

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**BÁRBARA ZANICOTTI LEITE ROSS**

**ESCUMA DE REATORES ANAERÓBIOS TRATANDO ESGOTOS DOMÉSTICOS  
EM ESCALA REAL: PRODUÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E PROPOSIÇÃO DE  
PARÂMETROS PARA SEU GERENCIAMENTO**

**CURITIBA**

**2015**

BÁRBARA ZANICOTTI LEITE ROSS

ESCUMA DE REATORES ANAERÓBIOS TRATANDO ESGOTOS DOMÉSTICOS  
EM ESCALA REAL: PRODUÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E PROPOSIÇÃO DE  
PARÂMETROS PARA SEU GERENCIAMENTO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, área de concentração Engenharia Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Miguel Mansur Aisse

Co-orientador: Prof. Dr. Sandro Froehner

CURITIBA

2015

---

R823e

Ross, Bárbara Zanicotti Leite

Escuma de reatores anaeróbicos tratando esgotos domésticos em escala real : produção, caracterização e proposição de parâmetros para seu gerenciamento/ Bárbara Zanicotti Leite Ross. – Curitiba, 2015.  
144 f. : il. color. ; 30 cm.

Tese - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, 2015.

Orientador: Miguel Mansur Aisse – Co-orientador: Sandro Froehner.  
Bibliografia: p. 101-108.

1. Biodigestor. 2. Esgotos - Análise. 3. Lodo de esgoto - Tratamento. I. Universidade Federal do Paraná. II. Aisse, Miguel Mansur. III. Froehner, Sandro. IV. Título.

CDD: 628.354

---

## TERMO DE APROVAÇÃO

**Barbara Zanicotti Leite Ross**

### **“ESCUMA DE REATORES ANAERÓBIOS TRATANDO ESGOTOS DOMÉSTICOS EM ESCALA REAL”**

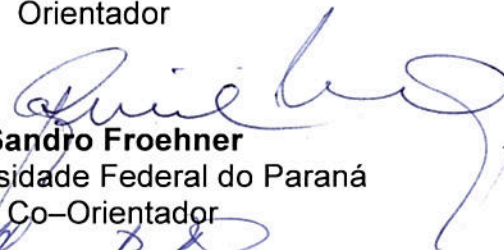
Tese aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos professores:

PRESIDENTE:

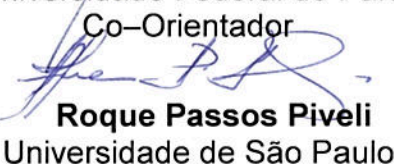


**Miguel Mansur Aisse**  
Universidade Federal do Paraná  
Orientador

MEMBROS:



**Sandro Froehner**  
Universidade Federal do Paraná  
Co-Orientador



**Roque Passos Piveli**  
Universidade de São Paulo



**Carlos Augusto de Lemos Chernicharo**  
Universidade Federal de Minas Gerais



**Urivald Pawlowsky**  
Universidade Federal do Paraná



**Juan Sanez**  
Universidade Federal do Paraná

**Curitiba, 14 de agosto de 2015.**

*“O que eu faço pelo meio ambiente, é uma gota no meio de um oceano. Mas sem ela, o oceano seria menor.”*

*Madre Tereza de Calcutá*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho, sendo através do fornecimento de informações técnicas, coletas em campo, ou mesmo de uma palavra amiga nos momentos mais difíceis e risadas nos dias de calma. Deixo, também, um agradecimento especial aos que seguem:

Ao meu orientador Prof. Dr. Miguel Mansur Aisse, por ter me acompanhado nesta caminhada que começou nas aulas de graduação, prolongando-se para os projetos de iniciação científica, bolsas do PROSAB, CNPQ, CAPES e será concluída agora com a tese de doutorado. Sempre trazendo uma palavra amiga e de confiança para o bom andamento de nossos projetos.

Aos professores da banca e ao meu co-orientador Prof. Dr. Sandro Froehner pela dedicação, valiosas contribuições, orientações e questionamentos que enriqueceram este trabalho desde seu início.

Aos colegas da APD/Sanepar em especial a Fernanda Janaína Oliveira Gomes da Costa, Charles Carneiro, Bruna Rangel e Karina Kriguel que estiveram muito próximos e contribuíram diretamente para a execução das pesquisas. Além deles, aos demais colegas da área e todos os operadores, técnicos, gestores, coordenadores e gerentes da Sanepar que me auxiliaram de alguma forma no desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas da URG/Sanepar, pelo apoio nas coletas e monitoramento de diversas fases do experimento, me especial a Clodoaldo José Marques, Marcia Mendes Costa Guareski, Dora Roberta de Arruda Bender e Edegar Morando.

A UFPR e ao PPGERHA, seus alunos, professores e colaboradores, sobretudo aos professores Cristóvão Vicente Scapulatempo Fernandes e Tobias Bleninger pela seriedade e excelente trabalho que vêm desenvolvendo na coordenação do nosso grupo. A CAPES pela cessão de bolsa no período de novembro de 2014 a fevereiro de 2015.

Aos meus irmãos Sauro, Fernanda e Roberta pelo carinho, companheirismo, apoio e sobretudo, pelos momentos divertidos que passamos juntos que aliviaram o peso dos dias de estudo.

Aos Avós do Fernando: meus pais Sauro e Carmem e meus sogros Lourival e Tereza, por cuidarem do meu maior tesouro permitindo que eu me dedicasse e concentrasse neste trabalho.

Aos meus amores Augusto e Fernando por encherem meus dias de alegrias, acreditarem no meu potencial e incentivarem meu crescimento profissional.

Enfim, agradeço a Deus por ter colocado as pessoas certas no meu caminho, fazendo com que o mesmo fosse trilhado com maior êxito e facilidade.

## RESUMO

ROSS, B.Z.L.. Escuma de reatores anaeróbios tratando esgotos domésticos em escala real: produção, caracterização e proposição de parâmetros para seu gerenciamento. 163 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

Uma tecnologia bastante empregada para o tratamento de esgotos domésticos é o reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) que possui como principal vantagem o fato de não consumir energia elétrica para a sua operação, porém, apresenta limitações quanto ao atendimento dos padrões de lançamento, geração de odor e formação de espuma. O acúmulo de espuma na superfície de reatores UASB pode prejudicar o desempenho do sistema de diversas formas e faltam informações sobre sua problemática em reatores em escala real. O trabalho foi iniciado através do diagnóstico de 203 ETEs (Estações de Tratamento de Esgotos) operadas pela Sanepar no estado do Paraná, das quais 96,10 % usam o reator anaeróbio como principal unidade de tratamento, nestas a vazão total de esgoto doméstico tratada é de 29.797 m<sup>3</sup>/h. Foi realizada a caracterização da espuma em três ETEs do estado, parâmetros como ST, STF, STV, pH, DQO, DBO, O&G, carbono orgânico, P, N-Kjeldahl, N-amoniaco, N-nitrato, N-nitrito, S, Ca, Mg, K, Na, espécies inorgânicas (As, Ba, Cd, Cr, Pb, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Se e Zn), coliformes termotolerantes, *Salmonella spp.*, ovos de helmintos e os potenciais caloríficos foram determinados. Durante todo o estudo, percebeu-se que a composição da espuma era muito semelhante ao lodo produzido pelas ETEs avaliadas. Para determinação da quantidade de espuma produzida em reatores em escala real, foram adaptados coletores de PVC na superfície dos reatores, encontrando-se taxas de produção de espuma de 4,82 a 105,33 gST/kg DQO aplicada. A amplitude destes resultados deve-se ao fato dos projetos do UASB, as eficiências de remoção de DQO, às localidades e às condições de operação serem diferenciadas. Na ETE Vassoural, em Guarapuava, foi possível submeter cada um de seus três reatores UASB a condições distintas de operação, assim foi realizada uma variação da velocidade ascensional e no nível de lodo no interior dos reatores. O reator que funcionou com velocidade ascensional inferior (0,46 m/h) formou 3 vezes mais espuma na área de decantação e 4,8 vezes mais espuma no IST e o reator que sofreu retiradas de lodo de esgoto a cada três dias produziu 2 vezes menos espuma na área de decantação e 4,5 vezes menos no IST. O desaguamento de espuma em leitos de secagem foi realizado em duas ETEs, a taxa de aplicação de sólidos para a espuma variou de 5,63 a 27,18 kg de ST/m<sup>2</sup> e, a partir dos resultados obtidos, entende-se que valores superiores a 7,8 kg de ST/m<sup>2</sup> não sejam recomendados. Foram realizadas três misturas em proporções diferentes de espuma com lodo de esgoto, previamente desaguados, e avaliados os parâmetros físico-químicos e microbiológicos das misturas. Não foram observadas variações significativas (P<sub>0,05</sub>) entre as médias, indicando que a inclusão de espuma em lodo de esgoto é viável em até 50% de peso seco. Observou-se uma taxa de redução do teor de O&G de 1,17 g/kg.dia para espuma acumulada na superfície dos reatores.

Palavras-chave: espuma, reator UASB, RALF, esgoto doméstico.

## ABSTRACT

ROSS, B.Z.L.. Escuma de reatores anaeróbios tratando esgotos domésticos em escala real: produção, caracterização e proposição de parâmetros para seu gerenciamento 163 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

The UASB reactor (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) is widely used technology for domestic wastewater treatment. The low electricity consumption is one of its advantages. However, there are some problems with discharge standards parameters, odour generation and scum formation. The scum formation in UASB surface can decrease the performance. Even the system is well recognized for sewage treatment, there is a lack of understanding studies considering full-scale reactors in attempt to reduce the scum formation. In the first part of this work, 203 wastewater treatment plant (WWTP) operated by Sanepar, in Paraná state, Brazil have been diagnosticated, which 96.10% use the anaerobic reactor as the main processing unit, these total flow of treated sewage is 29,797 m<sup>3</sup>/h. In order to characterize the scum, the following parameters were analyzed: ST, STF, STV, pH, COD, BOD, O&G, organic carbon, P, N-Kjeldahl, ammonia-N, N-nitrate, N-nitrite, S, Ca, Mg, K, Na, inorganic parameters (As, Ba, Cd, Cr, Pb, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Se and Zn), coliforms, Salmonella spp., helminth eggs and calorific potential. It was observed that the scum composition was roughly similar to the sludge produced in the studied WWTP. To measure the amount of scum formed in full scale reactors, pipes of PVC on the surface of the reactors were arranged, finding rates from 4.82 to 105.33 gST/kg COD applied. The pronounced variation in those results might be due the different projects in UASB construction and operation conditions. For example, the WWTP Vassoural in Guarapuava, it was possible to operate each of three UASB reactors in different conditions, thus a variation in the upflow velocity and sludge level in the reactor was tested. The reactor operated with 0.46 m/h as upflow velocity formed 3 times more scum in settler compartment and 4.8 times in the gas chamber, while the reactor, which sludge was removed every three days formed 2 times less scum in settler compartment and 4.5 times less in the gas chamber. The scum dewatering in drying beds was carried out in two WWTP, scum solid application rate ranged from 5.63 to 27.18 kg ST/m<sup>2</sup>. The results showed that values of ST higher 7.78 kg/m<sup>2</sup> are not recommended. Three different proportions mixtures scum with sewage sludge previous dewatered were tested, was not observed significant variances evaluated in values of the physical, chemical and microbiological parameters (P0.05), indicating that the inclusion of scum sewage sludge is feasible up to 50% of dry weight. A decrease in oil and grease content was observed (1.17 g/kg.day) in scum surface layer.

Keywords: scum, UASB reactor, RALF, domestic wastewater.



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 - CONVERSÃO BIOLÓGICA NOS PROCESSOS AERÓBIOS E ANAERÓBIOS NO TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO .....	7
FIGURA 3.2 - EXEMPLOS DE POSSÍVEIS ARRANJOS ENTRE AS DIVERSAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS EMPREGANDO REATORES UASB .....	8
FIGURA 3.3 - DISTRIBUIÇÃO DAS TECNOLOGIAS UTILIZADAS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS POR NÚMERO DE PLANTAS NA AMÉRICA LATINA E CARIBE .....	9
FIGURA 3.4 – PRIMEIROS REATORES ANAERÓBIOS DO PARANÁ, a) RALF PIRAÍ DO SUL E b) RALF CAIÇARAS DE 1983 E c) RALF ITATIAIA DE 1985.....	11
FIGURA 3.5 - EXEMPLO DE REATORES ANAERÓBIOS DE FLUXO ASCENDENTE E MANTO DE LODO. a) MODELO RALF, TRONCO CÔNICO, b) MODELO UASB, PARALELEPÍDICO, COM VISTA DA TUBULAÇÃO DE DESCARGA DE LODO E c) MODELO UASB, PARALELEPÍDICO, COM VISTA DA TUBULAÇÃO DE DESCARGA DE ESCUMA .....	14
FIGURA 3.6 - REATORES ANAERÓBIOS DE TERCEIRA GERAÇÃO .....	15
FIGURA 3.7 - ÁREAS EM QUE PODEM SER FEITAS MELHORIAS NAS ETES QUE OPERAM UTILIZANDO A TECNOLOGIA UASB.....	16
FIGURA 3.8 - NÚMERO DE TRABALHOS RELACIONADOS AO TEMA ESCUMA E MEMBRANAS FILTRANTES EM CONGRESSOS NO PERÍODO DE 2003 A 2013 .	19
FIGURA 3.9 - NÚMERO DE TRABALHOS RELACIONADOS AO TEMA ESCUMA E MEMBRANAS FILTRANTES EM PORTAIS DE PERIÓDICOS CIENTÍFICOS NO PERÍODO DE 2003 A 2013.....	20
FIGURA 3.10 - ESCUMA ESVERDEADA NA SUPERFÍCIE DE REATOR TIPO UASB ABERTO.....	22
FIGURA 3.11 - ESCUMA ACUMULADA NA SUPERFÍCIE DO DECANTADOR DO REATOR TIPO UASB EM DIVERSAS ETES DA RMC .....	23
FIGURA 3.12 - CORTE ESQUEMÁTICO DE REATORES UASB GEMINADOS (R1 E R2) E VISUALIZAÇÃO DAS ESCUMAS ACUMULADAS .....	24
FIGURA 3.13 - MICROSCOPIA DE CONTRASTE DE FASE DA ESCUMA ESVERDEADA. (a) FILAMENTOS DE BEGGIATOIA COM GRÂNULOS REFRINGENTES E CIANOBACTÉRIAS. (b) BACILOS GRANDES COM GRÂNULOS INTERNOS. (c) AGLOMERADO DE BACILOS. AUMENTO DE 1000x28	
FIGURA 3.14 - MICROSCOPIA DE CAMPO CLARO DA ESCUMA ESVERDEADA. (a) FILAMENTOS DE CIANOBACTÉRIAS, AUMENTO 400X. (b) MICRORGANISMOS FLAGELADOS SIMILARES AOS GÊNEROS	

*CHLAMYDOMONAS* (CÉLULA MENOR) E *EUGLENA* (CÉLULA MAIOR), AUMENTO DE 1000X. (c) DIATOMÁCEAS COM CLOROPLASTO MARROM, AUMENTO 1000x..... 28

FIGURA 3.15 - MICROSCOPIA DE CONTRASTE DE FASE DA ESCUMA ACINZENTADA. (a) (b) BACILOS E FILAMENTOS COM GRÂNULOS INTERNOS. (c) BACILOS AGLOMERADOS. AUMENTO DE 1000x..... 29

FIGURA 3.16 - EXEMPLOS DE OPERAÇÃO DE RETIRADA DE ESCUMA PRATICADAS NO ESTADO DO PARANÁ..... 31

FIGURA 3.17 - MECANISMOS DE REMOÇÃO DE ESCUMA PRATICADOS NO BRASIL: a) SISTEMA DE JATOS DE ÁGUA EM CIMA DAS CAMPÂNULAS DE GÁS DA ETE MATÃO (SP), b) COMPORTA PARA REMOÇÃO DE ESCUMA DO UASB DA ETE MATÃO (SP), c) CALHA DE REMOÇÃO DE ESCUMA NA ETE ONÇA (MG) E d) ABERTURA DE INSPEÇÃO DO DISPOSITIVO DE REMOÇÃO DE ESCUMA DA ETE ONÇA (MG)..... 32

FIGURA 3.18 - SISTEMA DE REMOÇÃO DE ESCUMA DO IST: (a) FLUXOGRAMA ESQUEMÁTICO DAS LINHAS DE GÁS E ESCUMA; (b) VISÃO DA LINHA DE ESCUMA E VÁLVULAS; (c) VISÃO DA PENEIRA ESTÁTICA E LEITO DE SECAGEM..... 33

FIGURA 3.19 - PENEIRAS HIDROSTÁTICAS PARA REMOÇÃO DE ÓLEOS E GRAXAS E MATERIAIS SUSPENSOS DO ESGOTO AFLUENTE À ETE: a) VISTA GERAL; b) ESQUEMA DE SEPARAÇÃO NO INTERIOR DA PENEIRA..... 34

FIGURA 3.20 - CORTE ESQUEMÁTICO DE LEITO DE SECAGEM ..... 36

FIGURA 3.21 - ESQUEMA DO PROCESSO DE DESAGUAMENTO DE LODO EM LEITO DE SECAGEM..... 36

FIGURA 4.1 - IMAGEM SATÉLITE DA ETE ATUBA SUL ..... 38

FIGURA 4.2 - IMAGEM SATÉLITE DA ETE PADILHA SUL, a) VISTA GERAL E b) VISTA APROXIMADA ..... 39

FIGURA 4.3 - IMAGEM SATÉLITE DA ETE VASSOURAL EM OBRAS ..... 40

FIGURA 4.4 - FOTOGRAFIA DO MEDIDOR DE ESPESSURA DA CAMADA DE ESCUMA EM PVC..... 45

FIGURA 4.5 - APARATO PARA DETERMINAÇÃO DA GERAÇÃO DE ESCUMA NA SUPERFÍCIE DO DECANTADOR DE REATOR TIPO UASB: a) VISTA TOTAL, b) VISTA APROXIMADA E c) VISTA INSERIDO NO REATOR (OUTUBRO, 2012)..... 46

FIGURA 4.6 - COLETA DE ESCUMA COM ESCUMADEIRA PARA DETERMINAÇÃO DO VOLUME GERADO (OUTUBRO, 2012)..... 47

FIGURA 4.7 - DESAGUAMENTO DE ESCUMA E DE LODO DE ESGOTO EM LEITO DE SECAGEM, ETE VASSOURAL, GUARAPUAVA (JUNHO, 2013)..... 51

FIGURA 4.8 - MODIFICAÇÃO NO LEITO DE SECAGEM PARA RECEBIMENTO DE ESCUMA, ETE MENINO DEUS (RMC) (ABRIL, 2014).....	52
FIGURA 4.9 - ETAPAS NO PREENCHIMENTO DOS LEITOS DE SECAGEM DE ESCUMA E LODO DE ESGOTO, ETE MENINO DEUS (RMC) (ABRIL, 2014) .....	53
FIGURA 4.10 - DISTRIBUIÇÃO FINAL DOS LOTES NOS LEITOS DE SECAGEM DE ESCUMA E LODO DE ESGOTO, ETE MENINO DEUS (RMC) (ABRIL, 2014) ..	54
FIGURA 4.11 - PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL PARA AVALIAÇÃO A INTERFERÊNCIA DA MISTURA DE ESCUMA EM LODO DE ESGOTO. ....	56
FIGURA 4.12 - ETAPAS DO EXPERIMENTO DE INCORPORAÇÃO DE ESCUMA EM LODO DE ESGOTO (SETEMBRO, 2013) .....	57
FIGURA 4.13 - ARMAZENAMENTO DE AMOSTRAS DE ESCUMA PARA AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE ÓLEOS E GRAXAS: a) AMOSTRAS PROVENIENTES DO IST, PROTEGIDAS DA CHUVA E DO SOL, b) AMOSTRAS PROVENIENTES DA ÁREA DE DECANTAÇÃO PROTEGIDAS DA CHUVA (AGOSTO, 2014).....	58
FIGURA 5.1 - TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO UTILIZADAS PELAS ETES OPERADAS PELA SANEPAR.....	60
FIGURA 5.2 - FREQUÊNCIA DE RETIRADA DE ESCUMA NOS REATORES ANAERÓBIOS.....	61
FIGURA 5.3 - DESTINO DADO A ESCUMA PRODUZIDA NOS REATORES ANAERÓBIOS.....	62
FIGURA 5.4 - RELAÇÃO ENTRE A PRODUÇÃO DE ESCUMA (ST ACUMULADOS) E A CARGA ORGÂNICA APLICADA (DQO APLICADA) NAS ETES ATUBA SUL (a) E PADILHA SUL (b) COM GRADEAMENTO DE 15 MM E (c) PADILHA SUL COM GRADEAMENTO DE 3 MM. ....	71
FIGURA 5.5 - MAPA TEMÁTICO DA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO SISTEMA COLETOR DE ESGOTOS DE CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA, DESTACANDO AS ÁREAS REFERENTES AS ETES ATUBA SUL E PADILHA SUL .....	72
FIGURA 5.6 - DIFERENÇAS ENTRE OS REATORES TIPO UASB TRADICIONAL E O MODIFICADO UTILIZADOS NA PESQUISA.....	73
FIGURA 5.7 - DIFERENÇA NO ASPECTO VISUAL DA ESCUMA ACUMULADA NO COMPARTIMENTO DE DECANTAÇÃO E IST DA ETE VASSOURAL (GUARAPUAVA) (JUNHO 2013).....	81
FIGURA 5.8 - TEOR DE SÓLIDOS DE LODO DE ESGOTO (a) E DE ESCUMA (b) EM DESAGUAMENTO EM LEITO DE SECAGEM, ETE VASSOURAL (GUARAPUAVA).....	82
FIGURA 5.9 - RELAÇÃO STV/ST DE LODO DE ESGOTO (a) E DE ESCUMA (b) EM	

DESAGUAMENTO EM LEITO DE SECAGEM, ETE VASSOURAL (GUARAPUAVA) .....	83
FIGURA 5.10 – DIFERENCIAÇÃO NAS CAMADAS DE ESCUMA EM LEITO DE SECAGEM (MAIO, 2014) .....	84
FIGURA 5.11 - VARIAÇÃO DE TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS EM FUNÇÃO DO TEMPO E PLUVIOSIDADE EM ESCUMA E LODO DE ESGOTO DURANTE DESAGUAMENTO DE 36 DIAS (a) VALORES GERAIS E (b) MÉDIAS NA ETE MENINO DEUS (RMC).....	85
FIGURA 5.12 - VARIAÇÃO DE TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS, FIXOS E VOLÁTEIS EM ESCUMA E LODO DE ESGOTO DURANTE DESAGUAMENTO DE 36 DIAS (a) VALORES GERAIS E (b) MÉDIAS NA ETE MENINO DEUS (RMC).....	87
FIGURA 5.13 - INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE ESCUMA EM LODO DE ESGOTO EM (a) PARA $C_{org}$ , $P_t$ e S; E EM (b) PARA K, Ca, Na e Mg.....	89
FIGURA 5.14 - COMPORTAMENTO DE N EM RELAÇÃO À ADIÇÃO DE ESCUMA EM LODO DE ESGOTO .....	90
FIGURA 5.15 - IMPACTO DA ADIÇÃO DE ESCUMA EM LODO DE ESGOTO PARA (a) COLIFORMES TERMOTOLERANTES, OVOS VIÁVEIS DE HELMINTOS E SALMONELLA spp E, (b) SÓLIDOS TOTAIS, FIXOS E VOLÁTEIS.....	90
FIGURA 5.16 - IMPACTO DA ADIÇÃO DE ESCUMA EM LODO DE ESGOTO (a) Pb, Cr, Ni e Zn (b) Cd e Cu .....	91
FIGURA 5.17 - IMPACTO DA ADIÇÃO DE ESCUMA EM LODO DE ESGOTO (a) ÓLEOS E GRAXAS (b) PODER CALORÍFICO SUPERIOR E INFERIOR .....	92
FIGURA 5.18 – AVALIAÇÃO DO DECAIMENTO DO TEOR DE ÓLEOS E GRAXAS PARA ESCUMA, a) DO DECANTADOR E b) DO IST .....	94
FIGURA 5.19 – AVALIAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS, VOLÁTEIS E FIXOS PARA ESCUMA a, b, c) DO DECANTADOR E d, e, f) DO IST .....	95
FIGURA 5.20 – ALTERAÇÃO NO VOLUME TOTAL DAS AMOSTRAS DE ESCUMA .....	97

## LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS ESGOTOS SANITÁRIOS .....	4
TABELA 3.2 - VALORES TÍPICOS DE PARÂMETROS DE CONCENTRAÇÃO NO ESGOTO DOMÉSTICO .....	5
TABELA 3.3 - EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO DE ALGUNS POLUENTES DOS PRINCIPAIS SISTEMAS USADOS PARA TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS .....	8
TABELA 3.4 - PARÂMETROS RECOMENDADOS PARA O CONTROLE DE REATORES ANAERÓBIOS COM A RESPECTIVA FREQUÊNCIA DE AVALIAÇÃO	17
TABELA 3.5 - TAXAS DE FORMAÇÃO DE ESCUMA SEGUNDO VÁRIOS AUTORES BRASILEIROS. ....	26
TABELA 3.6 - DADOS DE PRODUÇÃO TEÓRICA DE LODO E DE ESCUMA EM UASB .....	35
TABELA 4.1 - CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DAS ETES ESCOLHIDAS PARA O ESTUDO .....	40
TABELA 4.2 - ESCUMA E ÁREAS TEMÁTICAS RELACIONADAS NO DIAGNÓSTICO .....	41
TABELA 4.3 - ANÁLISES REALIZADAS PARA CARACTERIZAÇÃO DA ESCUMA COM RESPECTIVAS METODOLOGIAS .....	42
TABELA 4.4 – DELINEAMENTO DA AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA VELOCIDADE ASCENSIONAL NA PRODUÇÃO DE ESCUMA (ETE VASSOURAL).....	48
TABELA 4.5 - ESQUEMA DE RETIRADA DE LODO DE ESGOTO DE REATOR UASB PARA AVALIAÇÃO DO IMPACTO NA PRODUÇÃO DE ESCUMA.....	49
TABELA 4.6 - PARÂMETROS A SEREM AVALIADOS PARA INCORPORAÇÃO DE ESCUMA EM LODO DE ESGOTO .....	55
TABELA 5.1 - NÚMERO DE ETES POR UNIDADE REGIONAL DA SANEPAR NO PARANÁ.....	59
TABELA 5.2 - SISTEMA DE TRATAMENTO PRELIMINAR UTILIZADO PELAS ETES .....	61
TABELA 5.3 - RESULTADOS PRELIMINARES DE AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA NA ESCUMA COLETADA NAS ETES ATUBA SUL E PADILHA SUL (RMC) E DA ETE VASSOURAL (GUARAPUAVA) .....	64
TABELA 5.4 - RESULTADOS DE AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA NA ESCUMA COLETADA NAS ETES ATUBA SUL E PADILHA SUL (RMC) E DA ETE VASSOURAL(GUARAPUAVA).....	65

TABELA 5.5 - RESULTADOS DE AVALIAÇÃO DE TEORES PARA ALGUNS ELEMENTOS QUÍMICOS NUTRIENTES NA ESCUMA COLETADA NAS ETES ATUBA SUL E PADILHA SUL (RMC) E DA ETE VASSOURAL (GUARAPUAVA).....	66
TABELA 5.6 - RESULTADOS DE AVALIAÇÃO DE ESPÉCIES INORGÂNICAS NA ESCUMA COLETADA NAS ETES ATUBA SUL E PADILHA SUL (RMC) E DA ETE VASSOURAL(GUARAPUAVA) .....	67
TABELA 5.7 - RESULTADOS DE AVALIAÇÃO DE POTENCIAL CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) E INFERIOR (PCI) NA ESCUMA COLETADA NAS ETES ATUBA SUL E PADILHA SUL (RMC) E DA ETE VASSOURAL (GUARAPUAVA) .....	68
TABELA 5.8 - COMPARATIVO ENTRE O NÚMERO DE CAÇAMBAS CONTENDO RESÍDUOS DO GRADEAMENTO NA ETE PADILHA SUL, APÓS A SUBSTITUIÇÃO DO GRADEAMENTO MECANIZADO DE 15 MM PELO PENEIRAMENTO DE 3 MM .....	69
TABELA 5.9 - SÍNTESE DOS RESULTADOS E COMPARAÇÃO COM A LITERATURA DOS COEFICIENTES DE PRODUÇÃO DE ESCUMA NAS ETES ATUBA SUL E PADILHA SUL, COM GRADEAMENTO DE 15 MM E PENEIRAMENTO DE 3 MM .....	70
TABELA 5.10 – RESULTADOS MÉDIOS DE EFICIÊNCIA DOS REATORES UASB DA ETE VASSOURAL, OPERANDO COM DIFERENTES VELOCIDADES ASCENSIONAIS .....	74
TABELA 5.11 – RESULTADOS MÉDIOS DE PRODUÇÃO DE ESCUMA DOS REATORES UASB DA ETE VASSOURAL, OPERANDO COM DIFERENTES VELOCIDADES ASCENSIONAIS.....	75
TABELA 5.12 – RESULTADOS DE SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS (ml/L) DOS REATORES UASB DA ETE VASSOURAL, OPERANDO COM DIFERENTES VELOCIDADES ASCENSIONAIS.....	76
TABELA 5.13 – FREQUÊNCIA DE RETIRADA DE LODO DOS REATORES UASB DA ETE VASSOURAL .....	76
TABELA 5.14 – RESULTADOS MÉDIOS DE EFICIÊNCIA DOS REATORES UASB DA ETE VASSOURAL, OPERANDO COM DIFERENTES RETIRADAS DE LODO. 77	
TABELA 5.15 – RESULTADOS MÉDIOS DE PRODUÇÃO DE ESCUMA DOS REATORES UASB DA ETE VASSOURAL, OPERANDO COM DIFERENTES RETIRADAS DE LODO .....	78
TABELA 5.16 – RESULTADOS DE SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS DOS REATORES UASB DA ETE VASSOURAL, OPERANDO COM DIFERENTES RETIRADAS DE LODO.....	78
TABELA 5.17 – SÍNTESE DOS RESULTADOS E COMPARAÇÃO COM A LITERATURA DOS COEFICIENTES DE PRODUÇÃO DE ESCUMA NAS ETES ATUBA SUL, PADILHA SUL E VASSOURAL.....	79

TABELA 5.18 - DESEMPENHO DO DESAGUAMENTO DE ESCUMA EM FUNÇÃO DA PLUVIOSIDADE NO PERÍODO DE CADA DESCARGA, ETE VASSOURAL (GUARAPUAVA).....	81
TABELA 5.19 - VARIAÇÃO DE TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS, FIXOS E VOLÁTEIS EM ESCUMA E LODO DE ESGOTO DURANTE DESAGUAMENTO DE 36 DIAS NA ETE MENINO DEUS (RMC).....	86
TABELA 5.20 - COMPARATIVO ENTRE O DESAGUAMENTO DE ESCUMA E LODO DE ESGOTO NAS ETES MENINO DEUS (RMC) E VASSOURAL (GUARAPUAVA)	88
TABELA 5.21 – TEORES MÉDIOS DE ST, STV, STF E ÓLEOS E GRAXAS EM ESCUMA ARMAZENADA .....	93
TABELA 5.22 – ALTURAS E VOLUMES MÉDIOS EM ESCUMA ARMAZENADA ....	96

## LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais  
Corg – Carbono Orgânico  
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio  
dp – Desvio padrão  
DQO – Demanda Química de Oxigênio  
 $E_{DQO}$  – Eficiência em remoção de DQO  
 $E_{O\&G}$  – Eficiência em Remoção de O&G  
ETE – Estação de Tratamento de Esgoto  
FAD – Flotação por Ar Dissolvido  
FS + FA – Fossa Séptica seguida de Filtro Anaeróbio  
IST – Interior do separador trifásico  
LA – Lodos Ativados  
LAN+LF – Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa  
LF – Lagoa Facultativa  
NMP – Número Mais Provável  
O&G – Óleos e Graxas  
OD – Oxigênio Dissolvido  
PCI – Poder Calorífico Inferior  
PCS – Poder Calorífico Superior  
pH – Potencial Hidrogeniônico  
PVC – Policloreto de polivinila  
Q - Vazão  
RALF – Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado  
RMC – Região Metropolitana de Curitiba  
SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo  
SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná  
SES – Sistema de Esgotamento Sanitário  
SSed – Sólidos Sedimentáveis  
SST – Sólidos Suspensos Totais  
ST – Sólidos Totais  
STF – Sólidos Totais Fixos



STV – Sólidos Totais Voláteis  
TDH – Tempo de Detenção Hidráulico  
UASB – *Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*  
UASB + POS = UASB seguido de pós-tratamento  
UFC – Unidades Formadoras de Colônia  
UR – Unidade Regional  
URAP – Unidade Regional de Apucarana  
URAR – Unidade Regional de Araçongas  
URCA – Unidade Regional de Cascavel  
URCM – Unidade Regional de Campo Mourão  
URCP – Unidade Regional de Cornélio Procópio  
URFB – Unidade Regional de Francisco Beltrão  
URFI – Unidade Regional de Foz do Iguaçu  
URGA – Unidade Regional de Guarapuava  
URLI – Unidade Regional do Litoral  
URMA – Unidade Regional de Maringá  
URPB – Unidade Regional de Pato Branco  
URPG – Unidade Regional de Ponta Grossa  
URPV – Unidade Regional de Paranavaí  
URSP – Unidade Regional de Santo Antônio da Platina  
URTB – Unidade Regional de Telêmaco Borba  
URTO – Unidade Regional de Toledo  
URUM – Unidade Regional de Umuarama  
URUV – Unidade Regional de União da Vitória  
USEG – Unidade de Serviços de Esgoto  
USIDLD – Unidade de Serviço Industrial de Londrina  
Vasc – Velocidade ascensional

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	1
1.1.	RELEVÂNCIA .....	2
2.	OBJETIVOS .....	3
2.1.	OBJETIVO GERAL .....	3
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
3.	REVISÃO DE LITERATURA .....	4
3.1.	CARACTERIZAÇÃO DOS ESGOTOS SANITÁRIOS .....	4
3.2.	TRATAMENTO DE EFLUENTES .....	6
3.2.1.	Tratamento de efluentes domésticos em reatores de manto de lodo.....	10
3.2.2.	Considerações sobre o projeto de reatores anaeróbios.....	13
3.2.3.	Parâmetros de controle da digestão anaeróbia.....	16
3.3.	EFLUENTES COM ALTA CONCENTRAÇÃO DE LIPÍDEOS.....	18
3.4.	PROBLEMÁTICA DA ESCUMA .....	19
3.4.1.	Fatores que influenciam na formação da espuma.....	24
3.4.2.	Quantidade de espuma gerada.....	26
3.4.3.	Características da espuma.....	26
3.5.	GERENCIAMENTO DA ESCUMA .....	29
3.5.1.	Remoção da espuma .....	30
3.6.	FORMAS DE DEGRADAÇÃO DA ESCUMA .....	33
3.7.	DESAGUAMENTO DE ESCUMA .....	34
3.8.	POSSIBILIDADES DE USO E DESTINO FINAL DA ESCUMA .....	37
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
4.1.	DIAGNÓSTICO SOBRE A PROBLEMÁTICA DA ESCUMA NAS ETES OPERADAS PELA SANEPAR NO PARANÁ.....	40
4.2.	CARACTERIZAÇÃO E ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DA ESCUMA EM REATOR TIPO UASB EM ESCALA REAL.....	41
4.2.1.	Determinação da composição.....	41
4.2.2.	Produção e acúmulo de espuma em reator tipo UASB .....	45
4.3.	AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO DE ESCUMA COM VARIAÇÃO DA VELOCIDADE ASCENSIONAL DO ESGOTO BRUTO E A FREQUÊNCIA DE RETIRADA DE LODO.....	47
4.3.1.	Avaliação da geração de espuma em função da variação da velocidade ascensional .....	47
4.3.2.	Avaliação da geração de espuma em função da frequência da retirada do lodo de esgoto anaeróbio em excesso.....	48
4.4.	PARÂMETROS PARA O GERENCIAMENTO DE ESCUMA.....	50
4.4.1.	Desaguamento de espuma em leito de secagem .....	50
4.4.2.	Incorporação de espuma em lodo de esgoto .....	54
4.4.3.	Avaliação da taxa de decaimento do teor de óleos e graxas e variação na relação STV/ST em função do tempo .....	58
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	59
5.1.	DIAGNÓSTICO SOBRE A PROBLEMÁTICA DA ESCUMA NAS ETES OPERADAS PELA SANEPAR NO PARANÁ.....	59
5.1.1.	Sistema de tratamento preliminar .....	60
5.2.	CARACTERIZAÇÃO E ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DA ESCUMA EM REATOR TIPO UASB EM ESCALA REAL.....	63
5.2.1.	Determinação da composição.....	63
5.2.2.	Produção e Acúmulo de espuma em reator tipo UASB.....	69

5.3.	GERAÇÃO DE ESCUMA COM VARIAÇÃO DA VELOCIDADE ASCENSIONAL DO ESGOTO BRUTO E A FREQUÊNCIA DE RETIRADA DE LODO.....	74
5.3.1.	Geração de espuma com variação da velocidade ascensional do esgoto bruto.....	74
5.3.2.	Geração de espuma com variação da frequência de retirada de lodo.....	76
5.4.	PARÂMETROS PARA O GERENCIAMENTO DE ESCUMA.....	80
5.4.1.	Desaguamento de espuma em leitos de secagem .....	80
5.4.2.	Incorporação de espuma em lodo de esgoto.....	88
5.4.3.	Avaliação da taxa de decaimento do teor de óleos e graxas e variação na relação STV/ST em função do tempo.....	92
6.	CONCLUSÕES.....	98
7.	RECOMENDAÇÕES.....	100
8.	REFERÊNCIAS.....	101
	Apêndice 1 - Questionário utilizado para o diagnóstico sobre a problemática da espuma .....	109
	Apêndice 2 - Dados de Geração de Espuma .....	113
	Apêndice 3 - Dados da avaliação de geração de espuma em função da variação da velocidade ascensional do esgoto bruto e das retiradas de lodo.....	122
	Apêndice 4 - Dados do acompanhamento do desaguamento de lodo de esgoto e de espuma .....	132
	Apêndice 5 - Dados da avaliação físico-química das misturas de lodo e espuma.....	137
	Apêndice 6 - Dados do decaimento do teor de óleos e graxas .....	140
	Anexo 1 .....	143

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento urbano desordenado acarreta um desequilíbrio no fornecimento de água para a população e serviços de saneamento. Nos países da América Latina e Caribe 91 % da população recebe água tratada em suas residências, 79 % possui a coleta de seus esgotos, mas apenas 15 % deste montante recebe o tratamento adequado antes de ser devolvido aos rios (NOYOLA *et al.*, 2012). Baseado neste contexto é fundamental o desenvolvimento de infraestrutura e tecnologias capazes de suprir esta demanda, oferecendo inovações e considerando as limitações e condições específicas de cada região.

Os principais tipos de tratamento de efluentes domésticos utilizados no Brasil são os tanques sépticos, filtros anaeróbios, os reatores anaeróbios de manto de lodo tipo UASB, lagoas anaeróbias, facultativas e aeradas e os sistemas de lodos ativados e suas variantes (VON SPERLING, 2004). Os UASBs são a terceira tecnologia mais utilizada em países da América Latina e Caribe, atendendo a 17% das plantas avaliadas, em primeiro lugar encontram-se as lagoas de estabilização (43%) (NOYOLA *et al.*, 2012). Nos novos projetos de estações de tratamento no Brasil os UASBs aparecem como a alternativa mais empregada (CHERNICHARO, 2011). No Paraná, a tecnologia é utilizada desde 1979, em 2005 a companhia estadual de saneamento já operava mais de 300 reatores (JURGENSEN, 2005) número que cresceu ao longo destes anos.

Apesar das vantagens de não consumir energia e ocupar pequena área para implantação, um reator anaeróbio de manto de lodo apresenta não só limitações quanto ao atendimento dos padrões de lançamento, como também, um sério problema operacional relacionado à formação de espuma. Seu acúmulo pode prejudicar o desempenho do sistema em termos de qualidade do efluente, ocasionar perdas de biogás e até mesmo o rompimento do separador trifásico dos reatores.

A composição e quantidade gerada de espuma irá depender da composição do esgoto afluente, da hidrodinâmica no interior do reator UASB e do sistema preliminar de tratamento. Basicamente, a espuma é composta por material particulado menos denso, que ao flotar para a superfície dos reatores arrasta consigo partículas em suspensão.

Conhecida a necessidade de mitigar a geração de espuma nas ETEs deve-se equacionar o problema em etapas para a busca das soluções. Assim sendo, deve-se inicialmente quantificar a sua geração, conhecer sua caracterização e formas de retirada do reator, e avaliar alternativas de destinação final. Com posse de estas informações pode-se orientar a escolha de novos processos e orientar modificações nos existentes, que viabilizem um melhor gerenciamento da espuma, e é a isto que este trabalho se destina.

## 1.1. RELEVÂNCIA

Esta tese procura dar respostas à problemática da espuma, investigando desde aspectos relacionados à sua geração, composição, formas de retirada e alternativas de disposição final.

Além disso, o tema é pouco abordado cientificamente, a carência de literatura específica sobre o assunto motiva a produção de novas informações de aplicação tanto acadêmica como prática. Os trabalhos desenvolvidos na Universidade Federal de Minas Gerais, a partir de 2003, são uma das principais fontes de informação sobre o tema. Esta necessidade é ainda motivada pela abrangência do uso de reatores UASB, além da grande quantidade de reatores já instalados, com o crescimento populacional e da preocupação ambiental, o volume de esgoto a ser tratado irá aumentar e a geração de espuma irá acompanhar este crescimento. Ressalta-se a importância da avaliação da formação de espuma em reatores sob diferentes condições operacionais e verificação do potencial de auto degradação da espuma.

O periódico internacional intitulado *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* publicou, no ano de 2006, uma série especial dedicada exclusivamente aos reatores UASB. Esta seleção envolve sete artigos, escritos por especialistas na área de tratamento anaeróbio de esgotos e o tema “espuma” não foi abordado em nenhum dos documentos.

A escolha das tecnologias para tratamento de esgotos deve levar em conta os impactos ambientais diretos e indiretos gerados por elas e não apenas a qualidade atingida com o efluente, além da avaliação dos custos de investimento e operacionais.

Desta forma, entende-se que a problemática da espuma deve ser aprofundada. Com uma adequada caracterização da composição, taxas de geração e proposição de alternativas de gerenciamento para a espuma, o tratamento anaeróbio de esgotos domésticos será mais completo, contemplando os seus subprodutos, além do efluente tratado. Este trabalho apresenta, como hipótese, que o gerenciamento da espuma e do lodo de esgoto, caso estes substratos mostrem-se semelhantes, pode se dar de forma conjunta na própria ETE, para tanto o desaguamento em leitos, a incorporação com o lodo para uso ou destino final e parâmetros operacionais que interferem na sua produção serão investigados.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Investigar a espuma formada no tratamento de esgotos domésticos em escala real no estado do Paraná, a fim de se determinar a sua produção e caracterização e propor parâmetros para seu gerenciamento.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diagnosticar e comparar a formação de espuma nas ETEs operadas pela Sanepar no Estado do Paraná;
- Caracterizar de forma qualitativa e estimar a produção da espuma em reator tipo UASB em escala real;
- Avaliar o efeito da velocidade ascensional do esgoto bruto e a frequência de retirada de lodo dos reatores na geração de espuma em reatores em escala real, e;
- Indicar tratamentos para o gerenciamento de espuma, incluindo o desaguamento da espuma em leito de secagem e avaliar o impacto de sua incorporação ao lodo de esgoto e do decaimento do teor de O&G em função do tempo de armazenamento.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

O termo esgoto é utilizado para denominar despejos oriundos de diversos tipos de uso e origem das águas. Quando constituído predominantemente de despejos domésticos, aceitando-se uma pequena parcela de águas pluviais, águas de infiltração e despejo industrial, o despejo é denominado “esgoto sanitário” (JORDÃO; PESSOA, 2011). Desta forma, esgoto sanitário é o despejo líquido resultante do uso da água para a higiene e necessidades fisiológicas humanas, gerado a partir da água de abastecimento.

#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DOS ESGOTOS SANITÁRIOS

As características do esgoto dependem do uso ao qual a água foi destinada. O esgoto sanitário é constituído por mais de 98 % de água, os restantes são contaminantes como sólidos suspensos, compostos orgânicos, como proteínas, carboidratos e lipídeos, nutrientes, como nitrogênio e fósforo, espécies inorgânicas, sólidos dissolvidos inorgânicos, sólidos grosseiros, compostos não biodegradáveis e micro-organismos (ANDRADE NETO; CAMPOS, 1999; VON SPERLING; CHERNICHARO, 2005). Quando existe a possibilidade de mistura de efluentes industriais na rede coletora de esgotos municipal, a diversidade de componentes presentes no esgoto é ainda maior. Na TABELA 3.1 são apresentadas as características físicas típicas para o esgoto doméstico.

TABELA 3.1 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS ESGOTOS SANITÁRIOS

VARIÁVEL	DESCRIÇÃO
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ligeiramente superior à da água de abastecimento;</li> <li>- Varia conforme as estações do ano (<math>2^{\circ}\text{C} &gt;</math> que a do ar);</li> <li>- Influencia a atividade microbiana;</li> <li>- Influencia a viscosidade do líquido.</li> </ul>
Cor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Esgoto fresco: ligeiramente cinza;</li> <li>- Esgoto séptico (velho): cinza escuro ou preto;</li> </ul>
Odor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Depende dos gases formados no processo de decomposição;</li> <li>- Esgoto fresco: odor de mofo, razoavelmente suportável;</li> <li>- Esgoto séptico (velho): odor de ovo podre, “insuportável”, que ocorre devido à formação de gás sulfídrico proveniente da decomposição da matéria orgânica contida nos despejos.</li> </ul>
Turbidez	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Causada por uma grande variedade de sólidos em suspensão;</li> <li>- Esgotos mais frescos geralmente possuem turbidez maior.</li> </ul>

FONTE: VON SPERLING (1996a)

A TABELA 3.2 traz valores típicos de parâmetros de concentração de constituintes encontrados no esgoto sanitário, normalmente usam-se parâmetros indiretos, como a Demanda Química de Oxigênio (DQO) e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) para fornecer uma ideia do potencial poluidor do despejo, uma vez que a determinação de cada componente isoladamente seria muito trabalhosa e de custo elevado. Compara-se o encontrado em esgotos brasileiros, com valores consagrados pela literatura e por fim, valores mais atualizados para esgotos produzidos em países da América Latina e Caribe. Como se pode observar, o apresentado para o esgoto doméstico brasileiro está muito próximos aos demais valores, tendo-se apenas concentrações superiores de fósforo.

TABELA 3.2 - VALORES TÍPICOS DE PARÂMETROS DE CONCENTRAÇÃO NO ESGOTO DOMÉSTICO

PARÂMETRO	ESGOTO PARANAENSE (1)	ESGOTO BRASILEIRO (2)	ESGOTO INTERNACIONAL (3)	ESGOTO AMÉRICA LATINA E CARIBE (4)
DQO (mg/L)	572	400 – 700	500	557
DBO <sub>5,20</sub> (mg/L)	288	200 – 350	220	244
Nitrogênio total(mg/L)	---	40 – 50	40	42
Fósforo total (mg/L)	---	10 – 14	8	7
Sólidos totais (mg/L)	---	730 – 820	720	---
Sólidos suspensos totais (mg/L)	434	---	220	264

FONTES: (1) Dados do autor, considerando a médias dos valores mensais de 2014 para 12 ETEs da região sudoeste do Paraná; (2) ADAPTADO DE JORDÃO; PESSOA (2011); VON SPERLING (1996a); (3) METCALF; EDDY (2003); (4) NOYOLA *et al.* (2012)

A DQO e a DBO são os dois principais parâmetros que fornecem o conteúdo de matéria orgânica no efluente e desta forma, indicam a tratabilidade do mesmo. Na DQO é determinado o valor quantitativo de material orgânico passível de oxidação pelo  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$  ou do  $\text{MnO}_4$  em meio fortemente ácido, a uma temperatura de 150 °C durante um período de 2 horas (MOURA; LEITE; PRASAD, 2005), oxidando tanto componentes orgânicos, como inorgânicos. Já a DBO corresponde à quantidade de oxigênio utilizada pela oxirredução realizada pelos micro-organismos aeróbios presentes ou adicionados ao efluente. As principais vantagens do teste da DBO são: indicação aproximada da fração biodegradável do efluente, indicação da taxa de consumo de oxigênio em função do tempo e determinação aproximada da quantidade de oxigênio requerido para estabilização biológica da matéria orgânica presente, porém são necessários 5 dias para que se tenha o resultado final. A DBO não fornece o total de matéria orgânica presente no efluente, mas representa o quanto de oxigênio será consumido para oxidar esta matéria orgânica, sendo tal informação essencial sob o ponto de vista ecológico de preservação dos corpos d'água (APHA, 2012; VON SPERLING, 1996b).

Outro elemento importante presente no esgoto que deve ser considerado é o nitrogênio e suas variações, estas envolvem o nitrogênio total, orgânico, amônia livre, nitrito e nitrato. O nitrogênio orgânico está totalmente ligado à matéria orgânica, sua presença predomina no esgoto fresco, através da oxidação bacteriana, é transformado inicialmente em amônia, seguindo para nitrito e por fim o nitrato. O conjunto do fósforo engloba o fósforo total, orgânico e inorgânico, sendo que o primeiro é a soma dos dois seguintes. O fósforo orgânico representa aquele presente em proteínas e aminoácidos, desta forma é aquele ligado à matéria orgânica. E, por fim, o grupo de sólidos, que inclui os sólidos totais, fixos, voláteis e sedimentáveis, tem grande importância para o dimensionamento e controle de operações unitárias de tratamento (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Com relação às características microbiológicas, são encontrados diversos tipos de micro-organismos no esgoto sanitário, estes refletem a saúde da população. Para facilitar o controle e monitoramento microbiológico do esgoto sanitário,



escolhem-se alguns tipos de micro-organismos como indicadores de poluição. O esgoto bruto possui em média de  $10^6$  a  $10^9$  NMP/100 mL de coliformes termotolerantes, de  $10^5$  a  $10^8$  NMP/100 mL de coliformes fecais, 1000 ovos de helmintos, dentre eles *Ascaris lumbricoides* e *Trichuris trichura*, e 1000 cistos de protozoários, dentre eles *Giardia lamblia*, *Entamoeba histolytica* e *Cryptosporidia spp.* a cada 100 mL (JORDÃO; PESSOA, 2011).

### 3.2. TRATAMENTO DE EFLUENTES

Alguns procedimentos podem ser adotados como ponto de partida para o tratamento de efluentes, o conjunto destes procedimentos iniciais é chamado de tratamento preliminar e inclui as etapas de: gradeamento, peneiramento e desarenação. O gradeamento consiste na separação de sólidos suspensos grosseiros, o objetivo é a remoção física por meio de uma grade para evitar danos às tubulações e bombas. O peneiramento objetiva a remoção de materiais não tão grosseiros e o desarenador ou caixas de areia realizam a remoção de partículas sedimentáveis (MENDES *et al.*, 2005; VON SPERLING, 1996a). O tratamento preliminar visa apenas uma preparação do efluente para as demais etapas subsequentes, a maior parte de poluentes removida nesta etapa são sólidos grosseiros em suspensão ou sedimentáveis e os padrões de qualidade exigidos pela legislação não são atingidos.

Após o tratamento preliminar segue-se para o tratamento primário, neste momento pode começar a ocorrer uma diferenciação do tratamento escolhido para cada tipo de efluente, cabendo aqui o uso de decantadores e tanques de equalização (BRAILE; CAVALCANTI, 1993; VON SPERLING, 1996a).

Segue-se para o tratamento secundário, devido à grande fração orgânica existente nos efluentes domésticos e da agroindústria, o processo mais indicado é a utilização de um sistema de tratamento biológico seguido da concentração e da separação física de sólidos. Dentre as opções de tratamento biológico, existem dois grandes grupos: os sistemas aeróbios e os sistemas anaeróbios. Neles, a forma com que a matéria orgânica será digerida é diferenciada pela via de decomposição, aeróbia ou anaeróbia (FIGURA 3.1).

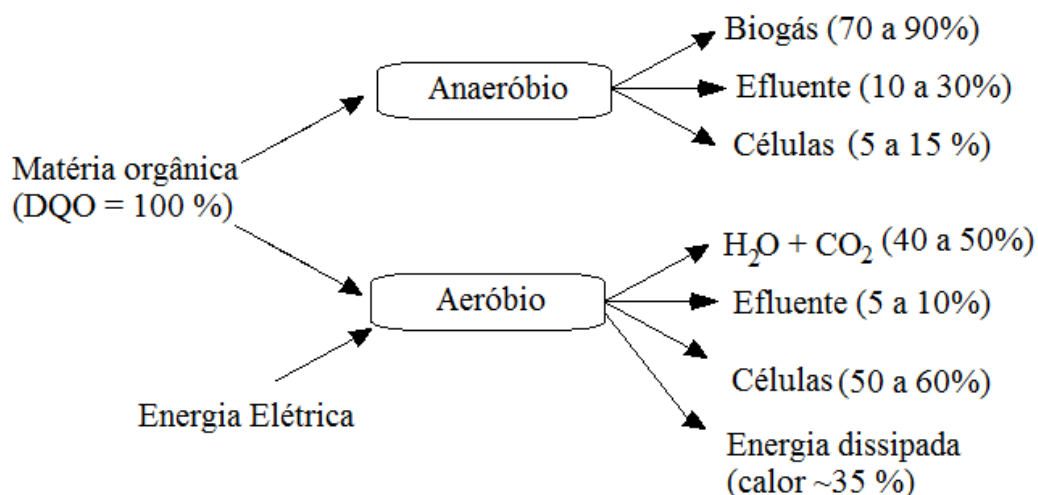


FIGURA 3.1 - CONVERSÃO BIOLÓGICA NOS PROCESSOS AERÓBIOS E ANAERÓBIOS NO TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO

FONTE: ADAPTADO DE VON SPERLING (1996B); NOYOLA; MORGAN-SAGASTUME; GÜERECA (2013)

De modo a simplificar o entendimento, na FIGURA 3.1, a carga poluidora foi representada pela DQO, esta será convertida em gás carbônico e lodo, no caso do reator aeróbio, e em biogás e lodo, no caso do reator anaeróbio. A DQO remanescente é maior no processo anaeróbio, chegando a valores entre 10 e 30% da DQO inicial, contra 5 a 10% no reator aeróbio, sendo esta a principal vantagem dos sistemas aeróbios (VON SPERLING, 1996b). Porém, convém destacar a vantagem da grande geração de biogás que ocorre nos sistemas anaeróbios, podendo chegar a 90%. Este biogás, se capturado, pode ser utilizado na geração de energia (CAMPOS, 1999).

O sistema aeróbio apresenta as desvantagens de maior gasto, tanto na implantação quanto na manutenção, devido à necessidade de aeração, além de produzir maior quantidade de lodo a ser tratado e disposto. Estas desvantagens são compensadas pela alta qualidade do efluente, o que dispensa o seu pós-tratamento (VON SPERLING, 1996b). Na degradação anaeróbia da matéria orgânica ocorre uma relação de 1:13 entre os processos de anabolismo e catabolismo. No catabolismo, o material orgânico é utilizado como fonte de energia, apresentando como subprodutos o metano e dióxido de carbono, que por serem produtos estáveis não sofrerão nova fermentação. Já no anabolismo o material orgânico é fonte para transformação em massa celular. Como nos processos aeróbios a relação entre anabolismo e catabolismo é de 2:1, o que justifica a baixa produção de lodo pelos processos anaeróbios (MIKI, 2010).

Dentre as tecnologias de tratamento existentes, os reatores anaeróbios são uma das mais interessantes, pela pouca produção de lodo e possibilidade de produção de energia, devido a geração do biogás e por apresentar a possibilidade de absorver os picos de carga orgânica e reduzir os custos com energia para o pós-tratamento (NOYOLA; MORGAN-SAGASTUME; GÜERECA, 2013).

A escolha do processo de tratamento a ser empregado depende de vários fatores, como custos, área disponível, especificidades locais, taxa de remoção de carga orgânica pretendida e geração de biogás, entre outros. A eficiência atingida por alguns tipos de tratamento será diferente para cada caso e existem várias possibilidades de arranjo entre as diversas tecnologias disponíveis (FIGURA 3.2). Um reator UASB pode apresentar eficiências de remoção de DQO na ordem de 60 a 70% e de 70 a 80% para a DBO (NOYOLA; MORGAN-SAGASTUME; GÜERECÁ, 2013).

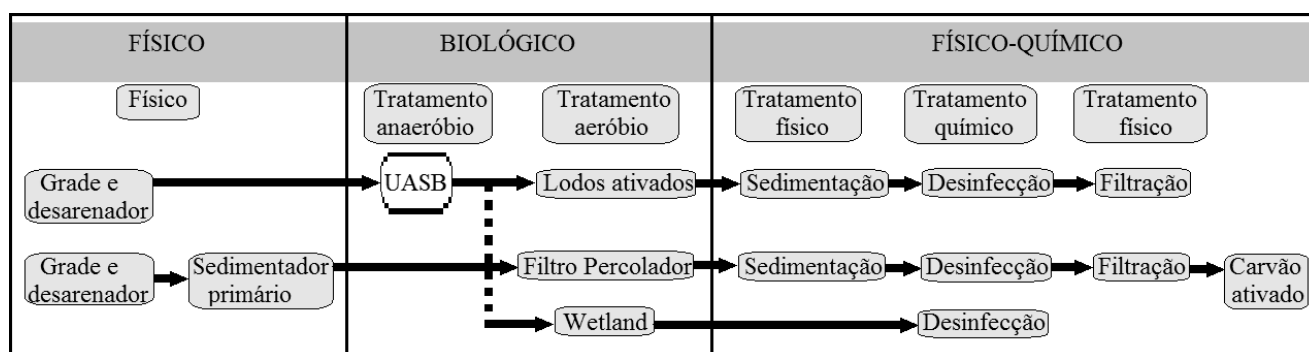


FIGURA 3.2 - EXEMPLOS DE POSSÍVEIS ARRANJOS ENTRE AS DIVERSAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS EMPREGANDO REATORES UASB  
 FONTE: NOYOLA; MORGAN-SAGASTUME; GÜERECÁ (2013)

Os valores médios de concentração dos afluentes tem-se mostrado-se mais elevados que o indicado pela literatura, de acordo com uma avaliação em 166 ETES em SP e MG, tendo encontrado os valores de 527 mg/L de DBO e de 1.113 mg/L de DQO, enquanto que a mesma apresenta os valores de 350 e 700, respectivamente, como médios para estes parâmetros (OLIVEIRA; VON SPERLING, 2005). O contrário ocorreu com as eficiências de remoção determinadas, enquanto que a literatura apresenta valores mais otimistas os resultados encontrados mostram-se, de modo geral, inferiores (TABELA 3.3).

TABELA 3.3 - EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO DE ALGUNS POLUENTES DOS PRINCIPAIS SISTEMAS USADOS PARA TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS

CONSTITUINTE	UNIDADE	FS + FA	LF	LAN + LF	LA	UASB	UASB + POS	
DBO	Afluente	mg/L	665	553	510	315	371	362
	Efluente	mg/L	292	136	89	35	98	42
	Eficiência de remoção	%	56	75	83	89	74	88
DQO	Afluente	mg/L	1398	1187	1095	575	715	713
	Efluente	mg/L	730	525	309	92	251	141
	Eficiência de remoção	%	48	56	72	84	65	80
SST	Afluente	mg/L	479	430	411	252	289	334
	Efluente	mg/L	165	216	153	57	85	51
	Eficiência de remoção	%	66	50	63	77	71	85
NKT	Afluente	mg/L	78	69	78	47	43	---
	Efluente	mg/L	61	38	45	22	48	---
	Eficiência de remoção	%	22	45	42	53	-12	24

*continua*

		continuação						
CONSTITUINTE	UNIDADE	FS + FA	LF	LAN + LF	LA	UASB	UASB + POS	
PT	Afluente	mg/L	9	9	11	3	7	7
	Efluente	mg/L	7	4	7	1	6	5
	Eficiência de remoção	%	22	56	36	67	14	29
CF	Afluente	NMP/100mL	$2,6 \cdot 10^7$	$5,3 \cdot 10^7$	$2,0 \cdot 10^8$	$3,7 \cdot 10^7$	$1,2 \cdot 10^8$	$1,8 \cdot 10^8$
	Efluente	NMP/100mL	$5,3 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^6$	$4,3 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^5$	$3,4 \cdot 10^7$	$9,7 \cdot 10^6$
	Eficiência de remoção	Unidades log	0,9	1,6	2,2	2,0	0,6	2,8

FONTE: OLIVEIRA; VON SPERLING (2005)

Onde: FS + FA = fossa séptica seguida de filtro anaeróbio, LF = lagoa facultativa, LAN+LF = lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa, LA = lodos ativados, UASB = UASB, UASB + POS = UASB seguido de pós-tratamento.

A FIGURA 3.3 mostra as principais tecnologias utilizadas na América Latina e Caribe para tratamento de esgotos, destaca-se que a lagoa de estabilização é a mais utilizada (38 %), seguida de lodos ativados (26%) e UASB (17%), das plantas avaliadas 67% eram pequenas, com vazão próxima a 25 L/s, e 34 % muito pequenas, com vazões inferiores a 5 L/s. Com relação á distribuição em função da vazão de tratamento, tem-se uma pequena inversão, ficando a tecnologia de lodos ativados em primeiro lugar com 58 % da vazão acumulada, seguido de lagoas de estabilização com 15 %, em terceiro lugar lagoas de estabilização com 9 % e os reatores UASB em quarto lugar com 8% do total da vazão (NOYOLA *et al.*, 2012).

