

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE

MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO

**AVALIAÇÃO DO RETORNO DO LODO
AERÓBIO SOBRE A EFICIÊNCIA DOS
REATORES UASB DA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO DE ITABIRA**

KEITE MARA MAGALHÃES

Belo Horizonte

Março de 2012

Keite Mara Magalhães

AVALIAÇÃO DO RETORNO DO LODO AERÓBIO SOBRE A EFICIÊNCIA DOS REATORES UASB DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE ITABIRA

Monografia apresentada ao curso de Especialização de Saneamento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Saneamento e Meio Ambiente.

Área de concentração: Tratamento de Águas de Abastecimento e Residuárias

Orientadora: Livia Cristina Silva Lobato

Co-orientador: Carlos Augusto de Lemos Chernicharo

Belo Horizonte, MG
Escola de Engenharia da UFMG
2012



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
Escola de Engenharia
Av. Antônio Carlos, 6627/4616 - Bl 01 - 30270-901 - Belo Horizonte - BRASIL
Curso de Especialização em Engenharia Sanitária e Tecnologia Ambiental
Tel. (31) 3409-1038 - Fax (31) 3409-1768
E-mail especial@desa.ufmg.br

ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E TECNOLOGIA
AMBIENTAL

ATA DE DEFESA DO TRABALHO FINAL DE: KEITE MARA MAGALHÃES

ORIENTADORA: LÍVIA CRISTINA SILVA LOBATO

CO-ORIENTADOR: CARLOS AUGUSTO DE LEMOS CHERNICHARO

NÚMERO DE REGISTRO: 325

No dia 18 de abril de 2012, reuniu-se no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Escola de Engenharia da UFMG a Comissão Examinadora da Monografia, indicada pela Comissão Coordenadora do Curso de Especialização em Engenharia Sanitária e Tecnologia Ambiental, para julgar, em exame final, a Monografia intitulada,

"AVALIAÇÃO DO RETORNO DO LODO AERÓBIO SOBRE A EFICIÊNCIA DOS REATORES UASB DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE ITABIRA",

requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia Sanitária e Tecnologia Ambiental. Abrindo a sessão o Presidente da Comissão Examinadora, Prof. Livia Cristina Silva Lobato após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares da Monografia, passou a palavra ao aluno para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do aluno. Logo após, a Comissão se reuniu a portas fechadas, para julgamento e expedição do resultado final. Foram atribuídas as seguintes notas de (0 a 100):

Comissão Examinadora		Notas	Trab.	Apres.	Total
			Escrito (0-70)	Oral (0-30)	
Prof ^a	Livia Cristina Silva Lobato	DESA	65	25	90
Prof	Cláudio Leite de Souza	DESA	63	27	90
		MÉDIA			90

Pelas indicações, o aluno deve proceder às alterações sugeridas no trabalho, para a sua edição definitiva, a ser entregue no prazo de 30 dias. O resultado final foi comunicado publicamente ao interessado pelo Presidente da Comissão que, nada mais havendo a tratar, encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, assinada por todos os membros participantes da Comissão.

Belo Horizonte, 18 de abril de 2012.

Livia Cristina Silva Lobato

Cláudio Leite de Souza

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as bênçãos na minha vida e por todos os momentos de sustento, pois sem Ele nada sou e com Ele tudo posso.

À minha mãe, pessoa especial, por todo amor e dedicação.

Aos meus irmãos e a minha sobrinha pelo carinho e compreensão.

Aos meus amigos do laboratório central que me apoiaram neste objetivo.

A Flávia e Flaviano, grandes amigos, que desde o início deste projeto ficaram ao meu lado apoiando em todos os momentos.

Aos operadores e aos técnicos do laboratório da ETE Laboreaux pela contribuição neste trabalho.

A Lívia Lobato pela orientação e toda ajuda na realização deste projeto.

Ao professor Carlos Chernicharo pela orientação e conhecimentos transmitidos em sala de aula.

Ao meu noivo que sempre acreditou na minha capacidade e que na reta final deste projeto compreendeu os momentos de ansiedade.

A Vanessa e Daniele pela companhia nas viagens.

A tia Ivanete e a prima Lorena que sempre me acolheram com muito carinho quando precisei.

A todos que acreditaram em mim e contribuíram para a realização de mais esta etapa da minha vida.

