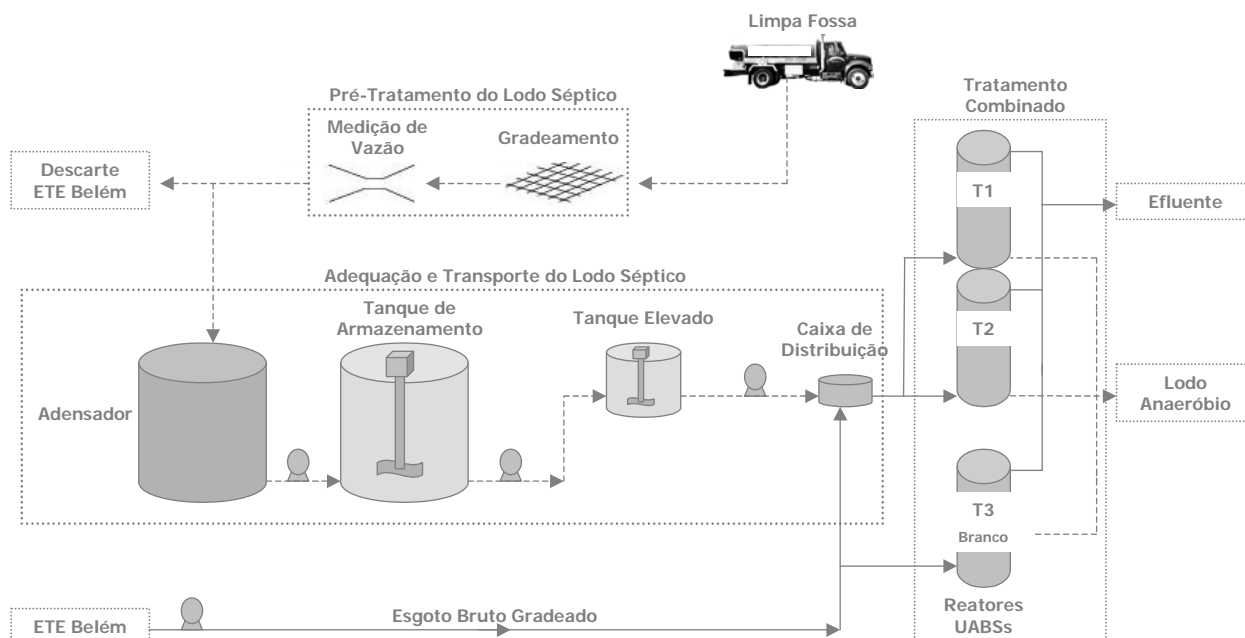


Figura 5. - Fluxograma da estrutura de recebimento do lodo de fossa séptica.

Para este trabalho foram monitorados os valores de entrada e saída dos três reatores UASBs, do lodo de descarte dos reatores, assim como o do próprio tanque de armazenamento. Os parâmetros e as frequências das análises estão descritos no Quadro 1.

Quadro 1 – Parâmetros e frequência de análise utilizadas no monitoramento.

Monitoramento	Parâmetros	Frequência
Tanque de Armazenamento	DQO, Sólidos Totais.	Semanal
Esgoto Bruto	Temperatura, Acidez, Alcalinidade, DBO, DQO, Fosfato, pH, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Totais, Fixos e Voláteis, Sólidos Suspensos Fixos e Voláteis	Semanal
UASB	Temperatura, Acidez, Alcalinidade, DBO, DQO, Fosfato, pH, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Totais, Fixos e Voláteis, Sólidos Suspensos Fixos e Voláteis	Semanal
UASB (lodo)	Sólidos Totais, Fixos e Voláteis	A cada 20 dias
	Ca, K, Mg, Na, Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, La, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sc, Sn, Ti, V, Zn, Zr, Y, C, N, P, Coliformes Termotolerantes, Ovos Viáveis de Helmintos, <i>Salmonella sp.</i>	Esporádica





Eficiência dos Reatores com Lodo Séptico

As Tabelas 2 a 5 apresentam o desempenho dos reatores anaeróbios, durante o período denominado de monitoramento, isto é, sem a dosagem de lodo anaeróbio.

Tabela 2 - Resultados da caracterização do esgoto sanitário na entrada dos três reatores anaeróbios na fase de monitoramento.

	Data UASB	Temp. Amostra °C	Acidez mg/L	Alcalinidade mg/L	DBO mg/L	DQO mg/L	Fosfato mg/L	pH	S. Sed. ml/L	ST mg/l	STF mg/l	STV mg/l
T1, T2 e T3 Esgoto Bruto Afluente	16/05/08	20,3	****	****	190	650	13,8	6,9	13,0	400	208	192
	28/05/08	22,6	****	****	300	583	****	7,0	28,0	400	208	192
	03/06/08	19,3	****	****	120	528	****	7,1	8,0	400	208	192
	10/06/08	20,7	****	****	140	292	10,0	7,5	1,7	476	296	180
	17/06/08	18,6	****	****	200	293	11,7	7,0	4,5	508	232	276
	24/06/08	18,3	32,0	151,8	270	541	25,0	7,3	7,0	508	232	276
	01/07/08	19,3	26,0	171,2	280	515	19,2	7,2	5,0	****	****	****
	08/07/08	20,1	38,5	172,6	235	394	16,5	7,2	0,5	512	284	228
	15/07/08	20,2	28,4	216,6	540	998	38,5	7,2	15,0	1108	512	596
	24/07/08	20,3	****	****	****	663	****	7,1	8,5	****	****	****
	31/07/08	19,8	31,9	****	270	448	18,4	6,9	2,5	****	****	****
	07/08/08	20,4	****	****	270	420	14,8	7,3	10,0	572	292	280
	13/08/08	17,6	61,7	****	290	478	7,9	7,1	13,0	632	308	324
	19/08/08	23,0	****	****	380	537	30,4	7,4	86,0	****	****	****
	26/08/08	21,9	40,4	216,2	****	491	23,9	7,7	5,5	****	****	****
	01/09/08	21,1	22,2	180,0	380	583	25,3	7,2	8,5	492	252	240
	09/09/08	18,7	24,6	151,6	330	510	6,1	7,3	7,0	516	224	292
	16/09/08	20,0	25,4	162,4	430	663	8,2	7,0	7,5	784	356	428
	23/09/08	19,2	****	****	310	584	****	7,0	4,0	****	****	****
	Máximo	23,0	61,7	216,6	540	998	38,5	7,7	86,0	1108,0	512,0	596,0
	Mínimo	17,6	22,2	151,6	120	292	6,1	6,9	0,5	400,0	208,0	180,0
	Média	20,1	32,3	177,8	290	535	18,0	7,2	12,4	562,2	277,8	284,3
	Percentil 25%	19,3	25,4	159,8	235	463	10,9	7,1	4,8	476,0	224,0	192,0
	Percentil 75%	20,6	32,0	189,1	330	584	24,5	7,3	11,5	572,0	296,0	292,0
	Desvio Padrão	1,4	12,0	25,7	104,3	154,7	9,2	0,2	18,8	194,4	84,0	115,8