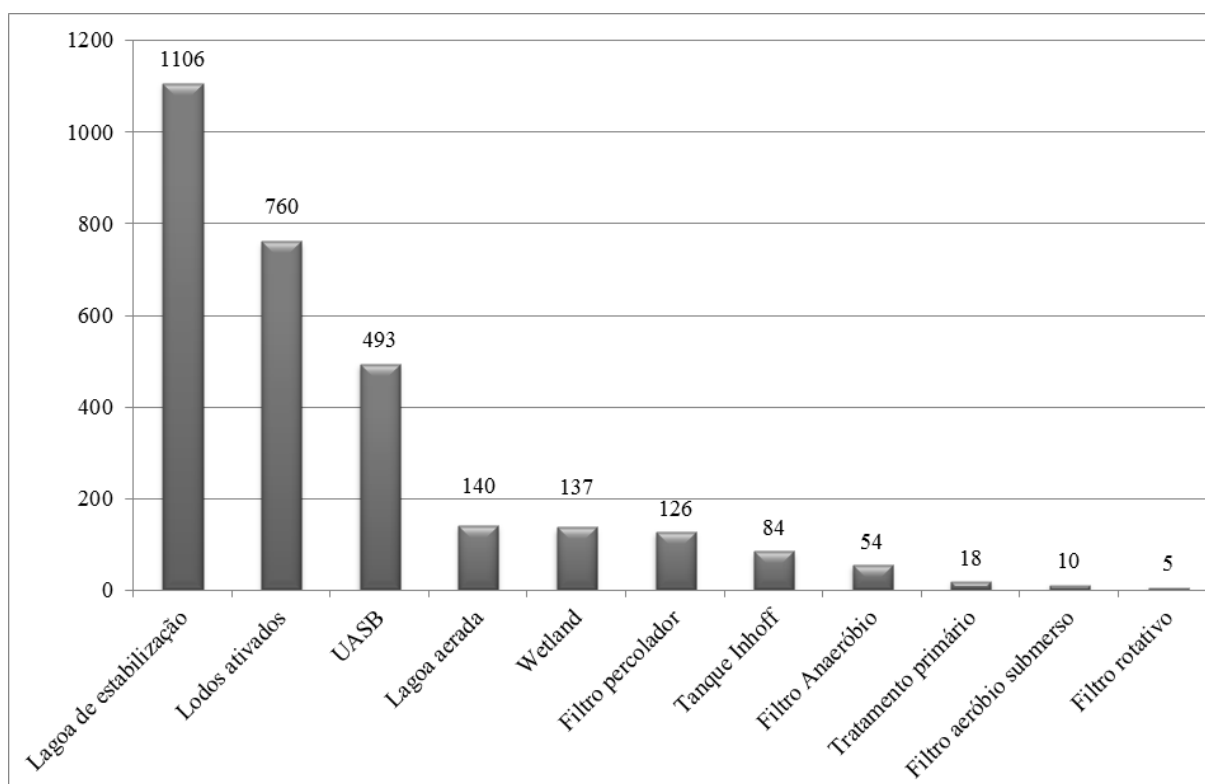


FIGURA 3.3 - DISTRIBUIÇÃO DAS TECNOLOGIAS UTILIZADAS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS POR NÚMERO DE PLANTAS NA AMÉRICA LATINA E CARIBE  
FONTE: NOYOLA *et al.* (2012)

### 3.2.1. Tratamento de efluentes domésticos em reatores de manto de lodo

Nos reatores de manto de lodo, o fluxo do líquido a ser tratado é ascendente, seu funcionamento está baseado na formação de um manto de lodo, que ocupa um terço do volume total do reator, na parte superior tem-se um sistema de captação de biogás, que além de permitir a separação gás/água, favorece a sedimentação dos flocos de lodo, mantendo os micro-organismos no interior do reator aumentando consideravelmente o tempo de retenção celular sem elevar o tempo de detenção hidráulica (PATZA; GABARDO; PAWLOWSKY, 1989; NOYOLA; MORGAN-SAGASTUME; GÜERECÁ, 2013; CHERNICHARO, 2007; LETTINGA; POL, 1991). Estes reatores agregam a vantagem do alto tempo de retenção celular com o tempo de retenção hidráulica reduzido, estas vantagens são conseguidas graças ao separador trifásico. Este está localizado na parte superior do reator e a divide entre zona de decantação, onde ocorre a separação entre as fases sólida e líquida e o IST, onde ocorre a separação das fases líquida e gasosa (SOUZA, 2006).

O uso desta tecnologia é favorecido em países tropicais, pois a degradação biológica é favorecida pelas temperaturas superiores a 20 °C onde atinge-se maior velocidade específica de utilização de substrato (FORESTI; ZAIAT; VALLERO, 2006; MIKI, 2010).

O tratamento de esgotos pelo processo anaeróbio teve seu início em 1905, com o desenvolvimento do Tanque Imhoff, um tanque bicompartimentado para acúmulo de dejetos (AISSE, 2000). Entre 1950 a 1980 muitos modelos de reatores anaeróbios foram desenvolvidos para uso industrial, nestes casos considerava-se que a digestão anaeróbia era possível para efluentes com alta carga de matéria orgânica, o que era uma escolha apropriada devido a grande produção de metano associada a digestão anaeróbia (FORESTI, ZAIAT, VALLERO, 2006). Na década de 70, Lettinga *et al.* começaram a pesquisar o tratamento anaeróbio de esgotos sanitários na Universidade de Wagenigen, Holanda, e propuseram o reator anaeróbio de manto de lodo. O desenvolvimento da tecnologia UASB no Brasil foi impulsionado em 1980 com estudos da PUC-PR em parceria com a Sanepar, procurando uma alternativa da redução de custos dos reatores convencionais (Tanque Imhoff), que foram modificados para reatores de fluxo ascendente de manto de lodo e posteriormente tiveram a inclusão das lonas plásticas para delimitar o Interior do Separador Trifásico (IST), também conhecido como gasômetro (AISSE, 2000). O reator era definido como um digestor tubular, de fluxo ascendente, com separação trifásica e recirculação de lodo dentro da própria unidade (PATZA, PAWLOWSKY, RODA, 1985). A primeira unidade foi instalada em Piraí do Sul, projetada pelo engenheiro Celso Saveli Gomes, entrando em operação em 1983 e tratava o esgoto de uma população de 10 mil habitantes (FIGURA 3.4). Na mesma época, um projeto semelhante proposto por Arvid Ericson teve início para atender um núcleo habitacional na unidade Caiçaras (BAREA, 2005). Em seguida foram construídos entre 1984 e 1985 os reatores denominados “RALF Augusta”, para 19 mil habitantes e o “RALF Itatiaia”, para 13 mil habitantes, estes modelos trabalhavam com um curto tempo de detenção, 5h, uma única alimentação de esgoto no centro e fundo do reator e já apresentavam problemas com a formação de uma grossa camada de espuma (GOMES; ALVES; SQUIBA, 2007). Londrina também foi pioneira na utilização de reatores circulares nas ETEs Norte e Sul do ano de 1983, estes

possuíam decantadores primários, que direcionavam o esgoto aos reatores e seu lodo para digestores. A partir de 1986 a Sanepar passou a utilizar reatores anaeróbios em quase todas as ETEs do Paraná (BAREA, 2005).

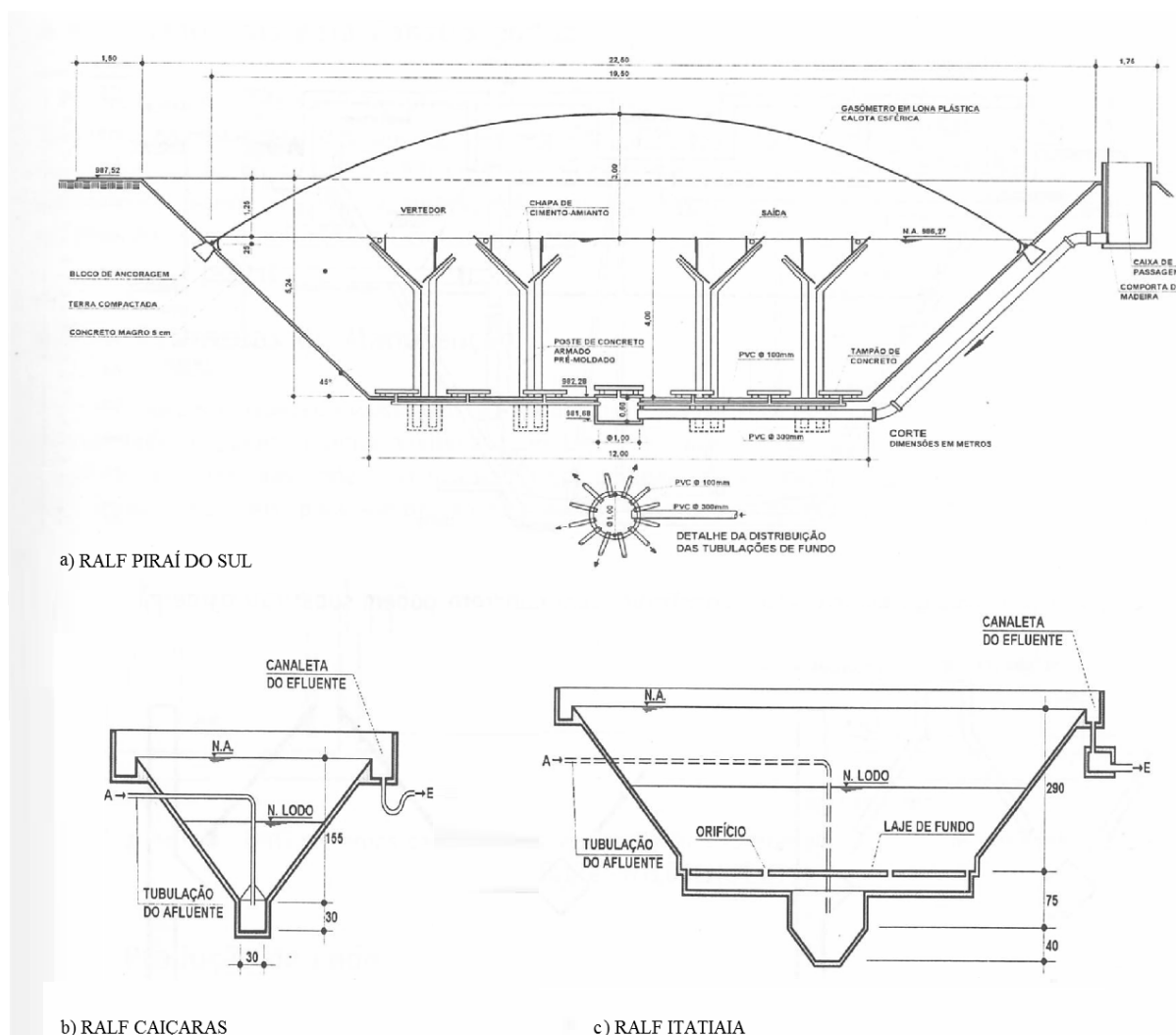


FIGURA 3.4 – PRIMEIROS REATORES ANAERÓBIOS DO PARANÁ, a) RALF PIRAÍ DO SUL E b) RALF CAIÇARAS DE 1983 E c) RALF ITATIAIA DE 1985  
 FONTE: AÍSSE (2000)

Seguem-se os estudos coordenados pela CETESB, da Escola de Engenharia de São Carlos (USP) e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, também baseados nas experimentações do pesquisador Gatzke Lettinga, na década de 70 (ALEM SOBRINHO; JORDÃO, 2001). A tecnologia teve alcance nacional quando o Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB) englobou uma rede de 15 universidades que estudou os possíveis pós-tratamentos para o efluente de reatores UASBs no final dos anos 90. A aplicação da tecnologia UASB no estado de São Paulo teve início na década de 90 com a implantação dos sistemas de Ribeirão Pires, Boituva e Cesário Lange. Depois disso, projetaram-se os sistemas da ETE Campo Limpo / Várzea Paulista, que com a combinação de UASB com lodos ativados com decantação alternada atende a vazão nominal de 560 L/s. As duas maiores ETEs de Campinas operam com a tecnologia UASB, sendo a ETE Anhumas, inaugurada em 2007 com a vazão nominal de 1200 L/s e a ETE Piçarrão, inaugurada em 2004 com vazão nominal de 556 L/s. No estado de Minas Gerais tem-se a maior unidade de UASB instalada, na ETE Ribeirão do Onça, inaugurada

em 2006 em Belo Horizonte, onde cada reator tem o volume de 2.211,9 m<sup>3</sup>. Esta ETE possui 24 reatores capazes de tratar juntos 2,05 m<sup>3</sup>/s e uma população equivalente de 1 milhão de habitantes. No Distrito Federal dos 17 sistemas instalados, 12 possuem UASBs como parte do tratamento (MIKI, 2010). O Brasil possui exemplos importantes e consistentes da aplicação da tecnologia UASB para tratamento de esgotos domésticos (NOYOLA, MORGAN-SAGASTUME, GÜERECA, 2013).

O sucesso do uso da tecnologia UASB se deu devido a alta concentração de biomassa no interior dos reatores, que permite uma redução no TDH, com aceitáveis eficiências de remoção de matéria orgânica (FORESTI, ZAIAT, VALLERO, 2006). Como principal vantagem do uso da tecnologia UASB atribui-se a remoção média de 70 % de matéria orgânica sem o dispêndio de energia ou adição de produtos químicos (MIKI, 2010). A baixa geração de lodo (0,07 – 0,1 m<sup>3</sup>/hab.ano) e a pequena área de implantação (0,05 – 0,10 m<sup>2</sup>/hab) têm como consequência custos de implantação baixos (20-40 US\$/hab) (VON SPERLING, 1996a). Desde sua implantação, a tecnologia UASB vem sofrendo uma série de indagações, inicialmente, vendeu-se a ideia de que suas eficiências seriam semelhantes as atingidas com o tratamento secundário. Depois disso, começou-se a combinar seu uso com pós-tratamento para melhoria da qualidade final do efluente da ETE, entretanto novos problemas como a geração de odor e espuma têm sido apontados (SOUZA; CHERNICHARO; MELO, 2012). Ressalta-se que o uso de pós-tratamento para efluentes de reatores anaeróbios não é apenas uma necessidade de melhoria de qualidade de efluente, mas também uma possibilidade de recuperação de elementos como nitrogênio, fósforo, enxofre e metano (FORESTI, ZAIAT, VALLERO, 2006).

Uma das desvantagens do uso dos reatores anaeróbios é a baixa remoção de nitrogênio e fósforo, de forma otimista, alcançam entre 10 a 25% e 10 a 20%, respectivamente (VON SPERLING, 1996a). Estes elementos podem ser removidos por processos biológicos. A nitrificação/desnitrificação, que ocorre em reatores sem oxigênio dissolvido e com consumo de matéria orgânica, são capazes de remover nitrogênio. Enquanto que o fósforo pode ser removido pela incorporação na massa de lodo em sistemas que se alterne os meios anaeróbio e aeróbio. Porém a alta remoção de matéria orgânica biodegradável prejudica o posterior tratamento biológico destes poluentes uma vez que a relação N/DQO e P/DQO serão bem superiores ao necessário para o bom desempenho de sistemas biológicos (ALÉM SOBRINHO; JORDÃO, 2001).

Durante a nitrificação, bactérias autotróficas, realizam a oxidação de amônia para nitrito e nitrato em presença de oxigênio dissolvido. Este processo pode ser dividido em duas etapas. Inicialmente as bactérias do gênero *Nitrossomonas* oxidam a amônia a nitrito, através do processo denominado nitritação e depois, bactérias do gênero *Nitrobacter*, oxidam o nitrito a nitrato, através do processo denominado nitratação. Segue-se a desnitrificação, na qual o nitrato é convertido em nitrogênio molecular, por bactérias heterotróficas e autotróficas, nesta etapa, o nitrato é utilizado como acceptor de elétrons e concentrações de OD > 0,2 mg/L podem inibir o processo. Para que a redução do nitrato ocorra é necessário um doador de elétrons, comumente a matéria orgânica dissolvida no esgoto ou, em outros casos, pode ocorrer a adição de uma fonte externa de carbono, como o metanol ou o acetato.

Devido à carência de matéria orgânica nos efluentes de reatores anaeróbios, desenvolveu-se o processo Anammox, no qual a oxidação da amônia é feita por bactérias autotróficas que utilizam como agente oxidante o próprio nitrito, estas bactérias são de crescimento lento e precisam de altos tempos de detenção para o seu desenvolvimento (VAN HAANDEL; KATO; VON SPERLING, 2009, METCALF; EDDY, 2003).

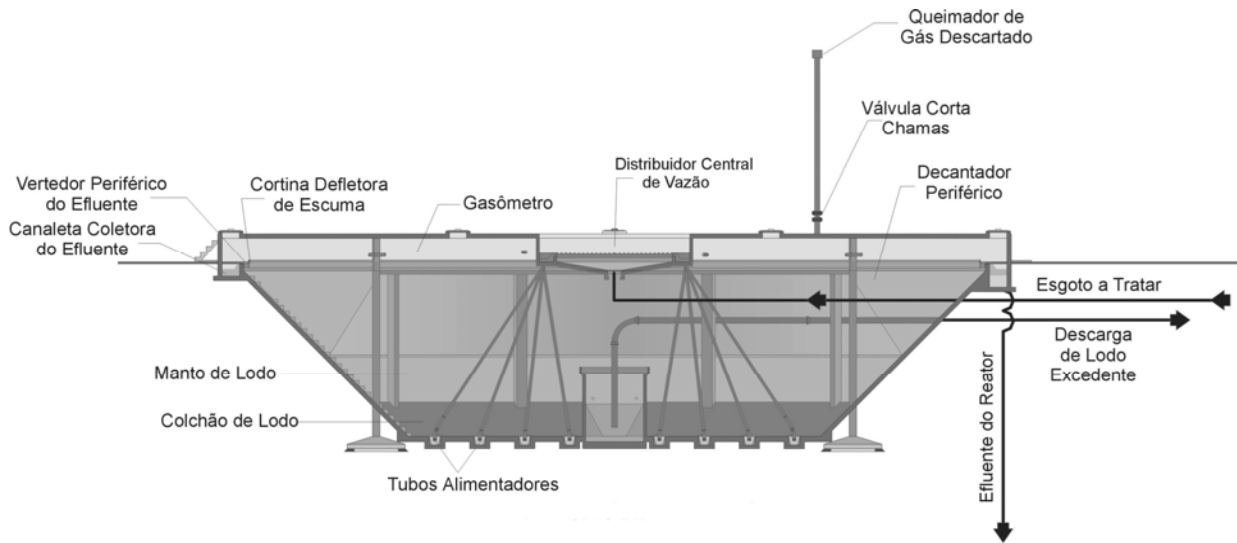
### 3.2.2. Considerações sobre o projeto de reatores anaeróbios

Os reatores anaeróbios de fluxo ascendente em manto de lodo recebem diversas denominações. Seus projetos se diferenciam, porém o funcionamento e modo de degradação da matéria orgânica é bastante semelhante (AISSE, 2000; VON SPERLING, 1996b). Dentre as denominações mais usuais, cabe destacar Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado (RALF) e *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), que são utilizadas no estado do Paraná (FIGURA 3.5).

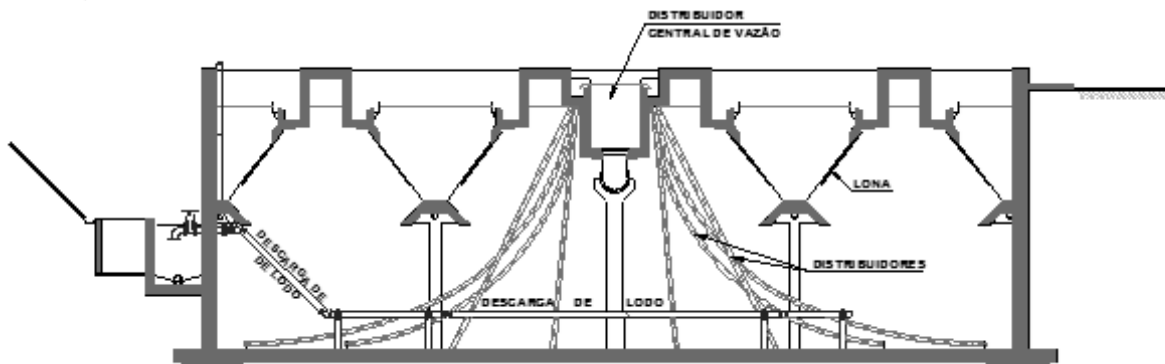
A forma do reator pode ser: digestor circular com sedimentador circular, digestor circular com sedimentador retangular ou digestor retangular com sedimentador retangular. Não existem avaliações sobre a vantagem de uma forma sobre as demais, porém a forma retangular permite um melhor modulamento das unidades (AISSE, 2000). O problema com a formação de espuma se tornou mais intenso na Sanepar quando começaram a se projetar modelos de UASB com cortinas escumadeiras e com paredes verticais, diferentemente dos modelos anteriormente adotados, que possuíam formato tronco cônico (GOMES; ALVES; SQUIBA, 2007).

De acordo com a Norma ABNT 12209 (BRASIL, 2011) que trata da elaboração de projetos hidráulico-sanitários de ETEs, o tratamento biológico com reator tipo UASB deve ser precedido de tratamento preliminar composto de remoção de sólidos grosseiros e areia, sendo que as aberturas devem ser iguais ou inferiores a 12 mm para vazões máximas de 100 L/s e de 6 mm para vazões superiores a esta. O tempo de detenção hidráulica para a vazão média, considerando a temperatura média do esgoto no mês mais frio do ano segue um escalonamento, sendo igual ou superior a 6 h para temperatura do esgoto superior a 25 °C, 7 h para temperatura entre 22 e 25 °C, 8 h para temperatura entre 18 e 21°C e 10 h para temperatura entre 15 e 17 °C. No estado do Paraná, adota-se o tempo de detenção hidráulico de 8h. A norma cita ainda que, os reatores devem possuir dispositivo de retirada de espuma, mas não especifica este dispositivo, nem se ele deve ser previsto para o IST e no compartimento de decantação.

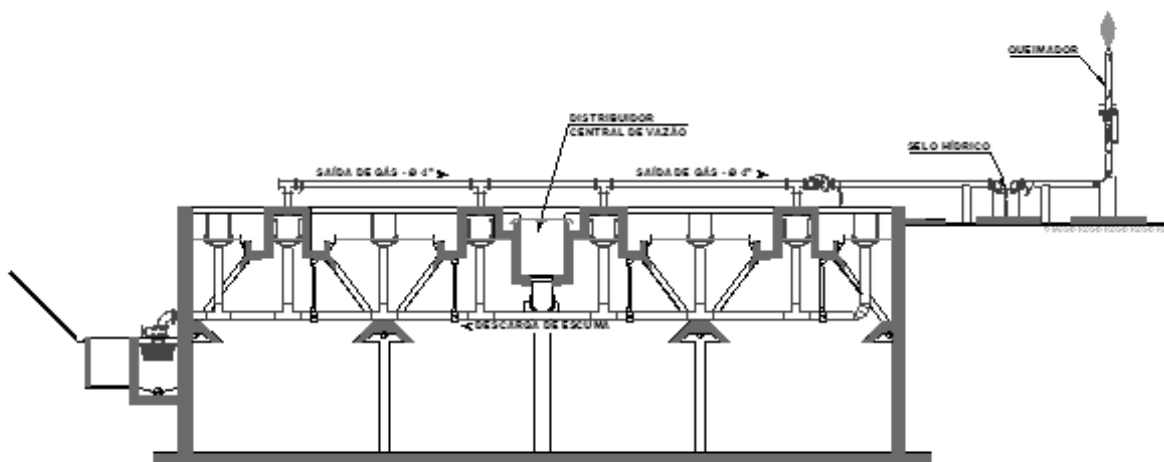




a) REATOR ANAERÓBIO TRONCO CÔNICO



b) REATOR UASB, COM VISTA DA TUBULAÇÃO DE DESCARGA DE LODO



c) REATOR UASB, COM VISTA DA TUBULAÇÃO DE DESCARGA DE ESPUMA

FIGURA 3.5 - EXEMPLO DE REATORES ANAERÓBIOS DE FLUXO ASCENDENTE E MANTO DE LODO. a) MODELO RALF, TRONCO CÔNICO, b) MODELO UASB, PARALELEPÍDICO, COM VISTA DA TUBULAÇÃO DE DESCARGA DE LODO E c) MODELO UASB, PARALELEPÍDICO, COM VISTA DA TUBULAÇÃO DE DESCARGA DE ESPUMA  
 FONTE: BAREA, 2005.

Desde o início de sua aplicação os reatores UASB veem sofrendo modificações em seus projetos, no início tratavam-se de tanques escavados e moldados no terreno, com tubulações de alimentação e coleta e de separadores de fases feitos de estruturas de madeira e telhas em fibrocimento (RAMOS, 2008). O reator UASB é considerado um reator de segunda geração, sendo uma evolução do tanque Imhoff e das fossas sépticas, e precursor dos reatores anaeróbios de leito expandido e de leito fluidizado (FIGURA 3.6).

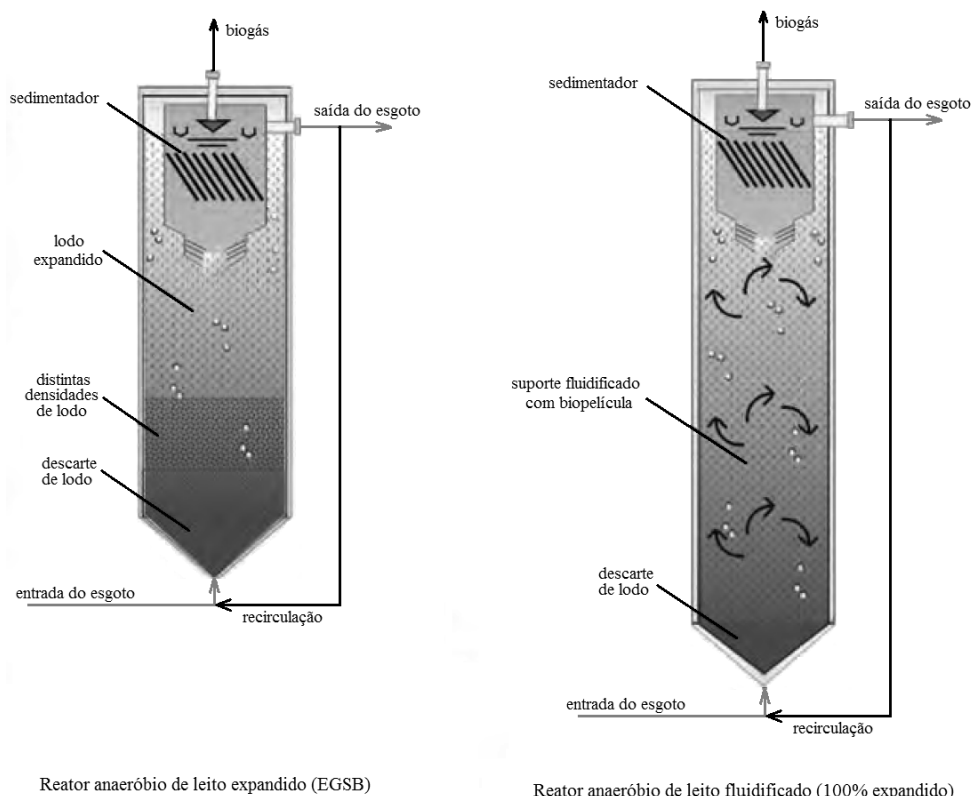


FIGURA 3.6 - REATORES ANAERÓBIOS DE TERCEIRA GERAÇÃO  
 FONTE: NOYOLA; MORGAN-SAGASTUME; GÜERECA (2013)

Se não houver diretrizes adequadas de projeto e operação dos reatores UASB a tecnologia pode ser desacreditada e seu uso diminuído (CHERNICHARO *et al.*, 2009). Existem aspectos internos do reator como a forma de captação de biogás, sistema de distribuição do esgoto, forma de retirada de espuma e de lodo que não estão padronizados e por esta razão o desenho proposto e sua funcionalidade irão depender da experiência do projetista (NOYOLA, MORGAN-SAGASTUME, GÜERECA, 2013). A FIGURA 3.7 ilustra as diversas áreas em que podem ser feitas melhorias nas ETEs que operam utilizando a tecnologia UASB.

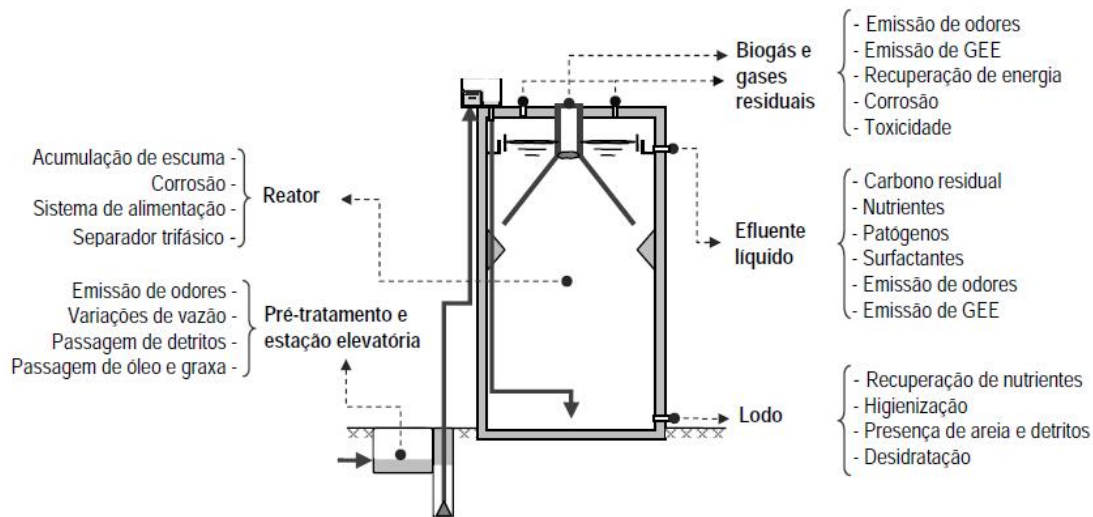


FIGURA 3.7 - ÁREAS EM QUE PODEM SER FEITAS MELHORIAS NAS ETES QUE OPERAM UTILIZANDO A TECNOLOGIA UASB  
 FONTE: CHERNICHARO *et al.* (2009)

### 3.2.3. Parâmetros de controle da digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia pode ocorrer em duas faixas de temperatura, na faixa termofílica (55°C) os reatores funcionam com tempo de detenção hidráulico menor, o controle operacional para manter esta temperatura deve ser eficiente e o efluente obtido terá menor qualidade. Enquanto que a digestão na faixa de temperatura mesofílica (35°C) exige menor controle operacional, gerando um efluente de melhor qualidade e alto tempo de detenção hidráulico (PATZA; PAWLOWSKY; RODA, 1985).

Na degradação anaeróbia inicialmente ocorre a hidrólise de materiais particulados complexos transformando-os em compostos mais simples e solúveis, capazes de atravessar as paredes celulares das bactérias fermentativas. Durante o tratamento a hidrólise deve além de degradar a matéria orgânica (substrato primário), degradar substâncias produzidas durante o decaimento endógeno, ou seja, substrato secundário (TEIXEIRA; CHERNICHARO; AQUINO, 2008). Durante a lipólise, ácidos graxos de cadeia longa são liberados e altas concentrações destes ácidos funcionam como inibidores do processo de digestão anaeróbia (MASSE; KENNEDY; CHOU, 2001).

O pH ótimo para a digestão anaeróbia deve estar na faixa de 6,5 a 7,0, sua variação depende de duas tendências da alcalinidade pela dissociação do ácido carbônico à partir de CO<sub>2</sub> gerado e outra pela formação de NH<sub>4</sub>OH a partir de NH<sub>3</sub> proveniente da degradação das proteínas. Valores inferiores a 6,5 podem inibir a metanogênese, a fase final da digestão anaeróbia. A relação entre NH<sub>4</sub><sup>±</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> produz um tampão, o bicarbonato de amônia o que ajuda a manter o pH em valores próximos à neutralidade. Como o CO<sub>2</sub> produzido pela fermentação é o principal consumidor da alcalinidade dentro do reator, a alcalinidade deve estar na faixa de 2000 a 4000 mg/L de CaCO<sub>3</sub> para que o pH se mantenha neutro. As características

ideais para tratamento biológico são DQO/DBO aproximadamente 2,0 e o teor de nutrientes com a proporção DBO:N:P de 100: 5:1 (PATZA; PAWLOWSKY; RODA, 1985, METCALF; EDDY, 2003).

A eficiência esperada para este tipo de reator irá depender da temperatura ambiente, para experimentos conduzidos nas temperaturas de 13 e 17°C as eficiências de remoção de DQO obtidas foram da ordem de 65 a 85% e 55 a 70% respectivamente (AISSE, 2000).

Os parâmetros de processo a serem controlados em reatores de manto de lodo são: tempo de detenção de sólidos, tempo de detenção hidráulico, as cargas volumétricas orgânicas e hidráulicas e a velocidade ascensional (VERSIANI *et al.*, 2005). Para reatores anaeróbios do tipo manto de lodo recomenda-se a variação do tempo de detenção hidráulico entre 6 e 10 h, carga hidráulica volumétrica inferior a 6,0 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d, carga orgânica volumétrica variando entre 1,0 e 3,0 kgDQO/m<sup>3</sup>.d e velocidade ascensional entre 0,5 e 1,1 m/h (BRASIL, 2011). O monitoramento da estabilidade do reator UASB passa também pelo controle do pH, a alcalinidade e a concentração de ácidos orgânicos. Estes valores devem ser avaliados no afluente a estação e no esgoto tratado (CHERNICHARO, 2011). A TABELA 3.4 apresenta quais são os parâmetros recomendados para o controle de reatores anaeróbios com a respectiva frequência de avaliação.

TABELA 3.4 - PARÂMETROS RECOMENDADOS PARA O CONTROLE DE REATORES ANAERÓBIOS COM A RESPECTIVA FREQUÊNCIA DE AVALIAÇÃO

PARÂMETRO	UNIDADE	FREQUÊNCIA DE MONITORAMENTO
<i>Para controle de eficiência de tratamento</i>		
Sólidos sedimentáveis	mL/L	Diária
Sólidos suspensos totais	mg/L	Semanal
DQO total	mg/L	Semanal
DBO total	mg/L	Quinzenal
Produção de biogás	m <sup>3</sup> /d	Diária
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	Quinzenal
Ovos de helmintos	N/L	Quinzenal
<i>Para controle da estabilidade operacional</i>		
Temperatura	°C	Diária
pH	---	Diária
Alcalinidade	mg/L	Semanal
Ácidos orgânicos voláteis	mg/L	Semanal
Composição do biogás	% CO <sub>2</sub>	Mensal
<i>Quantidade e qualidade do lodo</i>		
Sólidos totais	mg/L	Semanal
Sólidos voláteis totais	mg/L	Semanal
Atividade metanogênica específica	gDQO/gSTV.d	Mensal
Índice volumétrico de lodo	mL/g	Mensal
Estabilidade do lodo	gDQO/gSTV.d	Mensal

FONTE: CHERNICHARO (2011)

NOTA: A composição do biogás também pode ser avaliada em % de CH<sub>4</sub> e a estabilidade do lodo pode ser avaliada pela relação STV/ST em %.

A velocidade ascensional é um importante fator no desempenho do processo, a aplicação de velocidades inferiores a 1 m/h favorece o desempenho da unidade, provavelmente devido a uma maior adsorção e captura de sólidos afluentes no

próprio manto de lodo. Enquanto que o uso de velocidade ascensional superior a 1 m/h implica na piora do desempenho da unidade, que pode ter sido responsável pelo aumento na força hidráulica de cisalhamento, promovendo uma desagregação dos sólidos capturados (VERSIANI *et al.*, 2005).

### 3.3. EFLUENTES COM ALTA CONCENTRAÇÃO DE LIPÍDEOS

Óleos e graxas (O&G) são gorduras, ceras, ácidos graxos livres, sabões óleos minerais e outros materiais que podem ser extraídos por hexano. Podem ser caracterizados de três maneiras: pela polaridade, pela biodegradabilidade ou pelas características físicas (METCALF; EDDY, 2003). Os altos níveis de gordura (acima de 150 mg/L) no esgoto podem prejudicar o desempenho do processo biológico, levando a colmatação de filtros e reatores anaeróbios e aeróbios, incluindo a inibição do metabolismo microbiano (PEREIRA; CASTRO; FURIGO JUNIOR, 2003; VIDAL *et al.*, 2000). A elevada concentração de lipídeos nos efluentes interfere na formação do lodo, resultando na flotação da biomassa o que reduz a atividade hidrolítica e dificulta o desaguamento, sendo necessário o uso de flocluladores para que a separação lodo-água ocorra (MENDES *et al.*, 2005).

Os compostos oleosos estão entre os mais estáveis compostos orgânicos e são de difícil degradação pelas bactérias, caso sejam dispostos no meio ambiente em valores acima dos preconizados por lei, podem interferir na vida biológica aquática, criar matéria flutuante de má aparência, películas, interferem na difusão de oxigênio do ar podendo causar a mortandade da vida aquática (CHIABAI; REBOUÇAS; GONÇALVES, 2005). Concentrações de lipídeos entre 0,8 a 1,2 g/L no efluente reduzem a eficiência de remoção de DQO, mas a aplicação de enzimas lipolíticas propiciam o alcance de bons resultados no tratamento anaeróbio de efluentes (LEAL *et al.* (2002).

Os efluentes ricos em lipídeos podem ser submetidos a processos físicos e/ou químicos e/ou biológicos para remoção destes compostos. Dentre os processos físicos tem-se a flotação por ar dissolvido e a simples retenção em caixas de gordura. Nas caixas de gordura, utiliza-se a diferença de densidade entre a água e o óleo para que ocorra a separação (MONGKOLTHANARUK; DHARMSTHITI, 2002). Para uma separação eficiente em caixas de gordura, temperatura superior a 35°C, pH acima de 8,5 e excesso de detergentes devem ser evitados para evitar a emulsificação, saponificação ou diminuição do tamanho das gotículas de óleos e gorduras respectivamente (MENDES *et al.*, 2005). Já nos flotações, a separação é favorecida pela inclusão de ar dissolvido (MONGKOLTHANARUK; DHARMSTHITI, 2002).

Estudos realizados em reatores de manto de lodo seguido de biofiltro submerso para tratamento de esgotos domésticos verificaram que a remoção total de O&G nos efluentes era facilitada quando o esgoto era submetido previamente a uma caixa de gordura. Esta realizava o pré-tratamento dos efluentes, reduzindo o teor de O&G destinado ao processo subsequente, tornando-o mais eficiente (CHIABAI; REBOUÇAS; GONÇALVES, 2005 e SEMIONATO, *et al.*, 2005).

### 3.4. PROBLEMÁTICA DA ESCUMA

Nas FIGURAS 3.8 e 3.9 pode-se visualizar a carência de trabalhos relacionados ao tema “escuma de reatores UASB” no Brasil e no mundo. Quando se compara a produção científica sobre escuma, com outro assunto relativo a tratamento de esgotos, como membranas de filtração, por exemplo, observa-se que o primeiro tema tem muito menos estudos. As publicações realizadas no Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, o maior congresso na área de saneamento ambiental no país, somam 18 trabalhos sobre escuma e 43 sobre o uso de membranas filtrantes, no período de 2003 a 2013. Já no Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária, o maior congresso na área de saneamento ambiental na Latino América, não há trabalhos sobre escuma e o tema membranas filtrantes foi apresentado em 26 trabalhos, no mesmo período. A importância do estudo do tema “escuma” em eventos nacionais é bastante expressiva e pode ser evidenciada também na FIGURA 3.9 na qual se apresenta a ocorrência dos dois temas nos portais de periódicos científicos mais acessados no país. Nestes encontram-se 3.135 trabalhos relacionados a membranas filtrantes e apenas 66 sobre escuma.

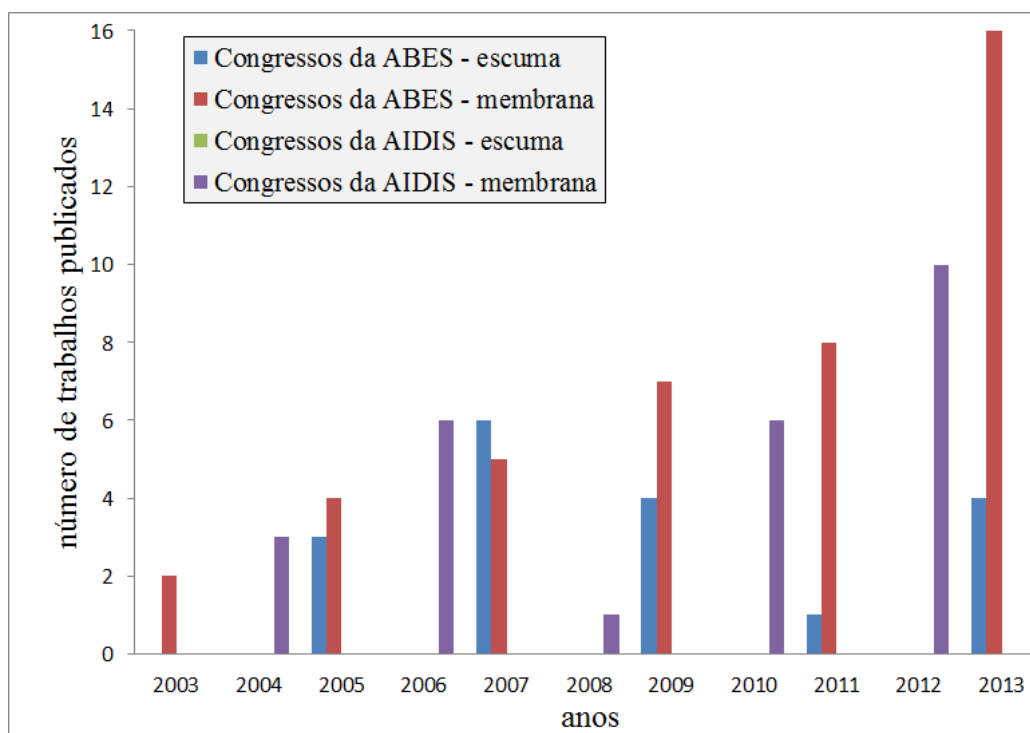


FIGURA 3.8 - NÚMERO DE TRABALHOS RELACIONADOS AO TEMA ESCUMA E MEMBRANAS FILTRANTES EM CONGRESSOS NO PERÍODO DE 2003 A 2013  
 FONTE: O autor (2014)

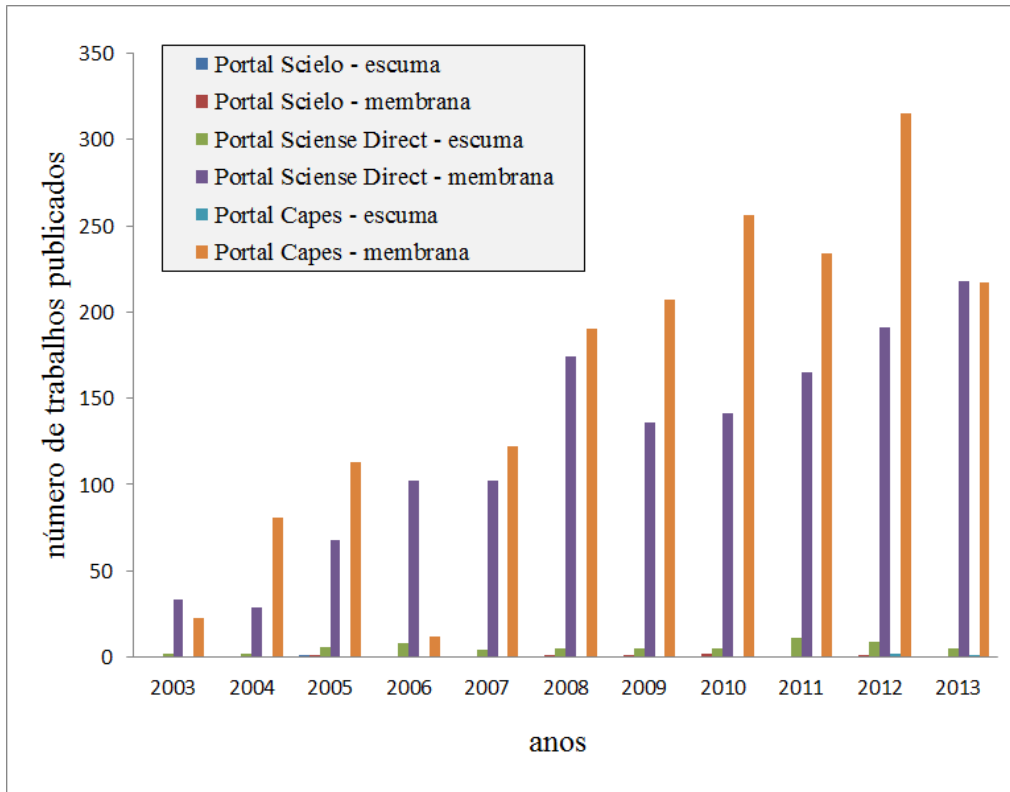


FIGURA 3.9 - NÚMERO DE TRABALHOS RELACIONADOS AO TEMA ESCUMA E MEMBRANAS FILTRANTES EM PORTAIS DE PERIÓDICOS CIENTÍFICOS NO PERÍODO DE 2003 A 2013  
 FONTE: O autor (2014)

Apesar da carência de informação sobre esta temática, os problemas operacionais decorrentes da formação e acúmulo de espuma nos reatores instalados em ETEs do Estado do Paraná foram relatados em 1984 (GOMES; ALVES; SKIBA, 2007) e ainda não foi encontrada uma alternativa viável para as plantas em operação.

A espuma pode ser definida como uma camada de materiais flutuantes que se desenvolve na superfície de reatores e pode aparecer no tratamento de águas residuárias tanto domésticas quanto industriais (SOUZA; AQUINO; CHERNICHARO, 2006). É composta por gorduras, óleos, ceras, sabões, lodo e material particulado de forma geral. A composição e quantidade gerada de espuma irá depender da composição do esgoto afluente e do sistema preliminar de tratamento. Quanto mais eficiente for o sistema preliminar menos espuma será formada e menor a quantidade de pontas de cigarros, materiais plásticos, cascas de frutas e vegetais, papel entre outros materiais similares presente nela (SILVA *et al.*, 2005). A espuma pode ser classificada como um rejeito complexo, durante a sua biodegradação a etapa considerada limitante, e mais lenta, é a hidrólise de lipídios e consequente liberação de ácidos graxos. O baixo consumo de ácidos graxos de cadeia longa e o fato destes funcionarem como inibidores dos micro-organismos acetogênicos e metanogênicos favorece a flotação da biomassa na superfície dos reatores (SANTOS; CHERNICHARO; CASTRO, 2013).

O problema do acúmulo de espuma é bastante conhecido nos digestores de lodo, como é muito difícil prevenir a entrada de materiais flotáveis nestes o controle

da formação de espuma, quando possível, deve ser feito com auxílio de misturadores. Além disso, alguns digestores são projetados com tampas que mantêm a espuma submersa, permitindo a sua degradação microbiológica, em outros o lodo é recirculado na superfície de modo a evitar o seu acúmulo. Sabe-se que cargas de 2,1 Kg de STV/dia.m<sup>3</sup> ou mais permitem uma boa mistura no interior do digestor e controlam a espuma pela alta taxa de produção de biogás (WPCF, 1968).

Nos digestores primários de lodo a formação de espuma é bastante comum, por esta razão estas estruturas quando não são providas de misturadores, para evitar a formação da espuma, possuem coletores que encaminham a espuma para o início do processo, fazendo-a retornar para o digestor em um ciclo fechado (WEF, ASCE, EWRI, 2005). Além dos misturadores mecânicos, jatos de água, calhas coletoras e remoção manual também são utilizados para evitar o acúmulo de espuma na superfície de decantadores primários, a escolha do método de remoção dependerá do tamanho da planta e do formato do digestor. Depois de removida a espuma do digestor primário pode ser misturada aos demais resíduos sólidos da planta (METCALF; EDDY, 2003). Os mesmos autores afirmam que a espuma também pode ser produzida em decantadores secundários, principalmente quando existe presença de algum outro tipo de material flutuante no esgoto, não se recomenda o retorno da espuma para o tanque de aeração em planas de lodos ativados, pois bactérias do gênero *Nocardia*, responsáveis pela produção de lodo filamentosos, que possui pouca sedimentabilidade, podem estar presentes na espuma e agravar este problema.

É importante diferenciar espuma de espuma, apesar de ambas ocorrerem no processo de tratamento de esgotos, serem menos densas que a água e por esta razão flutuarem na superfície de reatores, a sua formação se dá por diferentes motivos, a composição é distinta, conseqüentemente o controle será particularizado. Ambas possuem O&G, bolhas de gás aderidas e micro-organismos, porém a forma de produção é o principal fator de diferenciação (SOUZA, 2006). Normalmente a espuma é formada quando as taxas de inclusão de ar são elevadas, a concentração de sólidos em suspensão, relação F/M, e baixa vazão de entrada também são fatores que levam a formação de espuma em tanques de lodos ativados (WEF, ASCE, EWRI, 2005). A espuma formada na superfície de tanque de lodos ativados é definida como uma camada viscosa de coloração marrom escura, onde ocorre uma dispersão gás líquido na qual com intensa agitação, gás predomina em até 95 %. Na superfície de digestores anaeróbios pode ocorrer a formação de espuma, está irá prejudicar o aproveitamento do biogás, por dificultar sua saída do meio líquido (GANIDI; TYRREL; CARTMELL, 2009).

De toda a DQO relacionada à degradação de espuma aproximadamente 36% está relacionada com a sua fração lipídica, o que comprova a grande quantidade de O&G neste material (CHERNICHARO, 2005). O problema relacionado à presença de O&G no esgoto sanitário está relacionado com a agregação de sólidos e partículas em suspensão, o que pode ocasionar o entupimento de redes, dutos e reservatórios (SEMIONATO *et al.*, 2005).



Acredita-se que não há a necessidade de se projetar reatores UASB com retentores de espuma e é possível permitir a saída de toda espuma no efluente, sem perda de desempenho do tratamento de efluentes, isso devido ao fato de que usualmente as taxas de acumulação de espuma para reatores que tratam esgotos tipicamente domésticos são diminutas e que o efluente comumente passa por um pós-tratamento que poderá atenuar os eventuais impactos relacionados à perda de sólidos (CHERNICHARO *et al.*, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2007).

Esgotos concentrados ou ETEs que possuam como etapa de pós-tratamento biofiltros aerados submersos, que não possuem decantador secundário, devem prever a remoção da espuma acumulada na superfície do decantador do UASB (CHERNICHARO *et al.*, 2009), além disso, a espuma pode ser formada em outras etapas de tratamento, como no tratamento preliminar, em caixas de gordura, na rede coletora, até mesmo no tratamento aeróbio. Caso a espuma não seja retida dentro do reator UASB e seja descartada em conjunto com o efluente do reator a contribuição de sólidos totais seria de 1,2 mg/L e de SST de 0,8 mg/L, o que não representa uma piora significativa da qualidade do efluente. Já em reatores descobertos a espuma tende a não se acumular em grandes quantidades, devido a processos de amenização, como chuvas fortes na superfície do líquido (SOUZA *et al.*, 2007).

A construção de decantadores abertos equipados com defletores para conter espuma pode favorecer a minimização de odores e a concentração de sulfetos no efluente dos UASBs por outro lado, pode reduzir a qualidade do efluente devido ao desprendimento de materiais flutuantes. Encontrou-se na espuma bactérias do gênero *Beggiatoa sp.* e *Thiotrix sp.* que foram capazes de oxidar os sulfetos, transformando-os em sulfatos, controlando odor e sua toxicidade. Já as cianobactérias *Phormidium* e *Pseudoanabaena* também apresentaram significativa capacidade de oxidação de sulfetos (GARCIA *et al.*, 2012; SOUZA, 2006). Na FIGURA 3.10 observa-se a presença de espuma esverdeada e pouco densa na superfície de um reator UASB aberto.



FIGURA 3.10 - ESCUMA ESVERDEADA NA SUPERFÍCIE DE REATOR TIPO UASB ABERTO  
FONTE: JORDÃO (2005)

Muitas vezes para minimizar a dispersão de odores os reatores são enclausurados. A escolha e dimensionamento das tampas e coberturas deve levar em conta fundamentalmente a remoção periódica de espuma, assim como a visualização da camada sem necessariamente abrir as tampas (WEF, 2004).

Dentre os problemas quanto ao acúmulo de espuma por longo período de tempo tem-se o crescimento de plantas e a interferência no separador trifásico, no caso onde a separação é feita com lonas plásticas pode ocorrer o desprendimento da mesma, a presença de material grosseiro é resultado de um sistema preliminar de má qualidade (FIGURA 3.11).



FIGURA 3.11 - ESCUMA ACUMULADA NA SUPERFÍCIE DO DECANTADOR DO REATOR TIPO UASB EM DIVERSAS ETES DA RMC  
 FONTE: O autor (2014)

Algumas pesquisas têm sido desenvolvidas em estações reais, visando entender e produzir informações que permitam um melhor gerenciamento da espuma, pode-se citar os estudos desenvolvidos em Minas Gerais nas ETES Laboreaux e Onça, que tratam um equivalente populacional de 70 mil e 1 milhão de habitantes, respectivamente (CHERNICHARO *et al.*, 2009; ROSA *et al.*, 2012). Já

outros pesquisadores destacam a dificuldade em sua remoção e a caracterização química e microbiológica (CAMARGO; PIVELI, 2014; MIKI, 2010; ROSA, *et al.*, 2013; HALALSHEH *et al.*, 2005; SOUZA; AQUINO; CHERNICHARO, 2006; PEREIRA *et al.*, 2009 e GARCIA *et al.*, 2012).

### 3.4.1. Fatores que influenciam na formação da espuma

Para a espuma se formar na superfície do reator UASB tem que existir um dispositivo que a impeça de sair do reator com o efluente tratado e quanto menor o tempo de detenção maior a necessidade da existência deste dispositivo para que além da espuma, o lodo não saia do reator (SOUZA *et al.*, 2007).

Nos reatores UASB o acúmulo de espuma ocorre em dois compartimentos distintos: na superfície do compartimento de decantação e no IST (FIGURA 3.12). As duas subunidades apresentam diferenças funcionais importantes na formação da espuma. Na superfície do decantador não deve haver desprendimentos de biogás, enquanto que no interior do separador há um importante desprendimento de biogás. A liberação de gases no interior do separador poderia ter um efeito controlador sobre a espessura e consistência da camada de espuma (SOUZA; AQUINO; CHERNICHARO, 2006).

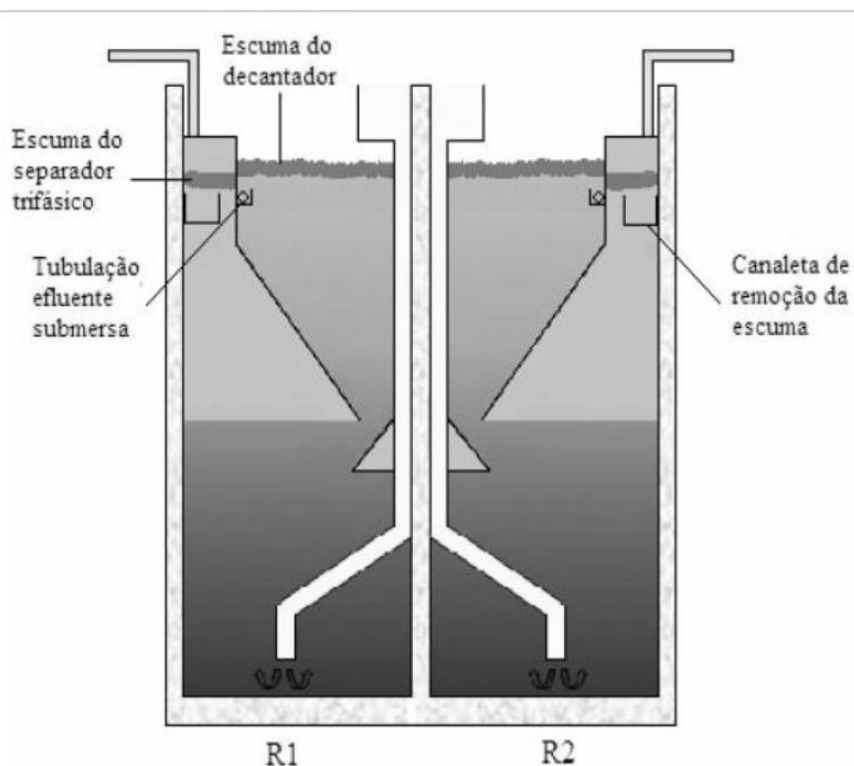


FIGURA 3.12 - CORTE ESQUEMÁTICO DE REATORES UASB GEMINADOS (R1 E R2) E VISUALIZAÇÃO DAS ESCUMAS ACUMULADAS  
FONTE: SOUZA; AQUINO; CHERNICHARO (2006)

O adequado projeto e manejo dos dispositivos para retirada de espuma do decantador permite o controle do acúmulo de espuma nesta região, porém a retirada da espuma do separador trifásico é um pouco mais trabalhosa. Além das

dificuldades relacionadas a retirada da espuma, deve-se ressaltar que a sua presença no IST obstrui a interface gás-líquido o que impede a saída do biogás (PEREIRA; CHERNICHARO, 2013).

O clima pode influenciar na formação da espuma, principalmente em UASBs descobertos, as chuvas fortes podem quebrar a camada em formação e a presença de luz e nutrientes incentivam o crescimento de algas e outros micro-organismos fotossintetizantes (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994, *apud* SOUZA *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2005).

A formação da espuma pode ser intensificada quando os reatores UASB estão operando com baixos tempos de detenção (5h), a alta velocidade ascensional (1,1 m/h) aumenta a quantidade de sólidos arrastados para a superfície do reator contribuindo para uma maior formação de espuma (SOUZA; AQUINO; CHERNICHARO, 2006). Esgotos com altos teores de proteína também tendem a produzir mais espuma e formar um lodo menos granular, mais floculento, que possui maior dificuldade de sedimentação (METCALF; EDDY, 2003).

Outro parâmetro de operação dos reatores UASBs que pode influenciar na formação da espuma é o descarte de lodo, seu acúmulo certamente provocará uma maior perda de sólidos para o compartimento de decantação, ocasionando a elevação da taxa de produção de espuma e a possível deterioração da qualidade do efluente final (LOBATO *et al.*, 2007; SOUZA *et al.*, 2007; CHERNICHARO *et al.*, 2009). Observa-se que os SST, constituídos de flocos de lodo anaeróbio mais leves ou de material não degradado do afluente, podem ser carregados da zona de digestão para a zona de decantação sem terem condições de retornar para a zona de digestão, comprometendo a concentração de SST no efluente e na camada de espuma (SOUZA; AQUINO; CHERNICHARO, 2006).

O uso de peneira e caixa de gordura antes do UASB pode de minimizar a formação de espuma (MIKI, 2010), no entanto esta hipótese não foi confirmada após a realização de “peneiramento forçado” de 1 mm, após bombeamento de entrada, no esgoto bruto (SOUZA, 2006). Neste processo, a redução do tamanho das partículas causado pelo peneiramento beneficia as taxas de conversão metabólica, porém prejudica a sedimentação dos sólidos e a formação de agregados de micro-organismos (SOUZA; AQUINO; CHERNICHARO, 2006).

Independentemente destes fatores a quantidade e as características da espuma dependem da composição do substrato, notadamente do conteúdo de sólidos suspensos e de O&G (LOBATO *et al.*, 2007). O recebimento de efluentes e resíduos provenientes de fossas sépticas, banheiros químicos, caixas de gordura, entre outros materiais irá intensificar a geração de espuma (CHERNICHARO *et al.*, 2009).

### 3.4.2. Quantidade de espuma gerada

Como visto, a formação de espuma depende de diversos fatores, desta forma, encontra-se uma grande diversidade de taxas de geração (TABELA 3.5).

TABELA 3.5 - TAXAS DE FORMAÇÃO DE ESCUMA SEGUNDO VÁRIOS AUTORES BRASILEIROS.

PARÂMETRO	UNIDADE	FAIXA DE VALORES
ROSA <i>et al.</i> (2013) (1)	mL/kgDQO aplicada	3,97
	L/m <sup>2</sup> .d	0,22
OLIVEIRA <i>et al.</i> (2007) (2)	gST/kgDQO aplicada	1,1 a 1,3
SOUZA (2006) (3)	L/kgDQO aplicada	0,01 a 0,04
	L/kgSST aplicado	0,02 a 0,08
	gST/kgDQO aplicada	1,0 a 2,4
	gST/kgSST aplicado	1,5 a 5,4

NOTA: (1) A taxa de geração foi avaliada em dois dos sete separadores trifásicos, em um dos oito reatores UASB da ETE Laboreaux de Itabira, Minas Gerais, Brasil. (2) Avaliação em reatores UASB piloto, sendo um convencional e outro modificado, no qual se permitia a saída constante de toda a espuma produzida. (3) os valores foram obtidos em reatores UASB pilotos operando com velocidades ascensionais entre 0,5 a 1,1 m/h.

Estimou-se o acréscimo das concentrações de DQO e DBO no efluente de um reator UASB, cujos decantadores não dispõem de retentores de espuma e concluiu-se que é desprezível (menos que 0,5%) o impacto na qualidade do efluente do reator, decorrente da não utilização de retentores de espuma nos decantadores, esta avaliação está apresentada no Anexo 1 deste documento. Ressalta-se, no entanto, que tal consideração é válida apenas para reatores tratando esgotos tipicamente domésticos e operando com velocidades ascensionais médias na faixa de 0,5 a 0,7 m/h (SOUZA, *et al.*, 2007).