RESUMO

A presente pesquisa apresenta o estudo do efeito do retorno do lodo aeróbio para o reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) da estação de tratamento de esgoto (ETE) *Laboreaux* de Itabira Minas Gerais. Neste estudo, avaliou-se o impacto da carga orgânica do lodo aeróbio e da vazão de recirculação na carga orgânica e vazão afluente à ETE, o atendimento do efluente dos reatores UASB a metas de qualidade e o efluente final da ETE aos padrões de lançamento em cursos d'água, o efeito do retorno de lodo aeróbio para o reator UASB e do descarte do lodo anaeróbio excedente na qualidade do efluente dos reatores UASB, assim como, o efeito do retorno de lodo aeróbio para o reator UASB sobre a estabilização do lodo no reator UASB. Esta pesquisa foi realizada em dois períodos operacionais distintos, o primeiro sem o retorno de lodo e o segundo com o retorno de lodo aeróbio. Os resultados encontrados para o impacto da carga orgânica do lodo aeróbio e da vazão de recirculação não se apresentaram significativos de forma a prejudicar a qualidade do efluente dos reatores UASB e, conseqüentemente, na eficiência do sistema. Referente a eficiência, o sistema indicou bom desempenho de remoção dos parâmetros de DBO, DQO e SST com o retorno do lodo aeróbio a níveis estabelecidos na legislação ambiental. Quanto a rotina de descarte de lodo anaeróbio, os resultados obtidos indicaram que a mesma influencia muito a eficiência do reator UASB sem, contudo, afetar significativamente a qualidade do efluente final (FBP) e a eficiência global do sistema de tratamento. Os resultados obtidos para a estabilização do lodo no reator UASB demonstraram que a relação STV/ST foram próximas nos períodos com retorno e sem retorno de lodo aeróbio, indicando que a recirculação não provocou um aumento na concentração de sólidos voláteis no reator e a partir destes dados observou-se também que a maioria dos resultados da relação STV/ST encontravam-se na faixa de 50 a 60% indicando que não houve impacto significativo na estabilização do lodo no reator UASB.