Tabela 3 - Resultados do monitoramento do esgoto sanitário na saída do reator anaeróbio T1.

	Data	Temp. Ambiente °C	Temp. Amostra °C	Acidez mg/L	Alcalinidade mg/L	DBO mg/L	DQO mg/L	Fosfato mg/L	pH	S. Sed. ml/L	ST mg/l	STF mg/l	STV mg/l
T1	16/05/08	19,0	****	14,0	104,4	91	220	12,5	7,0	2,5	312	169	143
	28/05/08	23,0	****	36,1	15,0	83	140	11,8	6,8	0,1	391	266	125
	03/06/08	19,0	****	102,8	236,4	131	180	13,6	6,9	0,1	338	317	21
	10/06/08	18,0	****	70,2	90,0	120	350	16,5	7,3	0,7	365	246	119
	17/06/08	14,0	****	35,0	122,4	82	210	9,2	7,0	1,7	255	140	115
	24/06/08	16,0	****	68,6	180,4	116	210	15,1	6,9	1,5	332	186	146
	01/07/08	21,0	****	48,5	187,8	86	110	8,4	6,9	0,9	296	192	104
	08/07/08	19,5	****	45,7	198,6	130	260	15,7	7,4	1,2	290	136	154
	15/07/08	20,0	****	115,0	256,4	117	320	14,1	7,4	0,1	858	234	624
	24/07/08	19,0	****	130,8	326,4	157	270	21,9	7,0	<0,1	446	288	158
	31/07/08	20,0	21,3	71,4	191,0	103	280	11,7	7,0	<0,1	378	192	186
	07/08/08	19,0	18,1	99,6	203,8	121	210	17,1	6,8	0,2	282	280	2
	13/08/08	25,0	20,3	117,9	192,4	74	230	11,8	6,9	0,1	****	****	****
	19/08/08	24,9	24,0	167,7	201,6	34	90	8,8	7,0	0,1	248	174	74
	26/08/08	25,0	24,4	102,5	233,8	61	240	16,9	6,8	0,2	298	182	116
	01/09/08	22,1	22,2	80,4	200,6	****	150	16,2	6,8	<0,1	296	190	106
	09/09/08	23,8	24,3	31,9	233,8	****	80	5,1	6,8	<0,1	362	250	112
	16/09/08	18,6	18,7	55,7	206,2	89	190	4,9	6,8	1,2	332	224	108
	23/09/08	20,1	20,0	64,2	191,0	86	90	4,7	6,8	0,7	254	160	94
	Máximo	25,0	24,4	167,7	326,4	157	350	21,9	7,4	2,5	858,0	317,0	624,0
	Mínimo	14,0	18,1	14,0	15,0	34	80	4,7	6,8	0,1	248,0	136,0	2,0
	Média	20,4	21,5	76,7	188,0	99	202	12,4	7,0	0,8	351,8	212,6	139,3
	Percentil 25%	19,0	20,0	47,1	184,1	83	145	9,0	6,8	0,1	291,5	176,0	104,5
	Percentil 75%	22,6	24,0	102,7	220,0	120	250	16,0	7,0	1,2	364,3	249,0	145,3
	Desvio Padrão	3,0	2,4	39,5	67,6	29,8	77,6	4,7	0,2	0,7	136,7	52,8	129,0



Tabela 4 - Resultados do monitoramento do esgoto sanitário na saída do reator anaeróbio T2.