### 3.4.3. Características da espuma

#### A) Características físico-químicas

As características qualitativas da espuma não se alteram muito com o passar do tempo, em um experimento de 7 meses em reatores piloto, Q = 67 L/h e TDH = 7h, tratando esgoto doméstico do campus da UFMG, obteve-se ST = 102 a 123 g/L, DQO = 152 a 188 g/L, DBO = 46 a 60 g/L, OD = 0,3 mg/L e relação STV/ST = 74% (SOUZA *et al.*, 2007). Nestes mesmos pilotos, quando comparada a espuma formada no IST e no compartimento de decantação, obteve-se os resultados de 76 g/L de DQO, 35 g/L de ST, 26 g/L de STV e relação STV/ST de 75 %, no IST e 140 g/L de DQO, 87 g/L de ST, 62g/L de STV e relação STV/ST de 71% (OLIVEIRA *et al.*, 2007).

No reator UASB instalado no campus da UFRJ para tratar o esgoto doméstico com DQO afluente de 350 mg/L, projetado para atender 500 habitantes, a espuma apresentou a relação de STV/ST de 69% sendo os valores encontrados de 659 mg/L

de ST, 454 mg/L de STV, DQO de 14,63 g/L e O&G de 2,19 g/L (VERSIANI *et al.*, 2005). Observa-se que esta espuma é diferenciada, uma vez que o trabalho foi realizado na UFRJ e os demais na UFMG.

Uma menor relação STV/ST é indicativa do maior grau de estabilização da espuma (OLIVEIRA *et al.*, 2007). Sendo assim, a relação STV/ST e DBO/DQO pode ser reduzida, diminuindo a biodegradabilidade da espuma devido ao maior aporte de sólidos de mais difícil biodegradação à camada de espuma do decantador, em função de condições operacionais criadas essencialmente por menores TDH e maiores velocidades de ascensão do líquido (SOUZA; AQUINO; CHERNICHARO, 2006).

Quanto à composição de matéria orgânica da espuma, encontrou-se 20,04 g/L de proteína, 27,41 g/L de lipídeos e 14,14 g/L de carboidratos na espuma, com base nestes dados pode-se concluir que a espuma é composta principalmente por lipídeos (36%) (CHERNICHARO, 2005).

#### B) Características microbiológicas

A presença de micro-organismos na espuma pode favorecer a degradação da matéria orgânica residual ao tratamento anaeróbio bem como a oxidação de compostos reduzidos (SILVA *et al.*, 2005). A produção de oxigênio devido à presença de algas e cianobactérias, favorecidas pela presença de nutrientes e luz, favorece o desenvolvimento de micro-organismos aeróbios e microaerofílios. As cianobactérias possuem a capacidade de realizar a fotossíntese tendo a água como doadora de elétrons, algumas espécies são capazes de fixar nitrogênio molecular diretamente da atmosfera e ressalta-se que algumas espécies produzem cianotoxinas e outras podem produzir limo e provocar a corrosão do concreto e ferro (PEREIRA NETO *et al.*, 2009).

O aspecto visual da espuma é fortemente influenciado pelo tipo de micro-organismos presentes na espuma e por características operacionais dos reatores. Assim, visualmente a espuma pode ser dividida em dois tipos básicos: a espuma esverdeada presente em reatores abertos e com grande quantidade de algas e a espuma acinzentada presente em reatores fechados (SILVA *et al.*, 2005).

A espuma de reatores descobertos é bastante compacta e apresenta coloração esverdeada devido à presença de algas, a matriz biológica é composta por micro-organismos filamentosos, longos e entrelaçados (SILVA *et al.*, 2005, SOUZA *et al.*, 2007). O gênero de cianobactérias *Oscillatoria* determina a coloração azul-esverdeada, estes micro-organismos exibem movimento oscilatório lento e possuem pequenas estruturas internas para acúmulo de gás (SILVA *et al.*, 2005). Os grupos de bactérias *Beggiatoa* e *Thiospirillum* utilizam sulfetos como fonte de elétrons durante a respiração aeróbia e crescem perto de algas, como as do gênero *Oscillatoria*. São bactérias típicas de ambientes iluminados ricos em sulfetos e baixa concentração de O<sub>2</sub> (SOUZA *et al.*, 2007) (FIGURA 3.13).

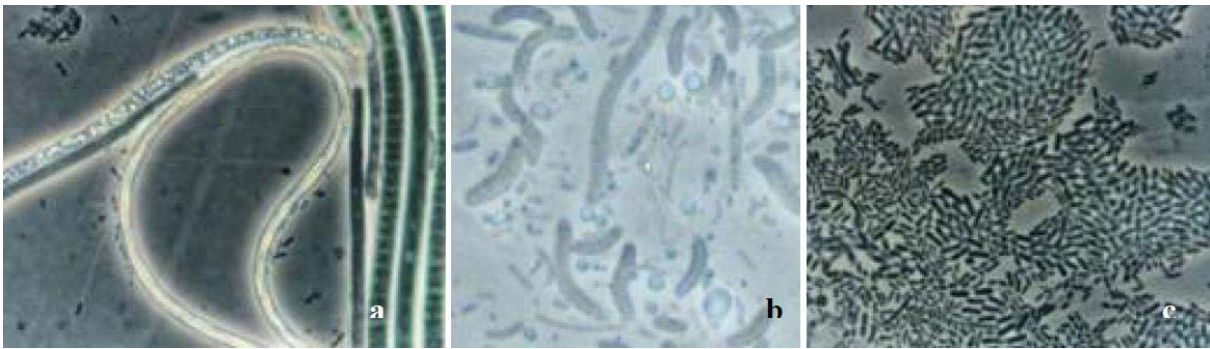


FIGURA 3.13 - MICROSCOPIA DE CONTRASTE DE FASE DA ESCUMA ESVERDEADA. (a) FILAMENTOS DE BEGGIATOA COM GRÂNULOS REFRINGENTES E CIANOBACTÉRIAS. (b) BACILOS GRANDES COM GRÂNULOS INTERNOS. (c) AGLOMERADO DE BACILOS. AUMENTO DE 1000x

FONTE: SILVA *et al.* (2005)

Ainda foram encontradas algas do gênero *Chlamydomonas*: células esféricas, rígidas, dois flagelos polares de mesmo tamanho e mancha ocelar, um órgão fotossensível de coloração vermelha com função de orientar o microrganismo na procura da luz e o gênero *Euglena* que também apresentou mancha ocelar, porém, com células maiores, alongadas e flexíveis, mudando constantemente de forma. Também se destaca a presença de uma espécie diatomácea alongada que acumulam gotas de óleo no seu interior o que permite que se movimentem verticalmente dentro do reator (SILVA *et al.*, 2005) (FIGURA 3.14).



FIGURA 3.14 - MICROSCOPIA DE CAMPO CLARO DA ESCUMA ESVERDEADA. (a) FILAMENTOS DE CIANOBACTÉRIAS, AUMENTO 400X. (b) MICRORGANISMOS FLAGELADOS SIMILARES AOS GÊNEROS *CHLAMYDOMONAS* (CÉLULA MENOR) E *EUGLENA* (CÉLULA MAIOR), AUMENTO DE 1000X. (c) DIATOMÁCEAS COM CLOROPLASTO MARROM, AUMENTO 1000x

FONTE: SILVA *et al.* (2005).

Já a espuma acinzentada apresenta esta coloração devido ao acúmulo de lodo proveniente do interior do reator, a principal diferença entre esta espuma e a espuma esverdeada é a ausência de cianobactérias e de algas unicelulares. Esta ausência pode estar relacionada a presença do lodo que desfavorece o desenvolvimento de micro-organismos fotossintetizantes. Na superfície da espuma encontrou-se micro-organismos com filamentos longos com grânulos internos, bacilos retos e bacilos curvos (FIGURA 3.15 a e b) e no interior da espuma bacilos retos pequenos formando aglomerados celulares (FIGURA 3.15 c). Provavelmente estes bacilos constituem o lodo floculento do interior do reator que é arrastado à superfície do decantador (SILVA *et al.*, 2005).

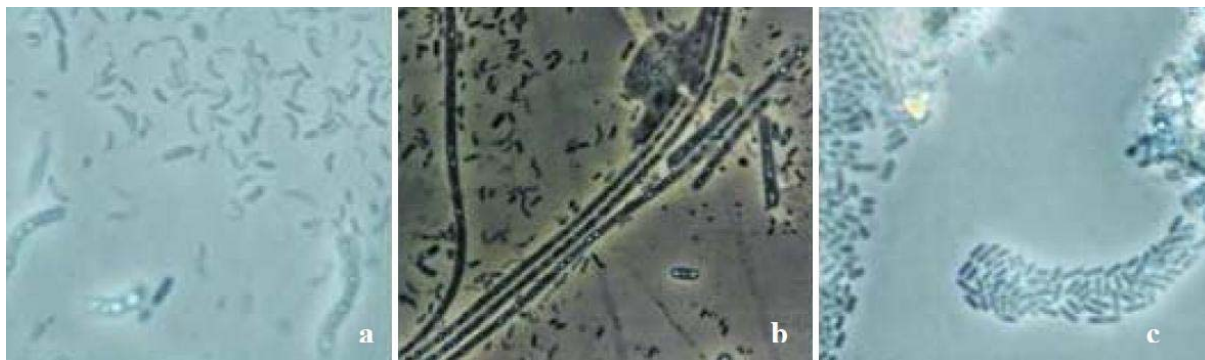


FIGURA 3.15 - MICROSCOPIA DE CONTRASTE DE FASE DA ESCUMA ACINZENTADA. (a) (b) BACILOS E FILAMENTOS COM GRÂNULOS INTERNOS. (c) BACILOS AGLOMERADOS. AUMENTO DE 1000x  
 FONTE: SILVA *et al.* (2005)

Em um estudo realizado em Minas Geras, com um reator piloto tipo UASB, os autores encontraram as seguintes espécies de cianobactérias próximas as bactérias de vários morfotipos: *Phormidium* sp., *Oscillatoria* sp., *Pseudoanabaena* sp. e *Geitlerinema* sp., esta proximidade pode sugerir uma interação entre os microorganismos ou mesmo competição por nutrientes (PEREIRA NETO *et al.*, 2009).

### 3.5. GERENCIAMENTO DA ESCUMA

Existe uma série de possíveis melhorias relacionadas ao gerenciamento da espuma, tanto para aquela formada na superfície da área de decantação quanto para aquela formada no IST (SOUZA, 2006).

A maior parte das ETEs instaladas no Brasil conta apenas com o gradeamento médio, onde o espaçamento entre barras é na ordem de 20 mm, com esta dimensão de vão vários materiais sólidos, como trapos, plásticos, pontas de cigarro, insetos, entre outros, contidos no esgoto avançam no tratamento preliminar chegando ao interior dos reatores. Dentro dos reatores estes materiais têm duas principais alternativas, quando não entopem os canais de distribuição, são incorporados ao lodo ou à espuma. O uso de grades finas, com aberturas entre 10 e 15 mm ou peneiras, com aberturas na ordem de 5 mm, são a principal alternativa para melhoria do pré-tratamento que contribuiria para a melhoria na qualidade da espuma (CHERNICHARO *et al.*, 2009).

Em reatores tratando esgotos tipicamente domésticos a remoção da espuma no IST deve ocorrer no período de 15 a 30 dias, para garantir características fluídas que permitem o seu escoamento. Prazos maiores de acumulação resultam em camadas mais espessas e de escoamento mais dificultado. Dependendo da consistência e do grau de estabilização da espuma, esta pode ser direcionada aos leitos de secagem ou para o poço de sucção que alimenta o equipamento de desidratação de lodos (SOUZA, 2006).



As limitações potenciais relacionadas ao gerenciamento da espuma são o entupimento de tubulações, gerenciamento trabalhoso e a disposição final (CHERNICHARO *et al.*, 2009). Existe a necessidade do estabelecimento de rotinas operacionais para a remoção da espuma, seu acúmulo pode reduzir a eficiência de tratamento e impedir a saída do biogás para o meio atmosférico no IST (ROSA *et al.*, 2012).

### 3.5.1. Remoção da espuma

Existem algumas formas para se identificar a necessidade de remoção de espuma nos reatores UASB, deve-se dar especial atenção para o aumento da concentração de sólidos sedimentáveis e de sólidos suspensos no efluente do reator e a abertura rotineira das tampas de inspeção dos compartimentos de decantação (quando o reator for fechado) e do separador trifásico para observação visual (LOBATO *et al.*, 2007).

A retirada da espuma da superfície dos reatores consiste na sua desagregação e posterior sucção com auxílio de caminhões limpa-fossa (ROSA *et al.*, 2013). Na prática observa-se que a periodicidade de remoção deve fazer parte do critério operacional de cada reator, pois sua taxa de produção é específica para a ETE onde está sendo gerada. Os principais procedimentos adotados pela Sanepar são a remoção da espuma com rastelo e mangote com envio direto ao caminhão tipo limpa-fossa; a retirada com pá, neste caso a espuma é acondicionada em um carrinho de mão e deste é despejada em caçambas para posterior transporte e por fim a remoção de espuma através de escoamento em canaletas (FIGURA 3.16).

A espuma formada no IST é de mais difícil remoção e acaba se endurecendo e aprisionando o biogás. Já para a espuma formada na área de decantação recomenda-se a sua saída em conjunto com o efluente. Como normalmente o reator UASB é provido de uma unidade de pós-tratamento, a espuma seria removida nesta etapa (MIKI, 2010). A remoção pode ser hidrostática por aumento ou redução da pressão do biogás e remoção manual ou por sucção (LOBATO *et al.*, 2007).

A espuma acumulada no IST, pode ou não apresentar características fluídas, o que permitiria sua remoção hidrostática através do uso de canaletas (ROSA *et al.*, 2013). Se por um lado é interessante a remoção com elevada frequência, o que possibilitaria a retirada de um material mais fluido, por outro, a remoção de um material com teor de sólidos maior facilitaria a etapa de desaguamento, reduzindo o tamanho e número das unidades para a realização desta etapa.



a) Retirada da espuma com sucção para o caminhão limpa-fossa e apoio de rastelo, ETE Padilha Sul (RMC)



b) Retirada da espuma com pá e carrinho de mão, ETE Atuba Sul (RMC).



c) Haste para abertura da caneleira de escoamento para retirada de espuma, ETE Vassoural (Guarapuava)

FIGURA 3.16 - EXEMPLOS DE OPERAÇÃO DE RETIRADA DE ESCUMA PRATICADAS NO ESTADO DO PARANÁ  
FONTE: O Autor (2014)

Na ETE Matão (SP) tem-se um sistema de comporta na área debaixo das campânulas de gás que como auxílio de jatos de água fazem a remoção eficiente da espuma formada no IST (MIKI, 2010). Na ETE Onça (MG) tem-se a remoção hidrostática, através do aumento da pressão de biogás no IST, de modo que a espuma escoe por vertedores e canaletas instaladas no interior da câmara de gás (CHERNICHARO *et al*, 2009)(FIGURA 3.17).

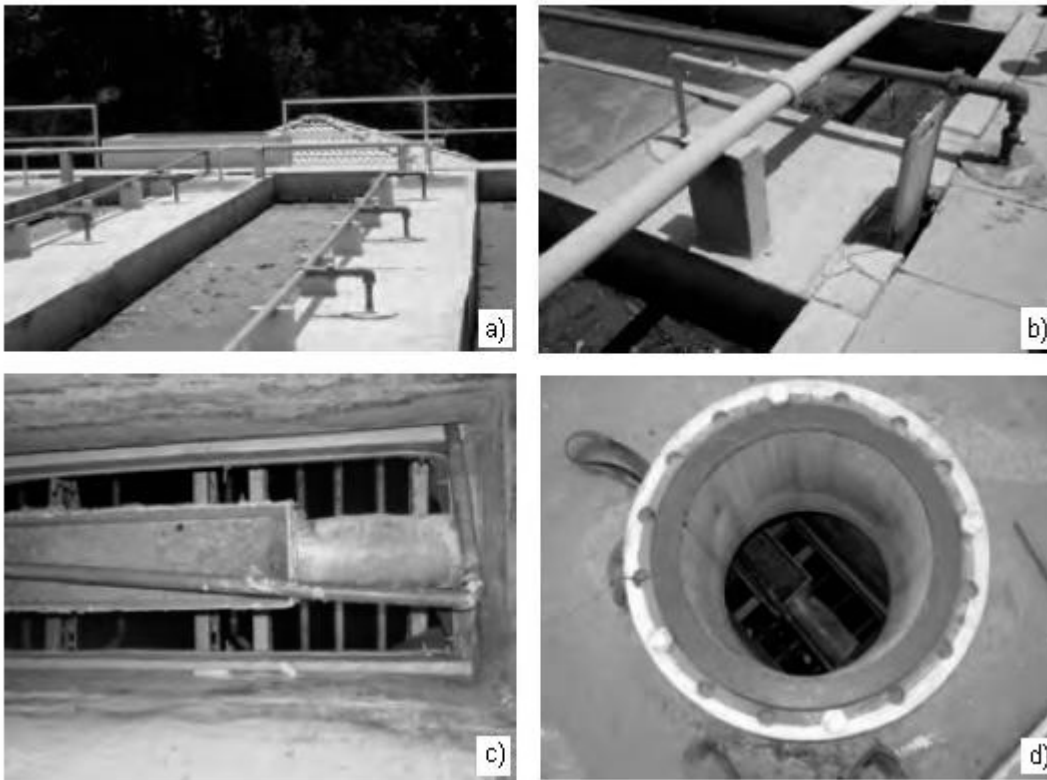


FIGURA 3.17 - MECANISMOS DE REMOÇÃO DE ESCUMA PRATICADOS NO BRASIL: a) sistema de jatos de água em cima das campânulas de gás da ETE Matão (SP), b) comporta para remoção de espuma do UASB da ETE Matão (SP), c) calha de remoção de espuma na ETE Onça (MG) e d) abertura de inspeção do dispositivo de remoção de espuma da ETE Onça (MG).  
 FONTE: MIKI (2010)

A remoção hidrostática ocorre com a fixação do nível de interface espuma-biogás no interior de cada IST, 30 mm abaixo da canaleta coletora de espuma, resultando numa pressão total de 200 mmca em relação ao nível de água no tanque de sedimentação. Desta forma, a abertura da válvula para remoção de espuma, produz um alívio de pressão no interior do IST, o que permite que o nível de espuma suba e se desloque no interior da canaleta coletora. A espuma passa, então, por uma peneira estática que tem por objetivo separar a fração líquida, que é destinada ao desaguamento em leitos de secagem, e a fração sólida destinada a aterros sanitários (ROSA *et al.*, 2013) (FIGURA 3.18).

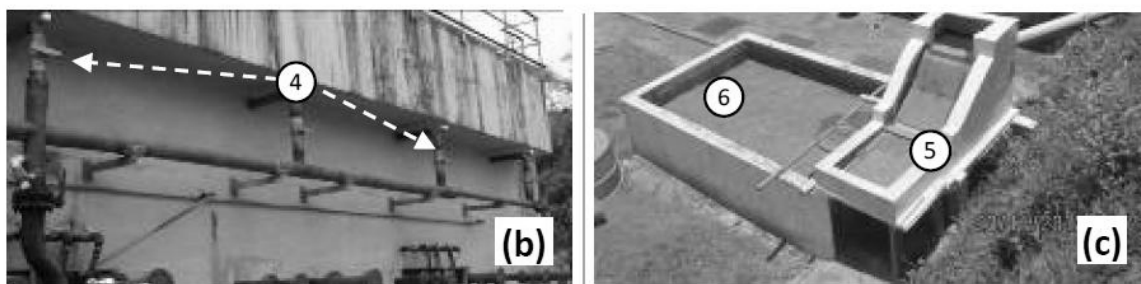
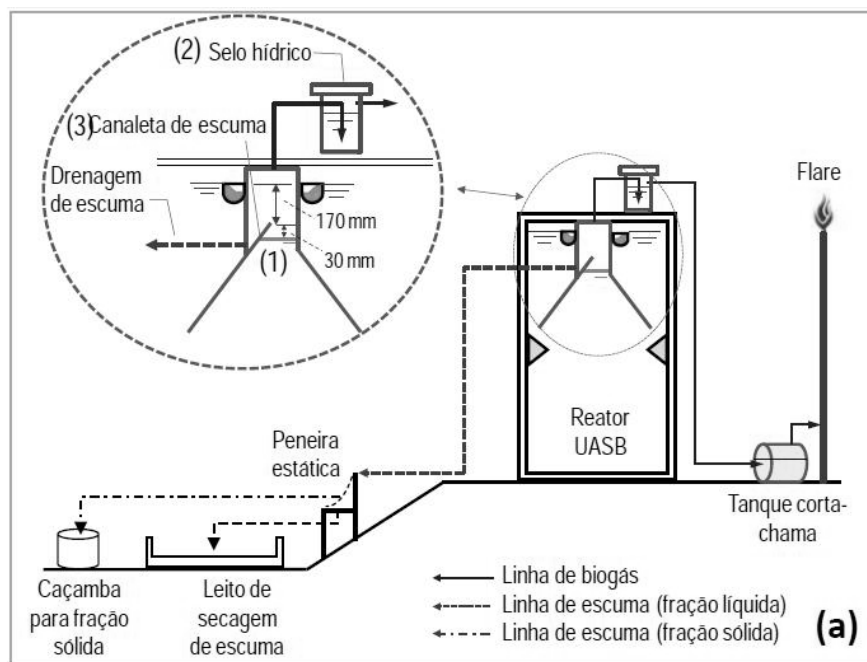


FIGURA 3.18 - SISTEMA DE REMOÇÃO DE ESCUMA DO IST: (a) fluxograma esquemático das linhas de gás e espuma; (b) visão da linha de espuma e válvulas; (c) visão da peneira estática e leito de secagem. Legenda: (1) interface espuma-biogás; (2) selo hídrico; (3) nível de espuma; (4) válvula de espuma; (5) peneira estática; (6) leito de secagem.

FONTE: ROSA *et al.* (2013)

Uma alternativa que começa a ser avaliada é a retirada total do separador trifásico, desta forma não ocorreria acúmulo de espuma na superfície do reator. Este procedimento requer um polimento no efluente tratado para recuperação da espuma e de eventuais sólidos que tenham sido perdidos devido ao arraste de lodo. Em um reator piloto de  $24,5 \text{ m}^3$  de volume, operado com TDH de 16, 12 e 10h, e avaliado durante 8 meses, não foi observada piora na qualidade do efluente no que diz respeito a DQO, DBO, acidez, alcalinidade e pH devido à ausência do separador trifásico (CAMARGO; PIVELI, 2014).

### 3.6. FORMAS DE DEGRADAÇÃO DA ESCUMA

Caso fosse possível a degradação da espuma no interior do reator UASB, um grande ganho operacional seria alcançado uma vez que as etapas de remoção, transporte e tratamento da espuma não seriam necessárias. Foram realizados experimentos de fechamento dos orifícios que permitiam a saída da espuma do IST para o decantador e verificou-se que não ocorreu a degradação da espuma

acumulada no IST, com sua respectiva redução de volume. Já quando operado com os orifícios fechados, observou-se uma redução na massa de espuma acumulada superiores a 70 %, 67 %, e 65 % para os teores de ST, STV e DQO respectivamente (PEREIRA; CHERNICHARO, 2013).

O sistema preliminar provido de caixa de gordura ou outro mecanismo similar destinado para a remoção de O&G pode reduzir a formação de espuma, assim como o uso de peneiras com espaçamento entre 0,5 e 1,0 mm podem contribuir com esta tarefa (JORDÃO, 2005) (FIGURA 3.19).

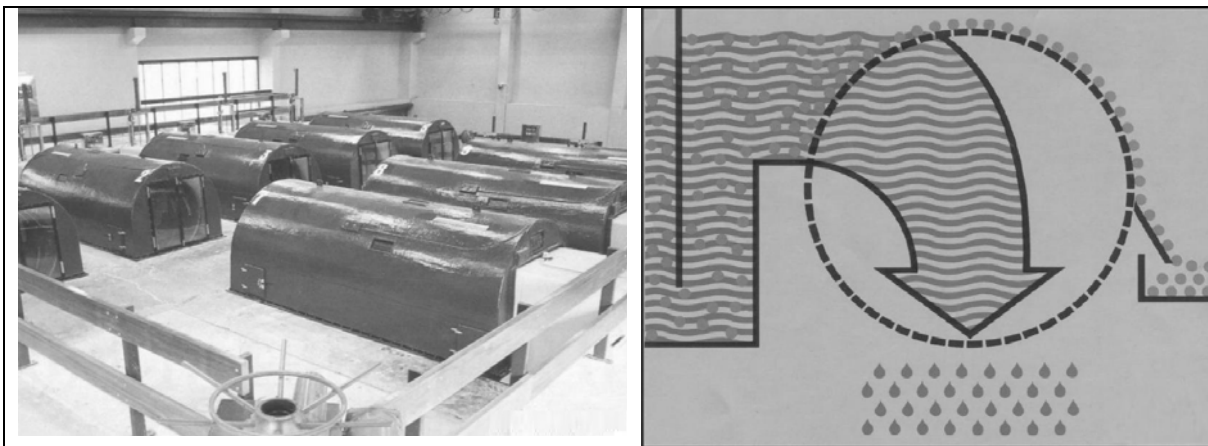


FIGURA 3.19 - PENEIRAS HIDROSTÁTICAS PARA REMOÇÃO DE ÓLEOS E GRAXAS E MATERIAIS SUSPENSOS DO ESGOTO AFLUENTE À ETE: a) VISTA GERAL; b) ESQUEMA DE SEPARAÇÃO NO INTERIOR DA PENEIRA  
 FONTE: JORDÃO (2005).

O tratamento da espuma é algo que ainda não foi elucidado, existe a possibilidade de tratar a espuma biologicamente com a aplicação de micro-organismos escolhidos para tanto, estes seriam capazes de degradar a espuma com uma maior eficiência do que os micro-organismos já existentes no reator UASB (SEMIONATO *et al.*, 2005).

### 3.7. DESAGUAMENTO DE ESCUMA

De acordo com a prática operacional observada na Sanepar, encontra-se muita dificuldade no condicionamento e desaguamento da espuma. Este fato é bastante percebido em lagoas anaeróbias onde a espuma é foco de reclamações constantes das equipes de operação, porém favorece a exclusão do oxigênio e a manutenção da temperatura no interior da lagoa (UEHARA, 1989, *apud* RAMOS, 2008). Não existe apoio na legislação vigente para este resíduo do tratamento de esgotos, na norma brasileira, NBR 12.209, que regulamenta a elaboração de projetos hidráulico-sanitários de ETEs (BRASIL, 2010) tem-se apenas a citação de que “Os reatores UASB devem possuir dispositivo de retirada de espuma”, enquanto que ao lodo de esgoto é destinado um capítulo inteiro com orientações a respeito do seu adensamento, digestão, estabilização e desaguamento. Com a falta de recomendações e procedimentos para o desaguamento de espuma, pode-se adequar o que é recomendado para o lodo de esgoto.

O reator tipo UASB gera entre 0,07 e 0,1 m<sup>3</sup>/ hab. ano de lodo (AISSE, 2000), o que segundo Andreoli, Von Sperling, Fernandes (2001) indica uma produção de lodo baixa quando comparado com os demais sistemas de tratamento de esgoto existentes. Pode-se adotar os valores médios de produção teórica de lodo de esgoto úmido de 150 gSST / kg DQO aplicada, enquanto que a de espuma está em torno de 1,5 gSST / kg DQO aplicada, representando 1 % da produção de lodo (TABELA 3.6).

TABELA 3.6 - DADOS DE PRODUÇÃO TEÓRICA DE LODO E DE ESCUMA EM UASB

REATOR UASB	gSST/kg DQO aplicada	TEOR DE SÓLIDOS SECOS (%)	MASSA DE LODO (gSST/hab.dia)	VOLUME DE LODO (L/hab.dia)
Produção de lodo <sup>(1)</sup>	120 – 180	3 - 6	12 – 18	0,2 – 0,6
Produção de espuma <sup>(2)</sup>	1,1 a 1,3	na	Na	na
Produção de espuma <sup>(3)</sup>	1,0 a 2,4	na	Na	na
<i>Valores médios adotados para este projeto</i>				
<i>Para lodo</i>	<i>150</i>	<i>4,5</i>	<i>15</i>	<i>0,4</i>
<i>Para espuma</i>	<i>1,5</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>

FONTES: <sup>(1)</sup> ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES (2001); <sup>(2)</sup> OLIVEIRA *et al.* (2007); <sup>(3)</sup> SOUZA; AQUINO; CHERNICHARO (2006)

Uma das técnicas muito aplicadas para o destino final dos lodos são os leitos de secagem. Estes se destacam por sua simplicidade de operação e manutenção, porém seu desempenho depende de fatores climáticos, como precipitações, temperatura e umidade relativa do ar, sem contar a umidade inicial do lodo (MELO, 2006). Os leitos de secagem foram as primeiras técnicas usadas para a separação de sólido-líquido do lodo, pois têm um custo de implantação menor, quando comparado com os processos mecanizados, porém uma das principais desvantagens desse método é a quantidade de área requerida para se fazer o desaguamento (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES (2001).

Os leitos podem ser instalados ao ar livre ou cobertos para proteção contra a influência das chuvas e das geadas. A secagem é realizada em batelada com o rodízio de vários leitos. O método se caracteriza por um tanque com paredes de alvenaria ou concreto e fundo de concreto, no interior do tanque são acrescentados areia e britas. O seu interior é dividido em três segmentos: soleira drenante, camada suporte e sistema de drenagem (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994).

A soleira drenante permite que o líquido presente no lodo infiltre por camadas sucessivas de areia e pedregulho com diferentes granulometrias, possui aproximadamente 0,5 m de profundidade. A camada suporte é constituída de tijolos recozidos e permite uma melhor distribuição do lodo, impedindo o entupimento dos poros da superfície da soleira drenante e garantir que a retirada do lodo desidratado seja realizada sem o revolvimento das camadas superficiais da soleira drenante. O sistema de drenagem é composto por tubos assentados com juntas abertas, colocados no fundo do tanque, e que recolhem todo o líquido percolado no leito (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001). O líquido drenado coletado deverá retornar à entrada da ETE e ao lodo seco deve ser dada a disposição adequada (BRASIL, 2011) (FIGURA 3.20).

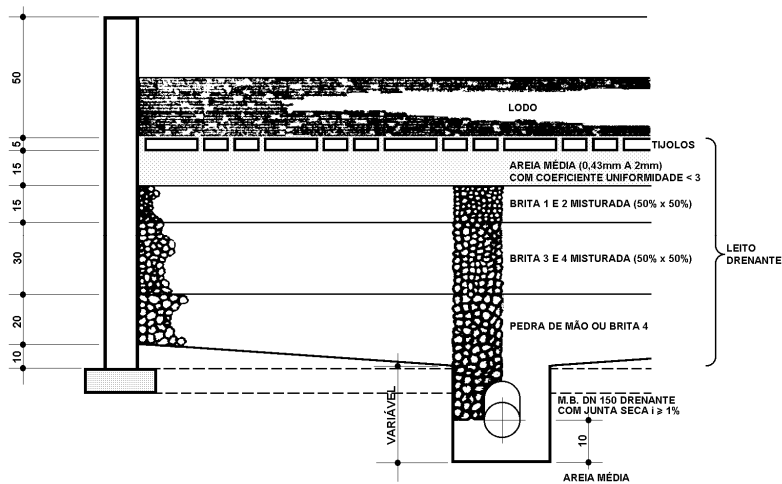


FIGURA 3.20 - CORTE ESQUEMÁTICO DE LEITO DE SECAGEM  
 FONTE: AISSE (2000).

Os dois fenômenos responsáveis pela secagem do lodo são a percolação e a evaporação, estes atuam de forma diferenciada durante o processo de desagumamento. A percolação ocorre nos primeiros dias após o lodo ter sido acondicionado no leito, depois da remoção da água livre por este processo, forma-se uma massa pastosa e densa, na qual não se verifica mais a drenagem, ocorrendo apenas a eliminação da água através da evaporação (SOARES; MATOS; BERNARDES, 2001)(FIGURA 3.21).

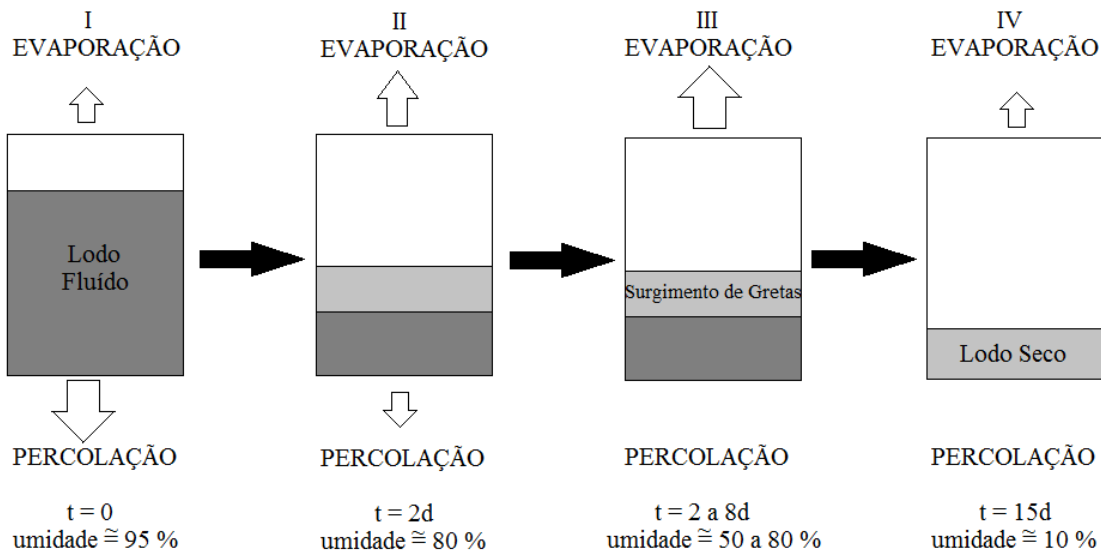


FIGURA 3.21 - ESQUEMA DO PROCESSO DE DESAGUMAMENTO DE LODO EM LEITO DE SECAGEM  
 FONTE: SOARES; MATOS; BERNARDES (2001)

As camadas diretamente expostas a atmosfera tendem a secar de forma mais eficiente, por isso o aparecimento de gretas é visto como um avanço na perda de umidade, com ela ocorre a redução do volume ou contração do lodo, que encontra-se com aparência sólida (SOARES; MATOS; BERNARDES, 2001).

A taxa de aplicação de lodo no leito de secagem não deve exceder a carga de SST de 15 kg/m<sup>2</sup> de área de secagem, em cada ciclo de operação, salvo quando devidamente justificado (BRASIL, 2011). Partindo de um lodo com teor de sólidos inicial de 3,6 %, pode-se chegar a 20 % após 16 dias de secagem com índice pluviométrico de 50 mm no período. É necessária a implantação de dispositivos para a retirada de sobrenadante dos leitos de secagem em áreas com índices de precipitação elevados para auxiliar o desaguamento (ALÉM SOBRINHO; SAMUDIO, 1996).

A secagem de espuma em leitos dimensionados para o lodo de esgoto é uma prática que começa a ser avaliada. O peneiramento estático da espuma após sua retirada da superfície dos reatores permite uma taxa de infiltração no leito de secagem de 50 mm/h, o que resulta na drenagem do leito em um período inferior a três dias, de acordo com estudo realizado na cidade de Itabira, MG (ROSA *et al.*, 2013). Aisse e Andreoli (1999) descreveram a avaliação do desaguamento de lodo anaeróbico, obtido de reatores de manto de lodo, em instalação piloto, localizada em Curitiba, e em leitos de secagem (escala real), localizados em área contígua a um RALF, na cidade da Lapa - PR. Os resultados do monitoramento nos pilotos, durante o ciclo de verão (março de 1997), apresentaram um tempo de 14 dias, para obter-se uma concentração de ST de 26%, e de 20 dias, para obter-se 31%, ambos para uma carga (taxa de aplicação) de 23,7 kg SST/m<sup>2</sup>. O resultado para o ciclo de inverno (junho e julho de 1997), para os pilotos foi de 34 dias, para obter-se ST de 24,9% e sob precipitação pluviométrica atípica acumulada de 128,2 mm. Na ETE - Lapa o tempo foi de 29 dias para obter-se ST de 27,6%, para uma precipitação pluviométrica acumulada de 161 mm, no período. Em ambos os casos a carga (altura) de lodo aplicada foi de 40 cm.

### **3.8. POSSIBILIDADES DE USO E DESTINO FINAL DA ESCUMA**

A maior parte do lodo de esgoto no Paraná é destinado ao uso agrícola, que tem seus critérios e procedimentos de uso definidos pela resolução do CONAMA 375 (BRASIL, 2006). Esta veta o uso agrícola de "*material lipídico sobrenadante de decantadores primários, das caixas de gordura e dos reatores anaeróbios*", sendo assim a espuma não pode ser destinada conjuntamente ao lodo e precisa de uma alternativa de disposição final economicamente mais interessante que a simples disposição em aterros sanitários.

Sabe-se que o lodo de esgoto pode-se tornar fonte de energia após sua desidratação (ROSA; CHERNICHARO; LOBATO, 2013) e por esta razão acredita-se que espuma pode representar uma fonte de energia renovável através da biodigestão anaeróbia (SANTOS; CHERNICHARO; CASTRO, 2013). O biogás, produzido nos reatores UASB, usualmente possui de 60 a 65 % de metano, o que lhe confere características de um gás combustível (NOYOLA; MORGAN-SAGASTUME; LÓPES-HERNÁNDEZ, 2006). Considerando-se um biogás com concentração de metano entre 60 e 70 %, tem-se o poder calorífico entre 21,5 e 25,1 MJ/Nm<sup>3</sup>, esta energia pode ser utilizada indiretamente como combustível para caldeiras, fornos e estufas, geração de eletricidade, cogeração de eletricidade e calor ou até mesmo como combustível veicular (SANTOS; CHERNICHARO; CASTRO, 2013).



## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi iniciado através do diagnóstico da problemática (item 4.1) em todas as ETEs operadas pela Sanepar no estado do Paraná. Feito este levantamento o trabalho aprofundou alguns tópicos de maior importância e para tanto desenvolveram-se experimentos em algumas ETEs. Nas ETEs Atuba Sul e Padilha Sul em Curitiba e na ETE Vassoural em Guarapuava, ocorreu o desenvolvimento das atividades de coleta para determinação da composição da espuma, determinação da taxa de geração (item 4.2) e a avaliação da degradabilidade do teor de O&G (item 4.4.3). A avaliação do desaguamento ocorreu em duas ETEs a Menino Deus da RMC e a Vassoural (item 4.4.1). A incorporação em lodo de esgoto e avaliação da geração segundo variação da velocidade ascensional e retirada de lodo (item 4.3 e 4.4.2) ocorreram apenas na ETE Vassoural. Segue um breve descritivo das unidades operacionais citadas acima.

### *ETE Atuba Sul*

Implantada em 1998, atualmente opera com a vazão média de 1098 L/s, é a maior ETE operada pela Sanepar, está localizada no bairro Cajuru em Curitiba. Seu sistema de tratamento é composto pelo preliminar (gradeamento manual de 20 mm, gradeamento mecanizado de 15 mm, desarenador e calha parshall), 16 Reatores UASB, com capacidade nominal de 70 L/s cada, totalizando 1120 L/s e quatro tanques de flotação por ar dissolvido (FAD) que realizam o pós-tratamento do efluente dos UASBs, para o lodo é feito o adensamento seguido do desaguamento com prensa desaguadora e higienização com cal (FIGURA 4.1). O efluente é lançado no Rio Atuba, classe 2, situado na Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu, sub-bacia Atuba-Bacacheri.



FIGURA 4.1 - IMAGEM SATÉLITE DA ETE ATUBA SUL  
FONTE: GOOGLE MAPS (2012)

### ETE Padilha Sul

Iniciou a operação em dezembro de 2002, atualmente opera com a vazão de 309 L/s, está localizada no bairro Ganchinho em Curitiba. Seu sistema de tratamento é composto pelo preliminar (gradeamento manual de 20 mm, gradeamento mecanizado de 15 mm, desarenador ciclônico e calha parshall), seis reatores UASBs, com capacidade nominal de 70 L/s cada um, totalizando 420 L/s, e duas lagoas de sedimentação para o pós-tratamento do efluente (FIGURA 4.2). Durante a realização deste trabalho as lagoas sofreram modificações, transformando-se em lagoas aeradas mecanicamente. O efluente é lançado no Ribeirão Padilhas, classe 2, situado na Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu, sub-bacia Ribeirão dos Padilhas.

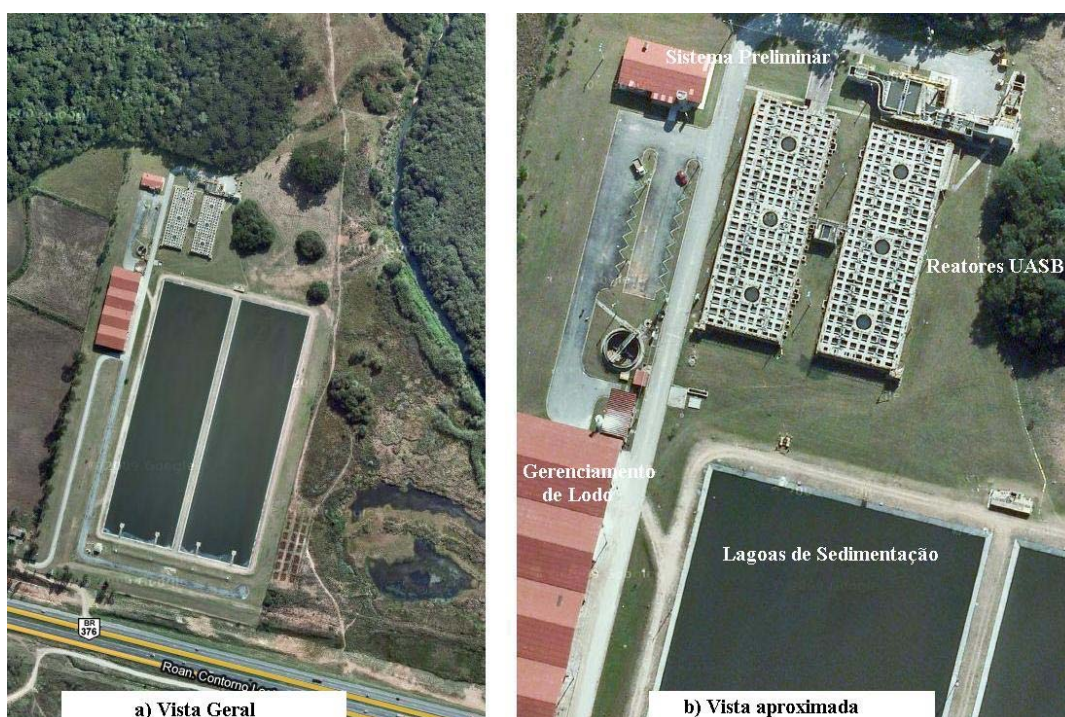


FIGURA 4.2 - IMAGEM SATÉLITE DA ETE PADILHA SUL, a) VISTA GERAL E b) VISTA APROXIMADA

FONTE: GOOGLE MAPS (2012)

### ETE Vassoural

Inaugurada em 2010, veio a substituir a ETE Sul de Guarapuava, por esta razão, opera com a vazão de 240 L/s, vazão esta idêntica a vazão para a qual foi projetada. Está localizada próxima à rodovia PR 170 em Guarapuava, sudoeste do estado do Paraná. Seu sistema de tratamento é composto pelo preliminar (gradeamento manual de 20 mm, gradeamento mecânico de 10 mm e peneiramento de 6 mm, desarenador ciclônico e calha parshall), três reatores UASBs, com capacidade nominal de 80 L/s cada um, e um filtro biológico percolador com distribuidor rotativo seguido de decantador para o pós-tratamento do efluente (FIGURA 4.3). Tanto o lodo do reator UASB quanto aquele produzido no filtro biológico percolador são armazenados em um adensador e posteriormente passam pelo desaguamento e higienização. O seu efluente é lançado no Rio Cascavelzinho, classe 2, situado na Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu, sub-bacia do Jordão.



FIGURA 4.3 – FOTOGRAFIA AÉREA DA ETE VASSOURAL EM OBRAS  
 FONTE: Arquivo (2010)

As ETEs foram escolhidas devido as suas especificidades de acordo com as características apresentadas na TABELA 4.1.

TABELA 4.1 - CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DAS ETEs ESCOLHIDAS PARA O ESTUDO

NOME ETE	DA	VAZÃO (L/s)		NÚMERO DE UASBs	DQO (mg/L)	PROJETO	ESPECIFICIDADE
		NOMINAL	TRATAMENTO				
Atuba Sul		1120	1098	16	348	UASB modificado	Maior ETE do Estado e rede de atendimento longa
Padilha Sul		420	309	6	648	UASB modificado	Esgoto afluyente mais concentrado e rede de atendimento curta
Vassoural		240	240	3	450	UASB tradicional	Sistema hidráulico de descarga de espuma

#### 4.1. DIAGNÓSTICO SOBRE A PROBLEMÁTICA DA ESCUMA NAS ETEs OPERADAS PELA SANEPAR NO PARANÁ

Foi realizado um levantamento de informações sobre a problemática da espuma nas ETEs operadas pela Sanepar no estado do Paraná. Os municípios paranaenses atendidos pela Sanepar são sistematizados, para facilitar a administração, em 20 unidades regionais. Cada unidade regional possui um município sede, o qual centraliza as informações e o atendimento aos demais municípios lotados na sua regional. Por esta razão, o levantamento se deu através da aplicação de um questionário nas 20 regionais, os aspectos diagnosticados estão apresentados na TABELA 4.2 e o questionário encontra-se no Apêndice 1.

TABELA 4.2 - ESCUMA E ÁREAS TEMÁTICAS RELACIONADAS NO DIAGNÓSTICO

GRUPO 1 - AMPLIAÇÃO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO (SES)	GRUPO 2 – ETES EM OPERAÇÃO
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Existência de ETES sendo projetadas ou construídas na regional;</li> <li>•Qual a vazão de projeto, e;</li> <li>•Processo de tratamento a ser utilizado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cidade onde está localizada a ETE;</li> <li>•Nome da ETE;</li> <li>•População projetada e atendida pela ETE;</li> <li>•Vazão projetada e tratada pela ETE;</li> <li>•Unidades de composição do sistema preliminar, e;</li> <li>•Tipo de tratamento utilizado.</li> </ul>
GRUPO 3 - ESCUMA PRODUZIDA NOS REATORES	GRUPO 4 - FORMA DE RETIRADA DA ESCUMA
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Frequência de retirada;</li> <li>2. Volume retirado;</li> <li>3. Formato do reator (quadrado ou redondo);</li> <li>4. Cobertura do reator (aberto ou fechado), e;</li> <li>5. Destinação dada à espuma: leito de secagem, misturada ao lodo da ETE, depositada em vala na própria ETE, aterro municipal ou aterro particular.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Retirada do decantador, manual ou com uso de caminhão tipo limpa-fossa;</li> <li>2. Retirada do IST manual ou com uso de caminhão tipo limpa-fossa;</li> <li>3. Facilidade e eficiência na operação de retirada da espuma, e;</li> <li>4. Informações complementares.</li> </ol>

## 4.2. CARACTERIZAÇÃO E ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DA ESCUMA EM REATOR TIPO UASB EM ESCALA REAL

### 4.2.1. Determinação da composição

A escolha dos parâmetros a serem avaliados na espuma seguiu o recomendado pela resolução do CONAMA nº 375/2006 que define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgotos gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos. Utilizou-se esta legislação como referência na ausência de uma lei que regulamente especificamente a questão da espuma, considerou-se as exigências para o lodo classe A, o qual possui permissão para uso agrícola. Além dos parâmetros solicitados pela resolução incluiu-se a avaliação de DBO, DQO, O&G e poder calorífico superior e inferior.

A preservação, transporte e armazenamento das amostras para a caracterização da espuma seguiu as especificações detalhadas pelo procedimento *Preservation and Storage 9060 B*, definida pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). A TABELA 4.3 apresenta as análises realizadas na espuma juntamente com a metodologia de análise aplicada de acordo com o recomendado pela legislação.

TABELA 4.3 - ANÁLISES REALIZADAS PARA CARACTERIZAÇÃO DA ESCUMA COM RESPECTIVAS METODOLOGIAS

ANÁLISE	UNIDADE	MÉTODO
pH	---	APHA – AWWA – WEF – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2012 (código 4500H+)
DBO	mg/L	APHA – AWWA – WEF – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2012 (código 5210).
DQO	mg/L	APHA – AWWA – WEF – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2012 (código 5220).
Sólidos totais, fixos e voláteis	% de ST	APHA – AWWA – WEF – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2012 (código 2540).
Óleos e graxas	g/kg de ST	APHA – AWWA – WEF – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2012 (código 5520).
Coliformes Termotolerantes	NMP/g	APHA – AWWA – WEF – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2012 (código 9223).
<i>Salmonella spp</i>	UFC/g de ST	APHA – AWWA – WEF – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2012 (código 9260).
Ovos viáveis de Helmintos	ovos/g de ST	Method for Detecting, Enumerating, and Determining the Viability of Ascaris Ova in Sludge, p. 166, EPA/625/R-92/013, 2003.
Nitrogênio (Kjeldahl, amoniacal, nitrato e nitrito)	mg/L	APHA – AWWA – WEF – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2012 (código 4500 Norg, NH <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> e NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).
Fósforo total	mg/L	APHA – AWWA – WEF – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2012 (código 4500P).
Carbono orgânico total, Potássio total, Sódio total, Enxofre total, Cálcio total e Magnésio total	mg do parâmetro por kg de ST	Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical Chemical Methods. U.S. EPA - United State Environment Protection Agency. SW-846.
Arsênio total, Bário total, Cádmio total, Chumbo total, Cobre, Cromo total, Mercúrio total, Molibdênio, Níquel total, Selênio total, Zinco Total, Alumínio e Ferro	g ou mg do parâmetro por kg de ST	Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical Chemical Methods. U.S. EPA - United State Environment Protection Agency. SW-846.
Poder calorífico superior e inferior	kcal/kg	Bomba calorimétrica. Método: ASTM D 2015-77.

NOTA: NMP – número mais provável, UFC – unidades formadoras de colônia.

Foram coletadas amostras de espuma na ETE Atuba Sul, na ETE Padilha Sul e na ETE Vassoural, as coletas foram pontuais, sendo realizadas quatro amostragens no ano de 2012 e cinco no ano de 2013. Nas ETEs da RMC a espuma foi coletada diretamente na canaleta dos decantadores dos reatores, com auxílio de

uma escumadeira, no caso da ETE Vassoural (Guarapuava) a espuma foi coletada no leito de secagem, pois nesta ETE as retiradas de espuma são semanais, o que não permite a formação de uma camada espessa na superfície do reator. As amostras possuíam aproximadamente 2kg, após homogeneização e retirada de sólidos grosseiros, como canudinhos e papeis de bala, o conteúdo era dividido entre os diversos frascos de análise.

Não foi considerada a avaliação de composição do esgoto afluyente a ETE, uma vez que o número de amostras a serem coletadas seria bastante expressivo para que o mesmo representasse a real contribuição na formação da espuma. O esgoto chega continuamente na ETE e a espuma é produzida de forma acumulativa, de modo que a coleta pontual de espuma traduz uma contribuição ininterrupta do esgoto afluyente.

Os procedimentos foram realizados sob orientação e supervisão da autora nos laboratórios da Sanepar e do Teclab, de acordo com as metodologias citadas na TABELA 4.3, as análises de pH, DQO, DBO, ST, STF e STV, O&G, coliformes termotolerantes, nitrogênio Kjeldahl e amoniacal, nitrato, nitrito e fósforo são procedimentos mais rotineiros nos laboratórios de análise de esgotos e por esta razão não foram descritos. As demais análises têm uma breve descrição nos próximos itens.

#### a) Determinação de *Salmonella spp*

Dilui-se a amostra em caldo peptonado, deixando-o em estufa a 35 °C por 24 h para ambientação da mesma. Foi feita a semeadura em meio de cultura tipo SS Agar M 108 – Himedia da amostra diluída, com incubação das placas a 35 ° C por 48h. A confirmação foi realizada com reativo de Kovacz através da formação de anel róseo.

#### b) Determinação de Ovos viáveis de Helminthos

Misturou-se 50 g de amostra em 450 mL de água de diluição, com auxílio de agitador. Este conteúdo é filtrado em peneira de 48 mesh e segue para centrifugação. Utilizou-se solução de sulfato de zinco para auxiliar na ressuspensão, seguindo-se várias etapas de centrifugação, lavagem e ressuspensão e tempo de contato. O conteúdo final foi incubado em estufa a 26 °C por 3 a 4 semanas, a contagem dos ovos foi realizada em microscópio com câmara de Sedgwick-Rafter.

#### c) Determinação de Carbono orgânico total

Inicialmente removeu-se o carbono inorgânico através da acidificação da amostra homogeneizada. Após diluição a amostra foi injetada na câmara de reação aquecida e com um catalisador, a água é vaporizada e o carbono orgânico é oxidado a CO<sub>2</sub>, o qual segue para o analisador por infravermelho.

#### d) Determinação de Potássio e Sódio total

A avaliação foi feita por espectroscopia de chama, com uso de um fotômetro micronal B262, a amostra sofreu o procedimento de digestão para extração do

potássio e do sódio antes de ser injetada no equipamento. Foi feita a inclusão das curvas padrões do potássio e do sódio, com uso de cloreto de potássio e cloreto de sódio, respectivamente, para realização da comparação com as alíquotas.

#### e) Determinação de Cálcio e Magnésio total

Inicialmente diluiu-se a amostra homogeneizada e transferiu-se para um erlenmeyer, adicionou-se trietanolamina, hidróxido de sódio e murexida para elevar o pH e evitar os interferentes da análise. Seguiu-se com a titulação com EDTA (etileno diamino tetracético) 0,1 M até a mudança do indicador murexida de rosa para violeta. Calculou-se através do volume gasto na titulação a concentração de cálcio total das amostras. Para o cálculo da concentração de magnésio, procedeu-se a análise de dureza total e o valor encontrado foi subtraído daquele referente ao cálcio.

#### f) Determinação de Enxofre Total

Após a diluição da amostra homogeneizada, o enxofre total é determinado com o uso dos reagentes hidróxido de sódio e cloreto de alumínio. Verificou-se o pH da amostra, que deve ficar entre 6 e 9, a amostra foi destilada e ao volume obtido foi adicionado azul de metileno. Na sequência foi feita a leitura em fotômetro, 664 nm.

#### g) Determinação de Espécies Inorgânicas: Arsênio total, Bário total, Cádmio total, Chumbo total, Cobre, Cromo total, Mercúrio total, Molibdênio, Níquel total, Selênio total, Zinco Total, Alumínio e Ferro

A primeira etapa para a avaliação das espécies inorgânicas é a digestão da amostra, neste momento os elementos a serem pesquisados são extraídos da matriz orgânica da espuma para serem depois avaliados. Usa-se o processo de digestão ácida, onde após homogeneizar e secar a amostra pesa-se 1g de e transfere-se para um béquer, onde será feito o tratamento com os ácidos nítrico e clorídrico, seguindo-se as etapas de refluxo em chapa de aquecimento a  $95^{\circ}\text{C} \pm 5$  e filtração. Para o mercúrio e o arsênio é feita a digestão ácida a frio, segundo orientação da NBR 10.004 (2004), usando apenas o ácido nítrico em extração por 18 h.

Após o preparo dos extratos os mesmos foram levados ao espectrômetro, onde o fato de cada espécie atômica possuir um espectro de absorção formado por uma série de estreitas raias características devidas a transições eletrônicas envolvendo os elétrons externos permite sua diferenciação e quantificação.

#### h) Determinação de Poder Calorífico Superior e Inferior

O Poder Calorífico é a quantidade de energia por unidade de massa libertada na oxidação de um determinado combustível, pode ser dividido em Poder Calorífico Superior e Inferior, onde o primeiro trata da soma de energia libertada pela substância mais a energia gasta para a vaporização da água contida na substância. No segundo caso, considera-se a substância seca.

A avaliação foi feita na Bomba Calorimétrica tipo PARR 6000, da Par Instrument Company, pesou-se uma quantidade de 0,1 a 0,5 g de amostra e transferiu-se para o cadinho do calorímetro. Colocou-se um fio de cromo-níquel ou

cobre-níquel sobre a amostra, conectado ao cartucho da bomba, fechou-se o cartucho e encaixou-se no equipamento em atmosfera de oxigênio, ligou-se para dar a ignição, aguardou-se 10 minutos e fez-se a leitura em kcal/kg.

A composição da espuma foi comparada com valores de literatura típicos para o lodo de esgoto anaeróbio, a fim de se verificar até que ponto existe semelhança na composição da espuma com a do lodo de esgoto, o que possibilitaria a mistura destes dois sub-produtos do tratamento anaeróbio de esgotos.

#### 4.2.2. Produção e acúmulo de espuma em reator tipo UASB

Diversas maneiras para medição de espuma são encontradas na literatura, pode ser utilizado um medidor de espessura composto por uma régua graduada e discos em PVC (RAMOS, 2008)(FIGURA 4.4). Este aparato mostrou-se útil para a definição do momento de descarte de espuma, porém apresenta-se falho por não considerar o teor de sólidos da camada formada. Outra forma seria a aplicada por Souza (2006) o qual retirou o material da superfície de decantadores de reatores pilotos, com auxílio de uma peneira de piscina, para evitar a coleta de água em excesso, e mediu o volume em baldes graduados.

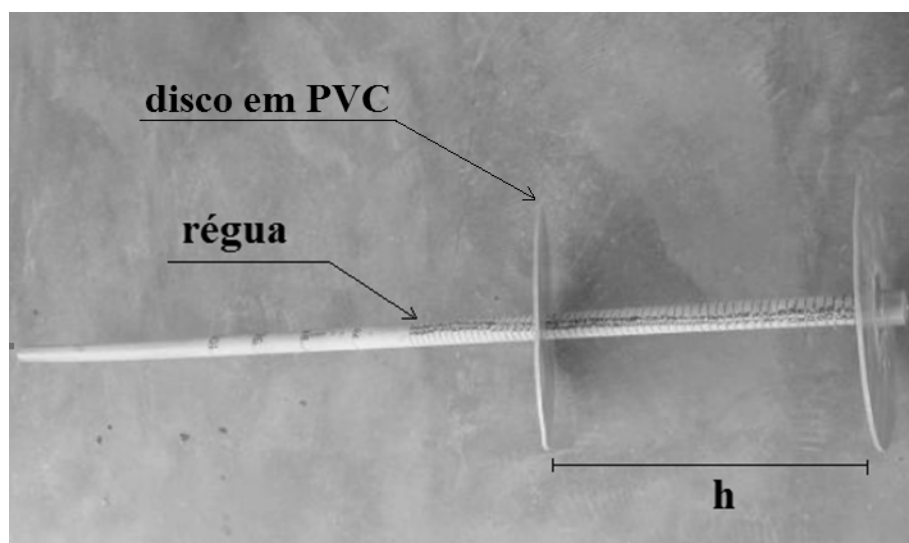


FIGURA 4.4 - FOTOGRAFIA DO MEDIDOR DE ESPESSURA DA CAMADA DE ESCUMA EM PVC  
FONTE: RAMOS (2008)

O experimento foi realizado em duas ETEs da RMC: a ETE Atuba Sul e ETE Padilha Sul. Em cada uma delas o aparato experimental foi instalado em três pontos distintos da superfície de três reatores distintos e as coletas ocorreram, durante o verão e o inverno de 2013. O período entre cada amostragem variou de acordo com a produção de espuma na ETE avaliada, onde na ETE Atuba Sul deu-se preferência para coletas a cada quinze dias e na ETE Padilha Sul as coletas precisavam de maior frequência devido ao fato da produção de espuma ser bem superior.

Para determinação da quantidade de espuma gerada, foram cortados 1 m de tubo de PVC com diâmetro de 200 mm, em uma das extremidades do tubo foram pregadas duas ripas de madeira a fim de dar sustentação ao tubo, evitar a movimentação na superfície e o afundamento do mesmo no reator (FIGURA 4.5).



Foram construídos seis tubos coletores e estes distribuídos nas ETEs avaliadas, sendo três em cada ETE. A coleta da espuma foi feita com auxílio de uma escumadeira, para evitar o acúmulo de água, o material teve seu volume determinado em uma proveta graduada e encaminhado ao laboratório para avaliação de ST, STF, STV, pH e DQO.