ABSTRACT

This research presents the study of the effect of return the aerobic sludge to the upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) of the sewage treatment plant *Laboreaux* Itabira Minas Gerais. In this study, evaluated the impact of organic load of the aerobic sludge and the flow recirculation in the organic load and in the flow effluent the plant, the quality of effluent of the reactors UASB within the targets established by environmental legislation for discharge standards in watercourses, the effect of aerobic sludge return to the reactor UASB and of the disposal anaerobic sludge excess in the quality of the effluent of UASB, as well as, the effect of aerobic sludge return to the reactor UASB on the stabilization of the sludge in the UASB. This research was conducted in two distinct operating periods, the first without the return sludge and the second with the return of aerobic sludge. The results found for the impact of organic load and recirculation flow did not show significant to impair the quality of the effluent of reactors UASB and system efficiency. The efficiency of the system showed good performance removal efficiencies of BOD, COD and TSS with the return of aerobic sludge at levels established by environmental legislation. The results obtained for routine discard indicated that it greatly affects the efficiency of removal of the treatment system and efficiency of the reactor UASB, but without significantly affecting the quality of the final effluent (TF) and the overall efficiency of the treatment system indicated that it greatly affects the efficiency of removal of the treatment system and not only the return sludge aerobic. The results for the stabilization of sludge in reactor UASB showed that the ratio STV/ST were similar in periods with and without return aerobic sludge return indicating that recirculation does not increase the concentration of volatile solids in the reactor and, from this data it was also observed that most of the results of the ratio STV/ST were in the range 50-60% indicating that no significant effect on the stabilization of sludge in reactor UASB.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	11
2.1	Objetivo Geral	11
2.2	Objetivos Específicos	11
3	REVISÃO DA LITERATURA	12
3.1	Reatores UASB.....	12
3.2	Filtro biológico percolador	14
3.3	Filtro biológico percolador como pós-tratamento de efluente de reator UASB	16
3.4	Recirculação de lodo aeróbio ao reator UASB.....	17
4	MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1	Descrição do sistema de tratamento	19
4.2	Recirculação de lodo aeróbio	21
4.3	Gerenciamento do lodo anaeróbio excedente	21
4.3.1	Dispositivo de descarte	23
4.3.2	Protocolo de descarte estabelecido	24
4.4	Monitoramento do sistema	25
4.5	Análise dos dados de monitoramento	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1	Impacto da carga orgânica e da vazão de recirculação de lodo aeróbio na carga orgânica e vazão afluente à ETE Laboreaux.....	27
5.1.1	Vazão afluente à ETE <i>Laboreaux</i> e de recirculação de lodo aeróbio	27
5.1.2	Carga orgânica à ETE <i>Laboreaux</i> e do lodo aeróbio	29
5.2	Atendimento a metas de qualidade e aos padrões de lançamento em cursos d'água	29
5.2.1	Análise estatística dos resultados de monitoramento.....	30
5.2.2	Atendimento a metas de qualidade pelo efluente dos reatores UASB e aos padrões de lançamento em cursos d'água pelo efluente final	34
5.2.3	Avaliação da eficiência do processo de tratamento	36
5.3	Efeito do retorno de lodo aeróbio para o reator UASB e do descarte do lodo anaeróbio excedente na qualidade do efluente dos reatores UASB.	40
5.4	Efeito do retorno de lodo aeróbio na estabilização do lodo no reator UASB.....	42
6	CONCLUSÕES.....	45
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Desenho esquemático de um reator UASB	12
Figura 3.2 - Corte esquemático de um filtro biológico percolador.....	15
Figura 3.3 - Configuração típica de uma ETE com reator UASB e filtro biológico percolador.....	16
Figura 4.1 - Unidades de tratamento da ETE <i>Laboreaux</i>	20
Figura 4.2 - Unidades de tratamento da ETE <i>Laboreaux</i>	21
Figura 4.3 - Representação esquemática do sistema de descarte de lodo excedente e desidratação mecânica.....	23
Figura 4.4 - (a) Tubulações de descarte de lodo na lateral dos reatores UASB; (b) Tanques de armazenamento de lodo; (c) filtro prensa	24
Figura 4.5 - (a) Coleta de lodo aeróbio; (b) Balança infravermelho	26
Figura 5.1 - Vazão afluente à ETE <i>Laboreaux</i> nos períodos 7 e 9.....	27
Figura 5.2 - Período 7 - Série temporal DBO	32
Figura 5.3 - Período 7 - Série temporal DQO	32
Figura 5.4 - Período 7 - Série temporal SST	32
Figura 5.5 - Período 9 - Série temporal DBO	33
Figura 5.6 - Período 9 - Série temporal DQO	33
Figura 5.7 - Período 9 - Série temporal SST	33
Figura 5.8 - Gráficos percentis para os períodos 7 e 9	35
Figura 5.9 - Gráficos box-plot - Período 7 e Período 9	36
Figura 5.10 - Gráficos box-plot - Eficiências de remoção nos períodos 7 e 9	39
Figura 5.11 - Gráficos box-plot de biomassa e concentrações no reator UASB - Reator A e Reator B	41
Figura 5.12 - Gráficos Box-plot relação ST/STV.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Principais características da ETE <i>Laboreaux</i>	20
Tabela 4.2 - Parâmetros e frequência de monitoramento – ETE <i>Laboreaux</i>	25
Tabela 4.3 - Períodos operacionais	26
Tabela 5.1 - Estatística descritiva da vazão afluyente à ETE <i>Laboreaux</i>	27
Tabela 5.2 - Nível e volume do poço de sucção.....	28
Tabela 5.3 - Impacto da vazão de recirculação de lodo aeróbio na vazão afluyente à ETE <i>Laboreaux</i>	29
Tabela 5.4 - Estatística descritiva dos parâmetros DBO, DQO e SST nos períodos 7 e 9	31
Tabela 5.5 - Estatística descritiva das eficiências de remoção de DBO, DQO e SST nos períodos 7 e 9	38
Tabela 5.6 - Estatística descritiva das concentrações efluentes e biomassa dos reatores A e B	40
Tabela 5.7 - Estatística descritiva relação STV/ST	42

1 INTRODUÇÃO

A estação de tratamento de esgoto (ETE) *Laboreaux* em Itabira, Minas Gerais, localiza-se à margem direita do ribeirão do Peixe. A área de atendimento dessa estação abrange as sub-bacias do ribeirão do Peixe e do córrego Água Santa, nesta área, está inserido o Distrito Industrial de Itabira (ROSA e BEJAR, 2011).