	Data	Temp. Ambiente °C	Temp. Amostra	Acidez mg/L	Alcalinidade mg/L	DBO mg/L	DQO mg/L	Fosfato mg/L	pH	S. Sed. ml/L	ST mg/L	STF mg/L	STV mg/L
T2	16/05/08	19,0	****	24,9	111,0	86	1330	13,2	6,9	2,6	311	176	135
	28/05/08	23,0	****	76,4	17,0	80	190	17,2	6,8	0,2	404	263	141
	03/06/08	19,0	****	56,6	193,6	94	280	11,8	7,0	0,5	288	284	4
	10/06/08	18,0	****	45,6	177,8	87	280	16,4	7,3	1,5	307	186	121
	17/06/08	14,0	****	24,1	89,4	63	150	6,6	7,0	1,1	222	129	93
	24/06/08	16,0	****	63,5	166,6	97	210	12,7	6,9	0,7	324	208	116
	01/07/08	21,0	****	60,2	173,8	86	130	8,5	6,9	1,4	326	194	132
	08/07/08	19,5	****	52,5	183,0	124	370	13,0	7,2	0,6	292	142	150
	15/07/08	20,0	****	139,6	252,2	105	300	13,4	7,3	0,2	704	212	492
	24/07/08	19,0	****	141,8	295,0	99	210	7,1	7,1	<0,1	390	176	214
	31/07/08	20,0	21,4	49,6	186,2	102	230	11,1	7,1	0,1	384	188	196
	07/08/08	19,0	17,7	110,6	214,6	109	170	18,4	6,8	<0,1	326	314	12
	13/08/08	25,0	20,3	98,7	215,6	100	410	22,3	7,2	2,0	****	****	****
	19/08/08	24,9	24,0	87,2	144,8	39	130	6,9	7,2	<0,1	270	162	108
	26/08/08	25,0	24,2	95,5	200,4	51	280	15,6	6,7	0,4	260	150	110
	01/09/08	22,1	21,7	83,2	209,4	95	120	15,0	6,8	<0,1	264	172	92
	09/09/08	23,8	23,5	40,7	220,4	72	190	5,5	6,7	0,1	360	198	162
	16/09/08	18,7	18,7	49,0	191,2	76	170	3,9	6,9	0,1	280	174	106
	23/09/08	20,1	19,9	55,3	182,6	<1	80	4,5	6,8	0,6	274	194	80
	Máximo	25,0	24,2	141,8	295,0	124	1330	22,3	7,3	2,6	704,0	314,0	492,0
	Mínimo	14,0	17,7	24,1	17,0	39	80	3,9	6,7	0,1	222,0	129,0	4,0
	Média	20,4	21,3	71,3	180,2	87	275	11,7	7,0	0,8	332,6	195,7	136,9
	Percentil 25%	19,0	19,9	49,3	170,2	77	160	7,0	6,8	0,2	275,5	172,5	96,3
	Percentil 75%	22,6	23,5	91,4	212,0	100	280	15,3	7,1	1,3	351,5	205,5	147,8
	Desvio Padrão	3,0	2,3	34,1	60,2	21,0	269,5	5,1	0,2	0,8	104,9	48,1	102,9

Tabela 5 - Resultados do monitoramento do esgoto sanitário na saída do reator anaeróbio T3.

	Data	Temp. Ambiente °C	Temp. Amostra	Acidez mg/L	Alcalinidade mg/L	DBO mg/L	DQO mg/L	Fosfato mg/L	pH	S. Sed. ml/L	ST mg/L	STF mg/L	STV mg/L
T3	16/05/08	19,0	****	39,0	97,4	164	290	73,2	7,0	31,0	1175	489	686
	28/05/08	23,0	****	30,0	16,8	54	170	18,4	7,0	0,1	402	272	130
	03/06/08	19,0	****	53,5	216,2	58	230	10,1	7,1	0,1	289	277	12
	10/06/08	18,0	****	34,0	190,0	51	410	13,8	7,5	0,1	306	194	112
	17/06/08	14,0	****	26,7	136,8	42	70	5,2	7,1	0,1	192	121	71
	24/06/08	16,0	****	47,5	155,8	83	220	12,6	7,1	0,4	314	200	114
	01/07/08	21,0	****	39,2	166,2	41	200	7,8	7,2	0,3	336	230	106
	08/07/08	19,5	****	76,2	167,0	132	400	14,0	7,4	0,7	324	158	166
	15/07/08	20,0	****	126,3	263,8	111	320	15,0	7,1	1,2	658	226	432
	24/07/08	19,0	****	96,1	261,6	66	190	12,5	7,4	0,1	376	170	206
	31/07/08	20,0	21,4	49,2	173,6	88	250	12,9	7,1	0,3	402	224	178
	07/08/08	19,0	17,7	71,4	209,0	75	170	17,6	7,0	<0,1	302	302	0
	13/08/08	25,0	20,3	85,8	204,0	61	350	15,7	7,2	1,6	****	****	****
	19/08/08	24,9	23,9	136,4	198,2	28	160	8,1	7,1	<0,1	226	156	70
	26/08/08	25,0	24,2	88,4	182,4	75	180	16,5	6,8	1,3	306	158	148
	01/09/08	22,1	21,7	66,4	209,0	<1	40	15,5	6,9	<0,1	264,0	174	90
	09/09/08	23,8	24,1	40,2	224,4	71	130	5,7	6,7	0,2	376	218	158
	16/09/08	18,7	18,7	44,7	181,4	89	250	4,0	6,9	0,8	284	194	90
	23/09/08	20,1	19,9	43,8	179,4	102	200	5,7	6,9	2,5	280	180	100
	Máximo	25,0	24,2	136,4	263,8	164	410	73,2	7,5	31,0	1175,0	489,0	686,0
	Mínimo	14,0	17,7	26,7	16,8	28	40	4,0	6,7	0,1	192,0	121,0	0,0
	Média	20,4	21,3	62,9	180,7	77	223	15,0	7,1	2,6	378,4	219,1	159,4
	Percentil 25%	19,0	19,9	39,7	166,6	55	170	8,0	7,0	0,1	285,3	171,0	90,0
	Percentil 75%	22,6	23,9	81,0	209,0	89	270	15,6	7,1	1,2	376,0	229,0	164,0
	Desvio Padrão	3,0	2,4	31,7	55,8	33,9	99,2	14,8	0,2	7,6	221,9	82,2	160,6

A seguinte relação entre a alcalinidade carbonácea e a alcalinidade total (valor médio) foi observada: tanque 1 (T1) 0,75; tanque 2 (T2) 0,74; tanque 3 (T3) 0,72. O valor médio ideal deve ser superior a 0,61. A eficiência média identificada nos três reatores foi 54% (T1), 56% (T2) e 64% (T3). Portanto, os três reatores apresentam condições favoráveis para receber o lodo séptico.

As Tabelas 6 a 9 apresentam o desempenho dos reatores anaeróbios, durante a dosagem de lodo séptico nos reatores T1 e T2.



Tabela 6 - Resultados da caracterização do esgoto sanitário na entrada dos três reatores anaeróbios na fase de dosagem de lodo.