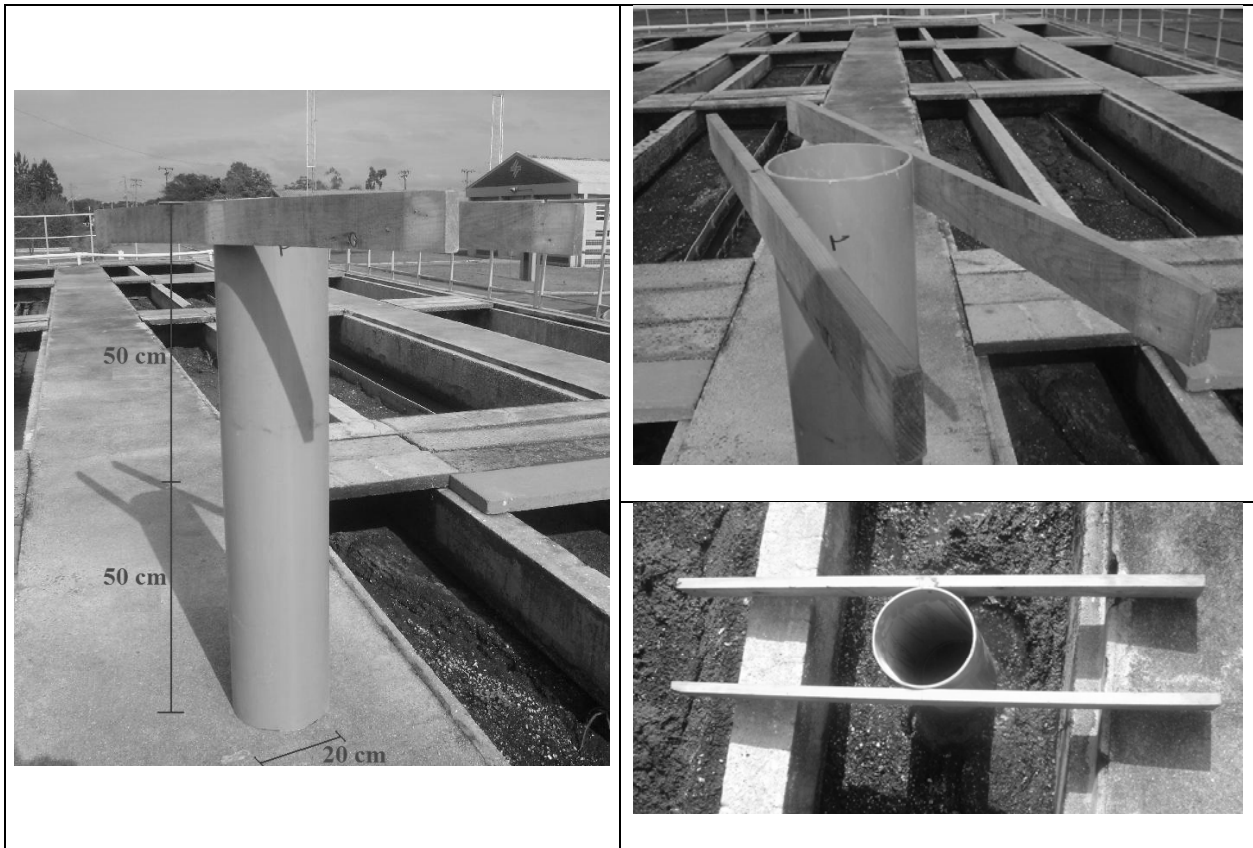


FIGURA 4.5 - APARATO PARA DETERMINAÇÃO DA GERAÇÃO DE ESCUMA NA SUPERFÍCIE DO DECANTADOR DE REATOR TIPO UASB: a) VISTA TOTAL, b) VISTA APROXIMADA E c) VISTA INSERIDO NO REATOR (OUTUBRO, 2012)

Durante todo o período de coleta e avaliação de espuma, determinou-se a vazão de entrada da ETE e coletou-se uma amostra diária do afluente ao reator UASB para avaliação de DQO para posteriormente correlacionar a carga orgânica aplicada *versus* quantidade de espuma gerada (FIGURA 4.6). Além disso, monitorou-se a temperatura e umidade do ar.



FIGURA 4.6 - COLETA DE ESCUMA COM ESCUMADEIRA PARA DETERMINAÇÃO DO VOLUME GERADO (OUTUBRO, 2012)

Foi realizada a determinação da geração de espuma somente na superfície do decantador, pois o mesmo é aberto, o IST das ETEs em avaliação é fechado, não sendo possível a medição da geração de espuma no mesmo.

#### 4.3. AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO DE ESCUMA COM VARIAÇÃO DA VELOCIDADE ASCENSIONAL DO ESGOTO BRUTO E A FREQUÊNCIA DE RETIRADA DE LODO

A influência da velocidade ascensional do esgoto bruto e da frequência de retirada de lodo dos reatores UASB na produção de espuma foram avaliadas na ETE Vassoural em Guarapuava, em dois experimentos distintos.

##### 4.3.1. Avaliação da geração de espuma em função da variação da velocidade ascensional

Os três reatores UASB da ETE Vassoural recebem o mesmo esgoto, após a passagem deste pelo tratamento preliminar, através de uma caixa divisora de fluxos. As comportas da caixa divisora de fluxos foram abertas de modo que cada um dos reatores recebesse uma quantidade diferenciada de esgoto, mas mantendo-se o somatório de 240 L/s, assim tem-se uma variação da velocidade ascensional, controlada através da variação de vazão. Lembra-se que a norma recomenda que a velocidade ascensional fique situada entre 0,5 e 1,0 m/h (BRASIL, 2011). Considerando que cada reator possui o volume de 2.304 m<sup>3</sup> e uma altura de 4 m, obteve-se as seguintes correlações:

- Reator 1: vazão de 100 L/s, equivalente a TDH = 6,4h e  $v = 0,62$  m/h;
- Reator 2: vazão de 80 L/s, equivalente a TDH = 8h e  $v = 0,50$  m/h, e;
- Reator 3: vazão de 60 L/s, equivalente a TDH = 10,7h e  $v = 0,37$  m/h.

Uma vez por semana foi retirada toda a espuma produzida em cada um dos reatores, tanto da superfície do decantador quanto do IST, e seu volume foi determinado. As amostras das duas áreas de acúmulo foram misturadas e as concentrações de ST, STF e STV e de O&G foram determinadas para cada um dos reatores. Foram avaliados igualmente a qualidade do esgoto bruto e do tratado, com o controle de DQO, ST, STF e STV, O&G e SSed. Estes procedimentos ocorreram uma vez por semana, durante o período de dois meses, durante os meses de fevereiro e março de 2015. Paralelamente foi mensurada a temperatura ambiente, volume de chuvas e vazão da ETE. A TABELA 4.4 ilustra o esquema experimental adotado.

TABELA 4.4 – DELINEAMENTO DA AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA VELOCIDADE ASCENSIONAL NA PRODUÇÃO DE ESCUMA (ETE VASSOURAL).

ATIVIDADE	ESGOTO BRUTO	REATOR 1 (TDH = 6,4 h; v = 0,62 m/h)	REATOR 2 (TDH = 8 h v = 0,50 m/h)	REATOR 3 (TDH = 10,7 h v = 0,37 m/h)
análises no esgoto	DQO, pH, ST, STF e STV, O&G e SSed	DQO, pH, ST, STF e STV, O&G e SSed	DQO, pH, ST, STF e STV, O&G e SSed	DQO, pH, ST, STF e STV, O&G e SSed
	---	retirada total	retirada total	retirada total
	---	medição de	medição de	medição de
procedimento na espuma	---	volume nos dois compartimentos	volume nos dois compartimentos	volume nos dois compartimentos
	---	análise de ST, SF e SV e O&G	análise de ST, SF e SV e O&G	análise de ST, SF e SV e O&G
Gerais	Medição da temperatura ambiente, do volume de chuva e vazão da ETE			

NOTA: TDH = tempo de detenção hidráulica

#### 4.3.2. Avaliação da geração de espuma em função da frequência da retirada do lodo de esgoto anaeróbio em excesso

Os três reatores da ETE Vassoural, foram operados com a mesma vazão de entrada, sendo adotado o valor de 80 L/s a fim de garantir 8 h o tempo de detenção. No dia inicial do experimento foi feita a retirada de espuma da superfície dos três reatores, após isso foram feitas retiradas de lodo alternadas em cada um dos reatores. O experimento seguiu o esquema apresentado na TABELA 4.5, no último dia do experimento, foi feita a retirada e mensuração do volume da espuma produzida tanto da superfície do decantador quanto do IST e a concentração de ST, STF e STV e O&G foi determinada na mistura das amostras de espuma de cada um dos reatores. Estes procedimentos ocorreram no período de 15 dias, sendo repetidos por duas vezes, paralelamente foi mensurada a temperatura ambiente, volume de chuvas e vazão da ETE. Este experimento ocorreu durante os meses de março e abril de 2015.

TABELA 4.5 - ESQUEMA DE RETIRADA DE LODO DE ESGOTO DE REATOR UASB PARA AVALIAÇÃO DO IMPACTO NA PRODUÇÃO DE ESCUMA.

DIA	ATIVIDADE	ESGOTO BRUTO	REATOR 1	REATOR 2	REATOR 3
0	análises no esgoto	DQO, pH, ST, STF e STV, O&G e SSed	DQO, pH, ST, STF e STV, O&G e SSed	DQO, pH, ST, STF e STV, O&G e SSed	DQO, pH, ST, STF e STV, O&G e SSed
	procedimento na espuma	---	retirada de espuma, medição de volume nos dois compartimentos e análise de ST, STF e STV e O&G	retirada de espuma, com medição de volume nos dois compartimentos e análise de ST, STF e STV e O&G	retirada de espuma, com medição de volume nos dois compartimentos e análise de ST, STF e STV e O&G
	procedimento no lodo	---	retirada de lodo, com medição de volume retirado e ST	retirada de lodo, com medição de volume retirado e ST	retirada de lodo, com medição de volume retirado e ST
3	análises no esgoto	DQO, pH, ST, STF e STV, O&G e SSed	DQO, pH, ST, STF e STV, O&G e SSed	DQO, pH, ST, STF e STV, O&G e SSed	DQO, pH, ST, STF e STV, O&G e SSed
	procedimento na espuma	---	retirada de espuma, com medição de volume nos dois compartimentos e análise de ST, STF e STV e O&G	retirada de espuma, com medição de volume nos dois compartimentos e análise de ST, STF e STV e O&G	retirada de espuma, com medição de volume nos dois compartimentos e análise de ST, STF e STV e O&G
	procedimento no lodo	---	retirada de lodo, com medição de volume retirado e ST	---	---
11	análises no esgoto	DQO, pH, ST, STF e STV, O&G e SSed	DQO, pH, ST, STF e STV, O&G e SSed	DQO, pH, ST, STF e STV, O&G e SSed	DQO, pH, ST, STF e STV, O&G e SSed
	procedimento na espuma	---	retirada de espuma, com medição de volume nos dois compartimentos e análise de ST, STF e STV e O&G	retirada de espuma, com medição de volume nos dois compartimentos e análise de ST, STF e STV e O&G	retirada de espuma, com medição de volume nos dois compartimentos e análise de ST, STF e STV e O&G
	procedimento no lodo	---	retirada de lodo, com medição de volume retirado e ST	retirada de lodo, com medição de volume retirado e ST	---
15	análises no esgoto	DQO, pH, ST, STF e STV, O&G e SSed	DQO, pH, ST, STF e STV, O&G e SSed	DQO, pH, ST, STF e STV, O&G e SSed	DQO, pH, ST, STF e STV, O&G e SSed
	procedimento na espuma	---	retirada de espuma, com medição de volume nos dois compartimentos e análise de ST, STF e STV e O&G	retirada de espuma, com medição de volume nos dois compartimentos e análise de ST, STF e STV e O&G	retirada de espuma, com medição de volume nos dois compartimentos e análise de ST, STF e STV e O&G
	procedimento no lodo	---	retirada de lodo, com medição de volume retirado e ST	---	---

#### 4.4. PARÂMETROS PARA O GERENCIAMENTO DE ESCUMA

##### 4.4.1. Desaguamento de espuma em leito de secagem

A avaliação do desaguamento de espuma em leito de secagem se deu em duas ETEs, na ETE Vassoural de Guarapuava, que faz uso da técnica de desaguamento de espuma em leitos de secagem projetados para lodo de esgoto desde agosto de 2011, e na ETE Menino Deus, localizada na RMC, onde um leito de secagem foi modificado a fim de permitir a avaliação do desaguamento com a variação das taxas de aplicação.

##### *Desaguamento na ETE Vassoural – Guarapuava - PR*

Na ETE Vassoural, a espuma é direcionada aos leitos de secagem, onde ocupa a carga total, através de canaleta coletora no interior do UASB. Usualmente, para o desaguamento de lodo, o leito é preparado com uma camada de 2 cm de areia em cima das placas de drenagem, para o recebimento de espuma esta camada é aumentada para 5 cm. Após um ano de operação, observou-se uma redução na capacidade drenante do leito e por esta razão foi feita a substituição de toda a camada de areia do leito e limpeza das placas drenantes. A espuma seca em aproximadamente 10 dias, quando é removida do leito carrega com si a camada superficial de areia, motivo pela qual a mesma é repostada antes de receber uma nova carga de espuma úmida.

Apesar deste procedimento ser realizado com bastante eficiência, não existe nenhum controle operacional, que relate as taxas de aplicação e teores de sólidos atingidos, por esta razão optou-se pela avaliação do desaguamento de espuma em Guarapuava.

Os leitos de secagem utilizados para o experimento possuem as dimensões de 6 x 20 m de área e 0,50 m de profundidade, tendo sido construídos de acordo com o preconizado na NBR 12209 (BRASIL, 2011).

Foram realizadas cinco descargas consecutivas, nos meses de junho a setembro de 2013, sendo utilizado sempre o mesmo leito para o desaguamento de espuma e um segundo leito para o desaguamento de lodo, todas as descargas foram feitas no reator identificado como número 2. O leito utilizado para o desaguamento de espuma recebeu uma camada extra de areia em sua superfície, no leito utilizado para o desaguamento de lodo a camada possui a espessura aproximada de 2 cm, enquanto que no outro leito esta espessura foi de 5 cm. Foi completada a carga máxima dos leitos, chegando aos 45 cm de altura (FIGURA 4.7).

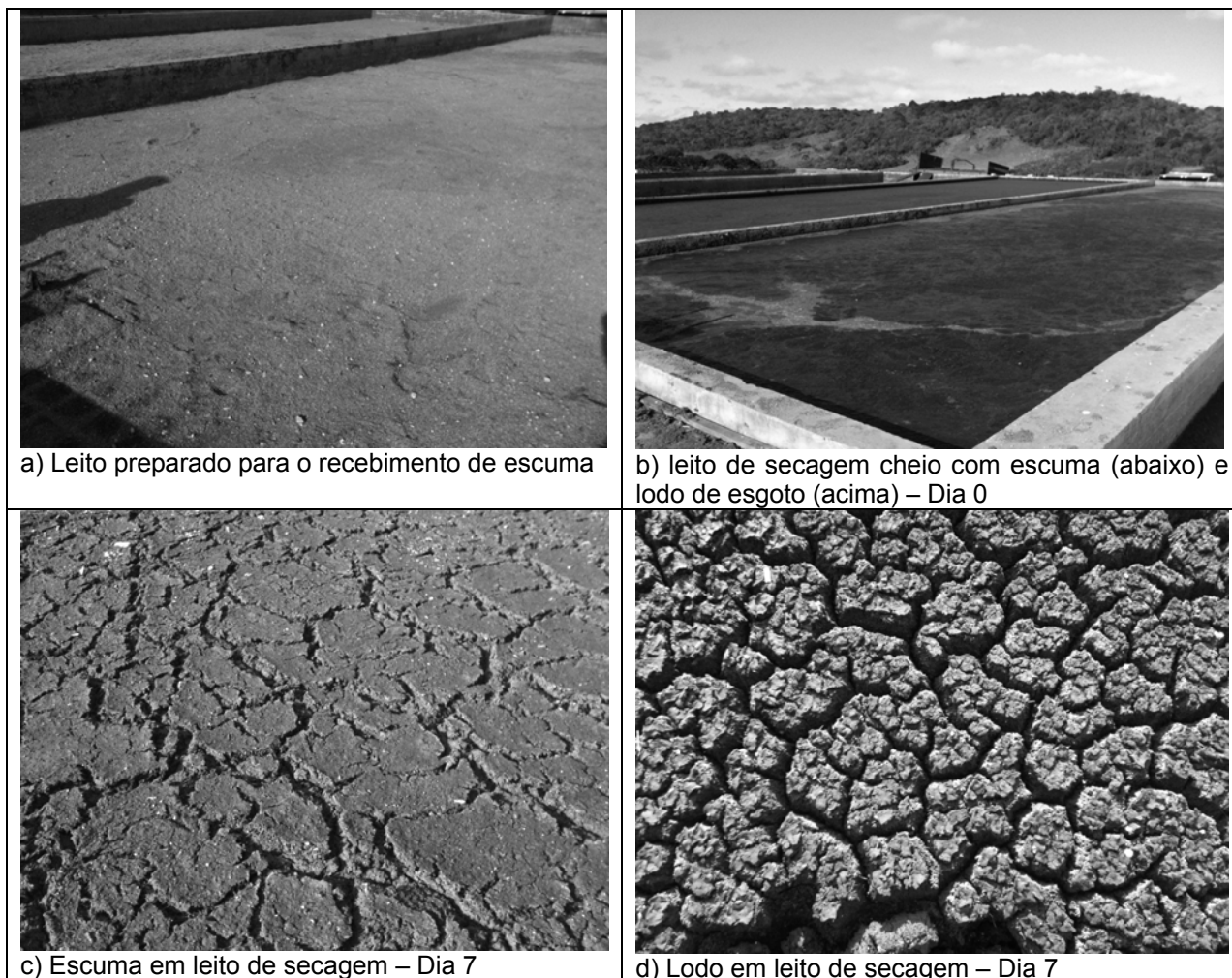


FIGURA 4.7 - DESAGUAMENTO DE ESCUMA E DE LODO DE ESGOTO EM LEITO DE SECAGEM, ETE VASSOURAL, GUARAPUAVA (JUNHO, 2013)

Durante o período de desaguamento foram avaliados os teores de ST, STF e STV do lodo e da espuma. Cada descarga resultou em aproximadamente  $12 \text{ m}^3$  de material seco, destes foram guardados para execução do experimento de incorporação de espuma em lodo (item 4.4.2),  $3 \text{ m}^3$  de lodo e de espuma seca de cada uma das cinco descargas.

#### *Desaguamento na ETE Menino Deus – Quatro Barras - PR*

A ETE Menino Deus está localizada em Quatro Barras, na RMC, trata uma vazão de  $63 \text{ L/s}$ , o correspondente a 51.090 habitantes e opera com sistema preliminar composto de grade de  $20 \text{ mm}$ , desarenador tipo calha retangular e calha parshall, segue-se a ele um único reator tipo UASB e uma lagoa facultativa aerada.

Nunca foi feito o desaguamento de espuma nos leitos de secagem da ETE Menino Deus, os mesmos sempre foram ocupados com lodo de esgoto. Um dos leitos foi selecionado e dividido em dez lotes de igual tamanho, o leito possui  $17 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ , um pouco maior do que os leitos comumente construídos e operados pela Sanepar, porém mantém a profundidade de lodo de  $0,50 \text{ m}$  e foram construídos de

acordo com o preconizado na NBR 12209 (BRASIL, 2011). A divisão dos lotes foi feita em alvenaria e possibilitou a avaliação de diferentes taxas de aplicação de sólidos ao mesmo tempo. Cada lote recebeu uma camada extra de areia de cobertura com a espessura de 5 cm. A FIGURA 4.8 apresenta a modificação sofrida pelo leito.

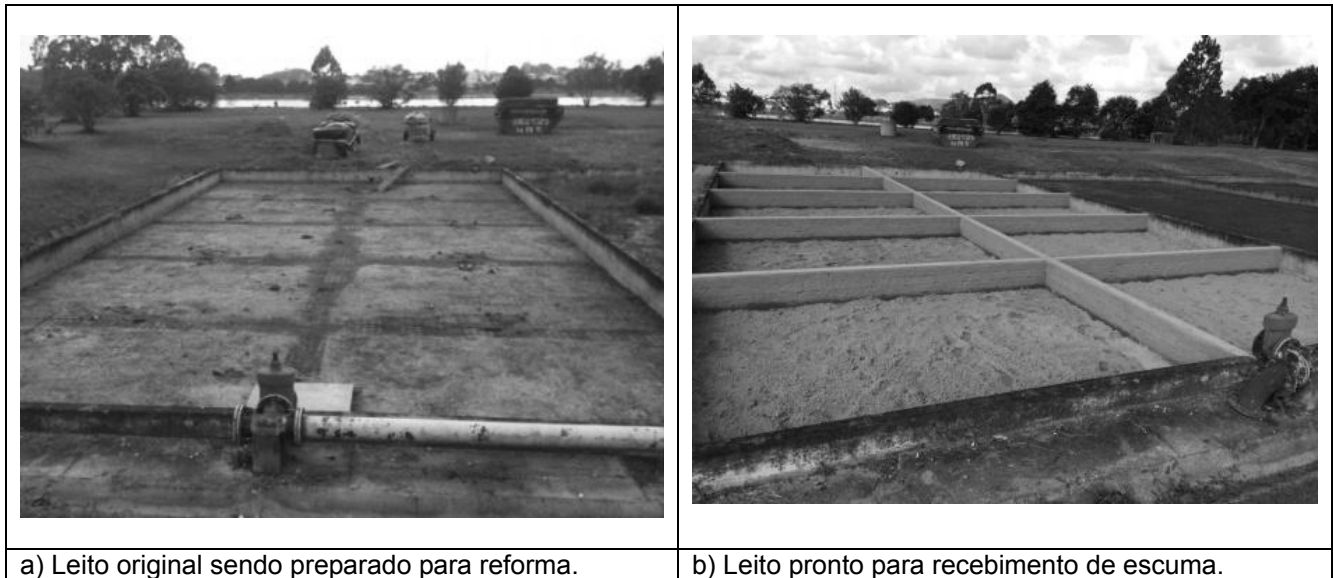


FIGURA 4.8 - MODIFICAÇÃO NO LEITO DE SECAGEM PARA RECEBIMENTO DE ESCUMA, ETE MENINO DEUS (RMC) (ABRIL, 2014)

Foi realizada uma descarga de espuma e de lodo de esgoto no dia 23 de abril de 2014, avaliou-se o teor de ST, STF e STV no dia inicial e final do experimento, durante o desaguamento foi determinado o teor de ST e a medida da altura da camada de espuma ou lodo com uma régua graduada, paralelamente foi feita a determinação da temperatura ambiente. A amostragem de cada leito foi feita com a coleta de espuma e lodo de três pontos diferentes dentro de cada leito, retirou-se todo o perfil tomando-se cuidado para não coletar a areia do fundo do leito, estes pontos foram misturados e então seguiram para análise laboratorial. Os dez lotes foram ocupados da seguinte maneira:

- Dois lotes com uma camada de 45 cm de lodo de esgoto;
- Três lotes com uma camada de 20 cm de espuma;
- Dois lotes com uma camada de 45 cm de espuma, e;
- Três lotes com uma camada de 45 cm de espuma, aptos para receber drenos no decorrer do experimento. Estes lotes foram feitos para investigar a prática adotada pelos operadores da ETE Vassoural de drenar a camada intermediária de espuma dois dias após a descarga da mesma.

A descarga de espuma foi realizada com auxílio de um caminhão limpa-fossa, com o qual a espuma foi succionada na superfície do reator e depois descarregada nos leitos de acordo com as alturas pretendidas. Para a descarga do lodo de esgoto utilizou-se a tubulação existente na ETE para este fim. A FIGURA 4.9 ilustra esta etapa do experimento e a NOTA: 1 = lodo A, leito com 45 cm de lodo de esgoto; 2 = lodo B, leito com 45 cm de lodo de esgoto; 3 = Esc 20 A, leito com 20 cm de espuma, sem dreno; 4 = Esc 20 B, leito com 20 cm de espuma, sem dreno; 5 = Esc 20 C, leito com 20 cm de espuma, sem dreno; 6 = Esc 45 SA, leito com 45 cm de espuma, sem dreno; 7 = Esc 45 SB, leito com 45 cm de espuma, sem dreno; 8 = Esc 45 CA, leito com 45 cm

de espuma, com dreno; 9 = Esc 45 CB, leito com 45 cm de espuma, com dreno; 10 = Esc 45 CC, leito com 45 cm de espuma, com dreno.

FIGURA 4.10 a distribuição final dos lotes.

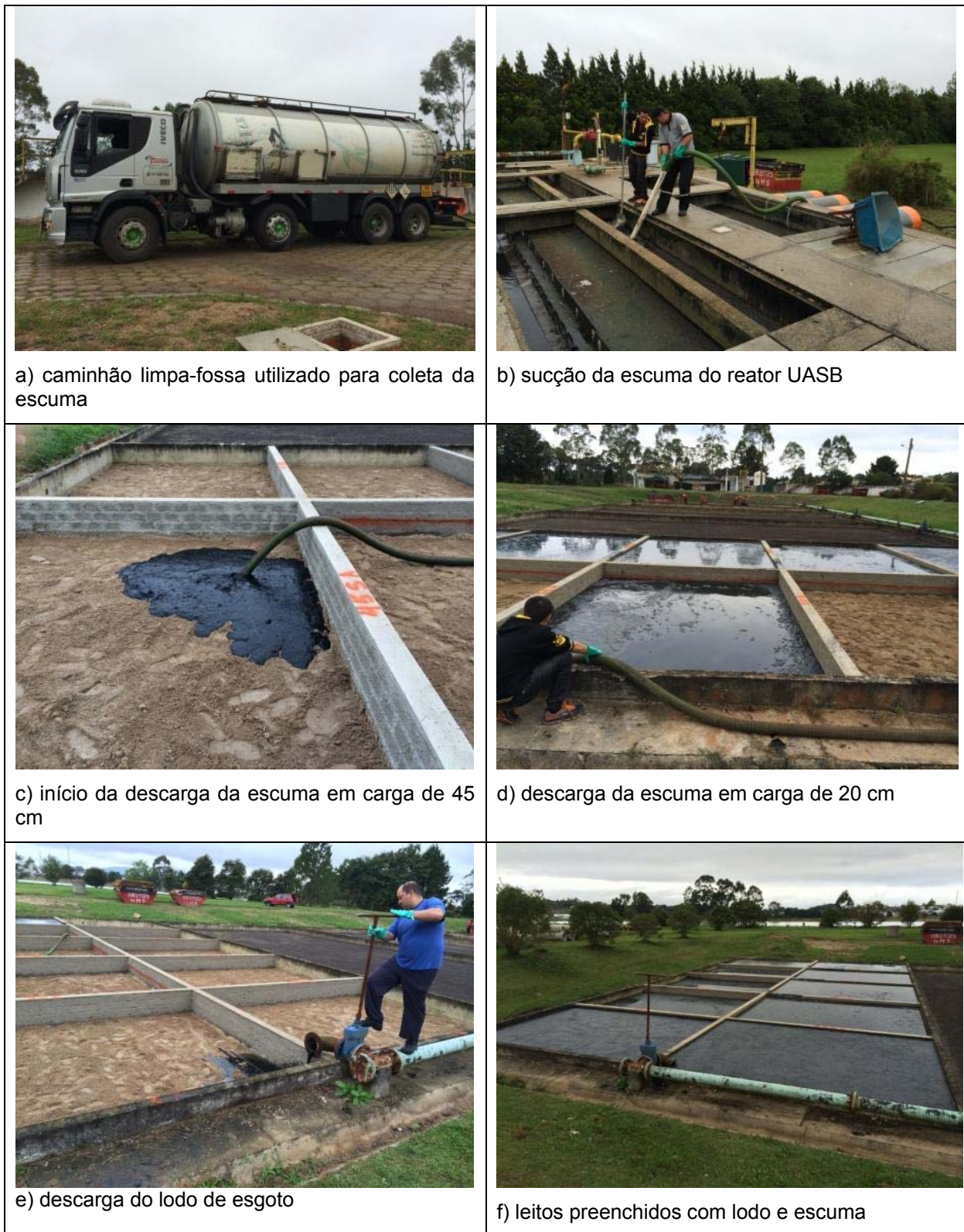
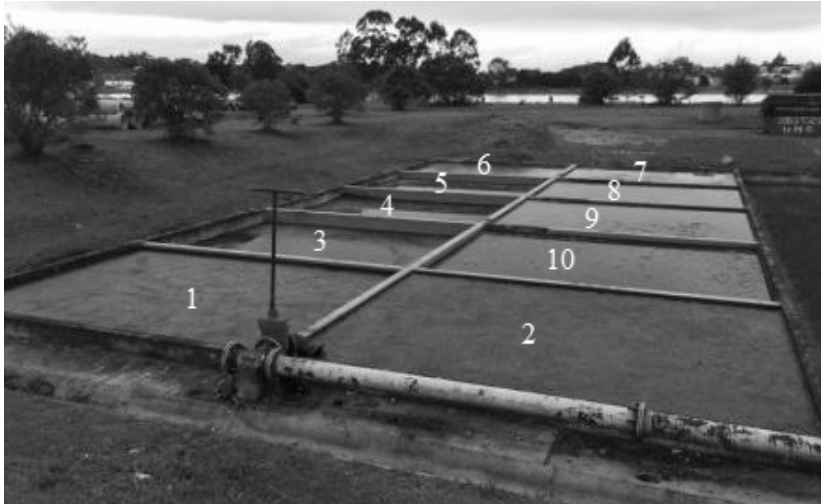


FIGURA 4.9 - ETAPAS NO PREENCHIMENTO DOS LEITOS DE SECAGEM DE ESPUMA E LODO DE ESGOTO, ETE MENINO DEUS (RMC) (ABRIL, 2014)





NOTA: 1 = lodo A, leito com 45 cm de lodo de esgoto; 2 = lodo B, leito com 45 cm de lodo de esgoto; 3 = Esc 20 A, leito com 20 cm de espuma, sem dreno; 4 = Esc 20 B, leito com 20 cm de espuma, sem dreno; 5 = Esc 20 C, leito com 20 cm de espuma, sem dreno; 6 = Esc 45 SA, leito com 45 cm de espuma, sem dreno; 7 = Esc 45 SB, leito com 45 cm de espuma, sem dreno; 8 = Esc 45 CA, leito com 45 cm de espuma, com dreno; 9 = Esc 45 CB, leito com 45 cm de espuma, com dreno; 10 = Esc 45 CC, leito com 45 cm de espuma, com dreno.

FIGURA 4.10 - DISTRIBUIÇÃO FINAL DOS LOTES NOS LEITOS DE SECAGEM DE ESCUMA E LODO DE ESGOTO, ETE MENINO DEUS (RMC) (ABRIL, 2014)

#### 4.4.2. Incorporação de espuma em lodo de esgoto

Com o objetivo de se verificar a possibilidade de destinar a espuma juntamente com lodo de esgoto para uso agrícola realizou-se a mistura destes dois resíduos.

Pretendia-se utilizar a relação de 1 % entre a produção teórica de espuma e de lodo de esgoto, apresentada no comparativo do item 3.7, porém esta não pode ser utilizada para se determinar a quantidade de espuma a ser incorporada no lodo de esgoto, em função de que as descargas de espuma e de lodo não ocorrem na mesma frequência no dia a dia operacional da ETE, seria necessário armazenar um dos resíduos para depois misturá-los. Sendo assim, foram realizadas três misturas de espuma com lodo de esgoto:

- 1) Tratamento 1: mistura de 10 % de espuma seca em lodo de esgoto seco;
- 2) Tratamento 2: mistura de 20 % de espuma seca em lodo de esgoto seco;
- 3) Tratamento 3: mistura de 50 % de espuma seca em lodo de esgoto seco, e;
- 4) Tratamento 4: 100 % de lodo, foi mantida uma amostra de lodo sem espuma para controle das alterações.

Foram avaliados os parâmetros requisitados pela Resolução CONAMA 375 (BRASIL, 2006), complementados com a determinação da série de sólidos, O&G e poder calorífico superior e inferior (PCS e PCI), conforme apresentado na TABELA 4.6.

TABELA 4.6 - PARÂMETROS A SEREM AVALIADOS PARA INCORPORAÇÃO DE ESCUMA EM LODO DE ESGOTO

PARÂMETROS GERAIS		PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS	
ANÁLISE	UNIDADE	ANÁLISE	UNIDADE
Sólidos totais, fixos e voláteis (ST, STF e STV)	% de ST	Coliformes termotolerantes	UFC/g de ST
Óleos e graxas (O&G)	mg/L	<i>Salmonella spp</i>	UFC/g de ST
			<i>continua</i>
			<i>continuação</i>
Poder calorífico superior e inferior (PCS e PCI)	kcal/kg	Ovos viáveis de helmintos	Ovo/g de ST
ELEMENTOS NUTRIENTES		ELEMENTOS TÓXICOS	
ANÁLISE	UNIDADE	ANÁLISE	UNIDADE
Carbono	% de ST	Arsênio	mg As/kg de ST
Fósforo	mg P/kg de ST	Bário	mg Ba/kg de ST
Potássio	mg K/kg de ST	Cádmio	mg Cd/kg de ST
Sódio	mg Na/kg de ST	Chumbo	mg Pb/kg de ST
Cálcio	mg Ca/kg de ST	Cobre	mg Cu/kg de ST
Magnésio	mg Mg/kg de ST	Cromo	mg Cr/kg de ST
Enxofre total	mg S/kg de ST	Mercúrio	mg Hg/kg de ST
Nitrogênio Kjeldahl	mg N/kg de ST	Molibdênio	mg Mo/kg de ST
Nitrogênio amoniacal	mg N-NH <sub>4</sub> /kg de ST	Níquel	mg Ni/kg de ST
Nitratos	mg NO <sub>3</sub> /kg de ST	Selênio	mg Se/kg de ST
Nitritos	mg NO <sub>2</sub> /kg de ST	Zinco	mg Zn/kg de ST

A fim de se permitir a correta mistura dos materiais, na dosagem desejada para os experimentos, utilizou-se uma pá com capacidade para 5 kg de lodo ou espuma secos que abasteceu uma betoneira da marca CSM com capacidade de 600L, com carregador automático.

As misturas foram colocadas na betoneira e receberam cal virgem para o processo de higienização. O valor máximo permitido pela legislação é de 50 % de cal (BRASIL, 2006) em peso seco de lodo, apesar do teor de 30 % de cal já ser suficiente para higienização do lodo, este valor superior é praticado, apesar de aumentar o custo, por aumentar a aceitabilidade do lodo de esgoto junto aos agricultores da região. Para o experimento o valor de 50 % de cal foi adotado.

Sendo assim, para elaboração do tratamento 4 (100 % lodo) a betoneira foi abastecida com 250 kg de lodo seco e 125 kg de cal, ligou-se o equipamento na rotação de 28 rpm durante 10 minutos e depois o conteúdo foi colocado em pátio coberto para aguardar o tempo de cura, que é de 30 dias. Não foi utilizada a carga completa da betoneira para que a mistura fosse mais eficiente. O mesmo procedimento foi realizado para o tratamento 1, 2 e 3 respectivamente, tendo

aumentado o teor de espuma nas misturas com o avanço do experimento.

Obteve-se com este procedimento 20 lotes de material que foi estocado e posteriormente avaliado. A FIGURA 4.11 apresenta o planejamento experimental detalhado e a FIGURA 4.12 as etapas de execução do experimento.

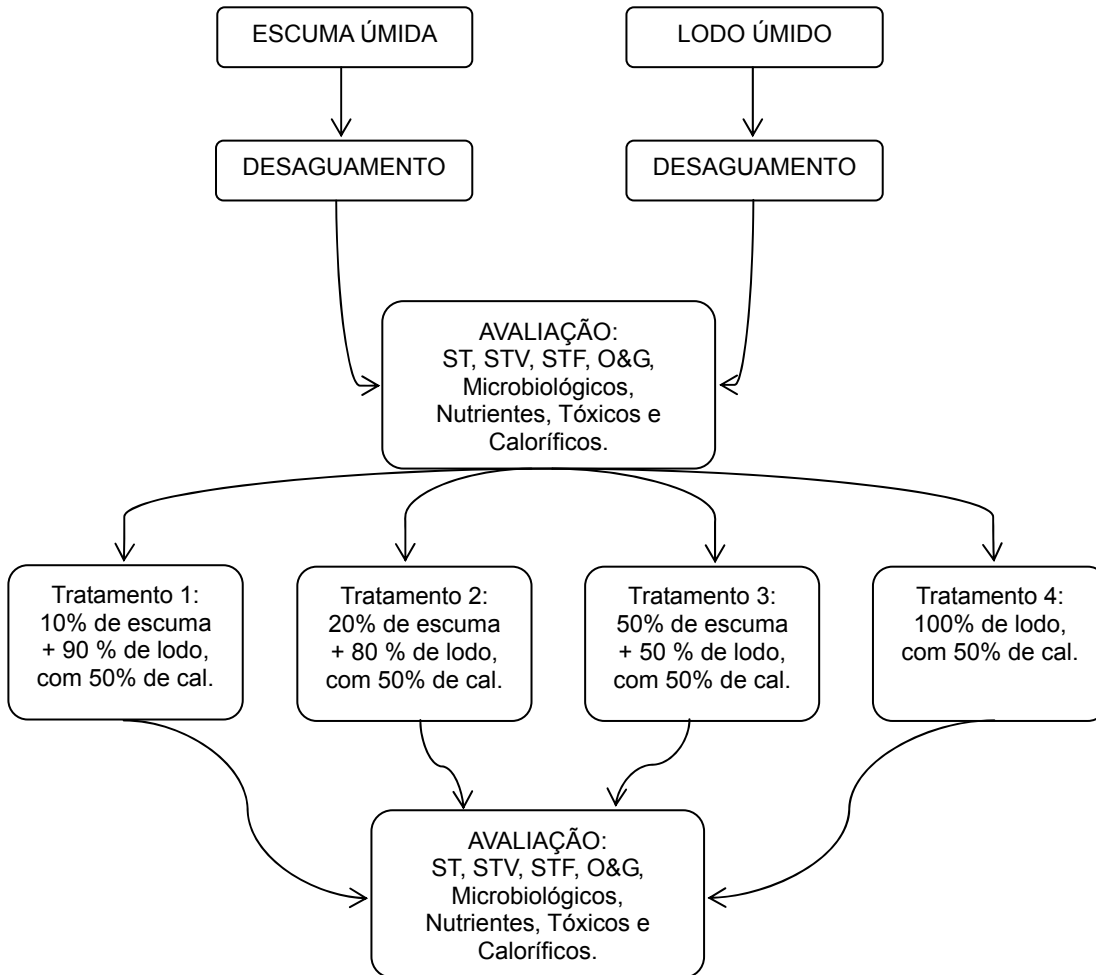


FIGURA 4.11 - PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL PARA AVALIAÇÃO A INTERFERÊNCIA DA MISTURA DE ESCUMA EM LODO DE ESGOTO.



a) armazenamento dos lotes de espuma e lodo de esgoto secos



b) betoneira de carregamento automático pronta para recebimento dos produtos

*continua  
continuação*



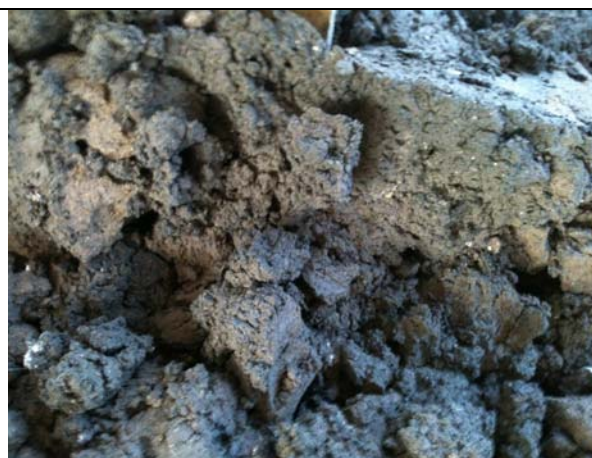
c) carregamento da betoneira com espuma, lodo de esgoto e cal virgem.



d) descarga da mistura da betoneira.



e) separação dos lotes de mistura



f) mistura pronta para estabilização

FIGURA 4.12 - ETAPAS DO EXPERIMENTO DE INCORPORAÇÃO DE ESCUMA EM LODO DE ESGOTO (SETEMBRO, 2013)

#### 4.4.3. Avaliação da taxa de decaimento do teor de óleos e graxas e variação na relação STV/ST em função do tempo

No período de 25 a 29/08/2014 foi feita a retirada total de espuma dos reatores da ETE Padilha Sul, a coleta das amostras para este experimento ocorreu logo após este procedimento, no dia 01/09. Foram coletadas 5 amostras de espuma da câmara de decantação e 5 amostras do IST de um reator UASB da ETE Padilha Sul (RMC), com auxílio de pás e rastelos. Após homogeneização em uma bacia e retirada de sólidos grosseiros, cada uma das amostras foi dividida em semana 1, 2, 3, 4 e 5. Sendo assim as amostras possuíam no máximo uma semana de acúmulo na superfície do reator antes de sua retirada. Estas foram acondicionadas em recipientes de 2 kg, nos quais foi marcado o volume inicial. As amostras referentes a espuma proveniente do IST foram mantidas ao abrigo da luz e da chuva, as amostras provenientes da câmara de decantação foram mantidas apenas ao abrigo da chuva (FIGURA 4.13).

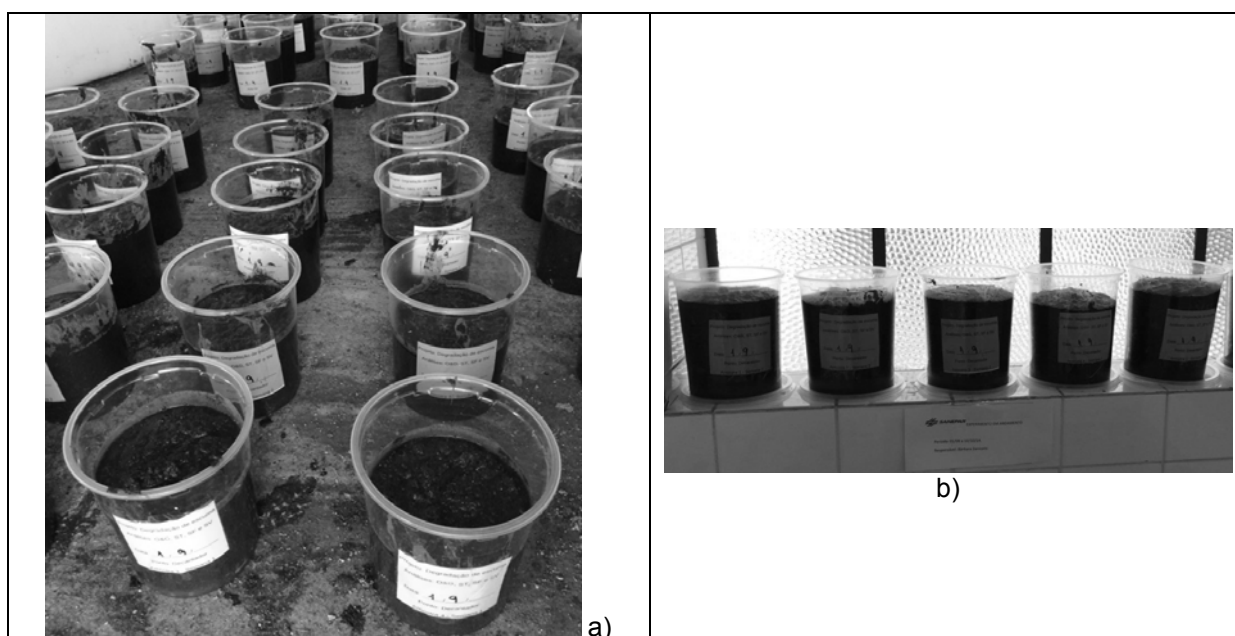


FIGURA 4.13 - ARMAZENAMENTO DE AMOSTRAS DE ESCUMA PARA AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE ÓLEOS E GRAXAS: a) AMOSTRAS PROVENIENTES DO IST, PROTEGIDAS DA CHUVÁ E DO SOL, b) AMOSTRAS PROVENIENTES DA ÁREA DE DECANTAÇÃO PROTEGIDAS DA CHUVA (AGOSTO, 2014)

Uma vez por semana foi feita a avaliação de O&G, ST, STF e STV em um lote de amostras, com o controle do volume ocupado no frasco. Desta forma, avaliou-se o grau de degradação de O&G na espuma devido à sua própria composição microbiana.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. DIAGNÓSTICO SOBRE A PROBLEMÁTICA DA ESCUMA NAS ETES OPERADAS PELA SANEPAR NO PARANÁ

A avaliação foi realizada nas 20 regionais da Sanepar que atendem um total de 143 cidades, somando 203 ETES com a vazão total tratada de 29.797 m<sup>3</sup>/h, resultando em uma média de 41 L/s para cada ETE, se a vazão fosse distribuída de forma igualitária. A ETE com a maior vazão é a ETE Belém, que opera com sistema de lodos ativados, localizada em Curitiba e trata 982 L/s, a menor estação é a localizada em Toledo, ETE Parizotto, com vazão de 0,1 L/s operando com apenas um reator tipo RALF (TABELA 5.1). Destas ETES 56,2 % utilizam reatores tipo RALF, 38,4 % UASB, 1,5 % usam ambas as tecnologias e 3,9 % estão operando com outra tecnologia (FIGURA 5.1).

TABELA 5.1 - NÚMERO DE ETES POR UNIDADE REGIONAL DA SANEPAR NO PARANÁ

UNIDADE REGIONAL (UR)	CIDADE SEDE	NÚMERO DE ETES	VAZÃO TOTAL (m <sup>3</sup> /h)
URAP	Apucarana	7	496
URAR	Arapongas	8	371
URCA	Cascavel	9	1.177
URCM	Campo Mourão	10	145
URCP	Cornélio Procópio	7	551
URFB	Francisco Beltrão	9	295
URFI	Foz do Iguaçu	5	1.490
URGA	Guarapuava	14	1.134
URLI	Pontal do Paraná	5	1.019
URMA	Maringá	14	1.904
URPB	Pato Branco	7	718
URPG	Ponta Grossa	20	1.953
URPV	Paranavaí	8	501
URSP	Santo Antônio da Platina	14	755
URTB	Telêmaco Borba	15	725
URTO	Toledo	14	736
URUM	Umuarama	10	740
URUV	União da Vitória	9	280
USEG	Curitiba	12	11.963
USIDLD	Londrina	6	2.844
	Total	203	29.797

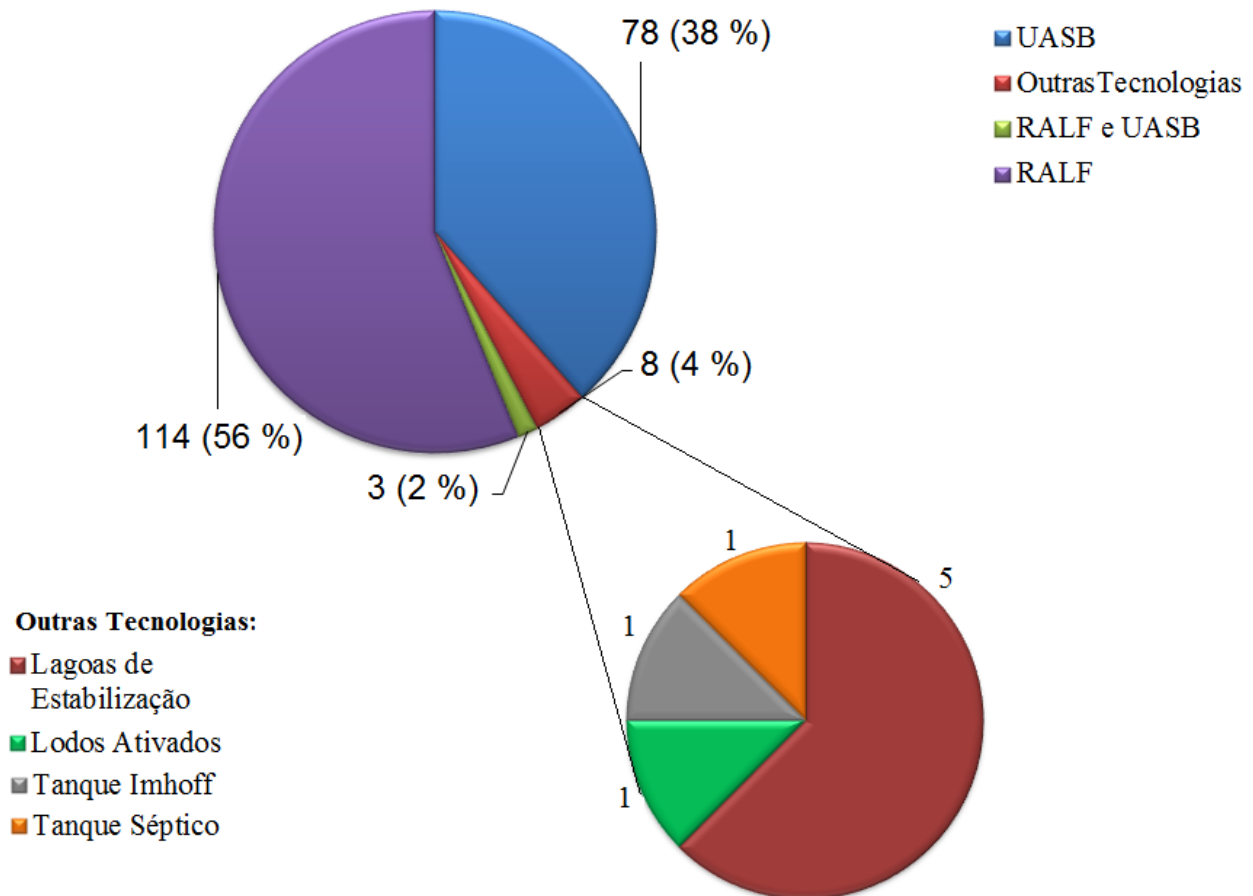


FIGURA 5.1 - TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO UTILIZADAS PELAS ETES OPERADAS PELA SANEPAR

Com relação à previsão de ampliação do SES, 16 regionais já possuem os projetos, três não possuem previsão de ampliação e uma não soube informar. Nas regionais que possuem projeto de ampliação a tecnologia a ser utilizada é de reatores tipo RALF ou UASB em 81,25 % dos casos, o que significará um aumento médio de 3600 L/s de esgoto sendo tratado anaerobiamente e conseqüentemente gerando escuma.

#### 5.1.1. Sistema de tratamento preliminar

Das ETES pesquisadas, 201 ETES (98,9 %) possuem desarenador, entre as duas que não possuem tem-se a ETE Pinhalão, próxima a Santo Antônio da Platina, que opera com gradeamento fino seguido de Tanque Imhoff e a ETE Quati, em Cascavel, que opera apenas com gradeamento grosseiro e lagoas de estabilização.

Observou-se que 100% das unidades possuem algum tipo de grade, sendo que 37,4 % das ETES possuem apenas o gradeamento grosseiro e 28,1 % apenas o fino, totalizando 65,5 % das ETES com apenas um tipo de grade. Isso influencia diretamente na composição e quantidade de escuma gerada, uma vez que quanto maior o espaçamento entre barras maior a quantidade de sólidos grosseiros que avança no tratamento preliminar chegando ao interior dos reatores (TABELA 5.2).

TABELA 5.2 - SISTEMA DE TRATAMENTO PRELIMINAR UTILIZADO PELAS ETES

TIPO DE GRADE / COMBINAÇÕES DE UNIDADES DE GRADEAMENTO	Nº DE ETES	%
Somente grade grossa	76	37,4
Somente grade média	12	5,9
Somente grade fina	57	28,1
Grade grossa + média	1	0,5
Grade grossa + fina	51	25,1
Grade média + fina	3	1,5
Grade grossa + peneira	2	1,0
Grade grossa + fina + peneira	1	0,5

A maior parte das ETES instaladas no Brasil conta apenas com o gradeamento médio. Dentro dos reatores os materiais grosseiros têm duas principais alternativas, quando não entopem os canais de distribuição, são incorporados ao lodo ou à espuma. O uso de grades finas, com aberturas entre 10 e 15 mm ou peneiras, com aberturas na ordem de 5 mm, são a principal alternativa para melhoria do pré-tratamento (CHERNICHARO *et al.*, 2009).

De acordo com o informado pelas URs, 141 ETES estão operando com a vazão menor que a vazão de projeto, sendo que em 101 ETES esta vazão não chega a 50 % do projetado. Foram avaliadas neste item 192 ETES. Esta informação pode explicar o fato das regionais não estarem preocupadas com a questão da espuma. Como as ETES estão operando com vazão inferior à vazão de projeto, a geração de espuma é menor, porém preocupa o fato da espuma estar sendo acumulada nos reatores por ocupar um volume onde deveria estar ocorrendo a degradação da matéria orgânica. A FIGURA 5.2 ilustra a frequência de retirada de espuma praticada nas localidades questionadas.

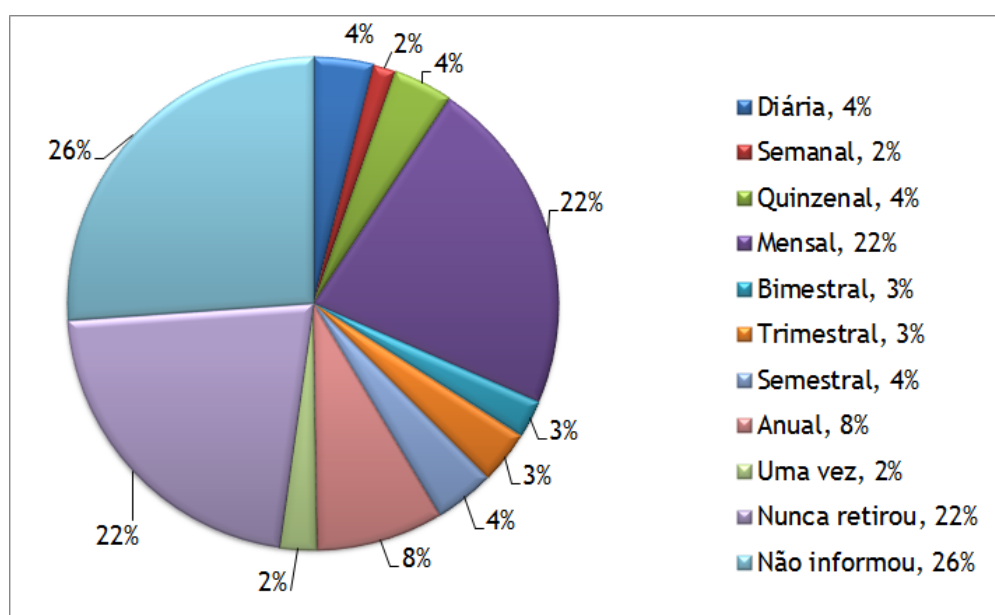


FIGURA 5.2 - FREQUÊNCIA DE RETIRADA DE ESCUMA NOS REATORES ANAERÓBIOS



O número de ETEs onde ou a espuma nunca foi retirada ou esta informação não foi fornecida representa 47,8 %. Acredita-se que para a maior parte das ETEs os problemas relacionados a não retirada de espuma estão começando a ocorrer e por esta razão as retiradas deverão começar a fazer parte da rotina operacional. Por outro lado, os operadores afirmam que a retirada em períodos de tempo reduzidos, quinzenais, é mais vantajosa por ter facilitada a prática operacional. O mesmo foi observado por Ramos (2008) que constatou que 33,3 % das ETEs do Distrito Federal nunca retiraram a espuma de seus reatores, enquanto que 16,7 % fazem a retirada semanal, 16,7 % quinzenal, 8,3 % mensal e 25 % a fazem com outra periodicidade.

Poucas unidades souberam informar o volume retirado, porém selecionou-se 67 ETEs que apresentaram medição de volume de espuma, que realizam a retirada de espuma com frequência inferior ao período de um trimestre. Para estes casos o volume de espuma representa 0,12 % da vazão de esgoto tratada pela ETE. Estimou-se com base no valor de projeto, do qual um reator UASB que trata 80 L/s de esgoto doméstico, produz 3,33 m<sup>3</sup> de espuma por dia, com 5 % de sólidos e densidade média de 950 kg/m<sup>3</sup> (DALCON, 2010), que para a vazão de 29.797 m<sup>3</sup>/h a produção de espuma seria de 858,24 m<sup>3</sup>/dia.

A FIGURA 5.3 apresenta os diversos destinos dados à espuma. Predominam os usos do leito de secagem, a disposição em vala dentro da própria ETE e a disposição em aterro sanitário municipal. Alternativas como o envio para outra ETE, desaguamento em BAG, aterro particular e mistura-la ao lodo são alternativas utilizadas para ETEs de menor porte.

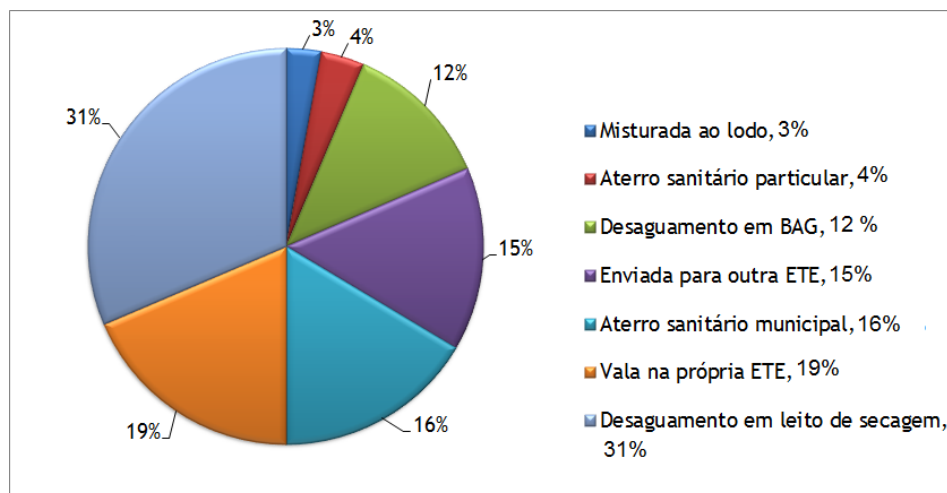


FIGURA 5.3 - DESTINO DADO A ESCUMA PRODUZIDA NOS REATORES ANAERÓBIOS

A forma de retirada aplicada costuma ser a mesma tanto no compartimento de decantação quanto no separador trifásico. Sob este aspecto, foi possível avaliar as respostas de 109 ETEs, destas 67,89 % realizam a retirada de espuma com caminhão limpa-fossa, 28,44 % a fazem manualmente e 3,67 % utilizam outras formas como um sistema hidráulico para remoção e tubo coletor de espuma. Várias regionais relataram a dificuldade na operação de retirada de espuma, pelo não funcionamento dos mecanismos propostos e pela necessidade frequente de remoção. A FIGURA 3.16 apresentada anteriormente no item 3.5.1, ilustra algumas das formas de retirada aplicadas.

Quando se opta pela secagem de espuma em leitos de secagem escolhe-se um leito dentro do conjunto disponível para “sacrifício”. A secagem da espuma nos leitos exige o uso de uma camada maior de areia sobre os tijolos, esta areia é removida junto com a espuma seca, o que acarreta em um aumento no volume a ser disposto. De acordo com a experiência relatada, o período de colmatção deste leito é mais curto que o dos leitos utilizados para o desaguamento de lodo de esgoto.

No caso dos reatores cobertos, destaca-se a importância de aberturas adequadas para permitir o acesso para visualização e retirada da espuma, observou-se que em muitos casos as aberturas são pequenas e em número insuficiente, o que compromete a atividade.

Algumas regionais destacam a dificuldade em encontrar aterros licenciados para a disposição da espuma, salientando a necessidade de valas dentro da ETE para acondicionar a espuma com mecanismo de drenagem que permita o seu desaguamento.

Em grande número de regionais destacou-se que a remoção de espuma além de melhorar a aparência na superfície do reator traz benefícios no que diz respeito à eficiência do tratamento. Ainda, a periodicidade de remoção, aberturas adequadas para acessar e remover a espuma, desaguamento eficiente e local para disposição são os principais itens a serem considerados para um bom gerenciamento de espuma.

As despesas de uma ETE podem ser classificadas nos grupos: pessoal, produtos químicos, materiais, energia elétrica, serviços de terceiros, serviços eletromecânicos e despesas gerais e tributárias. Destas, o serviço de retirada e disposição de espuma em aterro licenciado é incluído no grupo de despesas com serviços de terceiros e em um levantamento de custos, realizado no período de janeiro a setembro de 2014, este valor representou 16,38 % do custo por metro cúbico de esgoto tratado. Além dos custos com espuma, neste grupo estão incluídos os custos de transporte do lodo de esgoto e jardinagem na ETE.

## 5.2. CARACTERIZAÇÃO E ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DA ESCUMA EM REATOR TIPO UASB EM ESCALA REAL

### 5.2.1. *Determinação da composição*<sup>1</sup>

Na sequência são apresentados os resultados da caracterização da espuma produzida nas ETEs Atuba Sul e Padilha Sul da RMC e da ETE Vassoural localizada em Guarapuava. As amostras foram coletadas de forma pontual, uma vez ao mês, por quatro meses seguidos no período de julho a outubro de 2012, em Curitiba, e de junho a setembro de 2013 em Guarapuava. Não houve a verificação de tempo de acúmulo da espuma, sendo coletado de vários pontos a superfície do reator e estes pontos foram homogeneizados, para compor uma única amostra de cada data. Os contaminantes grosseiros, como papéis de bala, canudinhos, entre outros foram removidos da amostra.

---

<sup>1</sup> ROSS, B.Z.L.; CARNEIRO, C.; AISSE, M.M.; FROEHNER, S.. Caracterização da espuma produzida em reatores anaeróbios de manto de lodo, estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2013, Goiânia. **Anais...** ABES: 2013. 1 pen drive. (artigo aprovado para apresentação oral)

Na ETE Vassoural foi feita a avaliação do lodo de esgoto no mesmo período. Os resultados estão apresentados nas TABELAS 5.3 a 5.7.