Os efluentes tratados da ETE *Laboreaux* são lançados no ribeirão do Peixe, o qual pertence à sub-bacia do rio Piracicaba e à bacia do rio Doce. No trecho em questão, o ribeirão do peixe é enquadrado como Classe 2, conforme Deliberação Normativa do COPAM/CERH-MG N° 01 de 05 de maio de 2008, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água, diretrizes ambientais para seu enquadramento e padrões de lançamento de efluentes (MINAS GERAIS, 2008). Desta forma, os parâmetros que caracterizam o efluente devem atender aos limites estabelecidos para os padrões de lançamento, para esta classificação.

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N° 01 de 05 de maio de 2008 estabelece que as condições de lançamento de efluentes para os parâmetros de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), sejam inferiores a 60 mg/L e 180 mg/L, respectivamente. Para tratamento com eficiência de redução de DBO, a referida lei estabelece no mínimo 60% e uma média anual igual ou superior a 70% e, para o parâmetro DQO, a eficiência de redução de no mínimo 55% e média anual igual ou superior a 65% (MINAS GERAIS, 2008).

O fluxograma da ETE *Laboreaux* compreende unidades de tratamento preliminar (gradeamento e desarenador), unidades de tratamento biológico anaeróbio (reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo - reatores UASB) e aeróbio (filtros biológicos percoladores e decantadores secundários). O lodo aeróbio removido dos decantadores secundários é retornado aos reatores UASB onde ocorre o adensamento e a estabilização anaeróbia.

O retorno do lodo dos decantadores secundários aos reatores UASB pode conferir grande viabilidade econômica ao sistema de tratamento, tendo como grandes vantagens a minimização da produção de lodo (que deverá ser reduzida, apenas, ao reator UASB) e a produção de um lodo mais concentrado e estabilizado. Entretanto, apesar do avanço nos conhecimentos sobre o tratamento combinado de esgoto e lodo de descarte aeróbio em

reatores UASB, pouco se sabe, principalmente, em sistemas em escala plena de operação, sobre a influência do retorno do lodo nas características da biomassa no reator anaeróbio e, por conseguinte, na eficiência do tratamento anaeróbio ocasionando, eventualmente, um aumento ou diminuição da eficiência de remoção de matéria orgânica ou da sedimentabilidade do lodo (PONTES e CHERNICHARO, 2009).

Neste contexto, o presente trabalho objetivou o estudo do processo de tratamento de esgoto – reator UASB seguido de filtro biológico percolador (FBP), tendo sido avaliado o efeito do retorno de lodo na performance do sistema de tratamento e nas características da biomassa produzida no reator, em fases operacionais sem e com retorno de lodo aeróbio produzido no FBP. Essa avaliação foi realizada a partir dos dados de monitoramento e operação da ETE *Laboreaux* localizada em Itabira/MG.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a influência do retorno de lodo de filtros biológicos percoladores sobre o desempenho dos reatores UASB e do efluente final da estação.

2.2 Objetivos Específicos

- Verificar o impacto da carga orgânica do lodo aeróbio e da vazão de recirculação na carga orgânica e vazão afluente à ETE.
- Verificar o atendimento do efluente dos reatores UASB a metas de qualidade e o efluente final da ETE aos padrões de lançamento em cursos d'água.
- Analisar o efeito do retorno de lodo aeróbio para o reator UASB e do descarte do lodo anaeróbio excedente na qualidade do efluente dos reatores UASB.
- Avaliar o efeito do retorno de lodo aeróbio para o reator UASB sobre a estabilização do lodo no reator UASB.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Reatores UASB

Com o relativo aumento da consciência ambiental tem-se aumentado o número de estações de tratamento de esgoto doméstico, implantadas no Brasil. Uma tecnologia que muito se adaptou às condições brasileiras, em que é necessária a utilização de técnicas que associem baixo custo e simplicidade operacional, tendo em vista a escassez de recursos e de mão-de-obra qualificada, que historicamente vigora no setor de saneamento do Brasil, foi a tecnologia anaeróbia.