	Data UASB	Hora	Temp. Amostra °C	Acidez mg/L	Alcalinidade mg/L	DBO mg/L	DQO mg/L	Fosfato mg/L	pH	S. Sed. ml/L	ST mg/l	STF mg/l	STV mg/l
T1, T2 e T3 Esgoto Bruto Afluente	07/10/08	8:10	20,0	30,0	128,0	370	639	12,8	7,0	16,0	652	212	440
	14/10/08	9:00	21,7	14,2	204,6	600	881	9,5	6,8	17,0	800	380	420
	21/10/08	9:00	20,6	28,3	144,0	****	395	18,9	6,7	13,0	454	226	228
	27/10/08	8:30	23,3	47,5	130,2	327	520	7,8	7,1	13,0	462	210	252
	04/11/08	09:00	22,5	50,5	131,6	380	727	6,0	6,7	13,5	584	210	374
	11/11/08	09:00	22,8	41,2	140,8	350	489	7,6	7,3	8,5	620	296	324
	18/11/08	8:30	21,4	42,7	165,2	314	570	6,1	7,1	11,0	540	240	300
	25/11/08	09:00	21,8	52,2	197,2	440	743	9,4	7,2	11,0	668	338	330
	01/12/08	8:30	23,9	68,9	195,0	390	578	8,8	7,3	12,0	596	256	340
	15/12/08	09:00	22,7	80,4	173,4	****	664	6,0	7,1	8,0	512	232	280
	19/12/08	8:30	23,1	104,5	154,8	337	590	6,6	7,1	7,5	618	252	366
	Máximo		23,9	104,5	204,6	600	881	18,9	7,3	17,0	800,0	380,0	440,0
	Mínimo		20,0	14,2	128,0	314	395	6,0	6,7	7,5	454,0	210,0	228,0
	Média		22,2	50,9	160,4	390	618	9,0	7,1	11,9	591,5	259,3	332,2
	Percentil 25%		21,6	35,6	136,2	337	545	6,4	6,9	9,8	526,0	219,0	290,0
	Percentil 75%		23,0	60,6	184,2	390	696	9,5	7,2	13,3	636,0	276,0	370,0
	Desvio Padrão		1,2	25,6	28,6	87,5	134,3	3,9	0,2	3,1	99,6	56,1	65,9

Tabela 7 - Resultados do monitoramento do esgoto sanitário na saída do reator anaeróbio T1 na fase de dosagem do lodo.

	Data	Temp. Ambiente °C	Temp. Amostra	Acidez mg/L	Alcalinidade mg/L	DBO mg/L	DQO mg/L	Fosfato mg/L	pH	S. Sed. ml/L	ST mg/L	STF mg/L	STV mg/L
T1	07/10/08	23,1	21,6	18,0	156,6	55	130	3,4	7,0	1,4	304	194	110
	14/10/08	28,3	26,6	60,8	205,8	98	320	****	6,6	1,3	360	196	164
	21/10/08	25,8	24,7	50,7	169,4	74	140	3,2	7,0	0,5	286	182	104
	27/10/08	26,4	26,5	91,9	184,2	67	150	3,6	6,8	<0,1	220	148	72
	04/11/08	23,0	23,2	44,7	133,2	57	190	2,8	7,2	0,2	312	168	144
	11/11/08	23,0	21,5	67,2	156,4	6	60	1,6	6,9	<0,1	146	86	60
	18/11/08	21,6	22,4	90,0	204,0	72	220	3,7	6,8	1,5	340	184	156
	25/11/08	22,3	22,3	47,1	194,4	43	90	2,0	6,9	<0,1	266	214	52
	01/12/08	24,2	24,5	101,4	203,8	54	70	2,7	6,8	<0,1	280	182	98
	15/12/08	22,6	22,3	164,2	199,2	56	260	2,5	6,9	0,2	262	198	64
	19/12/08	22,6	21,7	258,3	250,6	58	70	2,3	6,8	0,1	312	300	12
	Máximo	28,3	26,6	258,3	250,6	98	320	3,7	7,2	1,5	360,0	300,0	164,0
	Mínimo	21,6	21,5	18,0	133,2	6	60	1,6	6,6	0,1	146,0	86,0	12,0
	Média	23,9	23,4	90,4	187,1	58	155	2,8	6,9	0,7	280,7	186,5	94,2
	Percentil 25%	22,6	22,0	48,9	163,0	55	80	2,4	6,8	0,2	264,0	175,0	62,0
	Percentil 75%	25,0	24,6	96,7	203,9	70	205	3,4	7,0	1,4	312,0	197,0	127,0
	Desvio Padrão	2,1	1,9	67,8	32,0	22,6	85,0	0,7	0,2	0,6	58,9	50,9	47,6

Tabela 8 - Resultados do monitoramento do esgoto sanitário na saída do reator anaeróbio T2 na fase de dosagem do lodo.