TABELA 5.3 - RESULTADOS PRELIMINARES DE AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA NA ESCUMA COLETADA NAS ETES ATUBA SUL E PADILHA SUL (RMC) E DA ETE VASSOURAL (GUARAPUAVA)

ORIGEM	ST %	STV % de ST	STV/ST ---	pH ---	DQO g/L	DBO	DQO/DBO ---	O&G g/kgdeST	
ESCUMA									
ETE ATUBA SUL	MÉDIA	18,18	13,01	0,71	6,2	111	26	4,53	66
	dp <sup>(1)</sup>	4,94	4,57	--	0,8	15	8	1,81	29
ETE PADILHA SUL	MÉDIA	18,75	11,86	0,64	7,2	97	29	3,83	28
	dp <sup>(1)</sup>	3,95	1,74	--	0,4	7	13	1,44	15
ETE Vassoural	MÉDIA	22,87	12,08	0,53	---	---	---	---	126
	dp <sup>(2)</sup>	3,85	4,65	--	---	---	---	---	81
SOUZA <i>et al.</i> (2007)	11,2	---	0,74	---	170	53	3,20	---	
OLIVEIRA <i>et al.</i> (2007)	3,8	---	0,73	---	108	---	---	---	
SOUZA; CHERNICHARO (2006)	9,0	---	0,70	---	140	40	3,50	---	
LODO DE UASB									
ETE VASSOURAL	MÉDIA	20,29	12,02	0,59	---	---	---	---	91
	dp <sup>(2)</sup>	3,73	4,58	--	---	---	---	---	98
BITTENCOURT <i>et al.</i> (2011) <sup>(3)</sup>	51,70	23,23	0,47	11,5	---	---	---	---	

NOTA: <sup>(1)</sup> dp = desvio padrão, avaliação de 4 amostras de cada ETE; <sup>(2)</sup> dp = desvio padrão, avaliação de 5 amostras; <sup>(3)</sup> lodo submetido ao processo de estabilização alcalina prolongada.

De acordo com a TABELA 5.3 observa-se que a espuma das três ETES avaliadas apresenta concentração de ST e STV inferior ao lodo anaeróbico, o que é esperado, pois a mesma não passou por nenhum processo de desaguamento antes desta avaliação. Quando comparada com os demais autores, o valor de ST é superior, uma vez consultado o trabalho dos autores, não foi possível se determinar a forma de coleta da espuma, o que pode interferir sensivelmente nestas avaliações. Acredita-se que o tempo de acúmulo foi superior no experimento em questão e o fato de ser utilizada uma escumadeira para remoção do excesso de esgoto da espuma tenham contribuído para estas diferenças.

Quanto à relação entre STV/ST, a espuma avaliada em Curitiba apresenta valores muito próximos aos já estudados, valores estes que permitem dizer que a espuma não está estabilizada e deve passar por um processo de digestão. Diferente do lodo de esgoto anaeróbico caleado que apresenta uma relação STV/ST de 0,47 (BITTENCOURT *et al.*, 2011) indicando uma melhor estabilidade do material. Como esta não passou por nenhum processo de estabilização, acredita-se que o teor de espécies inorgânicas, um pouco mais elevados que as demais, conforme o apresentado na TABELA 5.6 possa ter contribuído para esta diferenciação.

O pH do lodo é mais alto que o da espuma devido ao fato deste ter passado pelo processo de estabilização alcalina prolongada para higienização, neste processo é adicionada cal hidratada, o que acarreta uma elevação do pH.

Com relação à DQO a espuma avaliada possui valores próximos aos encontrados em literatura. Os valores de DBO e de O&G não puderam ser comparados devido à ausência de dados na literatura consultada. Mas, de acordo com a relação DQO/DBO pode-se dizer que a biodegradação biológica da espuma é mais difícil que a do esgoto doméstico, que tradicionalmente apresenta a relação média de 2,0 e as espumas avaliadas apresentaram valores de 3,83 na ETE Padilha Sul e 4,53 na ETE Atuba Sul.

O teor de O&G apresentou bastante diferença entre as ETES avaliadas variando de 28 g/kg de ST até 126 g/kg de ST, esta variação pode ser decorrente de diferentes concentrações de O&G no esgoto afluente a cada uma das ETES e o tempo de acúmulo da espuma antes da coleta para avaliação, uma vez que a espuma da ETE Vassoural é acumulada por no máximo cinco dias enquanto que nas ETES da RMC o período de acúmulo pode atingir um mês. A espuma da ETE Vassoural não foi avaliada quanto ao pH, DQO e DBO.

TABELA 5.4 - RESULTADOS DE AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA NA ESCUMA COLETADA NAS ETES ATUBA SUL E PADILHA SUL (RMC) E DA ETE VASSOURAL(GUARAPUAVA)

ORIGEM	VALORES	COLIFORMES TERMOTOLERANTES UFC/g	<i>Salmonella spp.</i> UFC/g	OVOS VIÁVEIS DE HELMINTOS Ovo/g de ST
CONAMA, 375/06	LIMITE	< 1.000	Ausência em 10 g de ST	< 0,25
ETE ATUBA SUL	MÉDIA	<b>22.337</b>	<b>10.3015</b>	na <sup>(3)</sup>
	dp <sup>(1)</sup>	17.556	18.473	---
ETE PADILHA SUL	MÉDIA	<b>38.698</b>	<b>3.844</b>	na <sup>(3)</sup>
	dp <sup>(1)</sup>	25.655	3.005	---
ETE VASSOURAL – ESCUMA	MÉDIA	<b>24.206</b>	<b>19.374</b>	<b>1,40</b>
	dp <sup>(2)</sup>	48.081	27.475	0,55
ETE VASSOURAL – LODO	MÉDIA	<b>15.252</b>	<b>18.768</b>	<b>&lt;1</b>
	dp <sup>(2)</sup>	26.367	20.591	0

NOTAS: UFC = unidade formadora de colônia, <sup>(1)</sup> dp = desvio padrão, avaliação de 4 amostras de cada ETE, <sup>(2)</sup> dp = desvio padrão, avaliação de 5 amostras; <sup>(3)</sup> = não avaliado.

Por se tratar de um material não higienizado os valores encontrados e esperados de presença de coliformes termotolerantes e de *Salmonella spp.* são elevados, quando comparados com os limites exigidos pelo CONAMA 375/06, fica clara a necessidade de controle microbiológico. Já os valores encontrados para o número de ovos de helmintos foram baixos, refletindo uma possível melhora na saúde da população (TABELA 5.4).

TABELA 5.5 - RESULTADOS DE AVALIAÇÃO DE TEORES PARA ALGUNS ELEMENTOS QUÍMICOS NUTRIENTES NA ESCUMA COLETADA NAS ETES ATUBA SUL E PADILHA SUL (RMC) E DA ETE VASSOURAL (GUARAPUAVA)

LOCAL		Carbono orgânico %	Fósforo total %	Nitrogênio Kjeldahl mg/kg	Nitrogênio amoniacal mgNH <sub>3</sub> /kg	Nitrato mgNO <sub>3</sub> /kg	Nitrito mgNO <sub>2</sub> /kg
Lodo aeróbio <sup>(1)</sup>		32,10	3,70	41.900	---	---	---
Lodo anaeróbio <sup>(1)</sup>		20,10	0,67	22.200	---	---	---
ETE Atuba Sul	média	<b>52,01</b>	<b>2,97</b>	<b>12.400</b>	<b>2.828</b>	<b>63,53</b>	<b>16,92</b>
	dp <sup>(2)</sup>	26,00	3,83	4.400	2.527	18,99	12,86
ETE Padilha Sul	média	<b>65,48</b>	<b>1,02</b>	<b>15.400</b>	<b>2.695</b>	<b>74,70</b>	<b>20,36</b>
	dp <sup>(2)</sup>	16,24	0,95	3.200	1.709	36,85	6,37
ETE Vassoural – escuma	média	<b>24,26</b>	<b>0,087</b>	<b>3.300</b>	<b>40,64</b>	<b>62,94</b>	<b>4,92</b>
	dp <sup>(3)</sup>	10,37	0,100	2.900	19,38	137,67	7,65
ETE Vassoural – lodo de esgoto	média	<b>15,52</b>	<b>0,111</b>	<b>3.200</b>	<b>27,22</b>	<b>2,86</b>	<b>&lt; 1,0</b>
	dp <sup>(3)</sup>	13,60	0,139	2.700	14,77	4,59	---

LOCAL		Potássio %	Sódio %	Enxofre mgS/kg	Cálcio %	Magnésio %
Lodo aeróbio <sup>(1)</sup>		0,36	---	---	1,59	0,60
Lodo anaeróbio <sup>(1)</sup>		0,95	---	---	0,83	0,30
ETE Atuba Sul	média	<b>0,24</b>	<b>0,81</b>	<b>18,19</b>	<b>27,06</b>	<b>5,14</b>
	dp <sup>(2)</sup>	0,11	0,38	21,52	14,22	3,24
ETE Padilha Sul	média	<b>0,60</b>	<b>1,02</b>	<b>16,61</b>	<b>21,39</b>	<b>4,78</b>
	dp <sup>(2)</sup>	0,434	0,56	8,77	9,34	2,99
ETE Vassoural – escuma	média	<b>0,021</b>	<b>0,925</b>	<b>8,88</b>	<b>0,028</b>	<b>0,265</b>
	dp <sup>(3)</sup>	0,022	0,381	14,97	0,019	0,226
ETE Vassoural – lodo de esgoto	média	<b>0,037</b>	<b>0,803</b>	<b>3,29</b>	<b>0,047</b>	<b>0,359</b>
	dp <sup>(3)</sup>	0,038	0,431	4,43	0,038	0,354

NOTA: Resultados em função do peso seco de amostra. <sup>(1)</sup> ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES (2001); <sup>(2)</sup> dp = desvio padrão, avaliação de 4 amostras de cada ETE; <sup>(3)</sup> dp = desvio padrão, avaliação de 5 amostras.

As escumas coletadas na RMC mostrou-se bastante diferente daquela coletada em Guarapuava. Os teores de carbono orgânico encontrados na espuma da RMC são superiores aos encontrados no lodo, tanto anaeróbio quanto aeróbio o que não aconteceu com a espuma de Guarapuava e mesmo com o seu lodo, que apresentam teores inferiores deste elemento.

Com relação ao fósforo a espuma apresentou teores menores que o lodo, o mesmo acontece para nitrogênio Kjeldahl, evidenciando-se que a espuma de Guarapuava apresentou teores menores que a espuma da RMC. Inclusive, para toda a série de nitrogênios, que inclui o amoniacal, o nitrato e o nitrito, e para o enxofre, a espuma de Guarapuava apresentou teores inferiores que a espuma da RMC e seu lodo com teores ainda menores, não se encontrou referência na literatura para o lodo de esgoto destes valores. Observa-se teores bem reduzidos de nitrito e nitrato e teores elevados de N Kjeldahl e amônia, valores que também indicam a necessidade de estabilização do material.

Destacam-se os teores de cálcio e magnésio da espuma da RMC, bastante superiores aos encontrados no lodo de esgoto, enquanto que a espuma coletada em Guarapuava possui teores destes elementos inferiores aos demais e o lodo se assemelha muito ao lodo anaeróbico apresentado pela literatura. O que se explica devido ao fato da RMC ser uma grande produtora de calcário.

Os teores de potássio e sódio da espuma de Guarapuava são inferiores aos da espuma da RMC, enquanto que o encontrado no lodo de Guarapuava é superior ao encontrado na espuma de Guarapuava, mas inferior a espuma da RMC.

TABELA 5.6 - RESULTADOS DE AVALIAÇÃO DE ESPÉCIES INORGÂNICAS NA ESCUMA COLETADA NAS ETES ATUBA SUL E PADILHA SUL (RMC) E DA ETE VASSOURAL(GUARAPUAVA)

LOCAL	As (mg/kg de ST)	Ba	Cd	Pb	Cu	Cr	Hg	Mo	Ni	Se	Zn	
Lodo de ETE <sup>(1)</sup>	7,9	106	5,2	44	99	< 2,0	0,4	13	20	1,1	916	
Limite SEMA, 2009	41	1.300	20	300	1.000	1.000	16	50	300	100	2.500	
CONAMA, 375/06	41	1.300	39	300	1.500	1.000	17	50	420	100	2.800	
ETE Atuba Sul	média < 10	< 10	< 1	< 1	70	< 1	< 10	< 10	< 1	< 10	227	
	dp <sup>(2)</sup>	< 10	< 10	< 1	18	57	5	< 10	< 10	< 1	< 10	97
ETE Padilha Sul	média < 10	< 10	< 1	< 1	79	< 1	< 10	< 10	< 1	< 10	474	
	dp <sup>(2)</sup>	< 10	< 10	< 1	< 1	54	< 1	< 10	< 10	< 1	< 10	491
ETE Vassoural - espuma	média <10	<10	2,4	19	66	10	<10	<10	40	< 1	126	
	dp <sup>(3)</sup>	<10	<10	3,0	12	19	11	<10	<10	75	< 1	106
ETE Vassoural - lodo esgoto	média <10	<10	1,8	18	88	14	<10	<10	14	< 1	316	
	dp <sup>(2)</sup>	<10	<10	1,7	23	62	19	<10	<10	19	< 1	322

NOTA: <sup>(1)</sup> BITTENCOURT *et al.* (2012); <sup>(2)</sup> dp = desvio padrão, avaliação de 4 amostras de cada ETE; <sup>(3)</sup> dp = desvio padrão, avaliação de 5 amostras.

As espécies inorgânicas encontradas na espuma foram comparadas com o lodo de ETE avaliado por Bittencourt *et al.* (2012) e com a resolução SEMA 21/2009. Com relação às espécies avaliadas, os elementos Ba, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni e Zn apresentaram-se com teores inferiores aos encontrados em lodo de esgoto e bem inferiores ao exigido em legislação. Encontrou-se em uma das amostras coletadas na RMC alto teor de Ba (296,7 mg/kg de ST), Pb (18,4 mg/kg de ST) e Cr (5 mg/kg de ST), estes valores foram observados nos desvio padrão das análises, apesar de serem superiores ao encontrado

na média das amostras os valores são inferiores aos limites estabelecidos na legislação.

Os valores encontrados para As são menores do que o preconizado pela legislação e possivelmente também podem ser menores que os encontrados em lodo, uma vez que a análise determinou teores inferiores a 10 mgAs/kg de ST e o lodo apresenta 7,9 mgAs/kg de ST.

O teor de Se está bem abaixo do citado em legislação, não é possível afirmar que os valores são inferiores ao encontrado em lodo de esgoto, neste encontrou-se 1,1 mgSe/kg de ST e os teores encontrados na espuma são < 10 mgSe/kg de ST.

As amostras de espuma coletadas na ETE Vassoural, apresentaram teores superiores de Cd, Pb, Cu, Cr e Ni, apesar destes valores estarem bem abaixo do preconizado pela legislação acredita-se que os metais chegam à ETE através da grande parcela de água de infiltração existente na região.

Esperava-se que a espuma apresentasse potenciais caloríficos superiores ao lodo de esgoto, devido à presença de O&G, porém as medições realizadas não comprovaram esta expectativa. As medições físico-químicas apresentaram baixos teores de O&G na espuma coletada nas duas ETES avaliadas na RMC e na ETE em Guarapuava, sendo que esta última apresentou potenciais caloríficos ligeiramente superiores, possivelmente devido ao menor tempo de acúmulo do material na superfície do reator (TABELA 5.7). Por outro lado, o lodo de esgoto produzido na ETE Vassoural apresentou potenciais caloríficos inferiores aos encontrados nos lodos da RMC. Estes foram avaliados por Althoff; Possetti (2013) e foram desaguados em centrífuga, recebendo a adição de polímero a fim de tornar esta operação mais eficiente, o que pode ter elevado seus potenciais caloríficos.

TABELA 5.7 - RESULTADOS DE AVALIAÇÃO DE POTENCIAL CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) E INFERIOR (PCI) NA ESCUMA COLETADA NAS ETES ATUBA SUL E PADILHA SUL (RMC) E DA ETE VASSOURAL (GUARAPUAVA)

LOCAL		PCS (kcal/kg, b.s.) <sup>(3)</sup>	PCI (kcal/kg, b.s.) <sup>(3)</sup>
ETE Atuba Sul	média	<b>2.469</b>	<b>1.884</b>
	dp <sup>(1)</sup>	1.419	1.202
ETE Padilha Sul	média	<b>2.522</b>	<b>1.700</b>
	dp <sup>(1)</sup>	1.683	1.135
ETE Vassoural – espuma	média	<b>3.741</b>	<b>2.326</b>
	dp <sup>(1)</sup>	878	1.075
ETE Laboreaux (MG) - espuma <sup>(5)</sup>		1.695	NI
ETE Vassoural – lodo	média	<b>1.476</b>	<b>1.088</b>
	dp <sup>(2)</sup>	436	493
Lodo anaeróbio ETE Santa Quitéria <sup>(4)</sup>		4.108	3.842
Lodo aeróbio ETE Belém <sup>(4)</sup>		4.856	4.535
Lodo anaeróbio ETE Atuba Sul <sup>(4)</sup>		2.128	2.000
Lodo anaeróbio ETE Laboreaux (MG) <sup>(5)</sup>		2.077	NI

NOTA: <sup>(1)</sup> dp = desvio padrão, avaliação de 4 amostras de cada ETE; <sup>(2)</sup> dp = desvio padrão, avaliação de 5 amostras; <sup>(3)</sup> b.s. = base seca; <sup>(4)</sup> ALTHOFF; POSSETTI (2013), avaliando lodo antes da higienização com cal; <sup>(5)</sup> ROSA *et al.* (2015); NI = não informado.

### 5.2.2. Produção e Acúmulo de espuma em reator tipo UASB

Observou-se uma similaridade nos dados de geração de espuma em cada ETE, mas não entre as duas ETE avaliadas, sendo que a ETE Padilha Sul produz muito mais espuma do que a ETE Atuba Sul (Apêndice 2). Na ETE Padilha Sul a coleta ocorria com maior frequência do que na ETE Atuba, pois a geração era muito superior, o que foi constatado pelos resultados obtidos. Existe uma falha no nivelamento entre os reatores na ETE Padilha, esta pode ser observada na diferença entre o nível do efluente nas canaletas dos vertedores e também pela diferença entre o volume produzido de espuma em cada um dos reatores avaliados, tubo 1, 2 e 3, por esta razão existe maior variação na produção de espuma, entre reatores, na Padilha Sul do que na Atuba Sul.

As taxas de sedimentação, adsorção e difusão no interior dos reatores UASB são influenciadas pela dimensão das partículas contidas no esgoto, pode-se selecionar no pré-tratamento a faixa de tamanho de partículas que ofereça vantagens para a cinética do processo biológico do tratamento. O uso de uma peneira com malha de 1 mm, que tinha o objetivo de forçar a ruptura das partículas e não de reter o material particulado em si, permitiu a redução do tamanho das partículas, porém não influenciou na redução da DQO total do esgoto bruto (LEVINE *et al*, 1985, *apud* TEIXEIRA; CHERNICHARO, 2009). Já o peneiramento de 1 mm no esgoto não resultou em diferença na taxa de formação de espuma (SOUZA, 2006). Em janeiro de 2014 foi instalada na ETE Padilha sul uma unidade de peneiramento, com espaçamento entre barras de 3 mm, por esta razão foram retomadas as medições de taxa de formação de espuma na ETE. Os resultados preliminares de geração de espuma indicam que não houve redução na quantidade produzida, o que corrobora com o apresentado pelos autores acima, e tem-se verificado apenas uma melhoria na qualidade da espuma. Esta melhoria foi evidenciada pelo aumento no número de caçambas contendo resíduos do gradeamento (TABELA 5.8).

TABELA 5.8 - COMPARATIVO ENTRE O NÚMERO DE CAÇAMBAS CONTENDO RESÍDUOS DO GRADEAMENTO NA ETE PADILHA SUL, APÓS A SUBSTITUIÇÃO DO GRADEAMENTO MECANIZADO DE 15 MM PELO PENEIRAMENTO DE 3 MM

2013	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	TOTAL
Areia (m <sup>3</sup> /mês)	5	5	5	10	15	5	30	75
Lixo (m <sup>3</sup> /mês)	5	10	10	10	15	15	5	70
2014	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	TOTAL
Areia (m <sup>3</sup> /mês)	20	15	15	15	30	20	20	135
Lixo (m <sup>3</sup> /mês)	20	15	25	20	30	25	25	160

Os dados de tempo de acúmulo, volume coletado, vazão, DQO afluente e efluente ao UASB, assim como as características da espuma em termos de ST, STF STV e DQO estão apresentados no Apêndice 2 deste trabalho. A TABELA 5.9 sumariza os resultados obtidos, assim como os compara com os valores encontrados em literatura.

Notadamente a ETE Padilha Sul produz muito mais espuma que as demais ETEs estudadas independentemente do espaçamento do gradeamento utilizado, possivelmente devido ao fato de receber maior carga orgânica, visto sua elevada DQO de entrada (Apêndice 2) e a abrangência de sua rede coletora é bem superior a da ETE Atuba Sul (FIGURA 5.5), apesar de estar mais abaixo da sua capacidade nominal. Ressalta-se que, durante a primeira avaliação, ambas as ETEs possuíam o mesmo sistema preliminar composto por gradeamento manual de 20 mm e gradeamento mecanizado de 15 mm.



TABELA 5.9 - SÍNTESE DOS RESULTADOS E COMPARAÇÃO COM A LITERATURA DOS COEFICIENTES DE PRODUÇÃO DE ESCUMA NAS ETES ATUBA SUL E PADILHA SUL, COM GRADEAMENTO DE 15 MM E PENEIRAMENTO DE 3 MM

ETE		ATUBA SUL (15 mm)	PADILHA SUL (15 mm)	PADILHA SUL (3 mm)	ROSA <i>et al.</i> (2013) <sup>(1)</sup>	OLIVEIRA <i>et al.</i> (2007) <sup>(2)</sup>	SOUZA (2006) <sup>(3)</sup>
Vazão (L/s)	Projeto	1.120	420	420	162	0,014 a 0,019	0,31 a 0,94
	média atual	1.048	297	311	ni	0,014 a 0,019	0,31 a 0,94
Capacidade (%)		93,57	70,71	74,05	ni	100	100
DQO (mg/L)	afluente	344	648	640	ni	352	363 a 472
	efluente	182	285	384	ni	135 a 166	Ni
Eficiência (%)		47	44	40	ni	53 a 62	Ni
Produção de escuma	L/kg DQO aplicada	0,04	0,38	0,55	0,004	Ni	0,01 a 0,04
	gST/kg DQO aplicada	4,82	57,70	85,29	ni	1,1 a 1,3	1,0 a 2,4

NOTA: ni = não informado. <sup>(1)</sup> A taxa de geração foi avaliada em dois dos sete separadores trifásicos, em um dos oito reatores UASB da ETE Laboreaux de Itabira, Minas Gerais, Brasil. <sup>(2)</sup> Avaliação em reatores UASB piloto, com vazões variando de 49 a 67 L/h, sendo um convencional e outro modificado, no qual se permitia a saída constante de toda a espuma produzida. <sup>(3)</sup> Avaliação em reatores UASB piloto, com vazões variando de 1.125 a 3.375 L/h.

Pode-se também afirmar que a substituição do gradeamento de 15 mm pelo peneiramento de 3 mm que ocorreu na ETE Padilha não contribuiu para a redução da taxa de formação de espuma. Pelo contrário, observou-se um leve aumento, que pode ser devido à redução na eficiência no tratamento, visto que a DQO média efluente aos UASBs aumentou e também ao aumento na vazão tratada pela ETE, que pode estar contribuindo com um maior arraste de sólidos.

Tentou-se verificar a correlação entre a carga orgânica aplicada e a quantidade de espuma gerada (FIGURA 5.4), porém para nenhum dos três casos avaliados pode-se afirmar que o aumento da produção de espuma foi devido ao aumento da carga orgânica afluente à ETE.

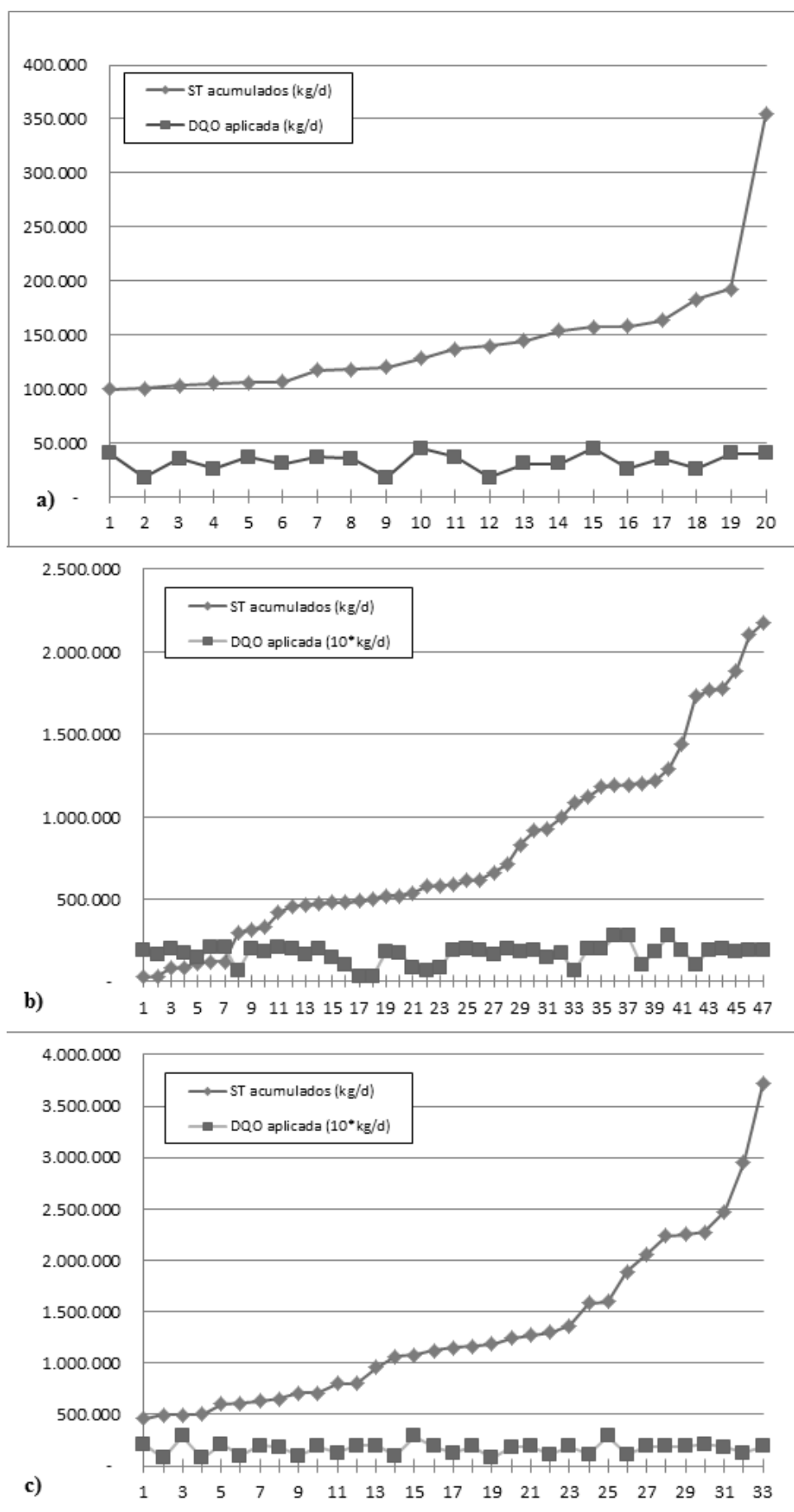


FIGURA 5.4 - RELAÇÃO ENTRE A PRODUÇÃO DE ESCUMA (ST ACUMULADOS) E A CARGA ORGÂNICA APLICADA (DQO APLICADA) NAS ETES ATUBA SUL (a) E PADILHA SUL (b) COM GRADEAMENTO DE 15 MM E (c) PADILHA SUL COM GRADEAMENTO DE 3 MM.



quantidade de esgoto possam ter contribuído para estes resultados. Soma-se a isso a diferença existente entre os reatores UASB avaliados, que possuem uma comunicação maior entre o separador trifásico e a área de decantação diferentemente dos reatores tradicionais (FIGURA 5.6). Além do fato de Rosa *et al.* (2013) terem trabalhado apenas com a formação de espuma no IST, Oliveira *et al.* (2007) e Souza (2006) consideraram a superfície total do reator e trabalharam com reatores pilotos, de modelo tradicional.

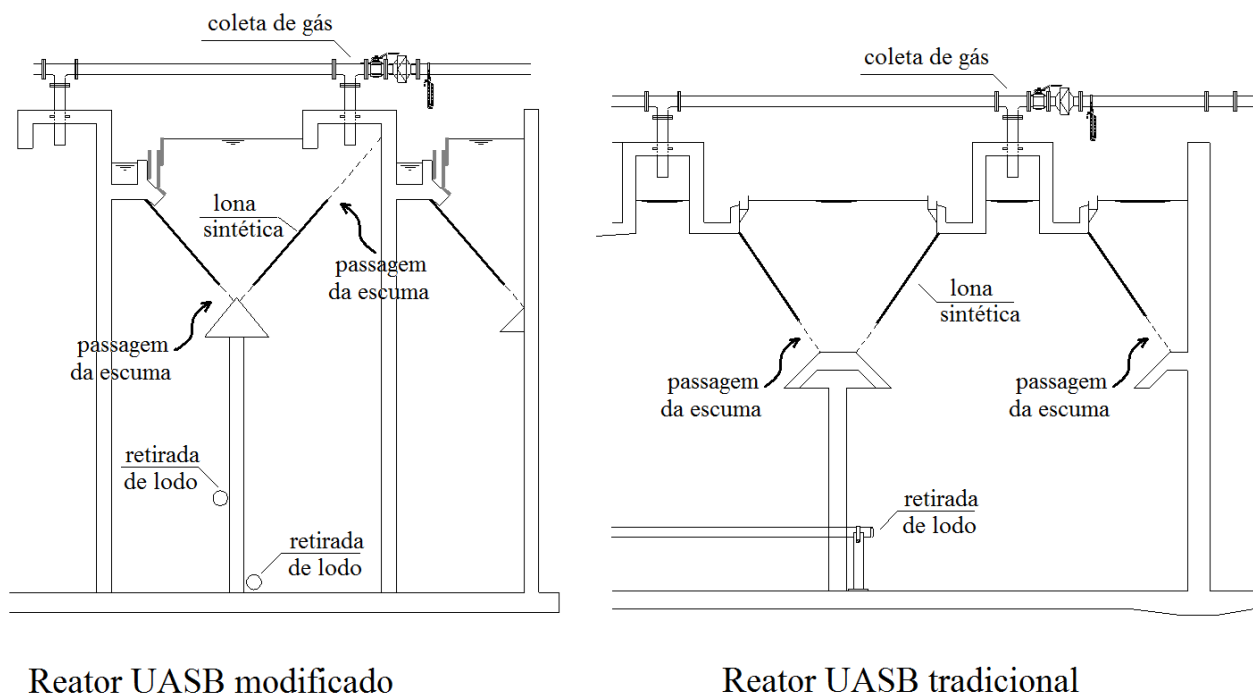


FIGURA 5.6 - DIFERENÇAS ENTRE OS REATORES TIPO UASB TRADICIONAL E O MODIFICADO UTILIZADOS NA PESQUISA

FONTE: adaptado de Sanepar, arquivo de imagens.

Devido ao espaçamento existente entre a lona sintética e o concreto, que faz a separação da área de decantação e do IST, ser muito maior nos reatores UASB modificados a velocidade ascensional do esgoto tratado é alterada, isso pode contribuir com as altas taxas de formação de espuma encontradas, nos modelos avaliados das ETEs Atuba Sul e Padilha Sul que são do tipo UASB modificado. Nestes modelos o espaçamento existente foi previsto para permitir a saída dos flocos mais finos de lodo.

Durante todo o estudo, percebeu-se que a espuma era muito semelhante ao lodo produzido pelas ETEs avaliadas, o que pode explicar também a grande quantidade de espuma gerada. A ocorrência de lodo flotado na espuma pode ser justificada pela grande produção de gás, o que transforma o reator UASB em um flutuador natural, onde uma grande quantidade de sólidos passa a se acumular na superfície dos tanques (RAMOS, 2008). Outra hipótese que se pode somar é o fato de que esgotos com altos teores de proteína também tendem a produzir mais espuma e formar um lodo menos granular, mais floculento, que possui maior dificuldade de sedimentação (METCALF; EDDY, 2003). Além disso, o tempo de retenção celular afeta as propriedades físicas e bioquímicas do lodo, incluindo o tamanho das partículas do próprio lodo, suas capacidades de desagregamento, sedimentabilidade e formação de espuma (HALALSHEH *et al.*, 2005).

### 5.3. GERAÇÃO DE ESCUMA COM VARIAÇÃO DA VELOCIDADE ASCENSIONAL DO ESGOTO BRUTO E A FREQUÊNCIA DE RETIRADA DE LODO

Considerando que o acúmulo de espuma está relacionado ao arraste de partículas do lodo do compartimento de digestão para o compartimento de decantação, devido à imposição de velocidades ascensionais superiores (SOUZA, 2006), foram feitas as avaliações da geração de espuma com variação da velocidade ascensional do esgoto bruto e variação da frequência de retirada de lodo, as avaliações destes resultados estão apresentados na sequência deste trabalho, enquanto que no Apêndice 3 encontram-se todos os dados brutos obtidos com as coletas e análises laboratoriais.

#### 5.3.1. Geração de espuma com variação da velocidade ascensional do esgoto bruto

Foram realizadas sete amostragens, totalizando um período de avaliação de 43 dias, durante este período a temperatura média do ar foi de 27,2 °C e a pluviosidade na ETE Vassoural apresentou média de 9 mm/d, totalizando 65 mm de chuva durante as coletas. Na TABELA 5.10 nota-se que a divisão do esgoto na caixa distribuidora de fluxos foi eficiente, conseguindo-se diferenciar a quantidade de esgoto destinada a cada um dos reatores, sem prejudicar o funcionamento global da ETE. Obteve-se velocidade máxima de 0,69 m/h e mínima de 0,46 m/h o que se aproximou da recomendação da norma brasileira 12.209 (BRASIL, 2011) que solicita que a velocidade fique entre 0,5 e 1,0 m/h.

TABELA 5.10 – RESULTADOS MÉDIOS DE EFICIÊNCIA DOS REATORES UASB DA ETE VASSOURAL, OPERANDO COM DIFERENTES VELOCIDADES ASCENSIONAIS

PARÂMETRO	ESGOTO BRUTO	EFLUENTE DO REATOR 1	EFLUENTE DO REATOR 2	EFLUENTE DO REATOR 3
VAZÃO (L/s)	275 (±20,6)	110 (±8,2)	92 (±6,9)	73 (±5,5)
TDH (h)	NA	5,83 (±0,4)	7 (±0,5)	8,75 (±0,6)
Vasc (m/h)	NA	0,69 (±0,05)	0,57 (±0,04)	0,46 (±0,03)
TEMP. (°C)	24 (±1,26)	23 (±0,9)	24 (±1,0)	24 (±0,9)
pH	7,41 (±0,3)	6,95 (±0,1)	6,93 (±0,1)	6,94 (±0,1)
DQO (mg/L)	421 (±182,1)	70 (±17,3)	74 (±20,2)	76 (±27,5)
E <sub>DQO</sub> (%)	NA	82 (±4,9)	81 (±4,2)	80 (±6,3)
CARGA ORGÂNICA APLICADA (kgDQO/d)	NA	4.034 (± 1.827)	3.362 (± 1.523)	2.690 (± 1.218)
O&G (mg/L)	123 (±57,4)	136 (±30,6)	76 (±22,6)	75 (±21,7)
E <sub>O&amp;G</sub> (%)	NA	-22 (±44,5)	29 (±26,9)	30 (±26,9)

Obs.: NA = não se aplica.

Ainda na TABELA 5.10, pode-se analisar que o reator 1 apresentou eficiência negativa para a remoção de O&G, sendo encontrado o valor de - 22 %. Das sete amostras avaliadas neste reator, quatro apresentaram eficiência negativa para a remoção de O&G. Já no caso do reator 2, que operou com TDH superior ao reator 1, apenas em uma das amostragens obteve-se eficiência negativa para a remoção de O&G no efluente; e no reator 3 em todas as amostragens a remoção de O&G foi positiva, indicando que com o maior tempo de detenção consegue-se maior eficiência na remoção de O&G do efluente dos reatores, inclusive que tempos de detenção reduzidos causam uma piora de

qualidade do efluente no tocante a este parâmetro. A remoção de DQO foi positiva e bastante elevada nos três reatores, sempre superior a 80 %, porém não se pode afirmar que exista diferença entre as eficiências para cada um dos casos. Outros parâmetros que não apresentaram modificação foram a temperatura do esgoto e o pH, sendo que o pH do esgoto bruto mostrou-se um pouco mais alcalino que o pH do esgoto tratado, porém sem diferença entre o efluente dos três reatores.

TABELA 5.11 – RESULTADOS MÉDIOS DE PRODUÇÃO DE ESCUMA DOS REATORES UASB DA ETE VASSOURAL, OPERANDO COM DIFERENTES VELOCIDADES ASCENSIONAIS

PARÂMETRO	ESCUMA REATOR 1	ESCUMA REATOR 2	ESCUMA REATOR 3
TDH (h)	5,83 ( $\pm 0,4$ )	7,00 ( $\pm 0,5$ )	8,75 ( $\pm 0,6$ )
Vasc (m/h)	0,69 ( $\pm 0,05$ )	0,57 ( $\pm 0,04$ )	0,46 ( $\pm 0,03$ )
ESCUMA INTERNA (mL)	1.109 ( $\pm 248$ )	2.821 ( $\pm 1.108$ )	3.355 ( $\pm 1.149$ )
ESCUMA EXTERNA (mL)	31 ( $\pm 40$ )	65 ( $\pm 67$ )	149 ( $\pm 151$ )
ST (%)	12,73 ( $\pm 1,2$ )	13,98 ( $\pm 1,3$ )	13,24 ( $\pm 1,6$ )
STF (%)	3,72 ( $\pm 0,3$ )	4,70 ( $\pm 0,4$ )	4,43 ( $\pm 0,8$ )
STV (%)	9,01 ( $\pm 1,0$ )	9,28 ( $\pm 1,0$ )	8,82 ( $\pm 1,0$ )
O&G (mg/kg)	1.076 ( $\pm 69$ )	1.171 ( $\pm 213$ )	1.566 ( $\pm 257$ )

Obs.: Escuma externa é aquela formada na área de decantação dos reatores enquanto que escuma interna é aquela formada no IST. O tempo de acúmulo da escuma foi de 7 dias.

Comparando-se as TABELA 5.10 e TABELA 5.11 observa-se que a concentração de O&G no reator que trabalhou com TDH inferior foi mais alto que os demais, enquanto que os valores encontrados na escuma são contrários, ou seja, os maiores teores de O&G foram encontrados no reator que operou com TDH superior, sugerindo uma transferência deste conjunto de compostos quando o TDH é superior, permitindo sua saída do efluente e migrando para a escuma.

Com relação à quantidade de escuma formada, o reator que funcionou com TDH superior (8,75 h) formou 3 vezes mais escuma área de decantação e 4,8 vezes mais escuma no IST que o reator que funcionou com TDH inferior (5,83 h). Acreditava-se, de acordo com o encontrado em literatura, que velocidades ascensionais menores permitiriam a formação de menos escuma. Porém como os reatores recebem esgoto doméstico, que é usualmente diluído, neste caso utilizamos taxas de 2.690 kg DQO/d a 4.034 kg DQO/d (TABELA 5.10), a aplicação de velocidades inferiores permitiu maior degradação da matéria-orgânica e conseqüentemente uma maior produção de lodo e de biogás que causou a flotação do lodo permitindo sua presença na escuma. A flotação do granulo de lodo de esgoto pode ocorrer com aplicação de altas cargas orgânicas, resultando na perda do lodo ativo e redução na capacidade de tratamento do reator UASB, os flocos flutam devido a força de impulsão criada pelas bolhas de gás produzidas no seu interior (YODA; NISHIMURA, 1997).

Os teores de sólidos totais, voláteis e fixos avaliados na escuma formada nos três reatores não apresentou variação significativa. A TABELA 5.12 apresenta a variação do sólidos sedimentáveis no efluente dos reatores analisados, o esgoto afluente à ETE Vassoural apresentou concentração de sólidos sedimentáveis média de 4,3 mL/L ( $\pm 3,3$ ). Nos resultados encontrados verifica-se que não houve alteração, sendo que os três reatores apresentaram saída de 0,1 mL/L. Acredita-se que caso tenha ocorrido o arraste de sólidos para fora do reator, estes ficaram retidos na escuma e não chegaram a impactar a qualidade do esgoto tratado.

TABELA 5.12 – RESULTADOS DE SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS (ml/L) DOS REATORES UASB DA ETE VASSOURAL, OPERANDO COM DIFERENTES VELOCIDADES ASCENSIONAIS

COLETA	REATOR 1	REATOR 2	REATOR 3
1	0,2	<0,1	0,1
2	<0,1	<0,1	<0,1
3	<0,1	<0,1	<0,1
4	<0,1	<0,1	<0,1
5	<0,1	<0,1	<0,1
6	0,1	<0,1	<0,1
7	<0,1	<0,1	<0,1
MÉDIA (desvio padrão)	0,1 (±0,1)	<0,1 (±0,0)	0,1 (±0,0)

### 5.3.2. Geração de espuma com variação da frequência de retirada de lodo

Foram realizadas oito amostragens, totalizando um período de avaliação de 32 dias, durante este período a temperatura média do ar foi de 27,7 °C e a pluviosidade na ETE Vassoural apresentou média de 2,1 mm/d, totalizando 17 mm de chuva durante as coletas. Ressalta-se que nesta etapa do experimento os três reatores operaram com iguais vazões, sendo a média de 82,65 L/s em cada reator, o que gerou como consequência um TDH de 7,93 h e uma velocidade ascensional de 0,52 m/h. Antes de se dar início às coletas foi feita a retirada de espuma e lodo, de modo que todos os reatores apresentassem nível equivalente de lodo no seu interior e ausência de espuma na área de decantação e no IST. A TABELA 5.13 apresenta as datas em que foram realizadas as retiradas de lodo em cada um dos reatores, os resultados obtidos durante todo o período de amostragem estão expostos no Apêndice 3.

TABELA 5.13 – FREQUÊNCIA DE RETIRADA DE LODO DOS REATORES UASB DA ETE VASSOURAL

DATA	COLETA	RETIRADA DE LODO (m <sup>3</sup> )		
		REATOR 1	REATOR 2	REATOR 3
17/3/2015	1	50	50	50
20/3/2015	2	50	NR	NR
30/3/2015	3	50	50	NR
1/4/2015	4	50	NR	NR
6/4/2015	5	50	50	50
10/4/2015	6	50	NR	NR
14/4/2015	7	50	50	NR
17/4/2015	8	50	NR	NR

A taxa de formação de espuma está intimamente ligada ao correto gerenciamento do lodo no interior dos reatores, desta forma, a não retirada do lodo na frequência e quantidades adequadas provocará uma maior perda de sólidos, aumentando a taxa de formação de espuma (CHERNICHARO *et al.*, 2009). Em outros estudos, verificou-se que tanto o tempo de retenção celular como a variação da temperatura dos reatores de 15 para 25 °C influenciaram na formação de espuma (HALALSHEH *et al.*, 2005).

TABELA 5.14 – RESULTADOS MÉDIOS DE EFICIÊNCIA DOS REATORES UASB DA ETE VASSOURAL, OPERANDO COM DIFERENTES RETIRADAS DE LODO

PARÂMETRO	ESGOTO BRUTO	EFLUENTE DO REATOR 1		EFLUENTE DO REATOR 2		EFLUENTE DO REATOR 3	
FREQUENCIA DE RETIRADA DE LODO		NA	A CADA 3 DIAS	A CADA SEMANA		A CADA 15DIAS	
VAZÃO (L/s)	247,94 (±35,05)		82,65 (±11,7)	82,65 (±11,7)		82,65 (±11,7)	
TEMP. (°C)	23 (±1,17)		23 (±0,4)	23 (±0,3)		23 (±0,3)	
pH	7,24 (±0,08)		6,9 (±0,1)	6,9 (±0,1)		6,9 (±0,1)	
DQO (mg/L)	655 (±102,33)		103 (±27,8)	107 (±32,6)		113 (±23,7)	
E <sub>DQO</sub> (%)		NA	84 (±2,7)	84 (±3,8)		83 (±2,7)	
			NÚMERO DE AMOSTRAS <sup>(1)</sup>	NÚMERO DE AMOSTRAS <sup>(1)</sup>		NÚMERO DE AMOSTRAS	
			8	6	8	6	8 <sup>(2)</sup>
O&G (mg/L)	131 (±61,99)	93 (±47,2)	116 (±26,09)	85 (±50,8)	108 (±30,47)	NR	56 (±27,06)
E <sub>O&amp;G</sub> (%)		23 (±36,32)	8 (±26,83)	32 (±36,80)	15 (±23,91)	NR	44 (±31,17)

Obs.: NA = não se aplica, NR = duas amostras do reator três foram quebradas, por esta razão não foi realizada a análise. <sup>(1)</sup> Duas amostras do reator 1 e do reator 2 apresentaram resultados bastante diferentes dos demais encontrados, assim, foi calculada a média e o desvio padrão com estas amostras, no caso da avaliação com oito amostras, e sem elas, na avaliação com seis amostras.

De acordo com o apresentado na TABELA 5.14 não houve variação no pH, mantendo-se o pH um pouco mais alcalino no esgoto afluente, 7,24 (± 0,08) e de 6,9 (± 0,1) nos efluentes, ressalta-se a baixa variação nos valores de pH de saída dos reatores. A temperatura do esgoto manteve-se abaixo a temperatura atmosférica, tendo-se a média para o ar de 28 °C e para o esgoto médias de 23 °C. A eficiência para a remoção de DQO foi levemente superior no reator em que o lodo foi retirado com maior frequência, encontrando-se o valor de 84 % para os reatores com retiradas de lodo a cada três e sete dias e de 83 % para o reator em que o lodo foi retirado quinzenalmente.

Para esta avaliação foram feitas oito coletas, conforme mencionado anteriormente, porém, nos resultados de concentração de O&G do efluente do reator 1 e 2 obteve-se com o procedimento analítico dois valores bastante diferentes dos demais. Por esta razão na TABELA 5.14 são apresentados dois resultados para as médias e desvios padrão encontrados, um com oito amostras e outro com apenas seis amostras, desconsiderando os valores duvidosos. Apesar desta cautela para a avaliação dos resultados de O&G observa-se que a tendência dos resultados foi a mesma, independente do uso ou não dos resultados duvidosos, porém quando eles não são considerados o comportamento fica mais evidenciado. Portanto, nota-se que a concentração de O&G no esgoto afluente foi de 131 mg/L e que a tendência para o efluente é que quanto maior o número de retiradas de lodo de esgoto, maior a concentração de O&G, chegando a média de 93 mg/L quando as retiradas foram a cada três dias. Pode-se concluir que uma maior quantidade de lodo no interior do reator permite a melhor degradação de O&G, apesar de acarretar numa piora na eficiência na remoção de DQO.



TABELA 5.15 – RESULTADOS MÉDIOS DE PRODUÇÃO DE ESCUMA DOS REATORES UASB DA ETE VASSOURAL, OPERANDO COM DIFERENTES RETIRADAS DE LODO

PARÂMETRO	ESCUMA REATOR 1	ESCUMA REATOR 2	ESCUMA REATOR 3
ESCUMA INTERNA (mL)	2.054 ( $\pm 726,2$ )	2.806 ( $\pm 468,6$ )	4.085 ( $\pm 782,8$ )
ESCUMA EXTERNA (mL)	33 ( $\pm 17,5$ )	75 ( $\pm 46,9$ )	150 ( $\pm 96,4$ )
ST (%)	13,3 ( $\pm 1,2$ )	13,7 ( $\pm 1,2$ )	14,2 ( $\pm 0,8$ )
STF (%)	3,6 ( $\pm 0,5$ )	3,9 ( $\pm 0,5$ )	4,6 ( $\pm 0,7$ )
STV (%)	9,7 ( $\pm 0,9$ )	9,8 ( $\pm 0,9$ )	9,6 ( $\pm 0,7$ )
O&G (mg/kg)	1.127 ( $\pm 124,8$ )	1.122 ( $\pm 156,3$ )	1.413 ( $\pm 230,4$ )

Obs.: Escuma externa é aquela formada na área de decantação dos reatores enquanto que escuma interna é aquela formada no IST. O reator 1 foi operado com retiradas de lodo de esgoto a cada três dias, no reator 2 as retiradas ocorreram uma vez por semana e no reator três a cada quinze dias.

A respeito da espuma produzida pelos reatores durante o período de avaliação, verifica-se que, de acordo com o encontrado na literatura, uma maior quantidade de lodo no interior do reator, tem como consequência uma maior produção de espuma. Além disso, a espuma produzida possui um teor de O&G também superior (TABELA 5.15), o que indica que ocorre uma migração destes compostos do esgoto para a espuma quando a quantidade de lodo no interior do reator é maior.

Assim como na avaliação sobre a interferência da velocidade ascensional sobre a formação de espuma, não foram verificadas alterações significativas no teor de sólidos das amostras. Quanto aos sólidos sedimentáveis, partiu-se de um esgoto afluyente com concentração média de 3,94 mL/L ( $\pm 1,80$ ) e obteve-se saídas próximas a 0,1 mL/L, sugerindo que caso as retiradas de lodo do interior do reator sejam minimizadas, o lodo excedente pode se acumular na espuma formada (TABELA 5.16).

TABELA 5.16 – RESULTADOS DE SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS (mL/L) DOS REATORES UASB DA ETE VASSOURAL, OPERANDO COM DIFERENTES RETIRADAS DE LODO

COLETA	REATOR 1	REATOR 2	REATOR 3
RETIRADA DE LODO	A CADA 3 DIAS	A CADA SEMANA	A CADA 15DIAS
1	<0,1	<0,1	<0,1
2	<0,1	<0,1	<0,1
3	0,3	<0,1	<0,1
4	<0,1	<0,1	<0,1
5	<0,1	<0,1	<0,1
6	<0,1	<0,1	<0,1
7	<0,1	<0,1	<0,1
8	<0,1	<0,1	<0,1
MÉDIA	0,1 ( $\pm 0,1$ )	<0,1 ( $\pm 0,0$ )	<0,1 ( $\pm 0,0$ )

Outra avaliação realizada está relacionada à taxa de geração de espuma. Os resultados obtidos na ETE Vassoural de Guarapuava, oriundos da variação da velocidade ascensional e das retiradas de lodo dos reatores foram comparados com os provenientes da avaliação de geração de espuma nas ETEs Atuba Sul e Padilha Sul da Região Metropolitana de Curitiba. Sendo assim, pode-se elaborar a TABELA 5.17 que apresenta os resultados provenientes da ETE Vassoural em conjunto com os resultados expostos na TABELA 5.9 oriunda do item 5.2.2 - Produção e Acúmulo de espuma em reator tipo UASB da página 69 deste trabalho.

TABELA 5.17 – SÍNTESE DOS RESULTADOS E COMPARAÇÃO COM A LITERATURA DOS COEFICIENTES DE PRODUÇÃO DE ESCUMA NAS ETES ATUBA SUL, PADILHA SUL E VASSOURAL

ETE	ATUBA SUL (15 mm)	PADILHA SUL (15 mm)   (3 mm)		VASSOURAL <sup>(4)</sup>						ROSA <i>et al.</i> (2013) ( <sup>1</sup> )	OLIVEIRA <i>et al.</i> (2007) ( <sup>2</sup> )	SOUZA (2006) ( <sup>3</sup> )		
				VELOCIDADE ASCENSIONAL			RETIRADA DE LODO						MÉDIA	
				R1	R2	R3	R1	R2	R3					
Vazão (L/s)	Projeto	1.120	420	420	80	80	80	80	80	80	240	162	0,014 a 0,019	0,31 a 0,94
	média atual	1.048	297	311	110,23	91,86	73,48	82,65	82,65	82,65	261,76	NI	0,014 a 0,019	0,31 a 0,94
Capacidade (%)		93,57	70,71	74,05	137,79	114,82	91,85	103,31	103,31	103,31	109,07	NI	100	100
DQO (mg/L)	afluente	344	648	640	423	423	421	655	655	655	538,38	NI	352	363 a 472
	efluente	182	285	384	70	74	77	103	107	84	85,76	NI	135 a 166	NI
Eficiência (%)		47	44	40	83	82	82	84	84	87	84,07	NI	53 a 62	NI
PRODUÇÃO DE ESCUMA														
INTERNA	L/kg DQO aplicada	NC	NC	NC	0,12	0,41	0,62	0,32	0,45	0,67	0,43	NI	NI	NI
	gST/kg DQO aplicada	NC	NC	NC	13,84	57,68	80,69	43,55	62,40	96,06	59,04	NI	NI	NI
EXTERNA	L/kg DQO aplicada	NC	NC	NC	0,0066	0,0230	0,0670	0,0139	0,0296	0,0663	0,0344	NI	NI	NI
	gST/kg DQO aplicada	NC	NC	NC	0,97	3,28	10,42	1,78	3,87	9,26	4,93	NI	NI	NI
TOTAL	L/kg DQO aplicada	0,04	0,38	0,55	0,13	0,43	0,69	0,33	0,48	0,74	0,47	0,004	NI	0,01 a 0,04
	gST/kg DQO aplicada	<b>4,82</b>	<b>57,70</b>	<b>85,23</b>	<b>14,81</b>	<b>60,96</b>	<b>91,11</b>	<b>45,33</b>	<b>66,26</b>	<b>105,33</b>	<b>63,97</b>	<b>NI</b>	<b>1,1 a 1,3</b>	<b>1,0 a 2,4</b>

NOTA: NI = não informado, NC = não calculado. <sup>(1)</sup> A taxa de geração foi avaliada em dois dos sete separadores trifásicos, em um dos oito reatores UASB da ETE Laboreaux de Itabira, Minas Gerais, Brasil. <sup>(2)</sup> Avaliação em reatores UASB piloto, sendo um convencional e outro modificado, no qual se permitia a saída constante de toda a espuma produzida. <sup>(3)</sup> Avaliação em reatores UASB piloto. <sup>(4)</sup> Na ETE Vassoural a avaliação foi realizada em cada um dos reatores em separado devido a imposição de condições de operação diferenciadas para cada um deles.

As ETEs exploradas neste projeto encontram-se próximas as suas capacidades de operação, sendo a de maior porte a ETE Atuba Sul com vazão média de 1.048 L/s e a de menor porte a ETE Vassoural com 261 L/s, entretanto esta última apresenta eficiências de remoção de DQO bastante superiores que podem estar relacionadas a qualidade do esgoto afluyente, rigidez nos procedimentos operacionais adotados pelos operadores responsáveis e também devido ao fato da ETE Vassoural possuir reatores tipo UASBs tradicionais e não modificados como as outras duas ETEs.

Considerando-se a média de produção de espuma para as duas fases do experimento, tem-se que durante a avaliação da interferência a taxa de espuma da ETE Vassoural, foi bastante próxima a encontrada na ETE Padilha Sul, porém as eficiências do tratamento das duas ETEs são bem diferentes, apesar de receberem uma DQO afluyente semelhante, os UASBs da ETE Padilha Sul apresentaram eficiência média durante o período de avaliação de 40%, enquanto que a ETE Vassoural ultrapassou 80 % de eficiência. As taxas médias de produção de espuma apresentam-se tão elevadas quanto as obtidas na ETE Padilha Sul, nesta ETE atribuiu-se a alta produção de espuma ao modelo adotado para o reator UASB e já para ETE Vassoural caso pode-se atribuir à alta degradação da matéria-orgânica observada. Com a degradação da matéria-orgânica tem-se a produção de lodo e de biogás, este último seria o responsável pela impulsão do lodo para a espuma.

#### 5.4. PARÂMETROS PARA O GERENCIAMENTO DE ESCUMA

##### 5.4.1. *Desaguamento de espuma em leitos de secagem*<sup>2</sup>

###### *Desaguamento na ETE Vassoural – Guarapuava - PR*

Foram feitas cinco descargas consecutivas de espuma e de lodo de esgoto entre os meses de junho a setembro de 2013, para tanto utilizou-se sempre o mesmo reator UASB e os mesmos leitos de secagem. Visualmente a espuma produzida no decantador do reator e aquela do IST possuem aspecto diferenciado (FIGURA 5.7), porém o procedimento de descarga é realizado simultaneamente fazendo com que chegue ao leito um material bastante homogêneo.

---

<sup>2</sup> ROSS, B.Z.L.; BARCELLOS, D.S.; MARQUES, C.J.; CARNEIRO, C.; AISSE, M.M.. Desaguamento de espuma produzida em reatores anaeróbios de manto de lodo em leitos de secagem no estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28, 2015, Rio de Janeiro. **Anais...** ABES: 2013. 1 pen drive. (artigo aprovado para apresentação oral)



a) espuma do compartimento de decantação

b) espuma do IST

FIGURA 5.7 - DIFERENÇA NO ASPECTO VISUAL DA ESCUMA ACUMULADA NO COMPARTIMENTO DE DECANTAÇÃO E IST DA ETE VASSOURAL (GUARAPUAVA) (JUNHO 2013)

Observa-se (TABELA 5.18), que o desaguamento tanto da espuma como do lodo de esgoto ocorreram em períodos bastante curtos, apenas na descarga 1, precisou-se de um mês para atingir teores de ST superiores a 20 %, o que é justificado pelo alto índice de pluviosidade neste período. O experimento levou três meses para ser desenvolvido, neste período, a temperatura oscilou de 5,6 a 27 °C, apesar de ser oficialmente inverno, houve temperaturas bastante altas e com grande variação durante cada descarga. Os valores de ST, STF, STV, temperatura e pluviosidade para cada dia de avaliação estão exibidos no apêndice 3.

TABELA 5.18 - DESEMPENHO DO DESAGUAMENTO DE ESCUMA EM FUNÇÃO DA PLUVIOSIDADE NO PERÍODO DE CADA DESCARGA, ETE VASSOURAL (GUARAPUAVA)

DESCARGA	PLUVIOSIDADE TOTAL NO PERÍODO (mm)	TEMPO DE DESAGUAMENTO (dias)	ST INICIAL (%)		ST FINAL (%)	
			LODO	ESCUMA	LODO	ESCUMA
1	426,5	36	0,86	0,36	26,06	20,04
2	90,0	13	6,52	3,50	19,36	26,61
3	13,0	8	2,15	0,54	19,79	23,60
4	0,0	7	3,72	0,92	15,69	17,84
5	2,0	7	4,18	0,91	20,53	26,18

O teor inicial de ST no lodo de esgoto foi bastante variável, indo de 0,86 a 6,52 %, tendo-se como média o valor de 3,49. Já no caso da espuma a média inicial foi de 1,25 %, variando entre 0,36 a 3,50 %. Os menores valores foram os encontrados na descarga 1, o que pode justificar um período maior de desaguamento, 36 dias para chegar a teores finais de aproximadamente 20 %, enquanto que os maiores teores iniciais de ST foram encontrados na descarga 2, onde obteve-se teores finais aproximados de 20 % em 13 dias. O melhor desempenho foi encontrado na descarga 5 onde levou-se uma semana para atingir ST > 20 %, tanto para o lodo de esgoto, quanto para a espuma (FIGURA 5.8).

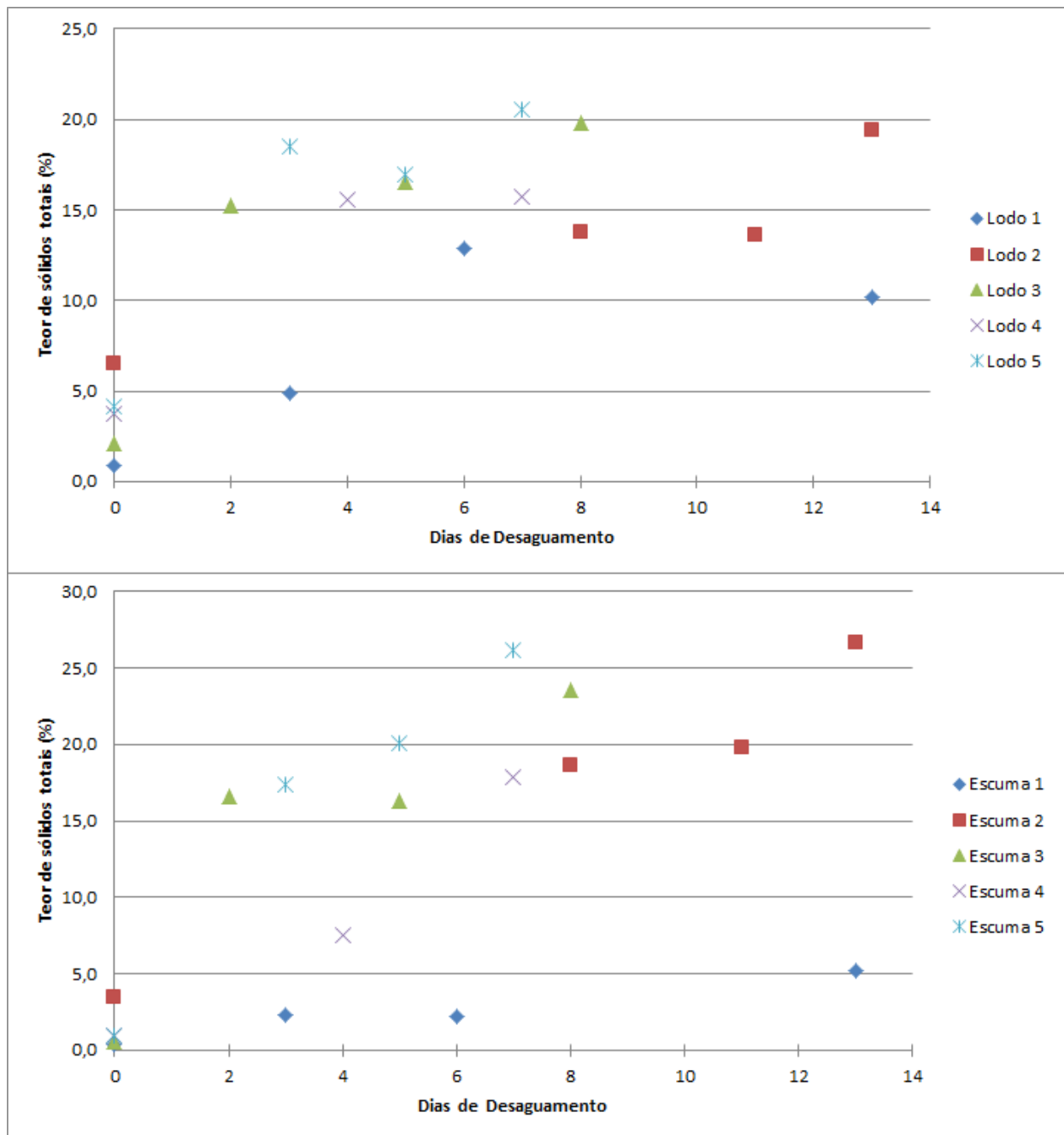


FIGURA 5.8 - TEOR DE SÓLIDOS DE LODO DE ESGOTO (a) E DE ESCUMA (b) EM DESAGUAMENTO EM LEITO DE SECAGEM, ETE VASSOURAL (GUARAPUAVA)

A relação entre STV/ST apresentou uma queda, observada tanto para a espuma quanto para o lodo de esgoto, sendo que este iniciou o desaguamento com STV/ST média de 0,77 e terminou com média de 0,41, enquanto que a espuma iniciou o desaguamento com STV/ST média de 0,81 e terminou com médias de 0,47 (FIGURA 5.9). Salienta-se que a Resolução do CONAMA 375/2006 determina que se a relação entre sólidos voláteis e totais for inferior a 0,7 o lodo será considerado estabilizado, para este experimento, apenas em dois momentos o lodo apresentou valores superiores a 0,7, sendo de 0,99 nos dias 0 das descargas 4 e 5. Com relação à espuma os valores foram um pouco mais elevados, conforme pode-se observar na FIGURA 5.9.

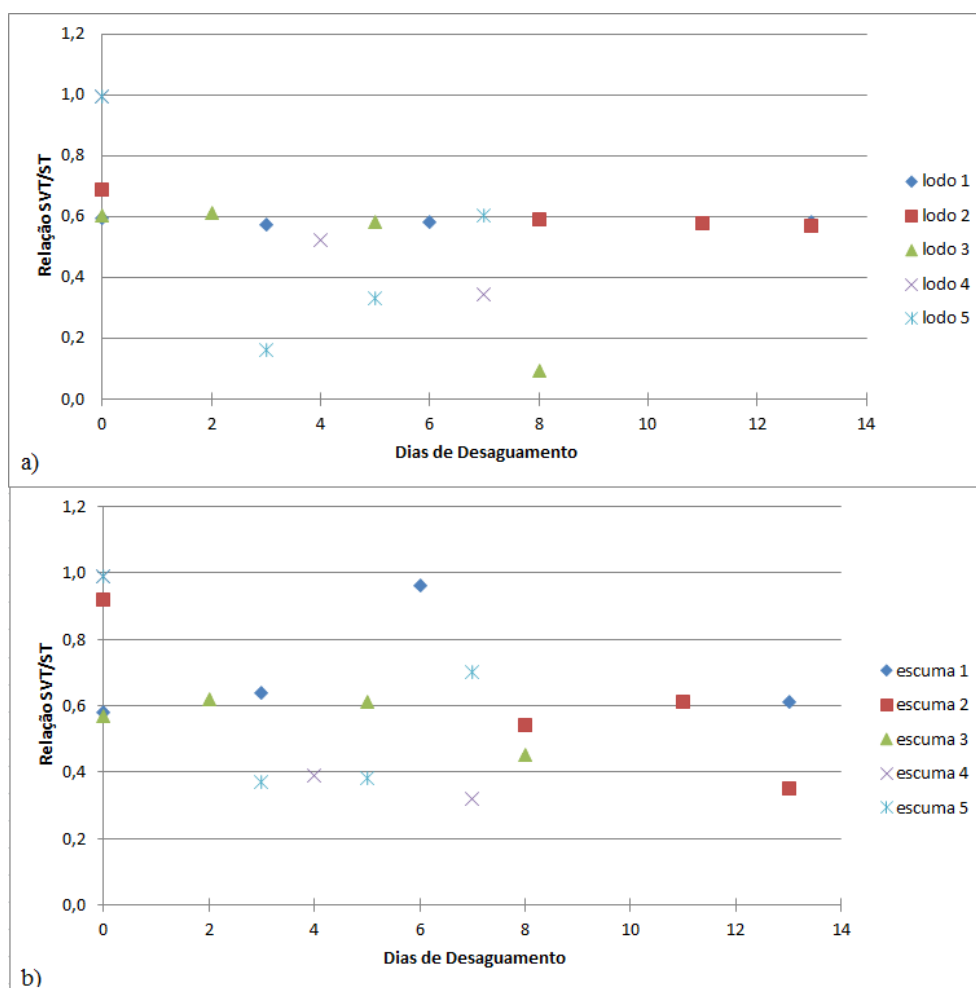


FIGURA 5.9 - RELAÇÃO SVT/ST DE LODO DE ESGOTO (a) E DE ESCUMA (b) EM DESAGUAMENTO EM LEITO DE SECAGEM, ETE VASSOURAL (GUARAPUAVA)

#### Desaguamento na ETE Menino Deus – Curitiba – PR

Encontrou-se bastante dificuldade na sucção da espuma com o uso do caminhão limpa-fossa devido ao fato da mesma estar sendo acumulada na superfície do reator há quatro meses, isso elevou bastante o teor de sólidos o que acabou ocasionando o entupimento do mangote do caminhão por diversas vezes.

Durante as coletas, os leitos com camada inicial de 45 cm de espuma foram observados no tocante à divisão de fases, observou-se um espessamento do material no fundo do leito e na sua superfície, com a formação de uma camada intermediária mais fluída. A fim de se verificar a viabilidade de drenar o conteúdo intermediário, a camada intermediária foi coletada com auxílio de mangueiras, esta avaliação ocorreu no dia 16/05, após 23 dias de desaguamento. Devido ao alto teor de sólidos totais encontrado nesta camada intermediária, sendo de 1,28; 1,23 e 1,41 % para as escumas dos leitos com dreno A, B e C respectivamente, não realizou-se a drenagem dos leitos. A FIGURA 5.10 ilustra a diferenciação de concentração no perfil observada nos leitos com camada de 45 cm de espuma.

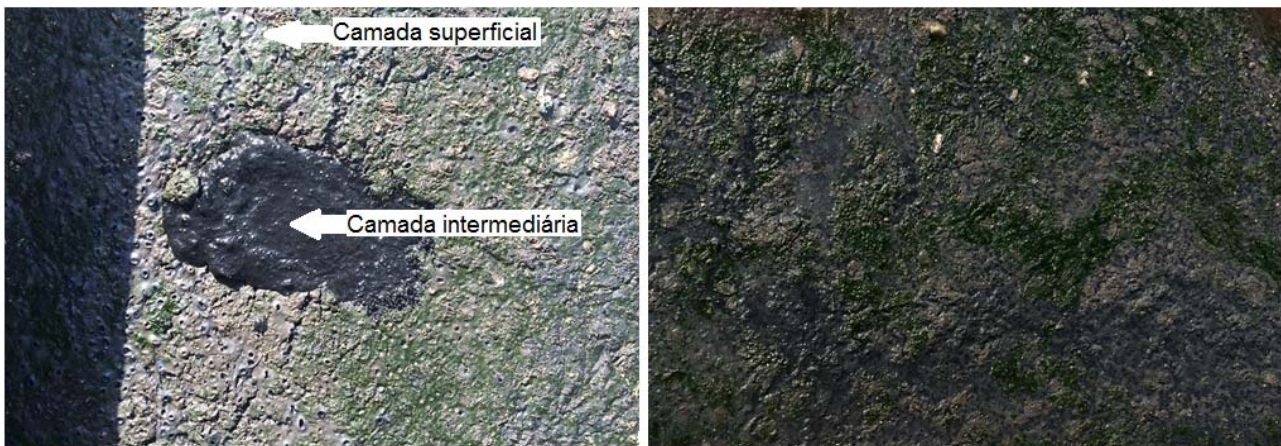


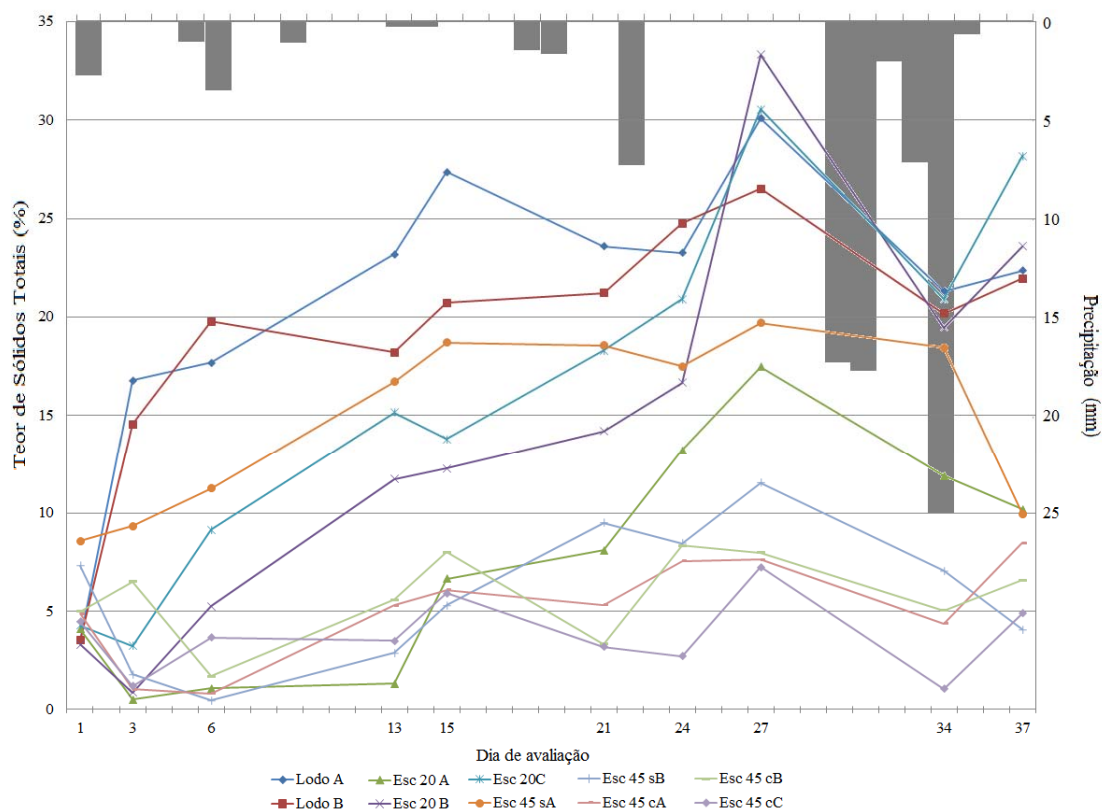
FIGURA 5.10 – DIFERENCIAÇÃO NAS CAMADAS DE ESCUMA EM LEITO DE SECAGEM (MAIO, 2014)

Sendo assim, a denominação dos leitos “com” ou “sem dreno” perdeu a validade e considerou-se todos os cinco lotes como lotes com camada inicial de 45 cm de espuma. O acréscimo no teor de sólidos e o decaimento na altura da camada de material a ser desaguado foram acompanhados por 36 dias, os valores de ST, STF, STV, temperatura e pluviosidade para cada dia de avaliação estão exibidos no apêndice 3.

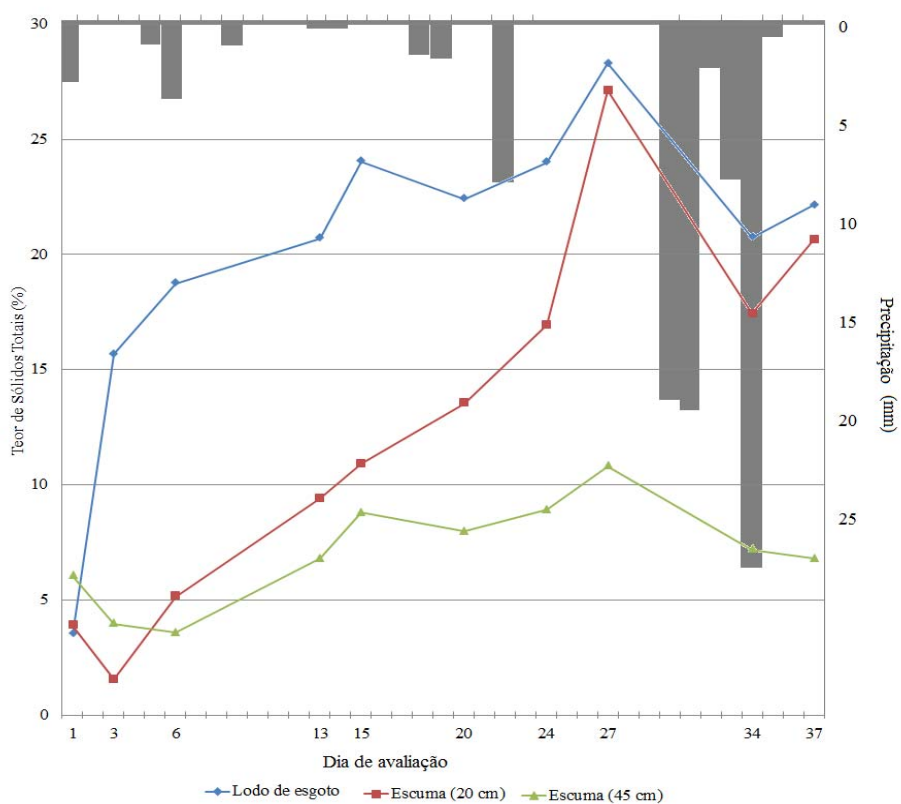
Conseguiu-se manter o mesmo teor inicial de sólidos totais nos dois lotes de lodo, 3,5 %, como foi utilizado o procedimento padrão de descarga esta etapa não interferiu na concentração do material que chegou ao leito. Não é possível fazer a mesma afirmação com relação à espuma, devido aos entupimentos ocorridos no mangote do caminhão, alguns leitos receberam teores superiores aos demais, o valor para os sólidos totais da espuma variou de 3,3 a 8,5 %.

O leito que recebeu as menores taxas de espuma, sendo o leito denominado “espuma 20 cm A”, iniciou o desaguamento com o menor teor de sólidos totais (3,31) e apresentou o melhor desempenho chegando a 33,3 % no dia 19/05 (dia 27 de experimento), valor este superior ao encontrado nos leitos contendo lodo de esgoto que chegaram a 30 e 26% nesta mesma data (FIGURA 5.11).

Os leitos que foram carregados com uma camada de 20 cm de espuma apresentaram um desempenho muito parecido com os leitos contendo lodo de esgoto, enquanto que os leitos contendo a camada inicial de 45 cm de espuma dificilmente superaram 10% de sólidos totais. Entende-se que para se ter um desaguamento de espuma eficiente, deve-se utilizar uma taxa de aplicação inferior, sendo assim a espuma não deve ser acumulada por longos períodos na superfície do UASB, este fato aumentaria a sua concentração dificultando o desaguamento em leitos de secagem.



a) Leitões carregados com 45 cm de lodo de esgoto foram identificados como "Lodo A" e "Lodo B"; Leitões carregados com 20 cm de escuma foram identificados como "Esc 20A", "Esc20 B" e "Esc 20C", e; Leitões carregados com 45 cm de escuma foram identificados como "Esc 45sA", "Esc 45sB", "Esc 45cA", "Esc 45cB" e "Esc 45cC".



b) Valores médios obtidos com dois lotes contendo lodo de esgoto com carga de 45 cm, três lotes contendo escuma com carga de 20 cm e cinco lotes contendo escuma com carga de 45 cm.

FIGURA 5.11 - VARIAÇÃO DE TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS EM FUNÇÃO DO TEMPO E PLUVIOSIDADE EM ESCUMA E LODO DE ESGOTO DURANTE DESAGUAMENTO DE 36 DIAS (a) VALORES GERAIS E (b) MÉDIAS NA ETE MENINO DEUS (RMC)



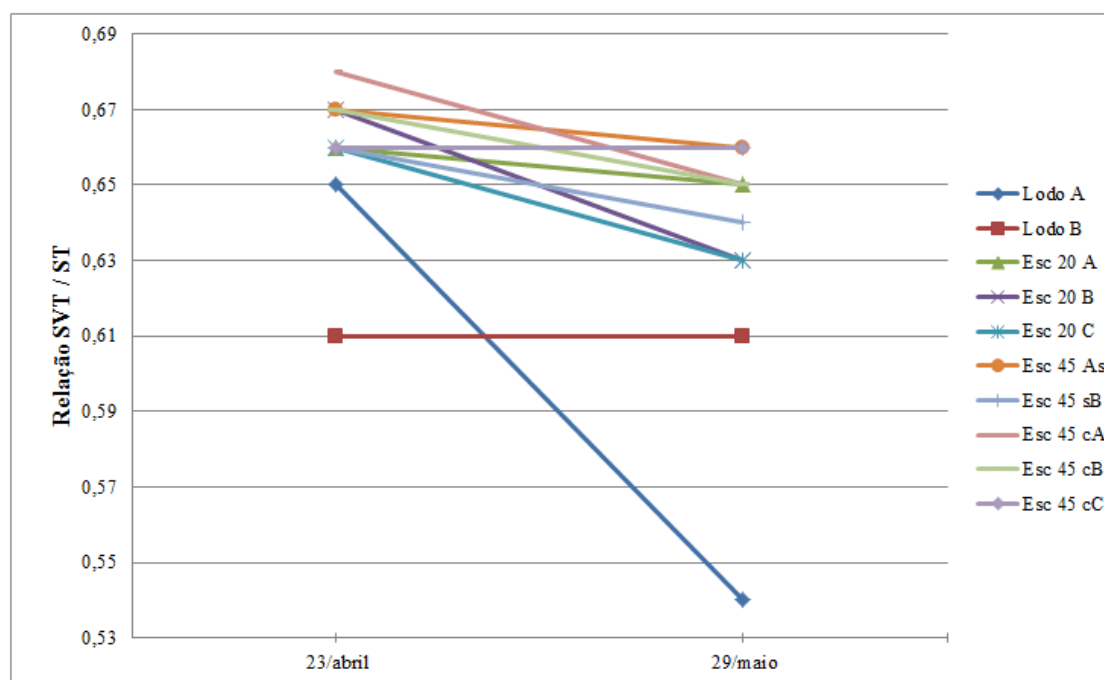
Ressalta-se a diferença de drenagem dos dois materiais, espuma e lodo, a espuma tende a ter um comportamento mais próximo ao comportamento do lodo de esgoto aeróbio ou o lodo de estação de tratamento de água, que por possuírem sólidos mais finos tendem a desaguar mais lentamente do que o lodo de esgoto anaeróbio.

Os melhores resultados de desaguamento são referentes ao dia 19/05, pois na sequência ocorreram fortes chuvas na região, reduzindo o teor de sólidos de todos os lotes. No período do experimento obteve-se um total acumulado de 86,2 mm de chuvas, sendo que na última semana, período de 22 a 27 de maio, obteve-se 69,2 mm de chuva (apêndice 3). Durante o experimento a temperatura variou de 14 a 26 °C.

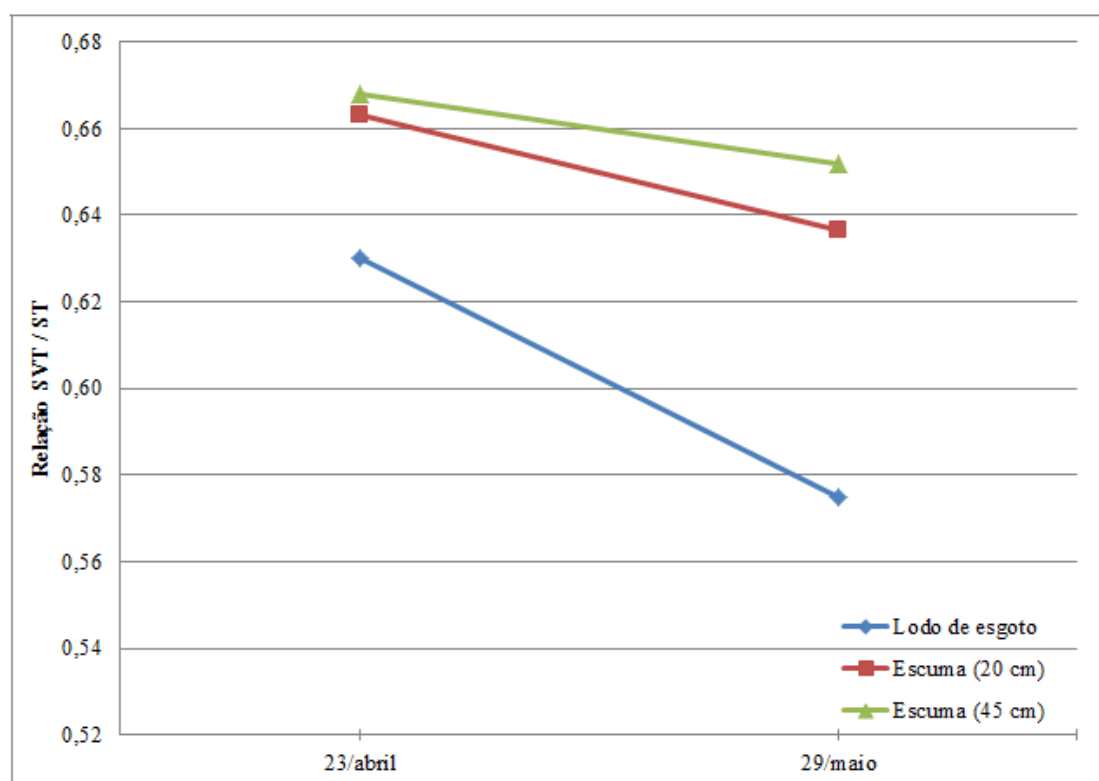
A TABELA 5.19 e a FIGURA 5.12 apresentam a variação do teor de sólidos totais, fixos e voláteis em espuma e lodo de esgoto durante desaguamento de 36 dias. Observa-se pelo decaimento da relação STV/ST, que houve uma mineralização dos materiais devido à degradação biológica, porém esta redução foi maior para as amostras de lodo de esgoto passando da média de 0,63 para 0,58, enquanto que a espuma com camada inicial de 20 cm baixou de 0,66 para 0,64 e a com camada de 45 cm baixou de 0,67 para 0,65. Ressalta-se que nenhuma das amostras apresentou valores superiores a 0,70, podendo ser consideradas estabilizadas, de acordo com a Resolução do CONAMA 375/2006.

TABELA 5.19 - VARIACÃO DE TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS, FIXOS E VOLÁTEIS EM ESCUMA E LODO DE ESGOTO DURANTE DESAGUAMENTO DE 36 DIAS NA ETE MENINO DEUS (RMC)

AMOSTRA	23/04 (DIA 0)				29/05 (DIA 36)			
	TEOR DE SÓLIDOS (%)			STV/ST	TEOR DE SÓLIDOS (%)			STV/ST
	ST	STF	STV		ST	STF	STV	
Lodo A	3,52	1,23	2,29	0,65	22,35	10,34	12,01	0,54
Lodo B	3,52	1,37	2,15	0,61	21,95	8,54	13,41	0,61
Escuma 20 cm A	4,08	1,37	2,71	0,66	10,18	3,60	6,58	0,65
Escuma 20 cm B	3,31	1,08	2,23	0,67	23,58	8,73	14,84	0,63
Escuma 20 cm C	4,28	1,46	2,82	0,66	28,17	10,52	17,65	0,63
Escuma 45 cm A, sem dreno	8,56	2,83	5,73	0,67	7,32	2,47	4,85	0,66
Escuma 45 cm B, sem dreno	7,32	2,47	4,85	0,66	4,88	1,58	3,30	0,64
Escuma 45 cm A, com dreno	4,88	1,58	3,30	0,68	8,47	3,00	5,47	0,65
Escuma 45 cm B, com dreno	4,99	1,66	3,33	0,67	6,57	2,33	4,24	0,65
Escuma 45 cm C, com dreno	4,47	1,54	2,93	0,66	4,90	1,65	3,25	0,66



a) Leitões carregados com 45 cm lodo de esgoto identificados como "Lodo A" e "Lodo B"; Leitões carregados com 20 cm de espuma identificados como "Esc 20 A", "Esc 20 B" e "Esc 20 C", e; Leitões carregados com 45 cm de espuma identificados como "Esc 45 sA", "Esc 45 sB", "Esc 45 cA", "Esc 45 cB" e "Esc 45 cC".



b) Valores médios obtidos com dois lotes contendo lodo de esgoto com carga de 45 cm, três lotes contendo espuma com carga de 20 cm e cinco lotes contendo espuma com carga de 45 cm.

FIGURA 5.12 - VARIAÇÃO DE TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS, FIXOS E VOLÁTEIS EM ESCUMA E LODO DE ESGOTO DURANTE DESAGUAMENTO DE 36 DIAS (a) VALORES GERAIS E (b) MÉDIAS NA ETE MENINO DEUS (RMC)

Comparando os resultados obtidos na ETE Vassoural e na ETE Menino Deus (TABELA 5.20), observa-se que o teor de ST inicial na ETE Vassoural para a espuma é

bem inferior (1,25) aos valores aplicados na ETE Menino Deus (3,89 e 6,04 %), isso explica o bom desempenho dos leitos da ETE Vassoural. Quando avaliada a taxa de aplicação de sólidos nos leitos, observa-se que para o lodo de esgoto as duas ETES apresentaram valores próximos a 15 kg de ST/m<sup>2</sup> e conseguiram realizar o desaguamento com eficiência. Com relação a espuma, a taxa de aplicação variou de 5,63 a 27,18 kg de ST/m<sup>2</sup>, neste último caso não ocorreu o desaguamento da espuma, pois seus teores médios de ST passaram de 6,04 % a apenas 10,81 % após 28 dias de avaliação. Entende-se que valores de taxa de aplicação superiores a 7,78 kg de ST/m<sup>2</sup> não sejam recomendados por não permitir um bom desaguamento do material.

TABELA 5.20 - COMPARATIVO ENTRE O DESAGUAMENTO DE ESCUMA E LODO DE ESGOTO NAS ETES MENINO DEUS (RMC) E VASSOURAL (GUARAPUAVA)

ETE	SUBSTRATO	TEOR DE SÓLIDOS (%)		PERÍODO DE DESAGUAMENTO (dias)	ALTURA DA CAMADA DE ESCUMA (cm)	TAXA DE APLICAÇÃO (kg de ST/m <sup>2</sup> )
		Inicial	Final			
Vassoural	Escuma	1,25	18,30	8	45	5,63
Menino Deus	Escuma	3,89	27,10	28	20	7,78
Menino Deus	Escuma	6,04	10,81	28	45	27,18
Vassoural	Lodo de esgoto	3,49	16,00	8	45	15,71
Menino Deus	Lodo de esgoto	3,52	28,30	28	45	15,84

Ressalta-se que a norma brasileira NBR 12.209 (BRASIL, 2011) recomenda que a taxa de aplicação de sólidos para o desaguamento de lodo de esgoto que não se ultrapasse o valor de 15 kg de ST/m<sup>2</sup>. Além Sobrinho e Samudio (1996) obtiveram bons resultados em São Paulo, em 16 dias no desaguamento de lodos com a taxa de 12,5 kg de ST/m<sup>2</sup>, chegando a 20 % de teor de sólidos com índice pluviométrico de 50 mm no período. Já Aisse e Andreoli (1999) na cidade da Lapa, PR, atingiram 26 % de ST em 14 dias para uma carga de 23,7 kg de ST/m<sup>2</sup> no verão e 24,9% de ST em 34 dias, com precipitação pluviométrica acumulada de 128,2 mm, no inverno. Neste projeto trabalhou-se com valores ligeiramente superiores ao da norma, 15,71 kg de ST/m<sup>2</sup> em Guarapuava e 15,84 kg de ST/m<sup>2</sup> na RMC, isso não interferiu de forma negativa no desaguamento do lodo de esgoto, apesar de aumentar o período de desaguamento no caso do experimento realizado na RMC.

#### 5.4.2. Incorporação de espuma em lodo de esgoto<sup>3</sup>

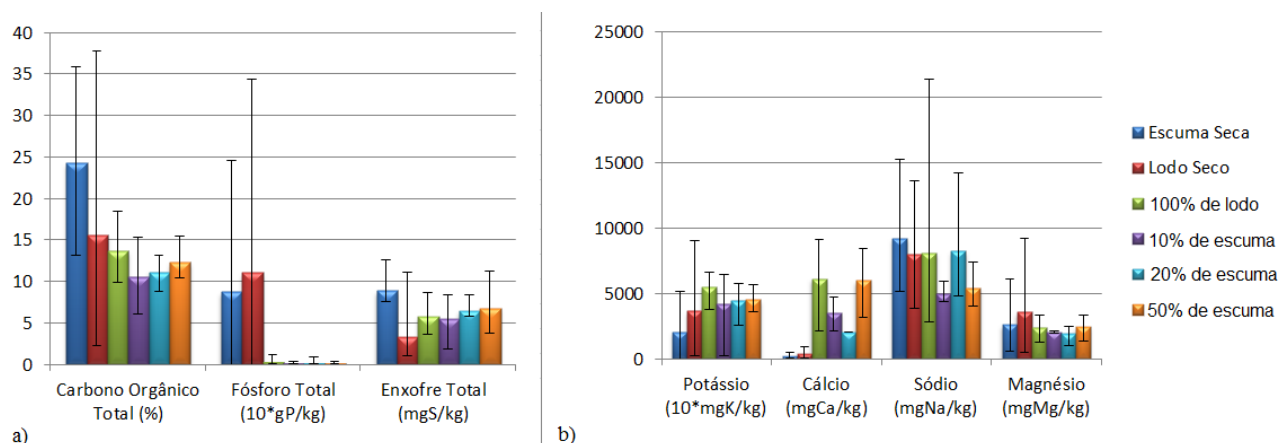
Os parâmetros dos tratamentos avaliados estão apresentados nas NOTAS: Valores de fósforo e de potássio ampliados em escala de 10 vezes.

FIGURA 5.13 a FIGURA 5.17. Os dados foram avaliados quanto a influência dos componentes da espuma e do lodo de esgoto nos tratamentos e suas tendências de

<sup>3</sup> ROSS, B.Z.L.; MARQUES, C.J.; CARNEIRO, C.; COSTA, F.J.O.G.; FROEHNER, S.; AISSE, M.M.. Avaliação do impacto da incorporação de espuma em lodo de esgoto destinado a uso agrícola. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 34, 2014, México, DF. **Anais...** AIDIS: 1 pen drive. (artigo aprovado para apresentação oral)

ROSS, B.Z.L.; CARNEIRO, C.; MARQUES, C.J.; COSTA, F.J.O.G.; AISSE, M.M.; FROEHNER, S.. Impacto da incorporação de espuma em lodo de esgoto com fins agrícolas. **Revista DAE** (artigo aprovado pelos pareceristas, aguardando publicação).

comportamento.



NOTA: Valores de fósforo e de potássio ampliados em escala de 10 vezes.

FIGURA 5.13 - INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE ESCUMA EM LODO DE ESGOTO EM (a) PARA C<sub>org</sub>, P<sub>t</sub> e S; E EM (b) PARA K, Ca, Na e Mg

O teor de C<sub>org</sub> (NOTA: Valores de fósforo e de potássio ampliados em escala de 10 vezes.

FIGURA 5.13 A) no lodo de esgoto desaguado foi superior aos demais, provavelmente devido à adição de cal para higienização, a espuma desaguada também apresentou maior teor de C<sub>org</sub> em relação ao lodo testemunha e aos tratamentos. O P<sub>t</sub> (NOTA: Valores de fósforo e de potássio ampliados em escala de 10 vezes.

FIGURA 5.13 A) apresentou significativa redução nos materiais desaguados; antes da higienização, estes já possuíam teores superiores aos encontrados após o procedimento de caleação. Andreoli (1999) já observava a influência da calagem na redução dos teores de P<sub>t</sub> no lodo para uso agrícola. Enquanto que para S (NOTA: Valores de fósforo e de potássio ampliados em escala de 10 vezes.

FIGURA 5.13 A), Na, K e Mg (NOTA: Valores de fósforo e de potássio ampliados em escala de 10 vezes.

FIGURA 5.13 B) entende-se que não houve variação expressiva em suas concentrações, não havendo interferência, nem da adição de espuma nas misturas, nem da cal para a higienização. Já os teores de Ca das misturas (NOTA: Valores de fósforo e de potássio ampliados em escala de 10 vezes.

FIGURA 5.13 B) foram bem superiores aos encontrados antes do procedimento de higienização, este fato já era esperado devido ao agente sanitizante ser a base de CaO.

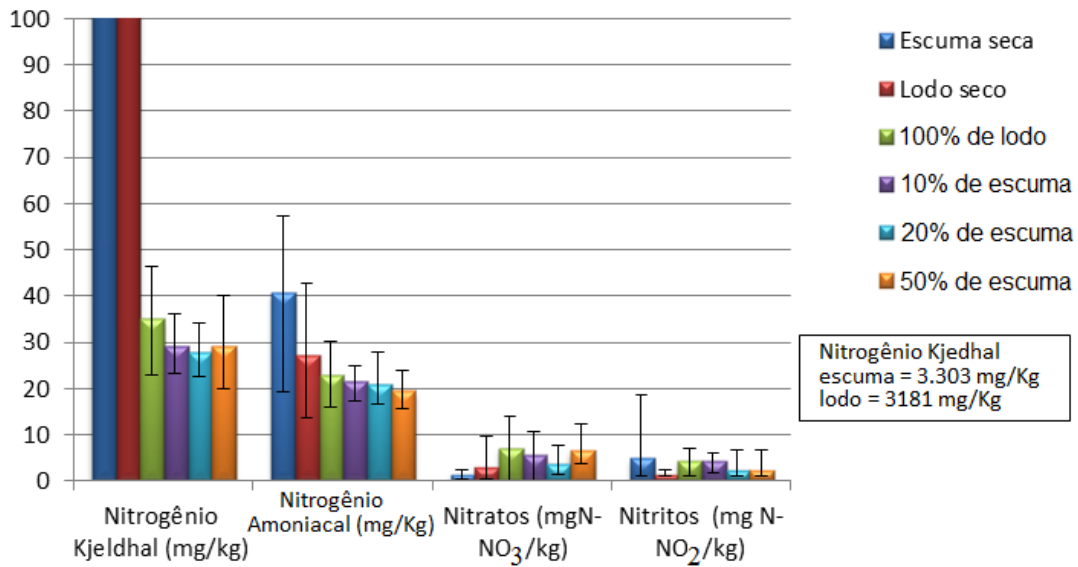


FIGURA 5.14 - COMPORTAMENTO DE N EM RELAÇÃO À ADIÇÃO DE ESCUMA EM LODO DE ESGOTO

Para o N observa-se na FIGURA 5.14 que a elevação do pH ocasionada pela adição de CaO proporcionou uma elevada liberação de gases nitrogenados; os teores de NKjeldahl reduziram bastante nas misturas e no tratamento testemunha. N é o componente de principal interesse no lodo de esgoto, muitas vezes utilizado como fator limitante para a definição da dosagem máxima de aplicação em solos devido à possibilidade de lixiviação em forma de nitratos e conseqüentemente contaminação do freático (MALAVOLTA, 1980; MELLO, 1984). As formas amoniacal e nitrato são consideradas prontamente disponíveis para as plantas, enquanto que a forma orgânica, determinada via Kjeldahl, precisa passar pela mineralização microbiológica. Dentre as formas de N, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NO<sub>2</sub><sup>-</sup> são encontrados em menor quantidade. A volatilização de NH<sub>3</sub>, a instabilidade de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e o potencial de lixiviação de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> são fatores que podem estar associados a isso.

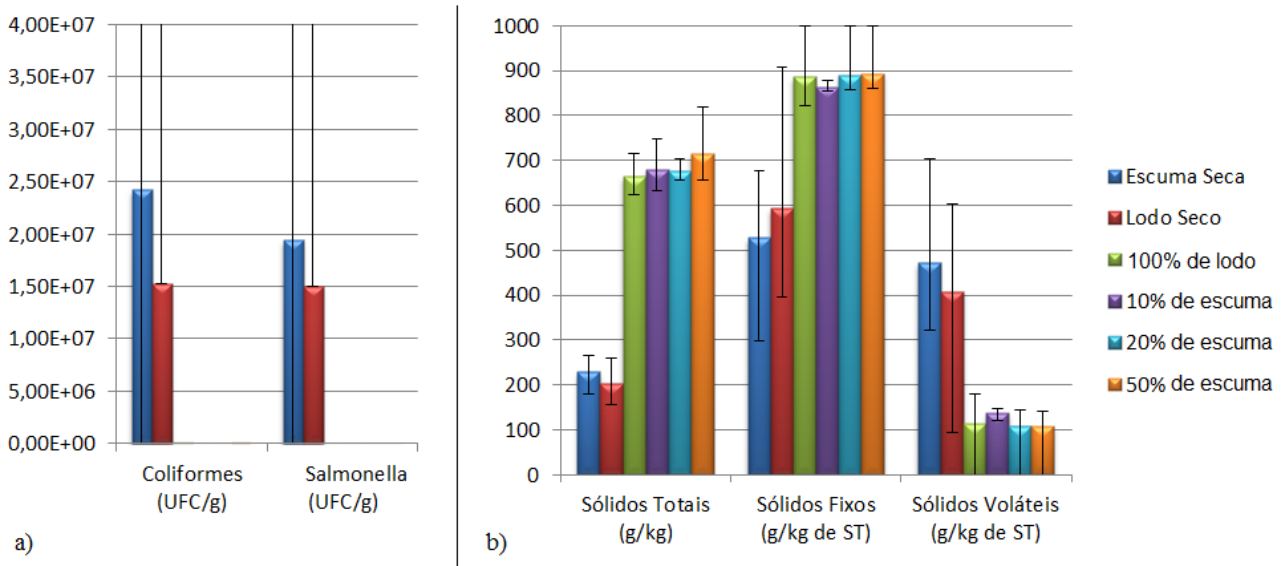


FIGURA 5.15 - IMPACTO DA ADIÇÃO DE ESCUMA EM LODO DE ESGOTO PARA (a) COLIFORMES TERMOTOLERANTES, OVOS VIÁVEIS DE HELMINTOS E SALMONELLA spp E, (b) SÓLIDOS TOTAIS, FIXOS E VOLÁTEIS.

Em relação à atividade microbiológica, observa-se na FIGURA 5.15 A que o processo de estabilização alcalina prolongada foi bastante efetivo; anteriormente encontrava-se quantidades significativas de coliformes termotolerantes e *Salmonella spp.*, eliminados com a adição de CaO. Já os valores para contagem de ovos viáveis de helmintos, tanto antes da higienização quanto depois deste procedimento, indicaram média de 1 ovo/g de ST.

A higienização de lodos pela via química com uso de CaO elimina os microrganismos pela alteração a natureza coloidal do protoplasma celular e também resulta em elevação do pH da massa de lodo, maximizando a efetividade do processo. O lodo será considerado seguro caso o pH tenha ficado acima de 12 por no mínimo 72 h, a temperatura seja superior a 52 °C por 12 h, minimamente e deverá secar ao ambiente até que o teor de sólidos seja superior a 50% (ANDREOLI, 1999). Observa-se na FIGURA 5.15 B que as amostras após a caleação tiveram o teor de sólidos totais acima de 50 % em todos os casos, assim evidenciando que houve higienização. A caleação também contribuiu para o aumento no teor de sólidos fixos das misturas.

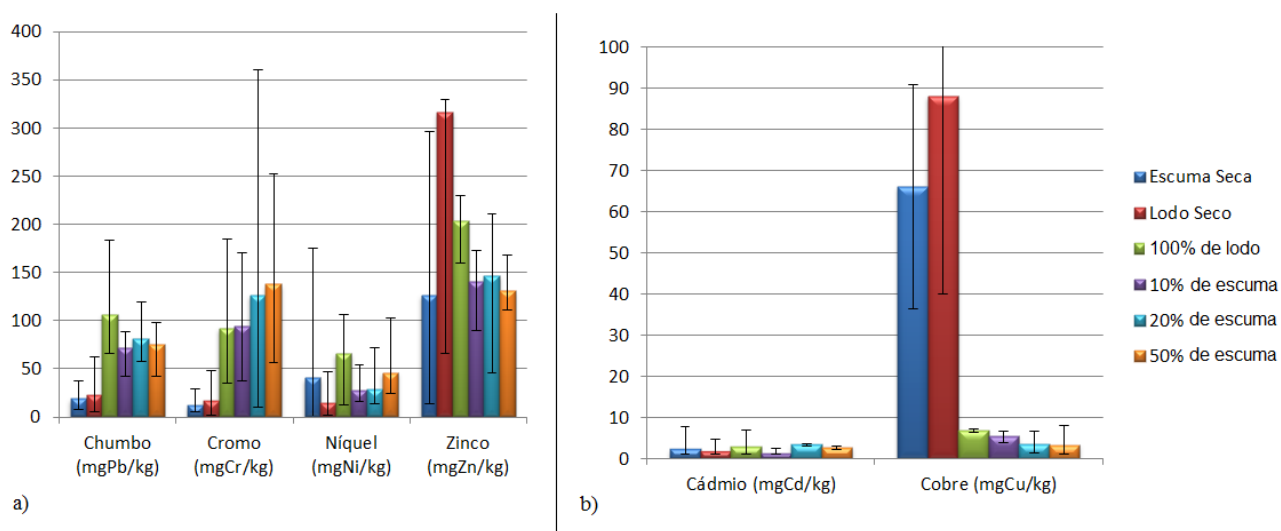


FIGURA 5.16 - IMPACTO DA ADIÇÃO DE ESCUMA EM LODO DE ESGOTO (a) Pb, Cr, Ni e Zn (b) Cd e Cu

Os elementos inorgânicos avaliados Cu, Zn, Cr e Se são micronutrientes necessários às plantas, mas podem assumir condição fitotóxica se em altas concentrações, muito embora estes limiares variem significativamente entre os vegetais (MARSCHNER, 1986). Já Cd, Ni, Hg e Pb não mostraram diferença entre os tratamentos e os materiais brutos. O risco da presença de metais pesados no lodo a ser utilizado na agricultura, está associado ao fato do solo armazenar estes elementos, a sua disponibilidade estará associada ao pH, a capacidade de troca catiônica, a textura e o teor de matéria orgânica após a aplicação (ANDREOLI, 1999). Os elementos Ba, As, Hg, Mo e Se não apresentaram variação durante as análises (FIGURA 5.16).

O Cu varia entre 200 ppb e 40 ppm nos solos paranaenses, no entanto é considerado um dos metais menos móveis no solo e acima de certos níveis pode ser tóxico, apesar de ser considerado um elemento essencial as plantas (ANDREOLI, 1999). Observou-se que o lodo desaguado e a espuma desaguada possuíam teores muito superiores antes da aplicação da cal. Ressalta-se que a análise foi realizada por absorção atômica, com abertura da amostra com digestão ácida com ácido nítrico e clorídrico, assim como todos os elementos do grupo inorgânico, o que corresponde à determinação

do valor total do elemento por kg de amostra seca. Acredita-se que o elemento possa ter formado um complexo e se depositado no fundo do local de armazenagem, ficando excluído da amostragem.

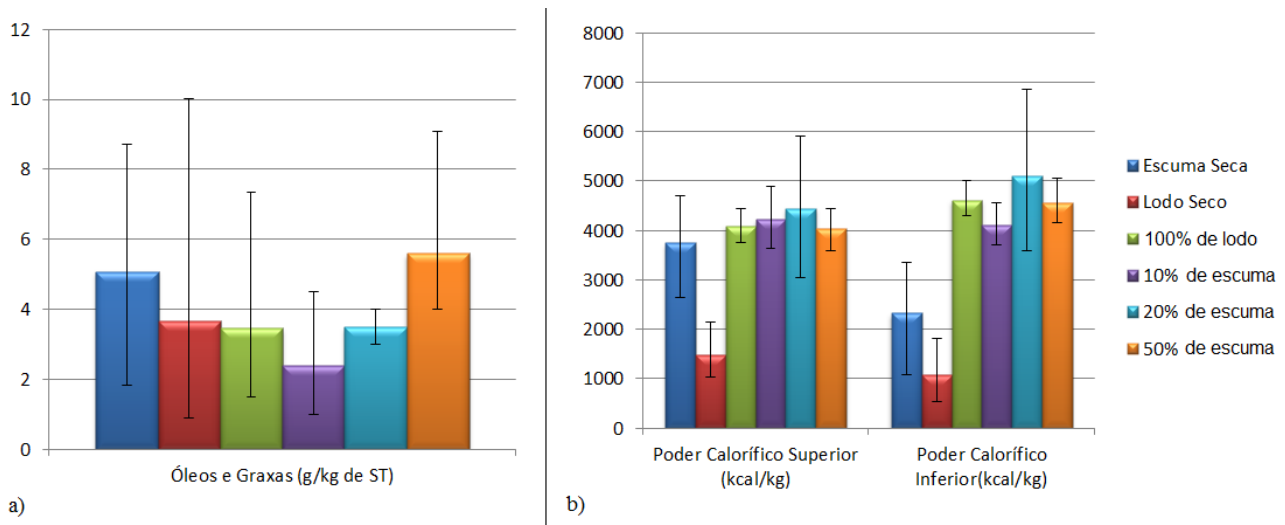


FIGURA 5.17 - IMPACTO DA ADIÇÃO DE ESCUMA EM LODO DE ESGOTO (a) ÓLEOS E GRAXAS (b) PODER CALORÍFICO SUPERIOR E INFERIOR

A incorporação de espuma no lodo de esgoto tende a causar um aumento no teor de O&G, isso foi observado na FIGURA 5.17 A, porém a mistura com 20 % de espuma apresentou um resultado ligeiramente inferior, diferindo do esperado. O mesmo ocorreu para o poder calorífico das amostras (FIGURA 5.17 B).

Não foram observadas variações significativas ( $P_{0,05}$ ) entre as médias, o que indica que a inclusão de espuma nas proporções de 10, 20 e 50% não alterou estatisticamente a composição do lodo de esgoto para nenhuma das variáveis; muito embora, o desvio padrão existente entre os resultados possa ter sido minimizado pela normalização dos dados.

Os parâmetros de *Salmonella spp.* e as espécies inorgânicas As, Ba, Hg, Mo e Se, não variaram durante as análises, por esta razão não foram submetidos a avaliação estatística.

#### 5.4.3. Avaliação da taxa de decaimento do teor de óleos e graxas e variação na relação STV/ST em função do tempo

Os resultados da avaliação da taxa de decaimento do teor de O&G estão apresentados no apêndice 6. Na TABELA 5.21 encontram-se os teores médios das cinco amostras de ST, STV, STF e O&G para a espuma proveniente da área da decantação e do IST em cada uma das semanas de avaliação. Estes resultados estão também representados nas FIGURAS 5.18 a 5.20.

TABELA 5.21 – TEORES MÉDIOS DE ST, STV, STF E ÓLEOS E GRAXAS EM ESCUMA ARMAZENADA

AMOSTRA		SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5
ESCUMA DO DECANTADOR	ST (%)	30,36 (±4,77)	19,24 (±5,27)	44,18 (±8,64)	65,4 (±4,22)	55,36 (±11,25)
	STV (%)	26,22 (±4,77)	15,10 (±4,86)	36,72 (±7,35)	51,94 (±3,42)	44,32 (±8,86)
	STF (%)	4,14 (±0,23)	4,14 (±0,46)	7,46 (±2,57)	13,46 (±6,74)	11,04 (±4,73)
	STV/ST	0,86 (±0,02)	0,78 (±0,04)	0,83 (±0,04)	0,8 (±0,08)	0,8 (±0,06)
	O&G (g/kg)	35,22 (±11,16)	29,49 (±4,93)	31,21 (±12,71)	18,89 (±7,44)	5,83 (±0,91)
	ST (%)	34,36 (±6,20)	12,64 (±1,88)	47,56 (±8,22)	61,56 (±3,59)	47,44 (±8,68)
ESCUMA DO IST	STV (%)	30,70 (±5,81)	9,74 (±1,48)	43,02 (±8,03)	55,92 (±2,78)	41,98 (±8,04)
	STF (%)	3,66 (±0,56)	2,90 (±0,43)	4,54 (±0,50)	5,64 (±1,47)	5,46 (±0,96)
	STV/ST	0,89 (±0,01)	0,77 (±0,01)	0,90 (±0,02)	0,91 (±0,02)	0,88 (±0,01)
	O&G (g/kg)	35,27 (±7,44)	30,48 (±2,90)	24,05 (±3,96)	37,81 (±35,27)	6,12 (±0,97)

O teor de O&G apresentou uma redução semelhante nos dois locais de geração de espuma, partindo de 35,22 g/kg (dp = 11,16) na câmara de decantação e de 35,27 g/kg (dp = 7,44) no IST, chegando a 5,83 g/kg (dp = 0,91) e 6,12 g/kg (dp = 0,97), respectivamente, o que representa uma redução superior a 80 %. O resultado de 99,0 g/kg obtido para a amostra 2 da espuma do interior do separador na semana 4, foi bem superior aos demais resultados encontrados. Por esta razão, fez-se uma avaliação de sua influência na média dos demais valores, substituindo-o pelo valor médio desta semana (37,80). Neste caso a média da semana caiu para 25,6 g/kg, produzindo uma curva mais suave no gráfico, e o desvio padrão das amostras passou de 35,3 para 11,0. Porém para a avaliação geral dos resultados de O&G foi considerado o valor obtido pelas análises laboratoriais, desconsiderando esta observação (FIGURA 5.18), o que permite sugerir uma taxa de redução do teor de O&G de 1,17 g/kg.dia, caso se deseje realizar um aproveitamento energético da espuma deve-se levar este fato em consideração, principalmente em espumas que possuam um teor de O&G mais elevado, uma vez que um teor de O&G elevado, sugere um potencial calorífico também elevado.

A relação entre STV e ST apresentou uma queda na segunda semana, provavelmente influenciada pela redução dos teores de ST das amostras, ao final do experimento a relação STV/ST apresentou uma tendência de constância, esta tendência é observada com maior clareza nas amostras provenientes do IST do que nas amostras do decantador. De modo geral, as amostras de espuma não podem ser consideradas estabilizadas por apresentarem valores inferiores a 0,60 (BRASIL, 2006).



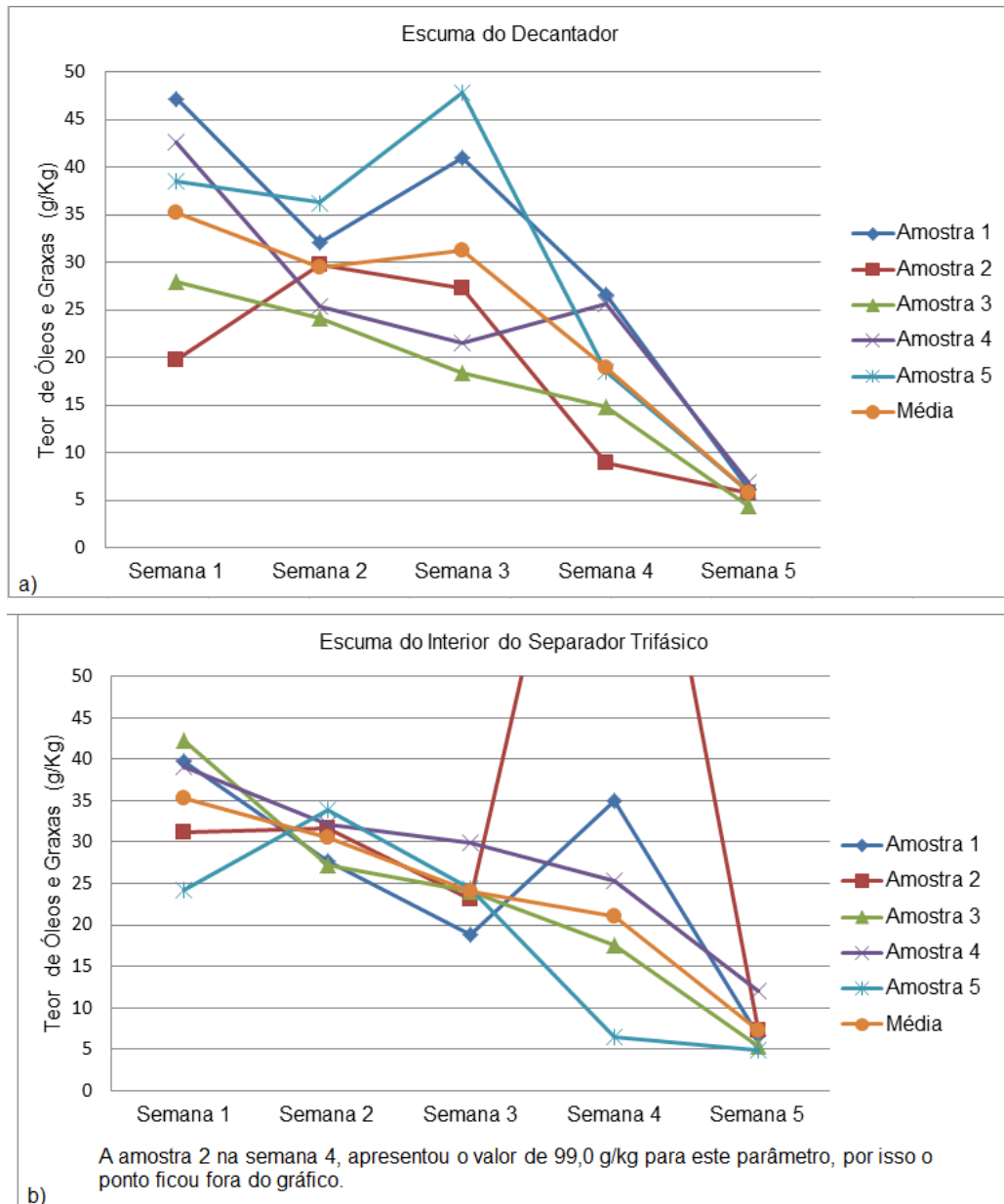


FIGURA 5.18 – AVALIAÇÃO DO DECAIMENTO DO TEOR DE ÓLEOS E GRAXAS PARA ESCUMA, a) DO DECANTADOR E b) DO IST

O perfil de sólidos mostrou uma variação bastante interessante, analisando-se o teor de sólidos totais, observa-se uma queda média de 30 % (dp = 4,77) para 19 % (dp = 5,27) na câmara de decantação e de 34 % (dp = 6,2) para 13 % (dp = 1,88) no IST, ressalta-se que todas as amostras avaliadas tiveram este comportamento e o mesmo se repetiu para os resultados de STV. Este aumento de umidade das amostras pode significar uma volatilização de compostos, uma vez que a absorção da umidade atmosférica não seria tão intensa, com posterior ressecamento das amostras percebido após a segunda semana. Já o teor de STF não apresentou uma variação tão grande (FIGURA 5.19). A fim de compreender melhor este fenômeno sugere-se a título de investigações futuras uma repetição deste experimento.

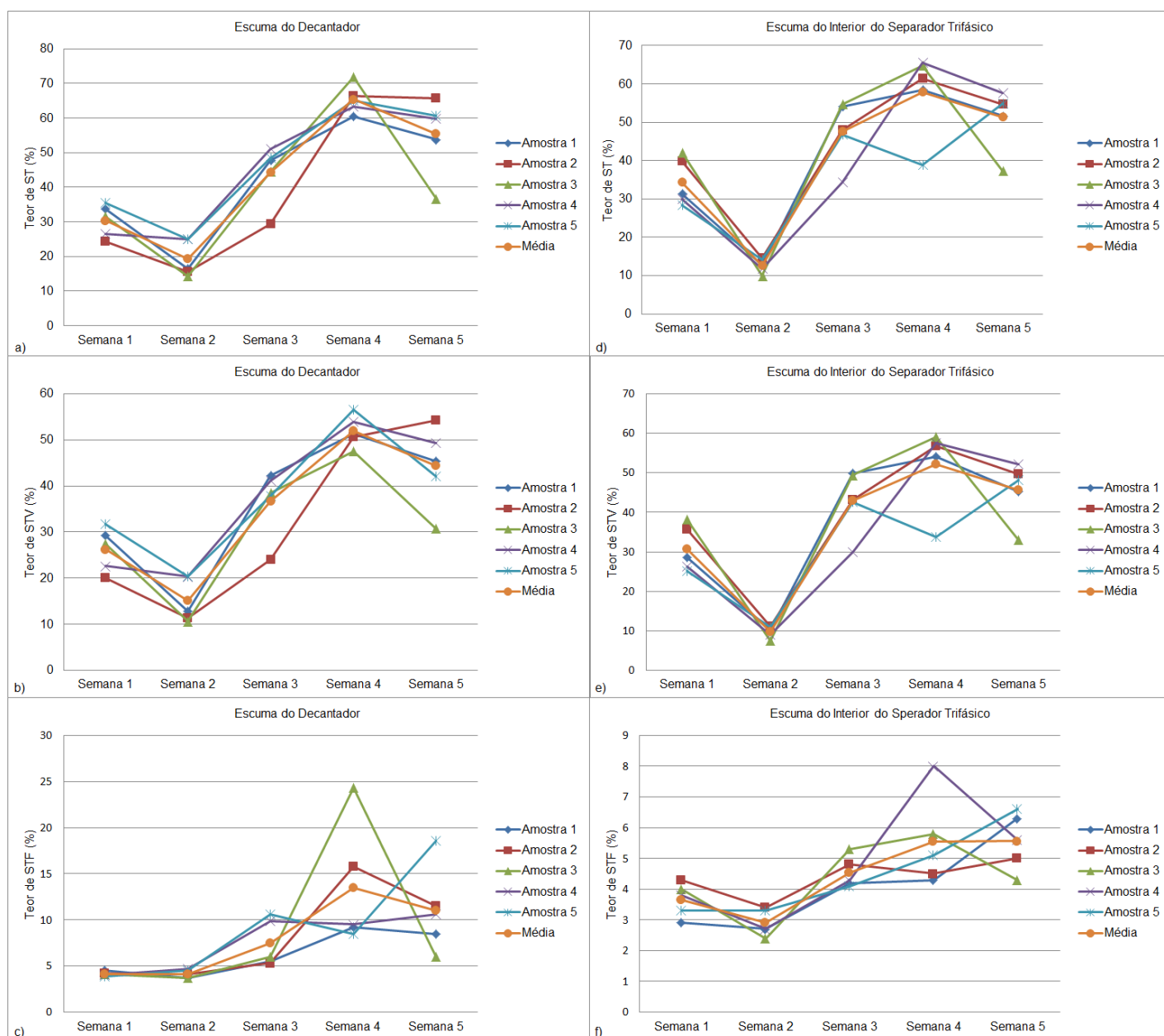


FIGURA 5.19 – AVALIAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS, VOLÁTEIS E FIXOS PARA ESCUMA a, b, c) DO DECANTADOR E d, e, f) DO IST

O volume ocupado no frasco pelas amostras também foi avaliado através da medição da altura da amostra no início do experimento e na data de sua análise. Observa-se (TABELA 5.22) que houve um aumento no volume das amostras, devido à produção de gás no interior das mesmas na primeira semana de armazenamento, seguido de um posterior decréscimo, relacionado à liberação de gases e ressecamento das amostras.

TABELA 5.22 – ALTURAS E VOLUMES MÉDIOS EM ESCUMA ARMAZENADA

ESCUMA DO DECANTADOR				ESCUMA DO IST			
AMOSTRA	ALTURA DA AMOSTRA (cm) NA SEMANA		VARIAÇÃO NO VOLUME (cm <sup>3</sup> )	AMOSTRA	ALTURA DA AMOSTRA (cm) NA SEMANA		VARIAÇÃO NO VOLUME (cm <sup>3</sup> )
	1	2			1	2	
1	10,2	11,3	+124,4	1	10,0	13,0	+339,3
2	10,2	11,0	+90,5	2	8,5	10,8	+260,1
3	10,0	10,5	+56,5	3	11,5	14,8	+373,2
4	9,5	10,2	+79,2	4	11,5	14,4	+328,0
5	11,0	11,8	+90,5	5	8,5	10,0	+169,6
<b>Média semana 2</b>			<b>+88,2</b>	<b>Média semana 2</b>			<b>+294,0</b>
AMOSTRA	1	3	VARIAÇÃO NO VOLUME (cm <sup>3</sup> )	AMOSTRA	1	3	VARIAÇÃO NO VOLUME (cm <sup>3</sup> )
1	12,0	12,0	-0,0	1	12,0	14,0	+226,0
2	11,0	10,8	-22,6	2	8,0	10,0	+226,0
3	11,3	10,5	-90,4	3	11,0	13,0	+226,0
4	9,0	8,5	-56,5	4	12,7	14,8	+237,3
5	10,0	9,5	-56,5	5	9,0	10,1	+124,3
<b>Média semana 3</b>			<b>-45,2</b>	<b>Média semana 3</b>			<b>+207,9</b>
AMOSTRA	1	4	VARIAÇÃO NO VOLUME (cm <sup>3</sup> )	AMOSTRA	1	4	VARIAÇÃO NO VOLUME (cm <sup>3</sup> )
1	11,7	11,7	-0,0	1	11,5	14,0	+282,5
2	9,5	8,5	-113,0	2	8,7	10,5	+203,4
3	9,7	8,5	-135,6	3	12,0	13,5	+169,5
4	9,2	7,5	-192,1	4	11,5	13,5	+226,0
5	9,5	8,0	-169,5	5	8,0	9,5	+169,5
<b>Média semana 4</b>			<b>-122,0</b>	<b>Média semana 4</b>			<b>+210,2</b>
AMOSTRA	1	5	VARIAÇÃO NO VOLUME (cm <sup>3</sup> )	AMOSTRA	1	5	VARIAÇÃO NO VOLUME (cm <sup>3</sup> )
1	11,0	9,5	-169,5	1	11,0	13,2	+248,6
2	10,0	8,5	-169,5	2	9,5	11,0	+169,5
3	12,0	10,5	-169,5	3	12,0	13,4	+158,2
4	9,6	8,0	-180,8	4	11,5	12,5	+113,0
5	9,0	7,0	-226,0	5	9,5	11,0	+169,5
<b>Média semana 5</b>			<b>-183,1</b>	<b>Média semana 5</b>			<b>+171,8</b>

O volume das amostras foi calculado considerando-se a área dos potes igual a 113 cm<sup>2</sup>.