	Data	Temp. Ambiente °C	Temp. Amostra °C	Acidez mg/L	Alcalinidade mg/L	DBO mg/L	DQO mg/L	Fosfato mg/L	pH	S. Sed. ml/L	ST mg/L	STF mg/L	STV mg/L
T2	07/10/08	23,1	21,5	34,0	151,8	43	400	2,1	6,9	<0,1	240	170	70
	14/10/08	28,3	26,7	68,3	214,4	91	250	****	6,6	1,3	360	214	146
	21/10/08	25,8	24,7	46,7	175,6	80	80	3,2	7,1	0,2	300	206	94
	27/10/08	26,4	26,9	108,4	224,4	****	60	4,0	6,8	<0,1	238	176	62
	04/11/08	25,0	24,5	32,8	151,0	69	220	1,9	7,1	<0,1	274	148	126
	11/11/08	23,0	21,9	60,6	163,4	29	120	2,8	7,0	0,1	194	104	90
	18/11/08	21,6	22,8	80,9	191,6	63	140	3,1	6,7	0,2	326	172	154
	25/11/08	22,3	22,6	60,8	207,2	47	100	2,3	6,8	<0,1	286	256	30
	01/12/08	24,2	24,8	104,2	217,8	64	80	3,5	6,8	0,5	312	196	116
	15/12/08	22,6	22,3	173,8	220,2	79	220	3,5	6,9	<0,1	390	234	156
	19/12/08	22,6	21,6	245,6	267,0	122	190	2,5	6,8	0,1	338	184	154
	Máximo	28,3	26,9	245,6	267,0	122	400	4,0	7,1	1,3	390,0	256,0	156,0
	Mínimo	21,6	21,5	32,8	151,0	29	60	1,9	6,6	0,1	194,0	104,0	30,0
	Média	24,1	23,7	92,4	198,6	69	169	2,9	6,9	0,4	296,2	187,3	108,9
	Percentil 25%	22,6	22,1	53,7	169,5	51	90	2,4	6,8	0,1	257,0	171,0	80,0
	Percentil 75%	25,4	24,8	106,3	219,0	80	220	3,4	7,0	0,4	332,0	210,0	150,0
	Desvio Padrão	2,1	2,0	65,0	35,7	26,5	100,6	0,7	0,2	0,5	57,8	41,5	43,0

Tabela 9 - Resultados do monitoramento do esgoto sanitário na saída do reator anaeróbio T3 na fase de dosagem do lodo.

	Data	Temp. Ambiente °C	Temp. Amostra °C	Acidez mg/L	Alcalinidade mg/L	DBO mg/L	DQO mg/L	Fosfato mg/L	pH	S. Sed. ml/L	ST mg/l	STF mg/l	STV mg/l
T3	07/10/08	23,1	21,4	30,0	155,0	44	130	2,1	6,9	<0,1	256	194	62
	14/10/08	28,3	27,2	73,9	217,2	98	290	*****	6,5	4,5	394	224	170
	21/10/08	25,8	25,0	18,6	172,4	66	120	3,2	7,4	0,3	278	180	98
	27/10/08	26,4	27,5	120,9	246,0	****	80	4,6	7,0	<0,1	266	190	76
	04/11/08	25,0	24,0	67,6	180,6	42	240	2,0	7,1	<0,1	260	144	116
	11/11/08	23,0	22,1	50,7	144,6	****	50	2,1	7,0	0,1	198	94	104
	18/11/08	21,6	22,7	100,8	195,2	****	60	2,7	6,7	<0,1	292	186	106
	25/11/08	22,3	22,6	63,3	200,4	30	90	2,7	6,9	<0,1	288	258	30
	01/12/08	24,2	24,8	123,2	226,6	****	60	4,2	6,8	0,8	284	168	116
	15/12/08	22,6	22,4	182,1	221,6	84	240	3,3	7,0	0,3	382	202	180
	Máximo	28,3	27,5	182,1	246,0	98	290	4,6	7,4	4,5	394,0	258,0	180,0
	Mínimo	21,6	21,4	18,6	144,6	30	50	2,0	6,5	0,1	198,0	94,0	30,0
	Média	24,2	24,0	83,1	196,0	61	136	3,0	6,9	1,2	289,8	184,0	105,8
	Percentil 25%	22,7	22,5	53,9	174,5	43	65	2,1	6,8	0,3	261,5	171,0	81,5
	Percentil 75%	25,6	25,0	115,9	220,5	80	213	3,3	7,0	0,8	291,0	200,0	116,0
	Desvio Padrão	2,1	2,1	49,3	32,8	26,6	88,1	0,9	0,2	1,9	58,3	44,1	45,3

Apesar de ter sido iniciado o acréscimo de lodo séptico nos reatores anaeróbios T1 e T2, a eficiência dos reatores foi maior do que no período de monitoramento, porém não podemos atribuir o acréscimo da eficiência pela inserção do lodo. No período subsequente ao monitoramento, os descartes do lodo e a operação dos reatores sofreram uma adequação e melhoria, que se fizeram notar na sua eficiência.

Aisse (2002) citou valores de 67% e 86% como eficiência de reatores anaeróbios tipo UASB, na remoção da DQO e DBO respectivamente, tratando esgoto doméstico, utilizando a mesma instalação piloto ora utilizada no tratamento combinado.

A Tabela 10 demonstra a eficiência na remoção de DQO nos reatores no monitoramento e no período.

Tabela 10. – Eficiência (%) dos reatores UASB's na remoção de DQO em relação ao período da pesquisa.

Período	UASB T1	UASB T2	UASB T3
Monitoramento	63	62	63
Dosagem	80	73	75

Descarte do Lodo Anaeróbio

Foram realizados seis descartes de lodo dos reatores UASB's. O lodo é descartado através dos 6 registros instalados ao longo da altura dos reatores, iniciando na cota 0m (fundo) intercalados a cada 0,5m até a altura de 2,5m.

Inicialmente foram retirados de 120L de lodo por reator, nas duas primeiras intervenções, porém análises posteriores demonstraram que o volume era insuficiente já que ocorriam perdas de lodo pelo efluente dos reatores, mesmo após as purgas. Foi alterado o volume para 220L com um intervalo entre 20 a 30 dias entre purgas, levando em consideração a quantidade elevada de sólidos sedimentáveis do efluente dos reatores (e.g. 1,0 mL/L). Nos dois últimos descartes, o volume do lodo retirado de cada reator sofreu um novo aumento para 240L. Considerando o volume da área destinada ao armazenamento e digestão do lodo nos reatores, que é de 1,26m³, o lodo descartado correspondeu a 19% do volume do lodo armazenado nos reatores. A Tabela 11. Demonstra os valores do volume descartado e a sua porcentagem em relação ao volume do armazenamento em cada uma das purgas do lodo.



Tabela 11 – Demonstrativo das variações do volume descartado nos reatores UASBs Piloto, ETE Belém.

Descarte	Volume de Lodo Descartado (L)	Lodo Descartado em Relação ao Volume de Armazenamento (%)
1	120	9,5
2	120	9,5
3	220	17,5
4	220	17,5
5	240	19
6	240	19

Monitoramento do Descarte do Lodo Anaeróbio

Na fase de monitoramento foi identificada uma tendência de aumento na concentração de Sólidos Totais (ST) nos reatores T1, T2 e T3 nos Descartes 1 e 2, mesmo não recebendo adição de lodo séptico. Optou-se pelo aumento do volume retirado no descarte seguinte, porém a análise do lodo do Descarte 3 demonstrou o oposto ao verificado anteriormente, vindo até mesmo a diminuir 50% a sua concentração. Após a adição do lodo séptico (Descarte 4 e 5) observou-se um aumento na concentração de ST nos reatores T1 e T2 em relação ao reator T3 (Branco) consolidando essa tendência no Descarte 6 mesmo sem a adição de lodo séptico nas semanas antecedentes. A relação acompanha os dados de Sólidos Voláteis (SV). As Figuras 6 e 7 demonstram a variação da concentração de sólidos dos descartes de lodo.

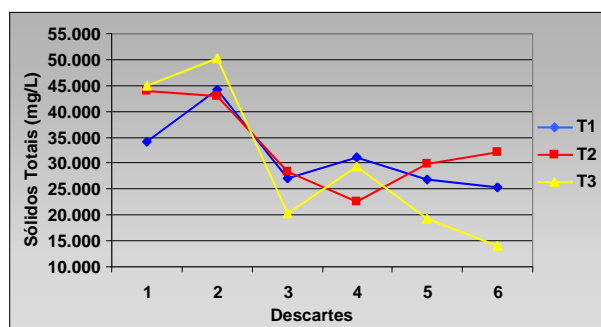


Figura 6 – Concentração média de Sólidos Totais (mg/l) no lodo de descarte dos Reatores UASBs.

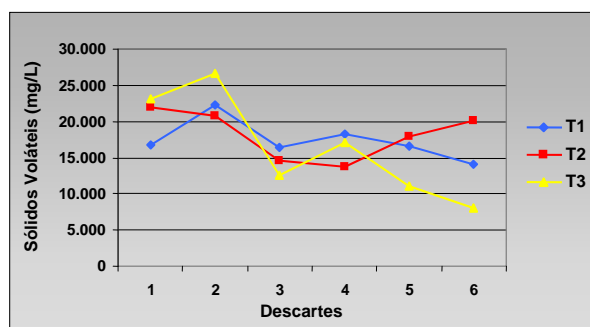


Figura 7 – Concentração média de Sólidos Voláteis (mg/l) no lodo de descarte dos Reatores UASBs.

A relação SV/ST varia entre 0,55 a 0,60, demonstrando a estabilidade do lodo (Figura 8). Quanto ao perfil do lodo ao longo das 6 alturas do reator, todos acompanham a mesma tendência na relação SV/ST nas alturas 1 a 5, variando somente no fundo (altura 6), esta parece deixar a relação mais estável para a mais orgânica ao longo dos descartes. No período dos Descartes 1, 2 e 3, os reatores UASBs lançavam freqüentemente em seu efluente uma quantidade visualmente significativa, ora de forma individual ora concomitante com o outro ou até mesmo os três reatores. Este fato deixou de ser observado com o aumento do volume descartado do lodo a partir do Descarte 3. A relação SV/ST nas diferentes alturas do reator pode ser analisada nas Figuras 9 a 11. A concentração dos sólidos nas diferentes alturas, pode ser verificada nas Figuras 12 a 20.

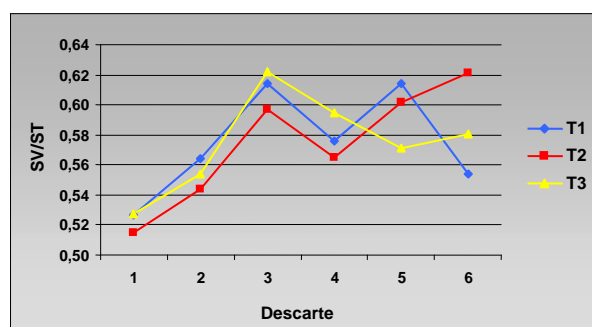


Figura 8 – Relação SV/ST média entre os descartes de lodo dos reatores UASB.

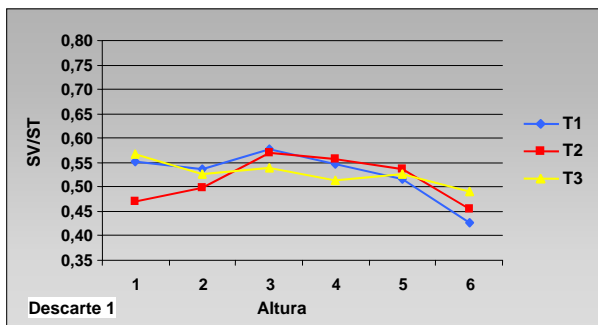


Figura 9 – Relação SV/ST em diferentes alturas dos reatores UASB. Descarte 1. (2,5m)

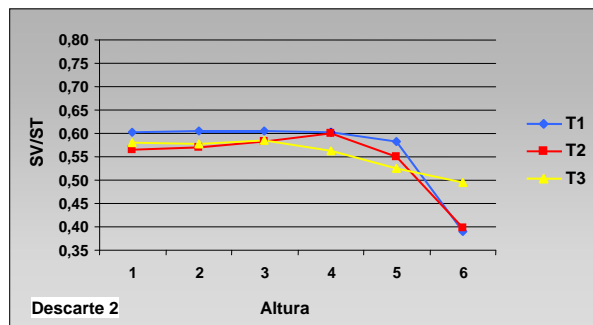


Figura 10 – Relação SV/ST em diferentes alturas dos reatores UASB. Descarte 2. (2,0m)