Esta variação volumétrica foi mais intensa nas amostras provenientes do IST, nas quais houve um aumento no volume ocupado no frasco pelas amostras e ao final do mês de avaliação o volume retornou ao seu tamanho inicial. Enquanto que nas amostras provenientes da área de decantação, houve o aumento volumétrico, porém na terceira semana de avaliação este volume já era inferior ao volume inicial (FIGURA 5.20).

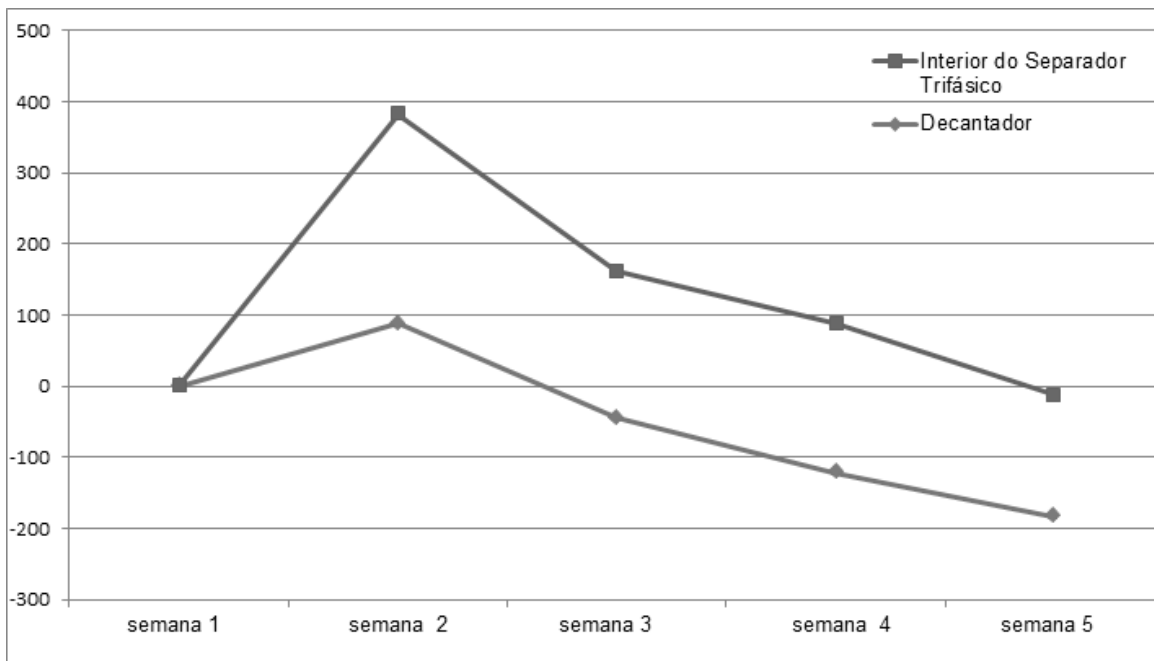


FIGURA 5.20 – ALTERAÇÃO NO VOLUME TOTAL DAS AMOSTRAS DE ESCUMA

## 6. CONCLUSÕES

Apesar das características físico-químicas de espuma e lodo de esgoto serem bastante semelhantes, o potencial calorífico das espumas avaliadas, assim como os teores de O&G, apresentaram-se inferiores os do lodo de esgoto, diferentemente do esperado.

As taxas de produção de espuma variaram de 4,82 a 105,33 gST/kg DQO aplicada, amplitude destes resultados deve-se aos projetos do reator UASB, as eficiências de remoção de DQO, as localidades e as condições de operação serem diferenciadas.

A substituição do gradeamento de 15 mm pelo peneiramento de 3 mm que ocorreu na ETE Padilha Sul não contribuiu para a redução da taxa de formação de espuma, apesar da significativa melhora na aparência do material devido a ausência de sólidos grosseiros.

A quantidade de espuma formada sob condições de operação diferenciadas, observou-se que o reator que funcionou com TDH superior (8,75 h) formou 3 vezes mais espuma na área de decantação e 4,8 vezes mais espuma no IST que o reator que funcionou com TDH inferior (5,83 h). A aplicação de velocidades ascensionais inferiores permitiu maior degradação da matéria-orgânica e conseqüentemente uma maior produção de lodo e de biogás que causou a flotação do lodo permitindo sua presença na espuma.

O reator UASB que sofreu retiradas de lodo de esgoto a cada três dias produziu 2 vezes menos espuma na área de decantação e 4,5 vezes menos no IST do que o reator que tinha retiradas quinzenais. Além disso, a espuma produzida possuía um teor de O&G inferior, 1.127 mg/kg contra 1.413 mg/kg, o que indica que ocorre uma migração destes compostos do esgoto para a espuma quando a quantidade de lodo no interior do reator é maior.

Ainda sobre estas duas últimas avaliações, não foram verificadas alterações significativas no teor de sólidos sedimentáveis nos efluentes dos três reatores. Sugerindo que caso as retiradas de lodo do interior do reator sejam minimizadas o lodo excedente pode se acumular na espuma formada, assim como no caso do aumento da velocidade ascensional o lodo arrastado será também acumulado na espuma.

Comparando os resultados obtidos no desaguamento de espuma e lodo de esgoto em leitos de secagem, na ETE Vassoural (Guarapuava) e na ETE Menino Deus (RMC), notou-se que o teor de ST inicial na ETE Vassoural para a espuma foi bem inferior (1%) aos valores aplicados na ETE Menino Deus (4 e 6%), isso contribui para o bom desempenho dos leitos da ETE Vassoural. A taxa de aplicação de sólidos para a espuma variou de 5,63 a 27,18 kg de ST/m<sup>2</sup>, neste último caso não ocorreu o desaguamento da espuma, pois seus teores médios de ST passaram de 6% a apenas 11 % após 28 dias de avaliação. Entende-se que valores de taxa de aplicação superiores a 7,8 kg de ST/m<sup>2</sup> não sejam recomendados por não permitir um bom desaguamento do material.

Quando foi realizada a incorporação de espuma seca em lodo de esgoto seco visando o uso agrícola da mistura, não foram observadas variações significativas ( $P_{0,05}$ ) entre as médias, indicando que a inclusão de espuma nas proporções de 10, 20 e 50%

não alterou estatisticamente a composição do lodo de esgoto para nenhuma das variáveis; muito embora, o desvio padrão existente entre os resultados possa ter sido minimizado pela normalização dos dados.

Na avaliação de decaimento do teor de O&G em função do tempo de armazenamento, observou-se que o teor de O&G apresentou uma redução semelhante nos dois locais de geração de espuma. Partindo de 35,22 g/kg (dp = 11,16) na câmara de decantação e de 35,27 g/kg (dp = 7,44) no IST, chegando a 5,83 g/kg (dp = 0,91) e 6,12 g/kg (dp = 0,97), respectivamente, o que representa uma redução superior a 80 %. O que permite sugerir uma taxa de redução do teor de O&G de 1,17 g/kg.dia.

As avaliações realizadas mostraram que o gerenciamento da espuma e do lodo de esgoto pode se dar de forma conjunta na própria ETE, pois os substratos mostraram-se bastante semelhantes, conforme a hipótese formulada.

## 7. RECOMENDAÇÕES

A partir do presente estudo desenvolveram-se as seguintes recomendações para estudos futuros:

- Avaliar contribuição do esgoto afluyente na formação da espuma, traçar uma correlação entre os elementos químicos afluentes à ETE e a sua permanência na espuma, no lodo ou no efluente tratado;
- Avaliar a geração de espuma em reatores UASB recebendo esgoto com diferentes teores de O&G;
- Avaliar se a geração de espuma apresenta um regime estacionário com o passar do tempo em reatores UASB tradicionais, nos quais não há comunicação na parte superior da área de decantação e do IST;
- Avaliar a interferência da camada de espuma na liberação do biogás no interior do IST;
- Avaliar o desaguamento conjunto de espuma e lodo de esgoto, realizando a mistura das matrizes antes da descarga nos leitos;
- Determinar a influência do lodo flotado na composição da espuma, em reatores UASB operando com esgoto doméstico no Paraná;
- Em ETEs que operam com reator UASB seguido de filtro biológico percolador com distribuidor rotativo, avaliar o impacto do retorno de lodo do filtro ao reator UASB na sedimentabilidade do lodo do reator e na produção de espuma. Neste mesmo caso, avaliar o impacto do recebimento da espuma da câmara de decantação do UASB no filtro biológico percolador;
- Repetir experimento sobre a taxa de decaimento do teor de O&G da espuma armazenada na superfície dos reatores UASBs para verificar o comportamento do teor de sólidos das amostras.

## 8. REFERÊNCIAS

AISSE, M.M. **Sistemas econômicos de tratamento de esgotos sanitários**. 1. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2000. 192p.

AISSE, M.M.; ANDREOLI, F.N. **Estudo de desidratação do lodo anaeróbio obtido em reatores tipo RALF, através do uso de leito de secagem e de centrífuga tipo decanter**. Sanare, v. 11, n. 11, jul – dez 1999.

ALÉM SOBRINHO, P.; JORDÃO, E.P. Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios – uma análise crítica. In: CHERNICHARO, C.A.L. **Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios**. Rio de Janeiro: PROSAB, ABES, 2001.

ALÉM SOBRINHO, P.; SAMUDIO, E.M.M. Desidratação de lodos de reator UASB em leitos de secagem: determinação de parâmetros. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 25, 1996, México, DF. **Anais... AIDIS: 1 CD – ROM**.

ALTHOFF, C.A.; POSSETTI, G.R.C. **Relatório Técnico Parcial 01-2013 do projeto de secagem de lodos de esgoto em secador tipo tambor rotativo**. Parceria com empresa Albrecht equipamentos Industriais Ltda. 2013.

ANDRADE NETO, C.O.; CAMPOS, J.R. Introdução. In: CAMPOS, J.R. **Tratamento de esgotos sanitários por processos anaeróbios e disposição controlada no solo**. 1. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 1 – 28.

ANDREOLI, C. V. **Reciclagem agrícola do lodo de esgoto: estudo preliminar para a definição de critérios para uso agrônômico e de parâmetros para a normatização ambiental e sanitária**. 2 ed. rev. Curitiba: Sanepar, Companhia de Saneamento do Estado do Paraná, 1999. p.82.

ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Org.) Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. In: **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG; Curitiba: SANEPAR, 2001. 484 p. v. 6.

APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION), AWWA (AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION), WEF (WATER ENVIRONMENT FEDERATION) **Standard methods for examination of water and wastewater**, 22. ed. Washington: Publication Office American Public Health Association, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.209**: Elaboração de Projetos Hidráulicos-Sanitários de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários. Rio de Janeiro, 2011.



BAREA, L.C. **Comportamento de lagoa de polimento da região metropolitana de Curitiba e possibilidade de uso de lentilhas d'água para melhoria da qualidade do efluente.** 222 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

BITTENCOURT, S.; SERRAT, B. M.; AISSE, M. M. ; MARIN, L. M. K. S. ; SIMÃO, C. C.. **Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 17, p. 315-324, 2012.

BITTENCOURT, S.; SERRAT, B.M.; AISSE, M.M.; GOMES, D. Sewage sludge usage in agriculture: a case study of its destination in Curitiba Metropolitan Region, Paraná, Brazil. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA, 10, p. 23-27 Minas Gerais 2011. **Anais...** 1CD-ROM.

BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais.** 1. ed. São Paulo: Companhia de tecnologia de saneamento ambiental – CETESB, 1993.

BRASIL. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA.

BRASIL. Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados e dá outras providências. Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA.

BRASIL. Resolução n. 430, de 13 de maio de 2011. Complementa e altera a resolução 357 de 2005. Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA.

CAMARGO, B.M.; PIVELI, R.P.. Comportamento de reator UASB sem separador trifásico no tratamento de esgoto sanitário. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA, 11, p. 1646-56 Lattabana, Cuba 2014. **Anais...** 1CD-ROM.

CAMPOS, J.R.(coord.). **Tratamento de esgotos Sanitários por processos anaeróbio e disposição controlada no solo.** Rio de Janeiro: Prosab Finep, 1999.

CHERNICHARO, C. A. L.; ALMEIDA, P. G. S.; COUTO T. C.; SOUZA, C. L.; BORGES, J. M.. Contribuição para a melhoria do projeto e da operação de reatores UASB tratando esgotos domésticos: gerenciamento da espuma. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25, 2009, Recife PE. **Anais...** ABES: 1 CD ROM.

CHERNICHARO, C.A.L. **Anaerobic reactors: biological wastewater treatment.** Series .

v4. 1. Ed., Londres: IWA Publishing, 2007. V1. 184p.

CHERNICHARO, C.A.L. **Inovações no tratamento anaeróbio de efluentes**. Palestra proferida no CEHPAR – UFPR. Curitiba, PR: 2005.

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores Anaeróbios**. Belo Horizonte, MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2011. 380p.

CHIABAI, R.; REBOUÇAS, C.C.; GONÇALVES, R.F. Remoção de óleos e graxas em dois sistemas de tratamento de esgoto sanitário associando reatores anaeróbios e aeróbios em série. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande. **Anais...** ABES: 1CD-ROM.

DALCON, Dalcon Engenharia. **Projeto de ampliação da Estação de Tratamento de Esgotos Atuba Sul**. Sanepar Dalcon Engenharia. Memorial Descritivo, 2010.

FORESTI, E.; ZAIAT, M.; VALLERO, M. Anaerobic processes as the technology for sustainable domestic wastewater treatment: consolidated applications, new trends, perspectives and challenges. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, 2006 5, p. 3 – 19.

GANIDI, N.; TYRREL, S.; CARTMELL, E.. Anaerobic digestion foamig causes – a review, **Bioresource Technology**, 2009.Vol. 100, p. 5546 - 5554,.

GARCIA, G.P.; SOUZA, C.L.; GLORIA, R.M.; SILVA, S.Q.; CHERNICHARO, C.A.L.. Biological oxidation of sulphides by microorganisms present in the scum layer of UASB reactor treating domestic wastewater. **Water Science & Technology**, 2012. Vol. 66, nº 9, p. 1871 -1878.

GOMES, C.S.; ALVES, H.B.; SQUIBA, L.M.. Escumas como pesadelos dos tratamentos RALF e UASB para esgotos sanitários. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24, Belo Horizonte, 2007.**Anais**. ABES: 2007.

GOOGLE MAPS. Imagens via satélite das Estações de Tratamento de Esgotos avaliadas no Estado do Paraná. Disponível em <<http://maps.google.com.br>> , Acesso em: 30/09/2012.

HALALSHEH, M.; KOPPEL, J.; ELZEN, J den; ZEEMAN, G.; FAYYAD, M.; LETTINGA, G.. Effect of SRT and temperature on biological conversions and the related scum-forming potential. **Water Research**, 2005. Vol. 39, p. 2475-2482.

JORDÃO, E.P.. **Pré-tratamento para reatores RALF/UASB**. In: SEMINÁRIO SOBRE TRATAMENTO DE ESGOTO. Curitiba: SANEPAR, 2005.

JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A.. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6 ed., Rio de

Janeiro: ABES, 011, 1050p., 2011.

JURGENSEN, D.. A experiência no tratamento de esgotos na Sanepar. In: SEMINÁRIO SOBRE TRATAMENTO DE ESGOTO. Curitiba: SANEPAR, 2005.

LEAL, M.C.M.R.; CAMMAROTA, M.C.; FREIRE, D.M.G.; SANT'ANNA JUNIOR, G.L.. Hidrolitic enzymes as caodjuvants in the anaerobic treatment of dairy wastewaters. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, 2002 vol. 19, n. 2, p. 175-180.

LETINGA, G.; POL, L.W.H.. UASB-process design for various types of wastewaters. **Water Science and Technology**, 1991 vol. 24, n. 8, p. 87-107.

LOBATO, L.C.S.; CHERNICHARO, C.A.L.; OLIVEIRA FILHO, J.M.; MORAES, O.J.S. Avaliação de desempenho da pré-operação dos reatores UASB ETE Onça: capacidade instalada 2,05 m<sup>3</sup>/s. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIASANITÁRIA E AMBIENTAL, 24, 2007, Belo Horizonte. **Anais ... ABES: 2007**. 1CD ROM.

MALAVOLTA, E.. **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo, Edit. Agronômica Ceres, 528 p, 1980.

MARSCHNER, H.. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. London, Academic Press, 674 p., 1986.

MASSE, L.; KENNEDY, K.J.; CHOU, S.P. The effect of an enzymatic pretreatment on the hydrolysis and size reduction of fat particles in slaughterhouse wastewater. **Journal of chemical technology and biotechnology**, v. 76, p. 629-635, 2001.

MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.I.; NETTO A.C.; KJEHL, J.C.. **Fertilidade do solo**. 2 ed. Piracicaba, SP, p.400, 1984.

MELO, A. S.; **Contribuição para o dimensionamento de leitos de secagem de lodo**. Campina Grande: Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, UFCG; Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental – 2006.

MENDES, A. A.; CASTRO, H. F.; PEREIRA, E. B.; FURIGO, A. Aplicação de lipases no tratamento de águas residuárias com elevados teores de lipídeos. **Química Nova**, v. 28 (2), p. 296-305, 2005.

METCALF, EDDY, INC. **Wastewater Engineering: treatment and reuse**, 4. ed. New York: 2003.

MIKI, M. K. Dilemas do UASB. Seção: Práticas operacionais e de Empreendimento. **Revista DAE**, n.183, p. 25-37, 2010.

MONGKOLTHANARUK, W.; DHARMSTHITI, S. Biodegradation of lipid-rich wastewater by a mixed bacterial consortium. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 50, p. 101-105, 2002.

MOURA, F.E.; LEITE, V.D.; PRASAD, S.. Biodegradação aeróbia de hidrocarbonetos de petróleo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, Campo Grande 2005. **Anais...** ABES: 2005. 1 CD ROM.

NOYOLA, A.; MORGAN-SAGASTUME, J.M.; GÜERECA, L.P.. **Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales – Guia de apoyo para ciudades pequeñas y medianas**. 1. Ed., México: Universidade Nacional Autonoma de México, 2013. 113 p.

NOYOLA, A.; MORGAN-SAGASTUME, J.M.; LÓPES-HERNÁNDEZ, J.E. Treatment of biogas produced in anaerobic reactors for domestic wastewater: odor control and energy / resource recovery. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**. V. 5 , p. 93 – 114, 2006.

NOYOLA, A.; PADILLA-RIVERA, A.; MORGAN-SAGASTUME, J.M.; GÜERECA, L.P.; HERNÁNDEZ-PADILLA, F. Typology of municipal wastewater treatment technologies in Latin America. **Clean-Soil, Air Water**. V. 40 (9), p. 926 – 932, 2012.

OLIVEIRA, J.P.; SILVA, J.S.C.; NETO, G.P.P.; BASTOS, G.S.M.; CHERNICHARO, C.A.L.. Avaliação comparativa do desempenho de reator UASB convencional e reator UASB com dois estágios de coleta de biogás no tratamento de esgotos domésticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24, Belo Horizonte, 2007. **Anais...** ABES: 2007. 1CD-ROM.

OLIVEIRA, S. M. A. C.; VON SPERLING, M. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 1: análise de desempenho. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, dez 2005, vol.10, nº.4, p.347-357.

PARANÁ. Resolução n. 21, de 22 de abril de 2009. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. Secretaria Estadual do Meio Ambiente, SEMA.

PATZA, M.G.B. PAWLOWSKY, U.; RODA, L.S.A. Digestão anaeróbia de despejos de cervejarias em reator de leito de lodo granulado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 13, Maceió, Alagoas. **Anais ...** ABES: 1985.

PATZA, M.G.B.; GABARDO, M.T.; PAWLOWSKY, U.. Digestão anaeróbia de despejos de indústrias de café solúvel. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 15, Belém do Pará. **Anais...** ABES: 1989.

PEREIRA NETO, G.P.; BATISTA, A.M.M.; JARDIM, F.A.; SILVA, S.Q.; GLORIA, R.M. Isolamento e cultivo de cianobactérias filamentosas provenientes de amostras de espuma

formada no decantador de um reator UASB tratando esgoto doméstico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25, 2009, Recife. **Anais... ABES: 2009.**

PEREIRA, E. B; CASTRO, H.F DE; FURIGO JÚNIOR, A. Hidrólise enzimática do efluente proveniente de frigorífico avícola utilizando lipase de *Candida rugosa*. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE FERMENTAÇÕES, 14, Florianópolis. **Anais... UFSC: 2003. 1CD-ROM.**

PEREIRA, J.O.; CHERNICHARO, C.A.L.. Remoção física e biológica de espuma do separador trifásico em reator UASB com duplo estágio de coleta de biogás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2013, Goiânia. **Anais... ABES: 2013. 1 pen drive.**

RAMOS, R.A.. Avaliação da influência da operação de descarte de lodo no desempenho de reatores UASB em estações de tratamento de esgoto no distrito federal. 135 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2008.

ROSA, A.P. SCHMIDT, A.D.U.C. BORGES, J.M. CHERNICHARO, C.A.L. Acumulação e remoção de espuma em reatores UASB: estudo de caso ETE Laboreaux – Itabira / MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2013, Goiânia. **Anais... ABES: 2013. 1 Pen drive (a).**

ROSA, A.P.; CHERNICHARO, C.A.L.; LOBATO, L.C.S.. Desenvolvimento de modelo matemático para a estimativa do potencial energético dos subprodutos biogás e lodo em ETEs operando com reatores UASB. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2013, Goiânia. **Anais... ABES: 2013. 1 Pen drive (b).**

ROSA, A.P.; LOBATO, L.C.S.; CHERNICHARO, C.A.L.; MARTINS, D.C.R.B.; MACIEL, F.M., BORGES, J.M. Improving performance and operational control of UASB reactors via proper sludge and scum discharge routines. **Water practice & Technology**.v. 7 (3)., p. 2110 – 2166, 2012.

ROSA, A.P.; PADILHA, R.F.; MELO, G.C.B.; CHERNICHARO, C.A.L.. Potencial energético dos subprodutos sólidos (lodo excedente e espuma) de reatores UASB: Estudo de caso da ETE Laboreaux – Itabira / MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28, 2015, Goiânia. **Anais... ABES: 2015.**

SANTOS, A.V.; CHERNICHARO, C.A.L.; CASTRO, L.. Efeito da hidrólise enzimática de lipídeos e biodegradabilidade anaeróbia da espuma proveniente de reatores UASB tratando esgoto doméstico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2013, Goiânia. **Anais... ABES: 2013. 1 pen drive.**

SEMIONATO, S.; CUNHA, A.C.; CARDOSO, M.C.M.C.; GONÇALVES, R.F.; CASSINI, S.T.A. Isolamento e caracterização de bactérias lipolíticas em sistema de pré-tratamento de esgoto doméstico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E

AMBIENTAL, 23, Campo Grande, 2005 **Anais...** ABES: 2005. 1CD-ROM.

SILVA, S.Q.; ZERBINI, A.M.; GODINHO, V.M.; CHERNICHARO, C.A.L. Caracterização morfológica de micro-organismos presentes em espuma de reatores UASB tratando esgotos domésticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, Campo Grande, 2005. **Anais...** ABES: 2005. 1CD-ROM.

SIMEPAR. Instituto Tecnológico. Dados históricos de pluviosidade do município de Pinhais, no período de 23/04 a 02/05/2014. Disponível em < <http://www.simepar.br/site/>>. Acesso em: 13/06/2014.

SOARES, S.R.A.; MATOS, Z.M.R.; BERNARDES, R.S.. **Modelagem do processo de desidratação de lodo anaeróbico em leitos de secagem simulados**. Ver. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 5, n. 2, p. 313-319, 2001.

SOUZA, C.L. Estudo quantitativo e qualitativo de espuma acumulada em reatores UASB tratando esgotos domésticos. 105 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

SOUZA, C.L.; AQUINO, S.F.; CHERNICHARO, C.A.L. Production and characterization of scum and its role in odour control in UASB reactors treating domestic wastewater. **Water Science & Technology**, v. 54, p. 201-208, 2006.

SOUZA, C.L.; AQUINO, S.F.; CHERNICHARO, C.A.L.. Ocorrência de espuma em reatores UASB tratando esgotos tipicamente domésticos: caracterização quantitativa e qualitativa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24, Belo Horizonte, 2007. **Anais...** ABES: 2007. 1 CD-ROM.

SOUZA, C.L.; CHERNICHARO, C.A.L.; MELO, G.C.B. Methane and hydrogen sulfide emissions in UASB reactors treating domestic wastewater. **Water Science and Technology**, v. 65, p. 1229 – 1237, 2012.

SOUZA, C.L.; SILVA, S.Q.; AQUINO, S.F.; CHERNICHARO, C.A.L.. Espuma do decantador de um reator UASB tratando esgoto tipicamente doméstico: caracterização em período prolongado de acumulação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24, Belo Horizonte, 2007. **Anais...** ABES: 2007. 1 CD-ROM.

TEIXEIRA, A.R.; CHERNICHARO, C.A.L.. Concepção e avaliação de uma unidade de peneiramento forçado para redução do tamanho de partículas presentes no esgoto bruto doméstico. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 307 – 317, 2009.

TEIXEIRA, A.R.; CHERNICHARO, C.A.L.; AQUINO, S.F. Influência da redução do tamanho de partículas na taxa de hidrólise do esgoto bruto doméstico. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 405 – 415, 2008.

VAN HAANDEL, A.; KATO, M.; VON SPERLING, M. Remoção biológica de nitrogênio: aplicações para o sistema de lodo ativado. In: MOTA, F.S.B.; VON SPERLING, M. **Nutrientes de esgotos sanitários: utilização e remoção**. 1. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 175 - 227.

VAN HAANDEL, A.C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgoto – um manual para regiões de clima quente**. Campina Grande, PB, Ed. Epgraf, 225 p. 1994.

VERSIANI, B.M.; JORDÃO, E.P.; VOLSCHAN JUNIOR, I.; DEZOTTI, M.W.C.; AZEVEDO, J.P.S. Intervenientes no desempenho de um reator UASB submetido a diferentes condições operacionais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, Campo Grande, 2005. **Anais...** ABES: 2005. 1CD-ROM.

VIDAL, G.; CARVALHO, A.; MÉNDÉZ, R.; LEMA, J.M. Influence of the content in fats and proteins on the anaerobic biodegradability of dairy wastewaters. **Bioresource Technology**. v. 74, n. 3, p. 231-239, 2000.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. In: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. v. 1. 2 ed Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 1996a.

VON SPERLING, M. Tecnologias Nacionais para Tratamento Anaeróbio de Esgotos. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DO SANEAMENTO EM COMUNIDADES PLANEJADAS. **Anais...** Curitiba: Alphaville Graciosa, 2004.

VON SPERLING, M.. **Princípios básicos do tratamento de Esgotos**. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. v. 2. 2 ed Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 1996b.

VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C.A.L.. **Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions**. v.1, Londres: DESA / IWA Publishing, 2005.

WEF (WATER ENVIRONMENT FEDERATION). **Control of odors and emissions from wastewater treatment plants**. Manual of practice 25. WEF, USA, 2004.

WEF (WATER ENVIRONMENT FEDERATION); AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE); ENVIRONMENTAL AND WATER RESOURCES INSTITUTE (EWRI). **Biological nutrient removal operation in wastewater treatment plant**. Manual of practice 29. WEF, ASCE, EWRI, USA, 2005.

WPCF (WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION). **Anaerobic Sludge Digestion**. Manual of Practice 18. WPCF, USA, 1968.

YODA, M.; NISHIMURA, S.. Controlling granular sludge flotation in UASB reactors. **Water Science and Technology**, v 36, n. 6 – 7, p. 165-173, 1997.

**Apêndice 1 - Questionário utilizado para o diagnóstico sobre a problemática da espuma**



### Gerenciamento de Escuma

A espuma presente em UASBs e RALFs, utilizados no tratamento de esgoto pode gerar problemas hidráulicos e operacionais e ocasionar uma diminuição na eficiência do tratamento. Sua retirada do interior dos reatores nem sempre é fácil e a destinação final é um grande problema, devido ao alto teor de matéria orgânica não degradada presente na mesma, ocorre a atração de vetores e emissão de maus odores.

Ciente desta problemática e de que a espuma gerada no tratamento de esgotos representa uma grande preocupação, comum a todas as regionais da Sanepar propõe-se uma série intensiva de pesquisas sobre o tema. Para tanto, solicitamos a sua colaboração preenchendo o formulário anexo, o qual será uma ferramenta na elaboração de soluções para retirada, quantificação e caracterização da espuma.

#### **COM RELAÇÃO À REDE COLETORA DE ESGOTOS (RCE)**

1) Existem problemas de entupimento devido à presença de gordura na rede coletora de esgotos?

( ) sim                      ( ) não

Se sim, relate um pouco desta situação. \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

2) Com que frequência estes entupimentos ocorrem?

( ) quinzenal                      ( ) mensal                      ( ) outro, qual? \_\_\_\_\_

3) Quantos atendimentos do caminhão de desobstrução ocorrem por mês? \_\_\_\_\_

4) O que é feito com este material?

( ) levado à ETE                      ( ) aterro sanitário                      ( ) outro destino, qual: \_\_\_\_\_

#### **COM RELAÇÃO A AMPLIAÇÃO DO SES**

1) Existem ETES sendo projetadas ou construídas na sua regional?      ( ) sim      ( ) não      Se sim, qual vazão será tratada?

\_\_\_\_\_

2) O processo de tratamento a ser utilizado será o reator UASB?      ( ) sim      ( ) não      Se não, qual o processo?

\_\_\_\_\_

**COM RELAÇÃO A ETES EM OPERAÇÃO**

TABELA A1.1 - LEVANTAMENTO RELATIVO ÀS ETES EM OPERAÇÃO

CIDADE	NOME DA ETE	POPULAÇÃO (MIL HABITANTES)		VAZÃO (m <sup>3</sup> /h)		SISTEMA PRELIMINAR <sup>(1)</sup>				TRATAMENTO <sup>(2)</sup>	
		PROJETADA	ATENDIDA	PROJETO	TRATADA	DESARENADOR	GRADE FINA	GRADE GROSSA	PENEIRA	UASB	OUTRO

NOTA: <sup>(1)</sup> Marque o tipo de sistema preliminar utilizado em cada ETE; <sup>(2)</sup> Marque o tipo de sistema de tratamento utilizado em cada ETE; Inclua quantas linhas forem necessárias.

**COM RELAÇÃO À ESCUMA PRODUZIDA NOS REATORES UASB / RALF**

TABELA A1.2 - DETALHAMENTO RELATIVO AO GERENCIAMENTO DA ESCUMA NAS ETES EM OPERAÇÃO

NOME DA ETE	FREQUÊNCIA DE RETIRADA (QUINZENAL, MENSAL, ETC.)	VOLUME RETIRADO (m <sup>3</sup> )	REATOR UASB / RALF				DESTINO DA ESCUMA					
			aberto	fechado	redondo	quadrado	leito de secagem	misturada ao lodo da ete	vala na própria ete	aterro sanitário municipal	aterro sanitário particular	outro, qual?

NOTA: Inclua quantas linhas forem necessárias.

**COM RELAÇÃO À FORMA DE RETIRADA DA ESCUMA**

TABELA A1.3 - LEVANTAMENTO RELATIVO À FORMA DE RETIRADA DA ESCUMA NAS ETES EM OPERAÇÃO

NOME DA ETE	ESCUMA DO DECANTADOR			ESCUMA DO INTERIOR DO SEPARADOR TRIFÁSICO		
	MANUAL <sup>(1)</sup>	CAMINHÃO <sup>(2)</sup>	OUTRA, QUAL?	MANUAL <sup>(1)</sup>	CAMINHÃO <sup>(2)</sup>	OUTRA, QUAL?

NOTA: <sup>(1)</sup> Manual, com peneira e carrinho de mão; <sup>(2)</sup> Caminhão tipo "limpa-fossa"; Inclua quantas linhas forem necessárias.

1) A operação de retirada da espuma é considerada fácil e eficiente?

( ) sim                      ( ) não      Para os dois casos descreva por que: \_\_\_\_\_

2) Gostaria de complementar algo sobre a questão da espuma?

---



---



---



---

## **Apêndice 2 - Dados de Geração de Escuma**

Os dados obtidos na avaliação da geração de espuma nas ETEs Atuba Sul e Padilha Sul estão apresentados nas Tabelas seguintes.

TABELA A2.1 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO DE ESCUMA NA ETE ATUBA SUL, COM GRADEAMENTO DE 15 mm

Data	Dias de acúmulo	Tempo	Temp. do ar (°C)	Q (L/s) <sup>(1)</sup>	DQO (mg/L) <sup>(2)</sup>		Tubo Coletor	Volume (mL)	ST (%)	STF (%)	STV (%)	DQO espuma (mg/L)
					Afluente	Efluente						
24/10/2012	7	sol	32,8	1038	425	184	1	43	12,16	2,17	9,99	84.960
24/10/2012	7	sol	32,8	1038	425	184	3	56	11,46	2,49	8,97	57.840
31/10/2012	15	nublado	17,3	1069	461	168	1	53	16,38	7,78	8,60	123.592
31/10/2012	15	nublado	17,3	1069	461	168	2	121	13,90	6,76	7,14	101.448
31/10/2012	15	nublado	17,3	1069	461	168	3	230	13,46	7,64	5,82	97.832
14/11/2012	16	sol	32	1187	279	181	1	110	15,50	2,77	12,73	98.896
14/11/2012	16	sol	32	1187	279	181	2	100	14,70	3,28	11,42	87.184
14/11/2012	16	sol	32	1187	279	181	3	60	16,30	3,19	13,11	106.608
26/12/2012	14	nublado	25,6	1010	324	163	1	58	14,93	2,58	12,35	108.560
26/12/2012	14	nublado	26	1010	324	163	2	80	14,7	3,05	11,65	98.260
26/12/2012	14	nublado	26	1010	324	163	3	90	13,90	5,00	8,90	88.500
30/01/2013	15	nublado	23	914	364	293	1	59	15,20	3,15	12,05	105.800
30/01/2013	15	nublado	23	914	364	293	2	90	11,46	2,96	8,50	80.560
30/01/2013	15	nublado	23	9145	364	293	3	106	13,46	2,85	10,61	82.600
14/02/2013	16	nublado	25	1084	391	146	1	60	16,38	3,19	13,19	78.900
14/02/2013	16	nublado	25	1084	391	146	2	105	12,16	2,17	9,99	98.890
14/02/2013	16	nublado	25	1084	391	146	3	95	11,46	3,9	7,56	101.300
27/02/2013	14	sol	27	1032	193	137	1	50	16,30	2,49	13,81	97.000
27/02/2013	14	sol	27	1032	193	137	2	85	11,46	3,28	8,18	100.200
27/02/2013	14	sol	27	1032	193	137	3	91	12,50	3,19	9,31	88.000
		<b>MÉDIA</b>	<b>26</b>	<b>1048</b>	<b>344</b>	<b>182</b>		<b>145</b>	<b>13,93</b>	<b>3,70</b>	<b>10,22</b>	<b>94.044</b>

NOTA: <sup>(1)</sup> Calculou-se a soma da vazão no período de acumulação e este valor foi dividido pelo número de dias de acúmulo. <sup>(2)</sup> DQO pontual afluente e efluente ao UASB do dia de coleta de espuma, não existem dados diários de DQO.

TABELA A2.2 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO DE ESCUMA NA ETE PADILHA SUL, COM GRADEAMENTO DE 15 mm

Data	Dias de acúmulo	Tempo	Temp. do ar (°C)	Q (L/s) (¹)	DQO (mg/L) (²)		Tubo Coletor	Volume (mL)	ST (%)	STF (%)	STV (%)	DQO espuma (mg/L)
					afluente	efluente						
11/03/2013	18	nublado	26	329	674	185	1	2970	16,65	3,42	13,23	143.504
11/03/2013	18	nublado	26	329	674	185	2	2570	15,68	3,37	12,31	127.008
11/03/2013	18	nublado	26	329	674	185	3	1140	15,15	3,63	12,31	142.784
18/03/2013	8	nublado	19	354	203	189	1	850	15,83	2,89	12,94	124.216
18/03/2013	8	nublado	19	354	203	189	2	500	14,36	2,67	11,69	108.976
18/03/2013	8	nublado	19	354	203	189	3	290	12,46	2,57	9,89	83.696
26/03/2013	8	nublado	23	335	639	243	1	1700	15,38	3,31	12,07	109.944
26/03/2013	8	nublado	23	335	639	243	2	1650	16,37	3,16	13,21	74.056
09/04/2013	14	sol	21	305	366	224	1	2400	15,68	2,90	12,78	116.440
09/04/2013	14	sol	21	305	366	224	2	1700	15,37	2,88	12,49	109.768
09/04/2013	14	sol	21	305	366	224	3	700	14,95	2,99	11,96	75.200
16/04/2013	7	sol	21	316	761	260	1	350	12,9	2,70	10,20	77.712
16/04/2013	7	sol	21	316	761	260	2	100	12,81	2,39	10,42	97.168
16/04/2013	7	sol	21	316	761	260	3	100	12,79	2,37	10,42	84.800
23/04/2013	7	nublado	19	281	591	302	1	750	13,46	2,57	10,89	94.528
23/04/2013	7	nublado	19	281	591	302	2	400	12,99	2,54	10,45	86.048
23/04/2013	7	nublado	19	281	591	302	3	100	12,02	2,05	9,97	85.952
30/04/2013	7	sol	22	276	828	338	1	450	14,84	2,226	12,58	90.944
30/04/2013	7	sol	22	276	828	338	2	350	14,68	2,78	11,90	118.112
30/04/2013	7	sol	22	276	828	338	3	50	17,24	3,08	14,16	78.800
07/05/2013	7	sol	15	284	779	364	1	750	13,23	2,20	10,96	126.400
07/05/2013	7	sol	15	284	779	364	2	475	13,44	2,87	10,57	99.200
07/05/2013	7	sol	15	284	779	364	3	20	13,86	3,30	10,56	110.400
14/05/2013	7	nublado	22	261	717	271	1	500	14,41	2,59	11,82	116.160
14/05/2013	7	nublado	22	261	717	271	2	350	14,32	3,20	11,12	119.360
14/05/2013	7	nublado	22	261	717	271	3	25	13,92	3,17	10,75	87.360
21/05/2013	7	nublado	19	273	339	303	1	450	14,09	2,88	11,21	108.800

*continua*

continuação

Data	Dias de acúmulo	Tempo	Temp. do ar (°C)	Q (L/s) <sup>(1)</sup>	DQO (mg/L) <sup>(2)</sup>		Tubo Coletor	Volume (mL)	ST (%)	STF (%)	STV (%)	DQO espuma (mg/L)
					afluente	efluente						
21/05/2013	7	nublado	19	273	339	303	2	300	19,46	2,47	16,99	113.600
04/06/2013	14	sol	17	303	766	307	1	500	13,76	2,72	11,04	76.160
04/06/2013	14	sol	17	303	766	307	2	1000	15,4	3,00	12,40	103.360
04/06/2013	14	sol	17	303	766	307	3	650	15,26	2,65	12,61	96.320
12/06/2013	8	nublado	18	305	106	302	1	400	15,11	3,07	12,04	113.280
12/06/2013	8	nublado	18	305	106	302	2	400	15,46	2,98	12,48	89.280
12/06/2013	8	nublado	18	305	106	302	3	1100	14,83	2,73	12,10	109.440
24/07/2013	8	sol	3	335	620	182	1	1400	16,73	3,69	13,04	104.000
24/07/2013	8	sol	3	335	620	182	2	1100	13,75	2,78	10,97	98.240
20/08/2013	7	sol	15	222	1021	301	1	1150	16,78	3,00	13,78	145.760
20/08/2013	7	sol	15	222	1021	301	2	750	16,23	2,95	13,28	128.000
20/08/2013	7	sol	15	222	1021	301	3	800	16,03	2,92	13,11	123.200
27/08/2013	7	nublado	11	275	739	332	1	275	13,03	2,74	10,29	101.760
27/08/2013	7	nublado	11	275	739	332	2	500	11,26	2,33	8,93	72.320
27/08/2013	7	nublado	11	275	739	332	3	550	16,4	3,91	12,49	89.600
11/09/2013	15	sol	20	277	1156	401	1	1750	15,85	3,32	12,53	136.720
11/09/2013	15	sol	20	277	1156	401	2	1700	17,68	3,90	13,78	110.160
11/09/2013	15	sol	20	277	1156	401	3	1750	15,91	3,06	12,85	122.880
02/10/2013	21	nublado	19	342	589	291	1	200	14,04	3,09	10,95	110.560
02/10/2013	21	nublado	19	342	589	291	2	1100	15,45	2,54	12,91	139.500
02/10/2013	21	nublado	19	342	589	291	3	2800	11,56	3,00	8,56	123.400
		<b>MÉDIA</b>	<b>18</b>	<b>297</b>	<b>648</b>	<b>285</b>		<b>872</b>	<b>14,77</b>	<b>2,91</b>	<b>11,87</b>	<b>106.351</b>

NOTA: <sup>(1)</sup> Calculou-se a soma da vazão no período de acumulação e este valor foi dividido pelo número de dias de acúmulo. <sup>(2)</sup> DQO pontual afluente e efluente ao UASB do dia de coleta de espuma, não existem dados diários de DQO.

TABELA A2.3 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO DE ESCUMA NA ETE PADILHA SUL, COM PENEIRAMENTO DE 3 mm

Data	Dias de acúmulo	Tempo	Temp. do ar (°C)	Q (L/s) (¹)	DQO (mg/L) (²)		Tubo Coletor	Volume (mL)	ST (%) (³)	DQO escuma (mg/L)
					afluente	efluente				
15/07/2014	6	nublado	18	276	540	529	1	500	14,90	136.000
15/07/2014	6	nublado	18	276	540	529	2	700	15,35	84.320
15/07/2014	6	nublado	18	276	540	529	3	1800	15,30	108.320
23/07/2014	8	sol	18	290	738	443	1	500	16,22	122.240
23/07/2014	8	sol	18	290	738	443	2	1000	15,47	123.360
23/07/2014	8	sol	18	290	738	443	3	2000	15,39	100.960
06/08/2014	7	sol	17	321	684	532	1	900	16,49	162.400
06/08/2014	7	sol	17	321	684	532	2	1200	18,67	137.280
06/08/2014	7	sol	17	321	684	532	3	1600	15,31	98.240
14/08/2014	8	nublado	12	285	440	356	1	1100	14,67	168.960
14/08/2014	8	nublado	12	285	440	356	2	1600	14,69	92.160
14/08/2014	8	nublado	12	285	440	356	3	1400	14,06	153.120
27/08/2014	7	sol	19	296	1123	451	1	300	17,92	172.160
27/08/2014	7	sol	19	296	1123	451	2	500	23,50	96.800
27/08/2014	7	sol	19	296	1123	451	3	1000	17,36	112.800
03/09/2014	3	sol	22	331	693	268	1	250	14,94	137.440
03/09/2014	3	sol	22	331	693	268	2	200	14,77	129.920
03/09/2014	3	sol	22	331	693	268	3	300	14,92	113.280
17/09/2014	7	sol	21	291	766	408	1	800	15,88	158.560
17/09/2014	7	sol	21	291	766	408	2	900	15,40	161.920
17/09/2014	7	sol	21	291	766	408	3	1500	16,23	98.720
25/09/2014	8	nublado	19	340	339	240	1	500	15,25	276.800
25/09/2014	8	nublado	19	340	339	240	2	600	14,65	154.240
25/09/2014	8	nublado	19	340	339	240	3	1000	13,29	123.200
01/10/2014	6	sol	20	361	237	245	1	300	15,32	131.360
01/10/2014	6	sol	20	361	237	245	2	300	15,72	126.560
01/10/2014	6	sol	20	361	237	245	3	800	13,86	115.200

*continua*



continuação

Data	Dias de acúmulo	Tempo	Temp. do ar (°C)	Q (L/s) (¹)	DQO (mg/L) (²)		Tubo Coletor	Volume (mL)	ST (%) (³)	DQO espuma (mg/L)
					afluente	efluente				
08/10/2014	7	sol	26	329	756	358	1	400	16,34	160.640
08/10/2014	7	sol	26	329	756	358	2	300	16,58	150.720
08/10/2014	7	sol	26	329	756	358	3	1200	20,63	88.480
16/10/2014	7	sol	31	301	727	396	1	500	15,48	141.920
16/10/2014	7	sol	31	301	727	396	2	800	15,26	160.000
16/10/2014	7	sol	31	301	727	396	3	2800	14,46	88.160
<b>MÉDIA</b>			<b>20</b>	<b>311</b>	<b>640</b>	<b>384</b>		<b>895</b>	<b>15,76</b>	<b>132.916</b>

NOTA: (¹) Calculou-se a soma da vazão no período de acumulação e este valor foi dividido pelo número de dias de acúmulo. (²) DQO pontual afluente e efluente ao UASB do dia de coleta de espuma, não existem dados diários de DQO. (³) Nesta etapa do experimento não foram avaliados os teores de sólidos voláteis e fixos na espuma.

Para o cálculo das taxas de geração de espuma determinou-se a área dos reatores com base no projeto hidráulico-sanitário dos mesmos, sendo a área superficial total de cada reator (441 m<sup>2</sup>), retirou-se deste valor o correspondente ao distribuidor central (20,25 m<sup>2</sup>) e as canaletas de descarga (84 m<sup>2</sup>), chegando-se a área de acúmulo de espuma de 336,75 m<sup>2</sup> para cada reator. Depois se multiplicou a área de acúmulo de espuma de um reator pelo número de reatores de cada ETE, sendo seis reatores para a ETE Padilha Sul e 16 para a ETE Atuba Sul, desta forma obteve-se a área total de acúmulo de espuma.

TABELA A2.4 - TAXAS DE GERAÇÃO DE ESCUMA NA ETE ATUBA SUL, GRADEAMENTO DE 15 mm

Data	Tubo coletor	Volume acumulado			ST acumulados (g/d)	DQO aplicada (kg/d)	L espuma / kg DQO aplicada	gST /Kg DQO aplicada
		mL/d.tubo	mL/m <sup>2</sup> d	L/d				
24/10/12	1	6,14	195,57	1054	128133,78	38115,36	0,03	3,36
24/10/12	2	8,00	254,70	1372	157265,79	38115,36	0,04	4,13
31/10/12	1	3,53	112,49	606	99279,17	42578,70	0,01	2,33
31/10/12	2	8,07	256,82	1384	192339,54	42578,70	0,03	4,52
31/10/12	3	15,33	488,17	2630	354031,00	42578,70	0,06	8,31
14/11/12	1	6,88	218,88	1179	182794,89	28613,35	0,04	6,39
14/11/12	2	6,25	198,98	1072	157600,29	28613,35	0,04	5,51
14/11/12	3	3,75	119,39	643	104852,44	28613,35	0,02	3,66
26/12/12	1	4,14	131,90	711	106100,99	28273,54	0,03	3,75
26/12/12	2	5,71	181,93	980	144091,69	28273,54	0,03	5,10
26/12/12	3	6,43	204,67	1103	153281,21	28273,54	0,04	5,42
30/01/13	1	3,93	125,23	675	102556,69	28744,93	0,02	3,57
30/01/13	2	6,00	191,02	1029	117949,34	28744,93	0,04	4,10
30/01/13	3	7,07	224,98	1212	163162,11	28744,93	0,04	5,68
14/02/13	1	3,75	119,39	643	105367,05	36620,12	0,02	2,88
14/02/13	2	6,56	208,93	1128	136887,11	36620,12	0,03	3,74
14/02/13	3	5,94	189,03	1018	116720,70	36620,12	0,03	3,19
27/02/13	1	3,57	113,70	613	99859,46	17208,81	0,04	5,80
27/02/13	2	6,07	193,30	1041	119353,50	17208,81	0,06	6,94
27/02/13	3	6,50	206,94	1115	139374,40	17208,81	0,06	8,10
<b>Médias</b>		<b>6,18</b>	<b>196,80</b>	<b>1.060</b>	<b>144.050</b>	<b>31.117</b>	<b>0,04</b>	<b>4,82</b>

TABELA A2.5 - TAXAS DE GERAÇÃO DE ESCUMA NA ETE PADILHA SUL, GRADEAMENTO DE 15 mm

Data	Tubo Coletor	Volume acumulado			ST acumulados (g/d)	DQO aplicada (kg/d)	L espuma / kg DQO aplicada	gST /Kg DQO aplicada
		mL/d.tubo	mL/m <sup>2</sup> d	L/d				
11/03/13	1	165	5.253	10.614	1.767.213	19.159	0,55	92,24
11/03/13	2	143	4.546	9.184	1.440.116	19.159	0,48	75,17
11/03/13	3	63	2.016	4.074	617.214	19.159	0,21	32,22
18/03/13	1	106	3.383	6.835	1.081.934	6.209	1,10	174,26
18/03/13	2	62	1.990	4.020	577.332	6.209	0,65	92,98
18/03/13	3	36	1.154	2.332	290.547	6.209	0,38	46,80
26/03/13	1	212	6.765	13.669	2.102.356	18.495	0,74	113,67
26/03/13	2	206	6.566	13.267	2.171.869	18.495	0,72	117,43
09/04/13	1	171	5.458	11.027	1.729.100	9.645	1,14	179,28
09/04/13	2	121	3.866	7.811	1.200.565	9.645	0,81	124,48
09/04/13	3	50	1.592	3.216	480.842	9.645	0,33	49,85
16/04/13	1	50	1.592	3.216	414.904	20.777	0,15	19,97
16/04/13	2	14	455	919	117.718	20.777	0,04	5,67
16/04/13	3	14	455	919	117.534	20.777	0,04	5,66
23/04/13	1	107	3.411	6.892	927.682	14.348	0,48	64,65
23/04/13	2	57	1.819	3.676	477.487	14.348	0,26	33,28
23/04/13	3	14	455	919	110.458	14.348	0,06	7,70
30/04/13	1	64	2.047	4.135	613.676	19.745	0,21	31,08
30/04/13	2	50	1.592	3.216	472.158	19.745	0,16	23,91
30/04/13	3	7	227	459	79.214	19.745	0,02	4,01
07/05/13	1	104	3.411	6.892	911.830	19.115	0,36	47,70
07/05/13	2	68	2.160	4.365	586.659	19.115	0,23	30,69
07/05/13	3	3	91	184	25.473	19.115	0,01	1,33
14/05/13	1	71	2.274	4.595	662.105	16.169	0,28	40,95
14/05/13	2	50	1.592	3.216	460.579	16.169	0,20	28,49
14/05/13	3	3	114	230	31.979	16.169	0,01	1,98
21/05/13	1	64	2.047	4.135	582.662	7.996	0,52	72,87
21/05/13	2	43	1.364	2.757	536.484	7.996	0,34	67,09
04/06/13	1	36	1.137	2.297	316.119	20.053	0,11	15,76
04/06/13	2	71	2.274	4.595	707.593	20.053	0,23	35,29
04/06/13	3	46	1.478	2.987	455.754	20.053	0,15	22,73
12/06/13	1	50	1.592	3.216	485.988	2.793	1,15	173,98
12/06/13	2	50	1.592	3.216	497.245	2.793	1,15	178,01
24/07/13	1	175	5.572	11.257	1.883.323	17.945	0,63	104,95
24/07/13	2	137	4.377	8.845	1.216.176	17.945	0,49	67,77
20/08/13	1	164	5.230	10.568	1.773.302	19.584	0,54	90,55
20/08/13	2	107	3.411	6.892	1.118.594	19.584	0,35	57,12
20/08/13	3	114	3.638	7.352	1.178.464	19.584	0,38	60,18
27/08/13	1	39	1.251	2.527	329.283	17.559	0,14	18,75
27/08/13	2	71	2.274	4.595	517.370	17.559	0,26	29,47
27/08/13	3	78	2.501	5.054	828.895	17.559	0,29	47,21
11/09/13	1	117	3.714	7.505	1.189.507	27.666	0,27	42,99

*continua*

continuação

Data	Tubo Coletor	Volume acumulado			ST acumulados (g/d)	DQO aplicada (kg/d)	L escuma / kg DQO aplicada	gST /Kg DQO aplicada
		mL/d.tubo	mL/m <sup>2</sup> d	L/d				
11/09/13	2	113	3.608	7.290	1.288.935	27.666	0,26	46,59
11/09/13	3	117	3.714	7.505	1.194.010	27.666	0,27	43,16
02/10/13	1	9	303	613	86.014	17.404	0,04	4,94
02/10/13	2	54	1.667	3.369	520.586	17.404	0,19	29,91
02/10/13	3	133	4.245	8.577	991.488	17.404	0,49	56,97
<b>Médias</b>		<b>81</b>	<b>2.580</b>	<b>5.213</b>	<b>790.773</b>	<b>16.527</b>	<b>0,38</b>	<b>57,70</b>

TABELA A2.6 - TAXAS DE GERAÇÃO DE ESCUMA NA ETE PADILHA SUL, GRADEAMENTO DE 3 mm

Data	Tubo Coletor	Volume acumulado			ST acumulados (g/d)	DQO aplicada (kg/d)	L escuma / kg DQO aplicada	gST /Kg DQO aplicada
		mL/d.tubo	mL/m <sup>2</sup> d	L/d				
15/07/14	1	83,33	2.653	5.361	798.723	12.857	0,42	62,12
15/07/14	2	116,67	3.714	7.505	1.151.983	12.857	0,58	89,60
15/07/14	3	300,00	9.551	19.298	2.952.593	12.857	1,50	229,64
23/07/14	1	62,50	1.990	4.020	652.111	18.469	0,22	35,31
23/07/14	2	125,00	3.980	8.041	1.243.917	18.469	0,44	67,35
23/07/14	3	250,00	7.959	16.082	2.474.968	18.469	0,87	134,01
06/08/14	1	128,57	4.093	8.271	1.363.817	18.956	0,44	71,95
06/08/14	2	171,43	5.458	11.027	2.058.820	18.956	0,58	108,61
06/08/14	3	228,57	7.277	14.703	2.251.065	18.956	0,78	118,75
14/08/14	1	137,50	4.378	8.845	1.297.549	10.849	0,82	119,60
14/08/14	2	200,00	6.367	12.865	1.889.917	10.849	1,19	174,21
14/08/14	3	175,00	5.571	11.257	1.582.757	10.849	1,04	145,89
27/08/14	1	42,86	1.364	2.757	494.029	28.699	0,10	17,21
27/08/14	2	71,43	2.274	4.595	1.079.769	28.699	0,16	37,62
27/08/14	3	142,86	4.548	9.190	1.595.301	28.699	0,32	55,59
03/09/14	1	83,33	2.653	5.361	800.867	19.839	0,27	40,37
03/09/14	2	66,67	2.122	4.288	633.403	19.839	0,22	31,93
03/09/14	3	100,00	3.184	6.433	959.754	19.839	0,32	48,38
17/09/14	1	114,29	3.639	7.352	1.167.437	19.284	0,38	60,54
17/09/14	2	128,57	4.093	8.271	1.273.668	19.284	0,43	66,05
17/09/14	3	214,29	6.822	13.784	2.237.189	19.284	0,71	116,01
25/09/14	1	62,50	1.990	4.020	613.113	9.971	0,40	61,49
25/09/14	2	75,00	2.388	4.824	706.789	9.971	0,48	70,88
25/09/14	3	125,00	3.980	8.041	1.068.626	9.971	0,81	107,17
01/10/14	1	50,00	1.592	3.216	492.742	7.401	0,43	66,58
01/10/14	2	50,00	1.592	3.216	505.607	7.401	0,43	68,32
01/10/14	3	133,33	4.245	8.577	1.188.756	7.401	1,16	160,62
08/10/14	1	57,14	1.819	3.676	600.627	21.467	0,17	27,98
08/10/14	2	42,86	1.364	2.757	457.087	21.467	0,13	21,29
08/10/14	3	171,43	5.458	11.027	2.274.958	21.467	0,51	105,97
16/10/14	1	71,43	2.274	4.595	711.269	18.916	0,24	37,60
16/10/14	2	114,29	3.639	7.352	1.121.857	18.916	0,39	59,31
16/10/14	3	400,00	12.735	25.731	3.720.653	18.916	1,36	196,69
<b>Médias</b>	<b>---</b>	<b>130</b>	<b>4.144</b>	<b>8.374</b>	<b>1.315.810</b>	<b>16.973</b>	<b>0,55</b>	<b>85,29</b>

**Apêndice 3 - Dados da avaliação de geração de espuma em função da variação da velocidade ascensional do esgoto bruto e das retiradas de lodo**

TABELA A3.1 – RESULTADOS DE GERAÇÃO DE ESCUMA EM FUNÇÃO DE VARIAÇÃO DA VELOCIDADE ASCENSIONAL DO ESGOTO – ESGOTO AFLUENTE À ETE VASSOURAL

COLETA	DATA	HORÁRIO	PLUVIOSIDADE (mm)	TEMPERATURA (°C)		VAZÃO (L/s)	pH	DQO (mg/L)	SSed. (mL/L)	O&G (mg/L)	ST (mg/L)	STF (mg/L)	STV (mg/L)
				AR	ESGOTO								
1	30/1/15	14:00	8	25,1	25,6	297,5	7,1	648,0	6,0	254,6	996,0	320,0	676,0
2	6/2/15	14:00	0	26,2	23,6	298,1	7,2	456,2	4,5	97,0	1068,0	414,0	654,0
3	12/2/15	14:00	0	32,6	25,0	262,3	7,6	613,2	10,5	102,5	1272,0	566,0	706,0
4	20/2/15	11:30	24	22,7	22,7	259,1	7,3	191,2	0,5	102,9	476,0	258,0	218,0
5	27/2/15	11:00	25	29,8	22,1	264,0	7,2	498,0	3,8	102,6	508,0	182,0	326,0
6	6/3/15	11:30	8	25,2	23,8	296,0	7,5	216,6	3,5	102,3	574,0	314,0	260,0
7	13/3/15	11:00	0	28,6	22,9	252,0	8,0	327,1	1,3	111,0	870,0	370,0	500,0
MÉDIA			9,3	27,2	23,67	275,6	7,4	421,5	4,3	124,7	823,4	346,3	477,1
DESVIO PADRÃO			11,0	3,3	1,26	20,6	0,3	182,1	3,3	57,4	309,7	122,4	208,5

TABELA A3.2 – RESULTADOS DE GERAÇÃO DE ESCUMA EM FUNÇÃO DE VARIAÇÃO DA VELOCIDADE ASCENSIONAL DO ESGOTO – ESGOTO EFLUENTE E ESCUMA DO REATOR 1 OPERANDO COM 120% DE SUA CAPACIDADE DE PROJETO

COLETA	EFLUENTE REATOR 1										EFICIÊNCIA		ESCUMA REATOR 1						
	VAZÃO L/s	TDH h	temp. °C	pH	DQO mg/L	SSed. mL/L	O&G mg/L	ST mg/L	STF mg/L	STV mg/L	E <sub>DQO</sub> %	E <sub>O&amp;G</sub> %	QUANTIDADE		ST %	STF %	STV %	O&G mg/Kg	
													interna (mL)	externa (mL)					
1	119,0	5,4	24,5	6,9	99,6	0,2	131,2	570,0	158,0	412,0	84,63	48,47	1230	120	13,6	4,2	9,4	987,4	
2	119,2	5,4	23,3	6,9	72,7	<0,1	167,6	446,0	214,0	232,0	84,06	-72,78	1020	10	12,4	3,6	8,8	1177,3	
3	104,9	6,1	24,7	6,9	71,9	<0,1	175,7	76,0	18,0	58,0	88,27	-71,41	1270	25	13,9	3,8	10,1	1104,8	
4	103,6	6,2	22,7	7,0	45,9	<0,1	148,9	326,0	214,0	112,0	75,99	-44,71	740	10	NA	NA	NA	1119,4	
5	105,6	6,1	22,1	7,0	78,0	<0,1	98,7	336,0	134,0	202,0	84,34	3,80	940	20	10,9	3,4	7,5	1081,6	
6	118,4	5,4	23,6	7,1	54,1	0,1	98,2	376,0	238,0	138,0	75,03	4,01	1060	10	NA	NA	NA	987,9	
7	100,8	6,3	22,9	6,9	66,2	<0,1	131,5	412,0	182,0	230,0	79,76	-18,47	1500	20	12,9	3,7	9,2	1071,1	
MÉDIA		110,2	5,8	23,4	6,9	69,8	0,1	136,0	363,1	165,4	198	81,73	-21,59	1109	31	13	4	9	1075,6
DESVIO PADRÃO		8,2	0,4	0,9	0,1	17,3	0,1	30,6	151,0	74,2	114,4	4,9	44,5	247,8	39,8	1,2	0,3	1,0	69,1

Obs.: NA = não avaliado.