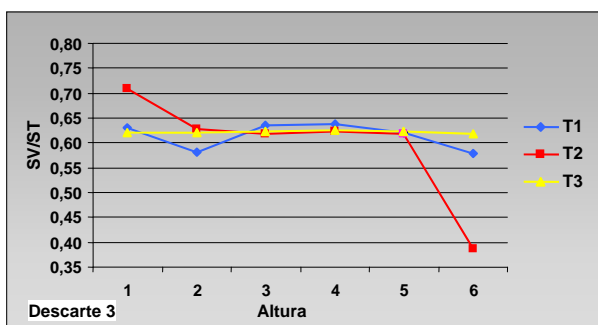


Figura 11 – Relação SV/ST em diferentes alturas dos reatores UASB. Descarte 3. (1,5m)

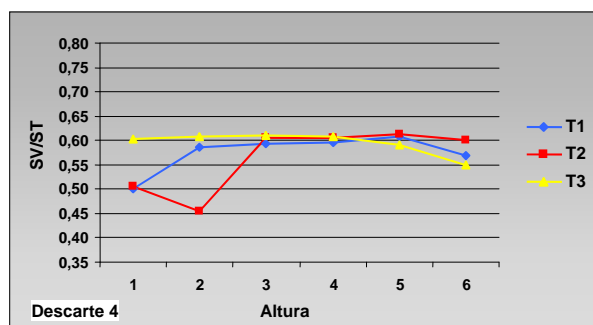


Figura 12 – Relação SV/ST em diferentes alturas dos reatores UASB. Descarte 4. (1,0m)

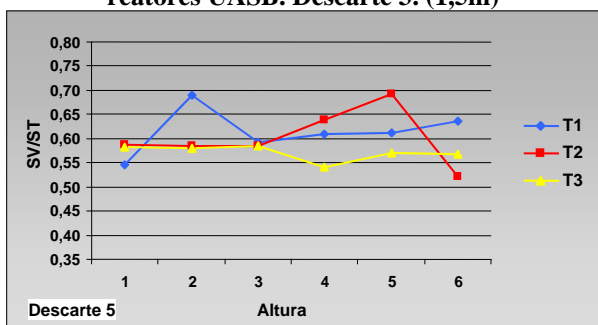


Figura 13 – Relação SV/ST em diferentes alturas dos reatores UASB. Descarte 5. (0,5m)

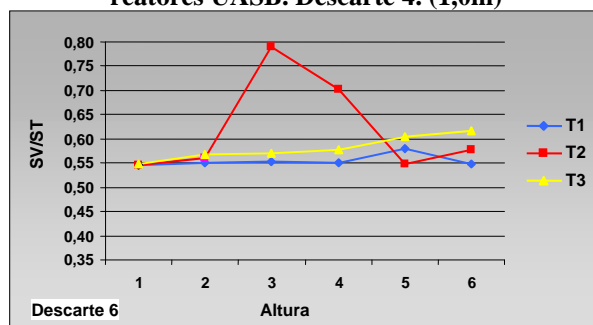


Figura 14 – Relação SV/ST em diferentes alturas dos reatores UASB. Descarte 6. (0,0)

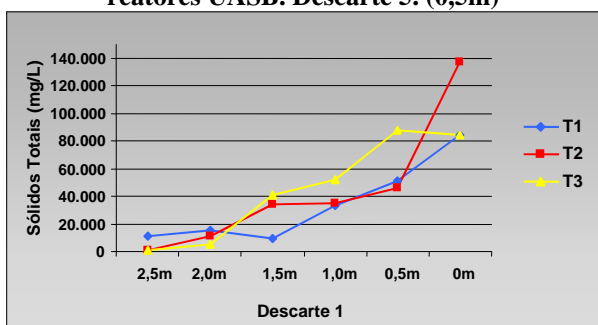


Figura 15 – Relação SV/ST em diferentes alturas dos reatores UASB. Descarte 1. (2,5m)

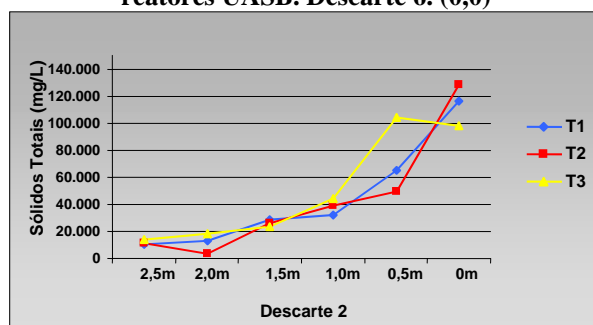


Figura 16 – Relação SV/ST em diferentes alturas dos reatores UASB. Descarte 2. (2,0m)

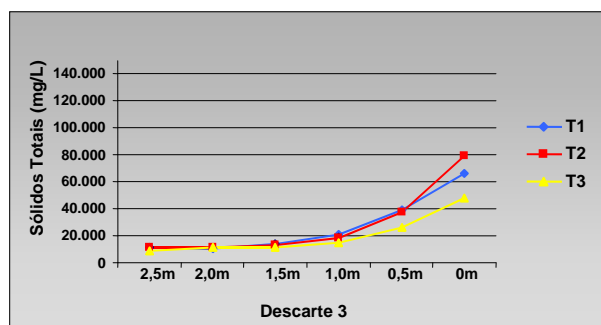


Figura 17 – Relação SV/ST em diferentes alturas dos reatores UASB. Descarte 3. (1,5m)

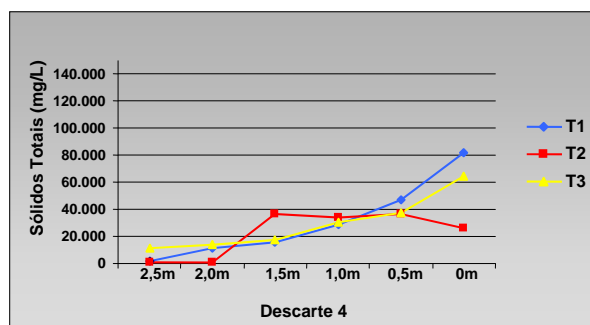


Figura 18 – Relação SV/ST em diferentes alturas dos reatores UASB. Descarte 4. (1,0m)

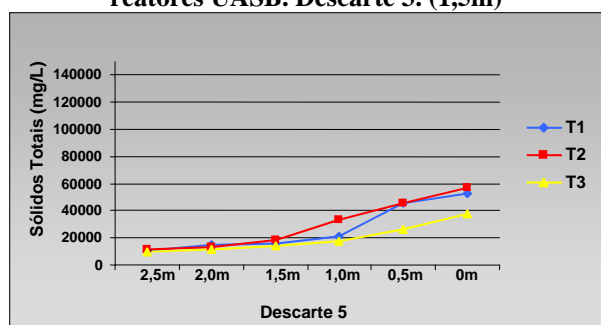


Figura 19 – Relação SV/ST em diferentes alturas dos reatores UASB. Descarte 5. (0,5m)

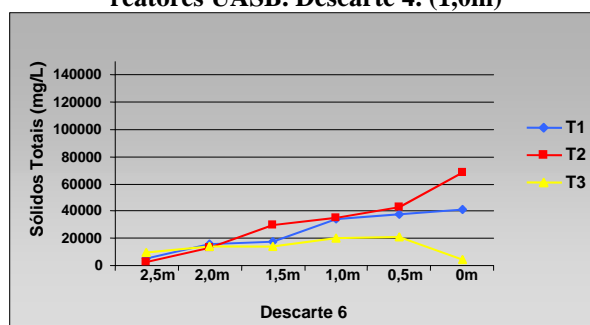


Figura 20 – Relação SV/ST em diferentes alturas dos reatores UASB. Descarte 6. (0,0)

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A adição de lodo de fossa séptica, em quantidades constantes, aos reatores anaeróbio tipo UASB, tratando esgoto sanitário, não afetou o seu desempenho, ao menos nas doses testadas.

Os dados preliminares deste trabalho serviram para estipular os novos valores de dosagem de lodo séptico para a mesma instalação. As variáveis do esgoto devem permanecer as mesmas 250 L/h (6.000 L/dia) de esgoto bruto e o teor de Sólidos Totais de 4.000 mg/L, ficando para a vazão de lodo séptico a função de aumentar a carga nos reatores para averiguar a capacidade de recebimento de lodo séptico em reatores UASBs.

Nas análises de caracterização do lodo, a concentração média dos caminhões é de 12.500 mg ST/L, porém a mediana dos dados indica que, em 50% do tempo, os valores de ST são superiores a 8.300 mg ST/L, as novas Dosagens 2 e 3 atenderiam os valores medianos e superiores do que seria um descarte de lodo séptico em uma estação (Tabela 12).

Tabela 12 : Operação de reatores UASBs tratando esgoto sanitário e lodo de fossa séptica.

Dose	Esgoto					Lodo FS					Relação		
	Q (L/d)	ST (mg/L)	DQO (mg/L)	CST (kg/d)	CDQO (kg/d)	Q (L/d)	ST (mg/L)	DQO (mg/L)	CST (kg/d)	CDQO (kg/d)	Q (%)	CST (%)	CDQO (%)
1	6000	450	575	2,7	3,45	110	4.000	2.280	0,44	0,25	1,8	16,3	7,2
2	6000	450	575	2,7	3,45	250	4.000	2.280	1,00	0,57	4,2	37,0	16,5
3	6000	450	575	2,7	3,45	450	4.000	2.280	1,80	1,00	7,5	66,7	29,0

Recomenda-se para novos trabalhos: a variação gradativa da vazão de lodo séptico, aumentando sua carga, para identificar o ponto máximo de aceitação do lodo nos reatores anaeróbios; o aumento do teor de Sólidos Totais na dosagem do lodo a valores mais próximos a 12.500 mg ST/L; e estudos sobre cargas variáveis de lodo durante o dia, alternado a carga proporcionada pelo hidrograma afluente às ETEs.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PROSAB, através da FINEP e da CEF, as quais fomentaram e viabilizaram esta pesquisa, no âmbito do Edital 5. Ao CNPq pela cessão de bolsa IC, no âmbito do PIBIC. As instituições executoras, pelo apoio emprestado ao longo de todo o trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AISSE, M. M. **Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios**. Tese de Doutorado. EP.USP: São Paulo, 2002.
2. EPA Environmental Protection Agency. **Process Design Manual – Land Application of Sewage Sludge and Domestic Septage**. EPA: USA, 1995. 290p.
3. GODOY, T. G.; PIROTTI, S. M.; SILVA, S. S.; SOUTO, G. A. B.; POVINELLI, J. Efeito da Descarga de caminhões limpa fossa em Estações de Tratamento de Esgoto de pequeno porte. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24. **Anais**. Rio de Janeiro. 2007.
4. HEINSS, U. E STRAUSS, M. **Co-treatment of Faecal Sludge and Wastewater in Tropical Climates. Management of Sludges from On-Site Sanitation**, EAWAG/SANDEC., p.13, 1999.
5. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, Diretoria de Geociências. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD**, 2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2007/>>. Acesso em: 10 fevereiro 2009.
6. KLINGEL, F., MONTANGERO, A., KONÉ, D., STRAUSS, M.. **Faecal Management in Developing Countries – a planning manual**. EAWAG: Suíça, 2002. 55p.
7. XCG CONSULTANTS LTD. **Final report on alkaline stabilization and screening of septage: Ontario field demonstration of lime stabilization**, Ontario Rural Wastewater Centre - University of Guelph, p. 87, 2005.