TABELA A3.3 – RESULTADOS DE GERAÇÃO DE ESCUMA EM FUNÇÃO DE VARIAÇÃO DA VELOCIDADE ASCENSIONAL DO ESGOTO – ESGOTO EFLUENTE E ESCUMA DO REATOR 2 OPERANDO COM 100% DE SUA CAPACIDADE DE PROJETO

COLETA	EFLUENTE REATOR 2								EFICIÊNCIA		ESCUMA REATOR 2							
	VAZÃO L/s	TDH h	temp. °C	pH	DQO mg/L	SSed. mL/L	O&G mg/L	ST mg/L	STF mg/L	STV mg/L	E <sub>DQO</sub> %	E <sub>O&amp;G</sub> %	QUANTIDADE		ST %	STF mg/L	STV mg/L	O&G mg/Kg
													interna (mL)	externa (mL)				
1	99,2	6,5	25,2	6,9	94,8	<0,1	35,4	418,0	110,0	308,0	85,37	86,09	1010	40	12,2	4,0	8,2	1227,6
2	99,4	6,4	23,5	6,9	91,8	<0,1	68,2	442,0	212,0	230,0	79,88	29,69	4000	30	14,5	4,7	9,8	1557,8
3	87,4	7,3	24,4	6,9	94,5	<0,1	78,7	466,0	312,0	154,0	84,59	23,22	3450	110	15,6	4,9	10,7	1086,7
4	86,4	7,4	22,7	6,9	45,5	<0,1	77,4	638,0	484,0	154,0	76,20	24,74	2780	25	15,3	5,1	10,2	1121,6
5	88,0	7,3	22,2	7,0	74,1	<0,1	77,6	272,0	96,0	176,0	85,12	24,37	1890	30	14,0	4,9	9,1	1131,3
6	98,7	6,5	23,7	7,1	53,4	<0,1	82,7	340,0	222,0	118,0	75,35	19,16	2620	20	12,3	4,4	7,9	845,7
7	84,0	7,6	23,6	6,9	67,0	<0,1	112,2	342,0	150,0	192,0	79,52	-1,08	4000	200	14,0	5,0	9,1	1225,7
MÉDIA	91,9	7,0	23,6	6,9	74,4	<0,1	76,0	416,9	226,6	190,3	80,9	29,5	2821	65	14,0	4,7	9,3	1170,9
DESVIO PADRÃO	6,9	0,5	1,0	0,1	20,2	0,0	22,6	118,6	135,6	62,6	4,2	26,9	1107,9	67,0	1,3	0,4	1,0	213,2

Obs.: NA = não avaliado.

TABELA A3.4 – RESULTADOS DE GERAÇÃO DE ESCUMA EM FUNÇÃO DE VARIAÇÃO DA VELOCIDADE ASCENSIONAL DO ESGOTO – ESGOTO EFLUENTE E ESCUMA DO REATOR 3 OPERANDO COM 80% DE SUA CAPACIDADE DE PROJETO

COLETA	EFLUENTE REATOR 3								EFICIÊNCIA		ESCUMA REATOR 3							
	VAZÃO L/s	TDH h	temp. °C	pH	DQO mg/L	SSed. mL/L	O&G mg/L	ST mg/L	STF mg/L	STV mg/L	E <sub>DQO</sub> %	E <sub>O&amp;G</sub> %	QUANTIDADE		ST %	STF mg/L	STV mg/L	O&G mg/Kg
													interna (mL)	externa (mL)				
1	79,3	8,1	24,5	6,8	58,4	0,1	26,4	426,0	162,0	264,0	90,99	89,63	555	10	11,9	3,7	8,3	1702,4
2	79,5	8,1	24,1	6,9	102,0	<0,1	75,4	452,0	236,0	216,0	77,64	22,27	4510	300	15,0	5,4	9,6	1378,8
3	70,0	9,1	24,5	6,9	125,1	<0,1	82,7	500,0	330,0	170,0	79,60	19,32	4000	190	10,9	3,8	7,1	1251,9
4	69,1	9,3	22,7	7,0	54,2	<0,1	87,5	284,0	200,0	84,0	71,65	14,98	3900	60	12,9	3,8	9,2	1971,6
5	70,4	9,1	22,1	7,0	76,4	<0,1	83,7	290,0	78,0	212,0	84,66	18,42	2600	45	13,8	4,8	9,0	1741,4
6	78,9	8,1	23,7	7,1	52,3	<0,1	87,6	330,0	212,0	118,0	75,86	14,37	3120	40	NA	NA	NA	1571,2
7	67,2	9,5	23,6	6,9	65,6	<0,1	78,6	348,0	166,0	182,0	79,96	29,19	4800	400	14,9	5,0	9,9	1341,9
MÉDIA	73,5	8,8	23,6	6,9	76,3	0,1	74,6	375,7	197,7	178,0	80,0	29,7	3355	149	13,2	4,4	8,8	1565,6
DESVIO PADRÃO	5,5	0,6	0,9	0,1	27,5	0,0	21,7	84,1	77,2	61,3	6,3	26,9	1449,2	151,3	1,6	0,8	1,0	257,5

Obs.: NA = não avaliado.

TABELA A3.5 – RESULTADOS DE GERAÇÃO DE ESCUMA EM FUNÇÃO DE VARIAÇÃO DA VELOCIDADE ASCENSIONAL DO ESGOTO – TAXA DE GERAÇÃO DE ESCUMA DO REATOR 1

TAXA DE GERAÇÃO DE ESCUMA	DIAS DE ACÚMULO DE ESCUMA		7	6	6	8	7	7	7	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
	DQO APLICADA (kg/d)		6.663	4.699	5.559	1.711	4.544	2.216	2.849	4.034	1.827
INTERNA	VOLUME ACUMULADO	POR DIA (mL/d) EM CADA TUBO	176	170	211	92	134	151	214	164	43
		POR ÁREA (mL/m <sup>2</sup> d)	5.594	5.412	6.739	2.945	4.275	4.821	6.822	5.230	1371
		TOTA (L/d)	463	448	558	244	354	399	566	433	113
	ST ACUMULADOS (gST/d)		63.042	55.435	77.558	NC	38.620	NC	72.643	61.460	15.368
	L ESCUMA / kg DQO APLICADA		0,07	0,10	0,10	0,14	0,08	0,18	0,20	0,12	0,05
	g ST / kg DQO APLICADA		9,46	11,80	13,95	NC	8,50	NC	25,49	13,84	6,85
	EXTERNA	VOLUME ACUMULADO	POR DIA (mL/d) EM CADA TUBO	17,14	1,67	4,17	1,25	2,86	1,43	2,86	4,48
POR ÁREA (mL/m <sup>2</sup> d)			546	53	133	40	91	45	91	143	181
TOTA (L/d)			119	12	29	8,70	20	10	20	31	39
ST ACUMULADOS (gST/d)			16.230	1.434	4.029	NC	2.168	NC	2.556	5.283	6192
L ESCUMA / kg DQO APLICADA			0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
g ST / kg DQO APLICADA			2,44	0,31	0,72	NC	0,48	NC	0,90	0,97	0,85
TOTAL REATOR 1		L ESCUMA TOTAL/ kg DQO APLICADA		0,09	0,10	0,11	0,15	0,08	0,18	0,21	0,13
	g ST TOTAL/ kg DQO APLICADA		11,90	12,10	14,68	NC	8,98	NC	26,39	14,81	6,78

Obs.: NC = não calculado devido á ausência de resultados de teores de sólidos totais das amostras



TABELA A3.6 – RESULTADOS DE GERAÇÃO DE ESCUMA EM FUNÇÃO DE VARIAÇÃO DA VELOCIDADE ASCENSIONAL DO ESGOTO – TAXA DE GERAÇÃO DE ESCUMA DO REATOR 2

TAXA DE GERAÇÃO DE ESCUMA	DIAS DE ACÚMULO DE ESCUMA	7	6	6	8	7	7	7	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
	DQO APLICADA (kg/d)	5.552	3.916	4.633	1.426	3.786	1.847	2.375	3.362	1.523
INTERNA	VOLUME ACUMULADO	POR DIA (mL/d) EM CADA TUBO								
		144,29	666,67	575,00	347,50	270,00	374,29	571,43	421,31	188,70
		POR ÁREA (mL/m <sup>2</sup> d)								
		4.594	21.225	18.306	11.063	8.596	11.916	18.193	13.413	6.008
		TOTA (L/d)								
		380	1.757	1.516	916	712	987	1.506	1.111	497
		ST ACUMULADOS (gST/d)								
	46.251	254.823	236.307	140.338	99.645	121.359	211.190	158.559	77.332	
	L ESCUMA / kg DQO APLICADA									
	0,07	0,45	0,33	0,64	0,19	0,53	0,63	0,41	0,22	
	g ST / kg DQO APLICADA									
	8,33	65,08	51,01	98,39	26,32	65,71	88,94	57,68	32,19	
EXTERNA	VOLUME ACUMULADO	POR DIA (mL/d) EM CADA TUBO								
		5,71	5,00	18,33	3,13	4,29	2,86	28,57	9,70	9,90
		POR ÁREA (mL/m <sup>2</sup> d)								
		182	159	584	99	136	91	910	309	315
		TOTA (L/d)								
		40	35	128	22	30	20	199	67	69
		ST ACUMULADOS (gST/d)								
	4.834	5.043	19.883	3.330	4.174	2.445	27.865	9.653	10.023	
	L ESCUMA / kg DQO APLICADA									
	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,08	0,02	0,03	
	g ST / kg DQO APLICADA									
	0,87	1,29	4,29	2,33	1,10	1,32	11,73	3,28	3,91	
TOTAL REATOR 2	L ESCUMA TOTAL/ kg DQO APLICADA									
	0,08	0,46	0,35	0,66	0,20	0,55	0,72	0,43	0,24	
	g ST TOTAL/ kg DQO APLICADA									
	9,20	66,36	55,30	100,73	27,42	67,04	100,67	60,96	34,30	

TABELA A3.7 – RESULTADOS DE GERAÇÃO DE ESCUMA EM FUNÇÃO DE VARIAÇÃO DA VELOCIDADE ASCENSIONAL DO ESGOTO – TAXA DE GERAÇÃO DE ESCUMA DO REATOR 3

TAXA DE GERAÇÃO DE ESCUMA	DIAS DE ACÚMULO DE ESCUMA								MÉDIA	DESVIO PADRÃO
	7	6	6	8	7	7	7	7		
	DQO APLICADA (kg/d)									
	4.442	3.133	3.706	1.141	3.029	1.477	1.900	2.690	1.218	
INTERNA	VOLUME ACUMULADO	POR DIA (mL/d) EM CADA TUBO								
		79,29	751,67	666,67	487,50	371,43	445,71	685,71	498,28	231,74
		POR ÁREA (mL/m <sup>2</sup> d)								
		2.524	23.931	21.225	15.521	11.825	14.190	21.831	15.864	7.378
		TOTA (L/d)								
		209	1.981	1.757	1.285	979	1.175	1.808	1.314	611
		ST ACUMULADOS (gST/d)								
		24.955	296.824	191.381	166.163	135.119	NC	269.515	180.660	98.013
		L ESCUMA / kg DQO APLICADA								
		0,05	0,63	0,47	1,13	0,32	0,80	0,95	0,62	0,37
	g ST / kg DQO APLICADA									
	5,62	94,75	51,64	145,63	44,61	NC	141,88	80,69	56,46	
EXTERNA	VOLUME ACUMULADO	POR DIA (mL/d) EM CADA TUBO								
		1,43	50,00	31,67	7,50	6,43	5,71	57,14	22,84	23,27
		POR ÁREA (mL/m <sup>2</sup> d)								
		45	1.592	1.008	239	205	182	1.819	727	741
		TOTA (L/d)								
		10	348	220	52	45	40	398	159	162
		ST ACUMULADOS (gST/d)								
		1.187	52.103	23.989	6.746	6.171	NC	59.268	24.911	25.158
		L ESCUMA / kg DQO APLICADA								
		0,00	0,11	0,06	0,05	0,01	0,03	0,21	0,07	0,07
	g ST / kg DQO APLICADA									
	0,27	16,63	6,47	5,91	2,04	NC	31,20	10,42	11,66	
TOTAL REATOR 3	L ESCUMA TOTAL/ kg DQO APLICADA									
	0,05	0,74	0,53	1,17	0,34	0,82	1,16	0,69	0,41	
	g ST TOTAL/ kg DQO APLICADA									
	5,89	111,39	58,11	151,54	46,64	NC	173,08	91,11	64,98	

Obs.: NC = não calculado devido á ausência de resultados de teores de sólidos totais das amostras

TABELA A3.8 – RESULTADOS DE GERAÇÃO DE ESCUMA EM FUNÇÃO DA RETIRADA DE LODO – ESGOTO AFLUENTE À ETE VASSOURAL

COLETA	DATA	HORÁRIO	PLUVIOSIDADE (mm)	TEMPERATURA (°C)		VAZÃO (L/s)	pH	DQO (mg/L)	SSed. (mL/L)	O&G (mg/L)	ST (mg/L)	STF (mg/L)	STV (mg/L)
				AR	ESGOTO								
1	17/3/15	14:30	0	30,0	22,2	271,2	7,3	567,3	3,5	115,6	908,0	392,0	516,0
2	20/3/15	14:30	0	22,3	22,5	165,5	7,2	712,1	0,5	91,2	1386,0	474,0	912,0
3	30/3/15	14:00	15	25,7	25,7	246,1	7,3	579,0	4,0	110,3	582,0	152,0	430,0
4	1/4/15	14:10	0	27,6	22,3	269,5	7,2	481,3	4,0	109,4	972,0	470,0	502,0
5	6/4/15	13:30	0	25,1	22,4	261,2	7,2	773,2	4,0	157,0	1198,0	598,0	600,0
6	10/4/15	16:00	0	34,2	22,7	258,2	7,1	684,7	3,5	212,4	1402,0	606,0	796,0
7	14/4/15	14:00	2	29,7	23,0	269,8	7,2	689,8	5,0	215,6	1370,0	702,0	668,0
8	17/4/15	15:00	0	27,0	22,3	242,0	7,4	756,6	7,0	32,4	1634,0	730,0	904,0
MÉDIA			2,13	27,7	22,89	247,94	7,24	655,48	3,94	130,49	1181,50	515,50	666,00
DESVIO PADRÃO			5,25	3,62	1,17	35,05	0,08	102,33	1,80	61,99	339,98	187,83	186,51

TABELA A3.9 – RESULTADOS DE GERAÇÃO DE ESCUMA EM FUNÇÃO DA RETIRADA DE LODO – ESGOTO EFLUENTE E ESCUMA DO REATOR 1 OPERANDO COM RETIRADAS A CADA TRÊS DIAS DE 50 M<sup>3</sup> DE LODO

COLETA	EFLUENTE REATOR 1								EFICIÊNCIA		QUANTIDADE		ESCUMA REATOR 1			
	temp. °C	pH	DQO mg/L	SSed. mL/L	O&G mg/L	ST mg/L	STF mg/L	STV mg/L	E <sub>DQO</sub> %	E <sub>O&amp;G</sub> %	interna (mL)	externa (mL)	ST %	STF %	STV %	O&G mg/Kg
1	23,4	7,0	72,0	<0,1	151,4	388,0	174,0	214,0	87,31	-30,97	1200	20	12,7	3,6	9,1	1.025,9
2	22,9	6,9	103,8	<0,1	81,6	464,0	238,0	226,0	85,42	10,53	1600	50	11,9	3,6	8,3	1.027,8
3	23,3	7,0	93,9	0,3	127,4	466,0	148,0	318,0	83,78	-15,50	3700	30	14,3	4,2	10,1	1.043,7
4	22,7	6,9	71,9	<0,1	89,6	418,0	268,0	150,0	85,06	18,10	2000	10	15,9	4,5	11,4	1.047,6
5	22,2	6,9	96,9	<0,1	115,0	452,0	286,0	166,0	87,47	26,75	1930	10	13,2	3,7	9,5	1.070,0
6	22,3	7,0	124,8	<0,1	36,0	604,0	380,0	224,0	81,77	83,05	1900	50	13,0	3,2	9,8	1.181,0
7	22,6	6,8	105,0	<0,1	127,9	608,0	424,0	184,0	84,78	40,68	2100	40	13,1	3,3	9,8	1.347,6
8	22,9	6,9	156,6	<0,1	16,2	576,0	430,0	146,0	79,30	50,00	2000	50	12,4	3,1	9,3	1.271,7
MÉDIA	22,8	6,9	103,1	0,1	93,1	497,0	293,5	203,5	84,4	22,8	2054	33	13,3	3,6	9,7	1.126,9
DESVIO PADRÃO	0,4	0,1	27,8	0,1	47,2	86,4	108,5	56,2	2,7	36,3	726,2	17,5	1,2	0,5	0,9	124,8

TABELA A3.10 – RESULTADOS DE GERAÇÃO DE ESCUMA EM FUNÇÃO DA RETIRADA DE LODO – ESGOTO EFLUENTE E ESCUMA DO REATOR 2 OPERANDO COM RETIRADAS SEMANAIS DE 50 M<sup>3</sup> DE LODO

COLETA	EFLUENTE REATOR 2								EFICIÊNCIA		QUANTIDADE		ESCUMA REATOR 2			
	temp. °C	pH	DQO mg/L	SSed. mL/L	O&G mg/L	ST mg/L	STF mg/L	STV mg/L	E <sub>DQO</sub> %	E <sub>O&amp;G</sub> %	interna (mL)	externa (mL)	ST %	STF %	STV %	O&G mg/Kg
1	23,1	7,0	68,5	<0,1	137,0	402,0	176,0	226,0	87,9	-18,5	3300	50	14,3	4,6	9,7	1.082,6
2	22,9	6,9	91,4	<0,1	68,6	512,0	242,0	270,0	87,2	24,8	2500	100	12,3	3,9	8,4	947,7
3	23,1	7,0	93,4	<0,1	121,2	502,0	216,0	286,0	83,9	-9,9	3350	100	14,4	4,3	10,1	1.075,6
4	22,7	7,0	84,4	<0,1	71,4	444,0	290,0	154,0	82,5	34,7	2500	10	15,8	4,3	11,5	977,3
5	22,2	6,8	106,2	<0,1	121,4	462,0	294,0	168,0	86,3	22,7	3050	20	14,0	4,2	9,8	988,7
6	22,4	7,0	150,0	<0,1	18,6	672,0	438,0	234,0	78,1	91,2	2150	150	12,2	3,3	8,9	1.276,4
7	22,8	6,9	101,4	<0,1	131,6	580,0	402,0	178,0	85,3	39,0	3200	70	13,8	3,3	10,5	1.285,9
8	22,9	7,0	162,9	<0,1	9,6	604,0	452,0	152,0	78,5	70,4	2400	100	13,2	3,5	9,7	1.340,1
MÉDIA	22,8	6,9	107,3	<0,1	84,9	522,3	313,8	208,5	83,7	31,8	2806	75	13,7	3,9	9,8	1.121,8
DESVIO PADRÃO	0,3	0,1	32,6	0,0	50,8	90,4	104,9	52,8	3,8	36,8	468,6	46,9	1,2	0,5	0,9	156,3

TABELA A3.11 – RESULTADOS DE GERAÇÃO DE ESCUMA EM FUNÇÃO DA RETIRADA DE LODO – ESGOTO EFLUENTE E ESCUMA DO REATOR 3 OPERANDO COM RETIRADAS QUINZENAIS DE 50 M<sup>3</sup> DE LODO

COLETA	EFLUENTE REATOR 3								EFICIÊNCIA		QUANTIDADE		ESCUMA REATOR 3			
	temp. °C	pH	DQO mg/L	SSed. mL/L	O&G mg/L	ST mg/L	STF mg/L	STV mg/L	E <sub>DQO</sub> %	E <sub>O&amp;G</sub> %	interna (mL)	externa (mL)	ST %	STF %	STV %	O&G mg/Kg
1	23,1	7,0	97,0	<0,1	67,4	418,0	190,0	228,0	82,9	41,7	5.180	150	15,1	5,4	9,6	1.212,6
2	22,9	6,8	112,8	<0,1	NA	534,0	282,0	252,0	84,2	NC	3.800	300	13,1	4,3	8,8	1.127,2
3	23,5	7,0	103,6	<0,1	98,5	462,0	178,0	284,0	82,1	10,7	4.300	300	13,8	4,4	9,4	1.782,3
4	23,1	7,0	90,7	<0,1	67,8	448,0	294,0	154,0	81,2	38,0	4.200	100	15,0	5,9	9,1	1.371,1
5	22,4	6,8	96,0	<0,1	39,0	444,0	286,0	158,0	87,6	75,2	4.350	50	14,7	4,7	10,0	1.178,9
6	22,6	6,9	114,3	<0,1	NA	576,0	410,0	166,0	83,3	100,0	4.250	100	13,1	4,0	9,1	1.577,4
7	22,7	6,9	130,3	<0,1	32,5	610,0	388,0	222,0	81,1	84,9	4.200	100	14,2	3,9	10,2	1.571,1
8	22,9	7,0	162,9	<0,1	28,7	604,0	452,0	152,0	78,5	11,4	2.400	100	14,9	4,1	10,8	1.481,0
MÉDIA	22,9	6,9	113,5	<0,1	55,7	512,0	310,0	202,0	82,6	51,7	4.085	150	14,2	4,6	9,6	1.412,7
DESVIO PADRÃO	0,3	0,1	23,7	0,0	27,1	78,1	99,8	51,2	2,7	35,5	782,8	96,4	0,8	0,7	0,7	230,4

Obs.: NA = não analisado.

TABELA A3.12 – TAXA DE GERAÇÃO DE ESCUMA DO REATOR 1, OPERANDO COM RETIRADAS A CADA TRÊS DIAS DE 50 M<sup>3</sup> DE LODO

TAXA DE GERAÇÃO DE ESCUMA	DIAS DE ACÚMULO DE ESCUMA	4	3	10	2	5	4	4	3	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
	DQO APLICADA (kg/d)	4.430	3.394	4.104	3.735	5.817	5.092	5.360	5.273	4.650	863
INTERNA	VOLUME POR DIA (mL/d) EM CADA TUBO	300	533	370	1.000	386	475	525	667	532	221
	ACUMULADO POR ÁREA (mL/m <sup>2</sup> d)	9.551	16.980	11.780	31.837	12.289	15.123	16.714	21.225	16.937	7.036
	TOTA (L/d)	791	1.406	975	2.636	1.018	1.252	1.384	1.757	1.402	583
	ST ACUMULADOS (gST/d)	100.594	167.726	139.281	418.613	134.009	162.654	181.298	218.445	190.328	98.628
	L ESCUMA / kg DQO APLICADA	0,18	0,41	0,24	0,71	0,17	0,25	0,26	0,33	0,32	0,18
EXTERNA	g ST / kg DQO APLICADA	22,71	49,42	33,94	112,07	23,04	31,95	33,83	41,43	43,55	29,06
	VOLUME POR DIA (mL/d) EM CADA TUBO	5,00	16,67	3,00	5,00	2,00	12,50	10,00	16,67	8,85	5,95
	ACUMULADO POR ÁREA (mL/m <sup>2</sup> d)	159	531	96	159	64	398	318	531	282	189
	TOTA (L/d)	35	116	21	35	14	87	70	116	62	41
	ST ACUMULADOS (gST/d)	4.424	13.832	2.980	5.523	1.832	11.295	9.113	14.411	7.926	4.918
TOTAL REATOR 1	L ESCUMA TOTAL/ kg DQO APLICADA	0,19	0,45	0,24	0,72	0,18	0,26	0,27	0,36	0,33	0,18
	g ST TOTAL/ kg DQO APLICADA	23,71	53,49	34,67	113,55	23,35	34,16	35,53	44,16	45,33	29,29

TABELA A3.13 – TAXA DE GERAÇÃO DE ESCUMA DO REATOR 2, OPERANDO COM RETIRADAS SEMANAIS DE 50 M<sup>3</sup> DE LODO

TAXA DE GERAÇÃO DE ESCUMA	DIAS DE ACÚMULO DE ESCUMA	4	3	10	2	5	4	4	3	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
	DQO APLICADA (kg/d)	4.430	3.394	4.104	3.735	5.817	5.092	5.360	5.273	4.650	863
INTERNA	VOLUME POR DIA (mL/d) EM CADA TUBO	825	833	335	1.250	610	538	800	800	749	268
	ACUMULADO POR ÁREA (mL/m <sup>2</sup> d)	26.266	26.531	10.665	39.796	19.421	17.112	25.470	25.470	23.841	8.547
	TOTA (L/d)	2.175	2.197	883	3.295	1.608	1.417	2.109	2.109	1.974	708
	ST ACUMULADOS (gST/d)	310.342	269.542	126.901	519.642	224.641	172.437	291.658	278.162	274.166	117.351
	L ESCUMA / kg DQO APLICADA	0,49	0,65	0,22	0,88	0,28	0,28	0,39	0,40	0,45	0,22
EXTERNA	g ST / kg DQO APLICADA	70,05	79,41	30,92	139,11	38,62	33,87	54,42	52,75	62,40	35,38
	VOLUME POR DIA (mL/d) EM CADA TUBO	12,5	33,3	10,0	5,0	4,0	37,5	17,5	33,3	19,1	14
	ACUMULADO POR ÁREA (mL/m <sup>2</sup> d)	398	1.061	318	159	127	1.194	557	1.061	610	434
	TOTA (L/d)	87	232	70	35	28	261	122	232	133	95
	ST ACUMULADOS (gST/d)	12.408	28.452	9.996	5.485	3.887	31.747	16.836	30.585	17.425	11.379
TOTAL REATOR 2	L ESCUMA TOTAL/ kg DQO APLICADA	0,51	0,72	0,23	0,89	0,28	0,33	0,42	0,44	0,48	0,23
	g ST TOTAL/ kg DQO APLICADA	72,85	87,80	33,36	140,58	39,29	40,10	57,56	58,55	66,26	35,17

TABELA A3.14 – TAXA DE GERAÇÃO DE ESCUMA DO REATOR 3, OPERANDO COM RETIRADAS QUINZENAIS DE 50 M<sup>3</sup> DE LODO

TAXA DE GERAÇÃO DE ESCUMA	DIAS DE ACÚMULO DE ESCUMA	4	3	10	2	5	4	4	3	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
	DQO APLICADA (kg/d)	4.430	3.394	4.104	3.735	5.817	5.092	5.360	5.273	4.650	863
INTERNA	VOLUME POR DIA (mL/d) EM CADA TUBO	1.295	1.267	430	2.100	870	1.063	1.050	800	1.109	487
	ACUMULADO POR ÁREA (mL/m <sup>2</sup> d)	41.229	40.327	13.690	66.858	27.698	33.827	33.429	25.470	35.316	15.508
	TOTA (L/d)	3.414	3.339	1.134	5.536	2.293	2.801	2.768	2.109	2.924	1.284
	ST ACUMULADOS (gST/d)	513.770	437.417	156.426	832.587	337.131	366.913	391.659	314.013	418.739	196.579
	L ESCUMA / kg DQO APLICADA	0,77	0,98	0,28	1,48	0,39	0,55	0,52	0,40	0,67	0,40
	g ST / kg DQO APLICADA	115,97	128,88	38,12	222,89	57,96	72,06	73,08	59,55	96,06	59,53
EXTERNA	VOLUME POR DIA (mL/d) EM CADA TUBO	37,50	100,00	30,00	50,00	10,00	25,00	25,00	33,33	38,85	27,23
	ACUMULADO POR ÁREA (mL/m <sup>2</sup> d)	1.194	3.184	955	1.592	318	796	796	1.061	1.237	867
	TOTA (L/d)	261	696	209	348	70	174	174	232	270	189
	ST ACUMULADOS (gST/d)	39.260	91.129	28.799	52.312	10.226	22.782	24.608	34.527	37.955	24.808
	L ESCUMA / kg DQO APLICADA	0,06	0,20	0,05	0,09	0,01	0,03	0,03	0,04	0,07	0,06
	g ST / kg DQO APLICADA	8,86	26,85	7,02	14,00	1,76	4,47	4,59	6,55	9,26	7,98
TOTAL REATOR 3	L ESCUMA TOTAL/ kg DQO APLICADA	0,83	1,19	0,33	1,58	0,41	0,58	0,55	0,44	0,74	0,44
	g ST TOTAL/ kg DQO APLICADA	124,84	155,72	45,14	236,90	59,72	76,54	77,67	66,10	105,33	64,44

**Apêndice 4 - Dados do acompanhamento do desaguamento de lodo de esgoto e de espuma**

TABELA A4.1 - AVALIAÇÃO DE DESAGUAMENTO DE LODO DE ESGOTO E ESCUMA EM LEITO DE SECAGEM NA ETE VASSOURAL (GUARAPUAVA)

DESCARGA		DESCARGA 1						DESCARGA 2			
Dia		0	3	6	21	26	36	0	8	11	13
Amostra	Data	11/06	14/06	17/06	02/07	09/07	18/07	18-07	26/07	29/07	31/07
	Temperatura (°C)	20,30	19,30	17,90	12,70	12,00	7,10	nc	nc	nc	25,00
	ST (%)	0,86	4,90	12,89	10,18	17,31	26,06	6,52	13,81	13,63	19,36
Lodo	STV (%)	0,51	2,78	7,43	5,89	10,08	11,35	4,52	8,08	7,91	10,99
	STF (%)	0,36	2,12	5,46	4,29	7,23	14,71	1,99	5,72	5,72	8,37
	STV / ST	0,59	0,57	0,58	0,58	0,58	0,44	0,69	0,59	0,58	0,57
	ST (%)	0,36	2,26	2,22	5,22	14,29	20,04	3,50	18,65	19,78	26,61
Escuma	STV (%)	0,21	1,45	2,14	3,21	8,40	10,59	3,21	10,00	12,02	9,44
	STF (%)	0,15	0,81	0,08	2,01	5,89	9,46	0,29	8,65	7,76	17,17
	STV / ST	0,58	0,64	0,96	0,61	0,59	0,53	0,92	0,54	0,61	0,35

DESCARGA		DESCARGA 3				DESCARGA 4			DESCARGA 5			
Dia		0	2	5	8	0	4	7	0	3	5	7
Amostra	Data	31/07	02/08	05/08	08/08	15/08	19/08	22/08	27/08	30/08	02/09	05/09
	Temperatura (°C)	25,00	27,40	26,50	23,90	16,70	23,00	27,00	5,60	14,00	16,40	17,20
	ST (%)	2,15	15,28	16,55	19,79	3,72	15,52	15,69	4,18	18,48	16,98	20,53
Lodo	STV (%)	1,28	9,28	9,56	1,84	3,69	8,05	5,29	4,14	2,99	5,65	12,39
	STF (%)	0,86	6,00	6,98	17,96	0,03	7,47	10,40	0,05	15,50	11,34	8,14
	STV / ST	0,60	0,61	0,58	0,09	0,99	0,52	0,34	0,99	0,16	0,33	0,60
	ST (%)	0,54	16,60	16,29	23,60	0,92	7,53	17,84	0,91	17,36	20,11	26,18
Escuma	STV (%)	0,31	10,29	9,86	10,65	0,91	2,91	5,75	0,90	6,35	7,73	18,41
	STF (%)	0,24	6,31	6,43	12,95	0,01	4,62	11,92	0,01	11,01	12,37	7,76
	STV / ST	0,57	0,62	0,61	0,45	0,99	0,39	0,32	0,99	0,37	0,38	0,70

NOTA: nc = não coletada



TABELA A4.2 - PLUVIOSIDADE NA ETE VASSOURAL (GUARAPUAVA)

Data	11/06	12/06	13/06	14/06	15/06	16/06	17/06	18/06	19/06
Chuva (mm)	0	0	0	6	19	5	7	0	40
Data	20/06	21/06	22/06	23/06	24/06	25/06	26/06	27/06	28/06
Chuva (mm)	135	92	0	5	79	9,5	1	4	0
Data	29/06	30/06	01/07	02/07	03/07	04/07	05/07	06/07	07/07
Chuva (mm)	20	4	0	0	0	0	0	0	0
Data	08/07	09/07	10/07	11/07	12/07	13/07	14/07	15/07	16/07
Chuva (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Data	17/07	18/07	19/07	20/07	21/07	22/07	23/07	24/07	25/07
Chuva (mm)	0	0	0	0	65	25	0	0	0
Data	26/07	27/07	28/07	29/07	30/07	31/07	01/08	02/08	03/08
Chuva (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Data	04/08	05/08	06/08	07/08	08/08	09/08	10/08	11/08	12/08
Chuva (mm)	13	0	0	0	0	5	0	0	0
Data	13/08	14/08	15/08	16/08	17/08	18/08	19/08	20/08	21/08
Chuva (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Data	22/08	23/08	24/08	25/08	26/08	27/08	28/08	29/08	30/08
Chuva (mm)	0	0,5	0	0	40	0	0	0	0
Data	31/08	01/09	02/09	03/09	04/09	05/09			
Chuva (mm)	0	0	2	0	0	0			

FONTE: Estação pluviométrica própria.

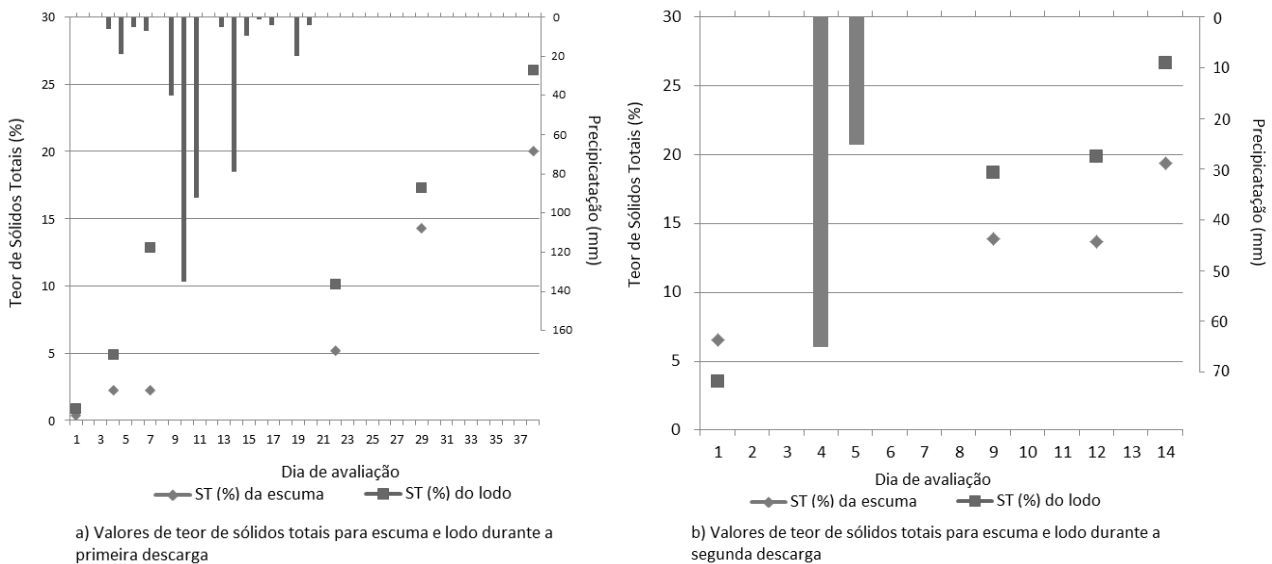
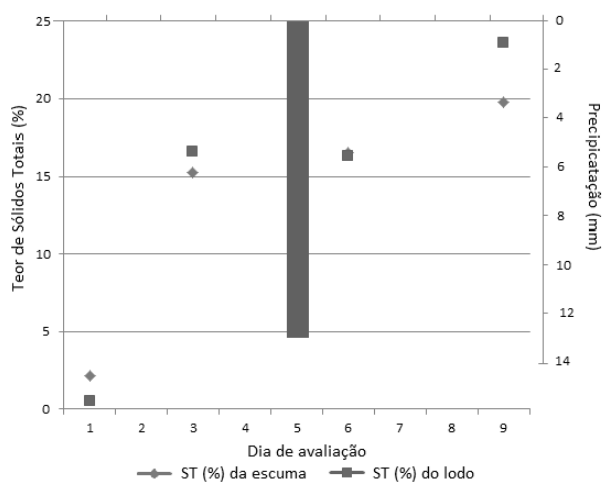
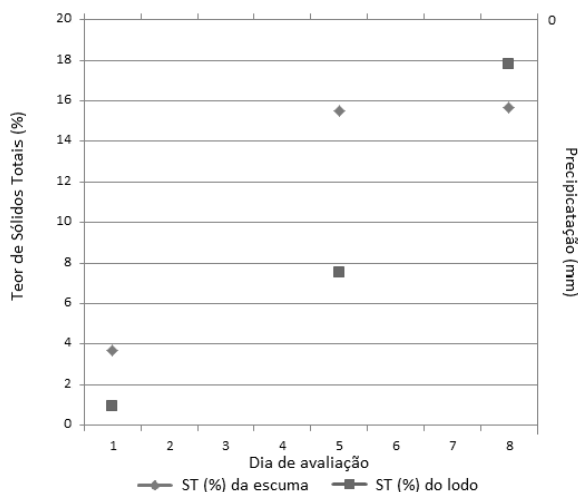


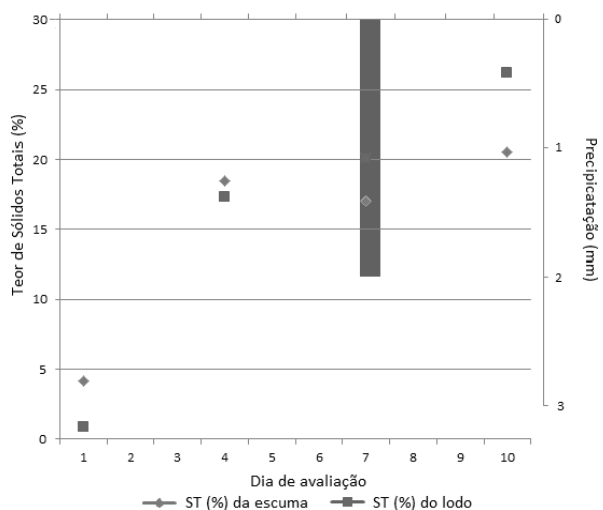
FIGURA A4.1 – DESEMPENHO DOS LEITOS DE SECAGEM NA ETE VASSOURAL EM FUNÇÃO DA PLUVIOSIDADE, a) PRIMEIRA DESCARGA E b) SEGUNDA DESCARGA



c) Valores de teor de sólidos totais para espuma e lodo durante a terceira descarga



d) Valores de teor de sólidos totais para espuma e lodo durante a quarta descarga



e) Valores de teor de sólidos totais para espuma e lodo durante a quinta descarga

FIGURA A4.2 – DESEMPENHO DOS LEITOS DE SECAGEM NA ETE VASSOURAL EM FUNÇÃO DA PLUVIOSIDADE, c) TERCEIRA DESCARGA, d) QUARTA DESCARGA E e) QUINTA DESCARGA

TABELA A4.3 - PLUVIOSIDADE NA ETE MENINO DEUS (RMC)

Data	23/04	24/04	25/04	26/04	27/04	28/04	29/04	30/04	01/05	02/05
Chuva (mm)	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	3,4	0,0	0,0	1,0	0,0
Data	03/05	04/05	05/05	06/05	07/05	08/05	09/05	10/05	11/05	12/05
Chuva (mm)	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	1,4	1,6	0,0
Data	13/05	14/05	15/05	16/05	17/05	18/05	19/05	20/05	21/05	22/05
Chuva (mm)	0,0	7,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,2
Data	23/05	24/05	25/05	26/05	27/05	28/05	29/05	Total no período		
Chuva (mm)	17,6	2,0	7,0	24,8	0,6	0,0	0,0	86,2 mm		

FONTE: ESTAÇÃO CLIMATOLÓGICA DE QUATRO BARRAS, SIMEPAR (2014)

TABELA A4.4 - RESULTADOS DE SÓLIDOS TOTAIS DURANTE O DESAGUAMENTO DE ESCUMA E LODO DE ESGOTO EM LEITO DE SECAGEM NA ETE MENINO DEUS (RMC)

DATA	23/04	25/04	28/04	05/05	07/05	12/05	16/05	19/05	26/05	29/05	
Dia de experimento	0	2	5	12	14	19	23	26	33	36	
Tempo	Chuva	Sol	Chuva	Nublado	Sol	Sol	Nublado	Sol	Sol	Nublado	
Temperatura (°C)	19	19	15	22	25	19	21	26	16	14	
Lodo A	Altura (cm)	37	12	12	11	10	10	10	7	9	7
	ST (%)	3,52	16,77	17,69	23,19	27,36	23,6	23,25	30,10	21,30	22,35
Lodo B	Altura (cm)	44	16	19	14	14	13	13	12	15	12
	ST (%)	3,52	14,56	19,78	18,20	20,71	21,21	24,74	26,50	20,18	21,95
Escuma 20 cm A	Altura (cm)	22	15	15	12	11	10	6	5	5	5
	ST (%)	4,08	0,51	1,08	1,31	6,64	8,10	13,21	17,47	11,90	10,18
Escuma 20 cm B	Altura (cm)	18	13	12	8	7	5	5	5	5	5
	ST (%)	3,31	0,86	5,24	11,72	12,27	14,20	16,65	33,31	19,46	23,58
Escuma 20 cm C	Altura (cm)	18	13	13	7	7	6	7	7	11	7
	ST (%)	4,28	3,24	9,14	15,14	13,80	18,30	20,91	30,53	20,90	28,17
Escuma 45 cm sem dreno A	Altura (cm)	35	30	30	26	26	23	23	20	24	24
	ST (%)	8,56	9,32	11,24	16,70	18,71	18,57	17,48	19,7	18,43	9,95
Escuma 45 cm sem dreno B	Altura (cm)	38	35	35	30	30	27	25	25	29	26
	ST (%)	7,32	1,79	0,45	2,87	5,30	9,5	8,45	11,54	7,04	4,05
Escuma 45 cm com dreno A	Altura (cm)	39	34	32	27	27	25	25	23	27	26
	ST (%)	4,88	1,02	0,82	5,30	6,08	5,31	7,56	7,61	4,38	8,47
Escuma 45 cm com dreno B	Altura (cm)	40	35	32	27	27	26	25	23	27	27
	ST (%)	4,99	6,5	1,68	5,57	8	3,33	8,32	7,97	5,03	6,57
Escuma 45 cm com dreno C	Altura (cm)	35	30	28	23	23	20	19	18	22	22
	ST (%)	4,47	1,18	3,65	3,5	5,9	3,18	2,7	7,25	1,05	4,9

**Apêndice 5 - Dados da avaliação físico-química das misturas  
de lodo e espuma**

TABELA A5.1 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, ELEMENTOS NUTRIENTES, ELEMENTOS INORGÂNICOS, PODER CALORÍFICO E MICROBIOLÓGICA DE LODO DE ESGOTO E ESCUMA NA ETE VASSOURAL (GUARAPUAVA) ANTES DA MISTURA E HIGIENIZAÇÃO COM CAL

GRUPO	PARÂMETRO	UNIDADE	IE	Escuma		Lodo de esgoto		
				média	dp	média	dp	
Físico-químicas	Sólidos Totais	g/kg	-	228,7	38,5	202,9	37,3	
	Sólidos Fixos	g/kg de ST	-	528,0	152,8	592,6	205,5	
	Sólidos Voláteis	g/kg de ST	-	472,0	152,8	407,4	205,5	
	Óleos e Graxas	g/kg	-	5,1	3,2	3,7	3,9	
Elementos Nutrientes	Carbono Orgânico Total	%	± 4,7%	24,3	10,4	15,5	13,6	
	Fósforo Total	mg P/kg	± 6,3%	874,3	1005,6	1107,8	1399,2	
	Nitrogênio Kjeldhal	mg/kg	NE	3.303,13	2.864,38	3.181,48	2.666,28	
	Nitrogênio Amoniacal	mg/kg	± 1,7 %	40,64	19,38	27,22	14,77	
	Nitratos	mg N-NO <sub>3</sub> /kg	± 2,33 %	1,38	0,9	2,9	4,6	
	Nitritos	mg N-NO <sub>2</sub> /kg	± 0,14 %	4,9	7,6	1,3	0,6	
	Potássio	mgK/kg	± 5,9%	208,5	223,2	369,8	377,5	
	Cálcio	mgNa/kg	± 5,9%	280,3	188,9	466,8	381,1	
	Enxofre Total	mg S/kg	± 0,086 %	8,9	15,0	3,3	4,4	
	Sódio	mg Ca/kg	± 0,056 %	9.247,06	3.808,99	8.033,34	4.309,31	
	Magnésio	mg Mg/kg	± 0,37%	2.647,86	2.262,23	3.594,84	3.544,35	
	Elementos inorgânicos	Arsênio	mg As/kg	± 8,2%	< 10	0	< 10	0
		Bário	mg Ba/kg	± 6,0%	<10	0	< 10	0
Cádmio		mg Cd/kg	± 0,93 %	2,4	3,0	1,8	1,7	
Chumbo		mg Pb/kg	± 2,5 %	19,1	11,5	22,6	24,0	
Cobre		mg Cu/kg	± 2,5 %	66,1	19,4	88,0	61,9	
Cromo		mg Cr/kg	± 1,0%	12,2	11,2	16,8	21,0	
Mercúrio		mg Hg/kg	± 10,0%	< 10	0	< 10	0	
Molibdênio		mg Mo/kg	± 6,1%	< 10	0	< 10	0	
Níquel		mg Ni/kg	± 0,93 %	40,3	75,5	14,5	19,2	
Selênio		mg Se/kg	± 6,4%	< 10	0	< 10	0	
Zinco		mg Zn/kg	± 1,0 %	126,2	105,6	316,4	322,0	
Poder Calorífico		Poder Calorífico Superior	kcal/kg	± 10%	3740,8	874,5	1476,4	435,9
		Poder Calorífico Inferior	kcal /kg	± 10%	2326,0	1075,6	1088,2	493,1
Microbiológicas	<i>Salmonella</i>	UFC/g	± 6,8 %	19.374.080	27.475.560	15.014.800	19.709.036	
	Coliformes	UFC/g	± 2,0 %	24.206.240	48.081.958	5.252.000	26.367.092	
	Contagem Helmintos	Ovo/g de ST	± 5,0 %	1,4	0,5	< 1	0	

NOTA: IE = incerteza expandida, NE = não estabelecido, NA= não avaliado, dp = desvio padrão.

TABELA A5.2 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, ELEMENTOS NUTRIENTES, ELEMENTOS INORGÂNICOS, PODER CALORÍFICO E MICROBIOLÓGICA DE LODO DE ESGOTO E ESCUMA NA ETE VASSOURAL (GUARAPUAVA) APÓS A MISTURA E HIGIENIZAÇÃO COM CAL

GRUPO	PARÂMETRO	UNIDADE	IE	100% de lodo		10% de escuma		20% de escuma		50% de escuma		
				média	Dp	média	dp	média	dp	media	dp	
Físico-químicas	Sólidos Totais	g/kg	-	663,6	35,1	678,6	43,8	676,1	21,9	713,3	62,6	
	Sólidos Fixos	g/kg de ST	-	886,0	68,0	863,4	10,3	890,6	61,6	892,2	60,4	
	Sólidos Voláteis	g/kg de ST	-	114,0	68,0	136,6	10,3	109,4	61,6	107,8	60,4	
	Óleos e Graxas	g/kg	-	3,5	2,3	2,4	1,4	3,5	0,5	5,6	2,0	
Elementos Nutrientes	Carbono Orgânico Total	%	± 4,7%	13,6	3,2	10,5	3,8	11,1	1,8	12,3	2,0	
	Fósforo Total	mg P/kg	± 6,3%	31,5	49,9	16,8	14,8	23,2	35,9	19,6	14,1	
	Nitrogênio Kjeldhal	mg/kg	NE	35,06	9,83	29,06	5,62	27,96	4,28	29,20	7,66	
	Nitrogênio Amoniacal	mg/kg	± 1,7 %	22,9	5,4	21,4	2,9	20,8	4,5	19,5	3,3	
	Nitratos	mg N-NO <sub>3</sub> /kg	± 2,33 %	7,1	5,4	5,5	4,2	3,7	3,0	6,6	3,5	
	Nitritos	mg N-NO <sub>2</sub> /kg	± 0,14 %	4,3	3,1	4,4	2,3	2,2	2,5	2,3	2,5	
	Potássio	mgK/kg	± 5,9%	547,2	114,8	421,0	254,8	447,9	135,1	453,9	87,0	
	Cálcio	mgNa/kg	± 5,9%	6118,6	3224,6	3548,3	1152,4	2072,55	14,25	5994,5	2592,5	
	Enxofre Total	mg S/kg	± 0,086 %	5,8	1,9	5,5	2,2	6,4	1,1	6,8	2,9	
	Sódio	mg Ca/kg	± 0,056 %	8.134,81	7.549,75	5.001,56	586,01	8.226,22	3.672,60	5.396,98	1.343,81	
Elementos inorgânicos	Magnésio	mg Mg/kg	± 0,37%	2.441,20	727,97	2.046,32	86,86	1.946,98	612,52	2.480,78	730,09	
	Arsênio	mg As/kg	± 8,2%	< 10	0	< 10	0	< 10	0	< 10	0	
	Bário	mg Ba/kg	± 6,0%	< 10	0	< 10	0	< 10	0	< 10	0	
	Cádmio	mg Cd/kg	± 0,93 %	2,9	2,4	1,3	0,6	3,4	0,2	2,7	0,4	
	Chumbo	mg Pb/kg	± 2,5 %	106,2	50,0	72,0	17,4	81,0	23,5	75,3	23,0	
	Cobre	mg Cu/kg	± 2,5 %	6,9	0,5	5,4	1,1	3,6	2,8	3,4	3,1	
	Cromo	mg Cr/kg	± 1,0%	91,8	55,4	93,5	47,3	126,3	150,1	137,8	80,1	
	Mercúrio	mg Hg/kg	± 10,0%	< 10	0	< 10	0	< 10	0	< 10	0	
	Molibdênio	mg Mo/kg	± 6,1%	< 10	0	< 10	0	< 10	0	< 10	0	
	Níquel	mg Ni/kg	± 0,93 %	65,8	39,3	27,2	15,5	28,1	24,5	45,5	32,3	
	Selênio	mg Se/kg	± 6,4%	< 10	0	< 10	0	< 10	0	< 10	0	
	Zinco	mg Zn/kg	± 1,0 %	203,4	31,9	140,6	33,9	146,3	63,9	130,3	22,8	
	Poder Calorífico	Poder Calorífico Superior	kcal/kg	± 10%	4090,0	253,5	4220,0	477,8	4440,0	1011,4	4030,0	311,4
		Poder Calorífico Inferior	kcal /kg	± 10%	4611,0	264,8	4100,0	365,7	5090,0	1162,1	4562,0	321,7
Microbiológicas	<i>Salmonella</i>	UFC/g	± 6,8 %	< 1	0	< 1	0	< 1	0	< 1	0	
	Coliformes	UFC/g	± 2,0 %	13,8	65	4	4,8	5,4	5,2	12,9	17,3	
	Contagem Helmintos	Ovo/g de ST	± 5,0 %	<1	0	1,2	0,4	1,2	0,4	1,0	0,0	

NOTA: IE = incerteza expandida, NE = não estabelecido, NA= não avaliado, dp = desvio padrão.

**Apêndice 6 - Dados do decaimento do teor de óleos e graxas**

TABELA A6.1 – TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS, FIXOS E VOLÁTEIS E TEOR DE ÓLEOS E GRAXAS EM ESCUMA COLETADA EM DECANTADOR DE REATOR UASB

SEMANA 1							
AMOSTRA	ALTURA (cm) DA AMOSTRA EM 04/09/14		ST (%)	STV (%)	STF (%)	STV/ST	O&G (g/Kg)
1	10,5		33,7	29,2	4,5	0,87	47,20
2	10,4		24,3	20,1	4,2	0,83	19,80
3	10,6		31,6	27,5	4,1	0,87	28,00
4	10,0		26,6	22,6	4,0	0,85	42,60
5	10,0		35,6	31,7	3,9	0,89	38,50
SEMANA 2							
AMOSTRA	ALTURA (cm) EM 04/09/14	ALTURA (cm) EM 12/09/14	ST (%)	STV (%)	STF (%)	STV/ST	O&G (g/Kg)
1	10,2	11,3	16,5	12,8	3,7	0,78	32,00
2	10,2	11,0	15,5	11,4	4,1	0,74	29,68
3	10,0	10,5	14,3	10,6	3,7	0,74	24,16
4	9,5	10,2	25,0	20,3	4,7	0,81	25,36
5	11,0	11,8	24,9	20,4	4,5	0,82	36,24
SEMANA 3							
AMOSTRA	ALTURA (cm) EM 04/09/14	ALTURA (cm) EM 18/09/14	ST (%)	STV (%)	STF (%)	STV/ST	O&G (g/Kg)
1	12,0	12,0	47,8	42,3	5,5	0,88	41,00
2	11,0	10,8	29,3	24,0	5,3	0,82	27,32
3	11,3	10,5	44,4	38,4	6,0	0,86	18,38
4	9,0	8,5	51,0	41,1	9,9	0,81	21,50
5	10,0	9,5	48,4	37,8	10,6	0,78	47,84
SEMANA 4							
AMOSTRA	ALTURA (cm) EM 04/09/14	ALTURA (cm) EM 25/09/14	ST (%)	STV (%)	STF (%)	STV/ST	O&G (g/Kg)
1	11,7	11,7	60,4	51,2	9,2	0,85	26,63
2	9,5	8,5	66,4	50,6	15,8	0,76	8,90
3	9,7	8,5	71,8	47,5	24,3	0,66	14,80
4	9,2	7,5	63,4	53,9	9,5	0,85	25,60
5	9,5	8,0	65,0	56,5	8,5	0,87	18,53
SEMANA 5							
AMOSTRA	ALTURA (cm) EM 04/09/14	ALTURA (cm) EM 03/10/14	ST (%)	STV (%)	STF (%)	STV/ST	O&G (g/Kg)
1	11,0	9,5	53,8	45,3	8,5	0,84	6,16
2	10,0	8,5	65,7	54,2	11,5	0,82	5,76
3	12,0	10,5	36,7	30,7	6,0	0,84	4,42
4	9,6	8,0	59,9	49,3	10,6	0,82	6,92
5	9,0	7,0	60,7	42,1	18,6	0,69	5,90



TABELA A6.2 – TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS, FIXOS E VOLÁTEIS E TEOR DE ÓLEOS E GRAXAS EM ESCUMA COLETADA NO IST DE REATOR UASB

SEMANA 1							
AMOSTRA	ALTURA (cm) DA AMOSTRA EM 04/09/14	ST (%)	STV (%)	STF (%)	STV/ST	O&G (g/Kg)	
1	10,0	31,4	28,5	2,9	0,91	39,68	
2	9,0	39,9	35,6	4,3	0,89	31,12	
3	10,0	42,1	38,1	4,0	0,90	42,20	
4	11,5	30,0	26,2	3,8	0,87	39,12	
5	8,7	28,4	25,1	3,3	0,88	24,24	
SEMANA 2							
AMOSTRA	ALTURA (cm) EM 04/09/14	ALTURA (cm) EM 12/09/14	ST (%)	STV (%)	STF (%)	STV/ST	O&G (g/Kg)
1	10,0	13,0	12,8	10,1	2,7	0,7891	27,68
2	8,5	10,8	14,5	11,1	3,4	0,7655	31,60
3	11,5	14,8	9,9	7,5	2,4	0,7576	27,20
4	11,5	14,4	11,8	9,1	2,7	0,7712	32,08
5	8,5	10,0	14,2	10,9	3,3	0,7676	33,84
SEMANA 3							
AMOSTRA	ALTURA (cm) EM 04/09/14	ALTURA (cm) EM 18/09/14	ST (%)	STV (%)	STF (%)	STV/ST	O&G (g/Kg)
1	12,0	14,0	54,1	49,9	4,2	0,92	18,82
2	8,0	10,0	48,0	43,2	4,8	0,90	23,06
3	11,0	13,0	54,7	49,4	5,3	0,90	24,06
4	12,7	14,8	34,3	30,0	4,3	0,87	29,90
5	9,0	10,1	46,7	42,6	4,1	0,91	24,40
SEMANA 4							
AMOSTRA	ALTURA (cm) EM 04/09/14	ALTURA (cm) EM 25/09/14	ST (%)	STV (%)	STF (%)	STV/ST	O&G (g/Kg)
1	11,5	14,0	58,4	54,1	4,3	0,93	34,97
2	8,7	10,5	61,3	56,8	4,5	0,93	99,00
3	12,0	13,5	64,8	59,0	5,8	0,91	17,63
4	11,5	13,5	65,6	57,6	8,0	0,88	25,33
5	8,0	9,5	57,7	52,1	5,6	0,90	12,10
SEMANA 5							
AMOSTRA	ALTURA (cm) EM 04/09/14	ALTURA (cm) EM 03/10/14	ST (%)	STV (%)	STF (%)	STV/ST	O&G (g/Kg)
1	11,0	13,2	51,6	45,3	6,3	0,88	6,60
2	9,5	11,0	54,7	49,7	5,0	0,91	7,32
3	12,0	13,4	37,3	33,0	4,3	0,88	5,32
4	11,5	12,5	38,8	33,7	5,1	0,87	6,44
5	9,5	11,0	54,8	48,2	6,6	0,88	4,94

## **Anexo 1**

Estimativa do acréscimo das concentrações de DQO e DBO no efluente de um reator UASB, cujos decantadores não dispõem de retentores de espuma

SOUZA, *et al.* (2007) fizeram uma estimativa do acréscimo das concentrações de DQO e DBO no efluente de um reator UASB, cujos decantadores não dispõem de retentores de espuma, os cálculos e resultados são os seguintes.

Dados:

- Vazão afluente média ao reator:  $Q_{\text{méd}} = 5.040 \text{ m}^3/\text{d}$
- Carga orgânica de DBO afluente ao reator UASB:  $C_{\text{OA-UASB-DBO}} = 1.018,1 \text{ kgDBO/d}$
- Carga orgânica de DQO afluente ao reator UASB:  $C_{\text{OA-UASB-DQO}} = 2.580,5 \text{ kgDQO/d}$
- DBO média afluente ao reator UASB:  $S_{0\text{-UASB-DBO}} = 202 \text{ mg/L}$
- DQO média afluente ao reator UASB:  $S_{0\text{-UASB-DQO}} = 512 \text{ mg/L}$
- Eficiência média de remoção de DBO esperada para o reator UASB:  $E_{\text{DBO}} = 70\%$
- Eficiência média de remoção de DQO esperada para o reator UASB:  $E_{\text{DQO}} = 65\%$
- Coeficiente de acumulação de espuma no decantador:  $Y_{\text{escuma}} = 0,04 \text{ L/kgDQO}_{\text{aplicada}}$
- Concentração de DBO da espuma acumulada no decantador:  $C_{\text{escuma-DBO}} = 40 \text{ gDBO/L}$
- Concentração de DQO da espuma acumulada no decantador:  $C_{\text{escuma-DQO}} = 100 \text{ gDQO/L}$

Solução:

- Cálculo das concentrações de DBO e DQO no efluente do reator UASB, considerando-se a utilização de decantadores com retentores de espuma:

$$S_{\text{DBO}} = S_{0\text{-UASB-DBO}} - (E_{\text{DBO}} \times S_{0\text{-UASB-DBO}})/100 = 202 \text{ mg/L} - (70\% \times 202 \text{ mg/L})/100 = 200,6 \text{ mg/L}$$

$$S_{\text{DQO}} = S_{0\text{-UASB-DQO}} - (E_{\text{DQO}} \times S_{0\text{-UASB-DQO}})/100 = 512 \text{ mg/L} - (65\% \times 512 \text{ mg/L})/100 = 508,4 \text{ mg/L}$$

- Estimativa da acumulação de espuma nos decantadores do reator UASB:

$$P_{\text{escuma}} = Y_{\text{escuma}} \times C_{\text{OA-UASB-DQO}} = 0,04 \text{ L/kgDQO}_{\text{aplicada}} \times 2.580 \text{ kgDQO/d} = 103,2 \text{ L/d}$$

- Estimativa da carga orgânica decorrente da espuma acumulada nos decantadores:

$$C_{\text{O}_{\text{escuma-DBO}}} = P_{\text{escuma}} \times C_{\text{escuma-DBO}} = 103,2 \text{ L/d} \times 40 \text{ gDBO/L} = 4.128 \text{ gDBO/d}$$

$$C_{\text{O}_{\text{escuma-DQO}}} = P_{\text{escuma}} \times C_{\text{escuma-DQO}} = 103,2 \text{ L/d} \times 100 \text{ gDQO/L} = 10.320 \text{ gDQO/d}$$

- Cálculo das concentrações de DBO e DQO no efluente do reator UASB, considerando-se a utilização de decantadores sem retentores de espuma, portanto, com a liberação da espuma juntamente com o efluente do reator:

$$S_{\text{DBO-escuma}} = S_{\text{DBO}} + (C_{\text{O}_{\text{escuma-DBO}}}/Q_{\text{méd}}) = 200,6 \text{ mg/L} + (4.128 \text{ gDBO/d})/(5.040 \text{ m}^3/\text{d}) = 201,4 \text{ mgDBO/L}$$

$$S_{\text{DQO-escuma}} = S_{\text{DQO}} + (C_{\text{O}_{\text{escuma-DQO}}}/Q_{\text{méd}}) = 508,4 \text{ mg/L} + (10.320 \text{ gDQO/d})/(5.040 \text{ m}^3/\text{d}) = 510,4 \text{ mgDQO/L}$$

- Estimativa do impacto da não utilização de retentores de espuma na deterioração da qualidade do efluente do reator:

- Em termos de DBO:  $(S_{\text{DBO-escuma}} - S_{\text{DBO}}) / S_{\text{DBO}} = (201,4 - 200,6) / 200,6 = 0,4 \%$

- Em termos de DQO:  $(S_{\text{DQO-escuma}} - S_{\text{DQO}}) / S_{\text{DQO}} = (510,4 - 508,4) / 508,4 = 0,4 \%$  (SOUZA, *et al.*, 2007)”.

Pode-se concluir que é desprezível (menos que 0,5%) o impacto na qualidade do efluente do reator, decorrente da não utilização de retentores de espuma nos decantadores. Ressalta-se, no entanto, que tal consideração é válida apenas para reatores tratando esgotos tipicamente domésticos e operando com velocidades ascensionais médias na faixa de 0,5 a 0,7 m/h (SOUZA *et al.*, 2007).