Uma profunda discussão sobre a evolução e aplicabilidade da tecnologia anaeróbia para o tratamento de esgoto doméstico é apresentada em Lettinga *et al.* (1993), Seghezzeo *et al.* (1998), Foresti (2002) e von Sperling e Chernicharo (2005), onde são destacadas as diversas características favoráveis dos processos anaeróbios, como o baixo custo, simplicidade operacional e baixa produção de sólidos. Essas vantagens aliadas às condições ambientais favoráveis dos países de clima quente, como o Brasil, onde há predominância de elevadas temperaturas durante praticamente todo o ano, têm contribuído para a colocação dos sistemas anaeróbios em posição de destaque, particularmente, os reatores UASB.

Tal sistema apresenta vantagens econômicas, mesmo quando associados a tratamentos complementares aeróbios, sendo, portanto, intensamente aplicado no tratamento de esgoto sanitário (SOBRINHO e JORDÃO, 2001).

A Figura 3.1 ilustra o funcionamento de um reator UASB.

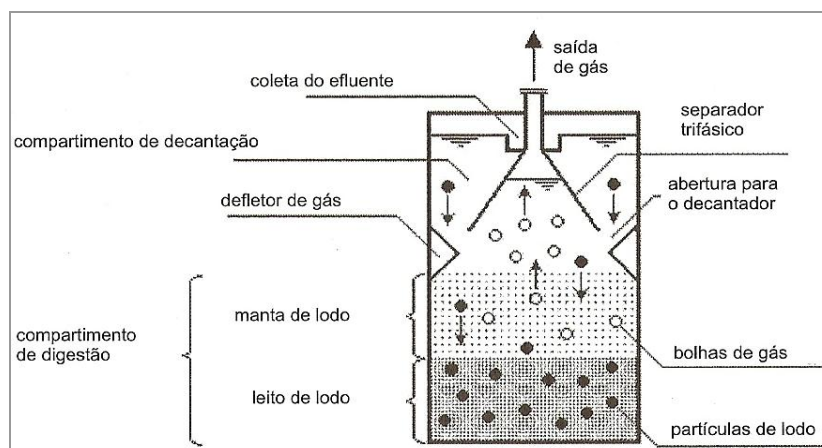


Figura 3.1 - Desenho esquemático de um reator UASB
Fonte: CHERNICHARO, 2007

O reator UASB não possui qualquer material de enchimento para servir de suporte para a biomassa. A imobilização dos microrganismos ocorre por meio de auto-adesão, formando flocos ou grânulos densos suspensos, que se dispõem em camadas de lodo a partir do fundo do reator (KATO *et al.*, 1999).

O líquido entra no fundo, fluxo ascendente, e se encontra com o leito de lodo, o que causa a adsorção de grande parte da matéria orgânica pela biomassa. Como resultado da atividade anaeróbia são formados gases, principalmente metano e gás carbônico (von SPERLING, 2005).

Na parte superior dos reatores de manta de lodo, encontra-se o separador de gases, sólidos e líquido, denominado separador trifásico, que garante o retorno do lodo e a capacidade de retenção de grandes quantidades de biomassa. Assim, os reatores UASB apresentam elevados tempos de residência celular (idade do lodo), bastante superiores aos tempos de detenção hidráulica (CHERNICHARO, 2007).

Mesmo que a capacidade de retenção de biomassa seja uma vantagem, deve-se realizar o descarte do lodo excedente dos reatores UASB periodicamente, pois o seu acúmulo no interior do reator poderá ocasionar a perda excessiva de sólidos para o compartimento de decantação e, conseqüentemente, deteriorar a qualidade do efluente e provocar problemas operacionais nos filtros biológicos percoladores. Assim, torna-se necessário, a determinação de uma rotina de descarte em função do nível de lodo no reator UASB e da concentração de sólidos suspensos no efluente líquido, de modo a evitar a deterioração da sua qualidade (CHERNICHARO, 2007).

O reator UASB desempenha simultaneamente várias funções que, em outras estações de tratamento aeróbio convencional, são usualmente efetuadas em tanques separados, tais como decantador primário, reator biológico propriamente dito, decantador secundário e de um digestor de lodo. Estas funções incluem digestão dos sólidos retidos e da própria biomassa presente, resultando um lodo bastante estabilizado e, reações de conversão da matéria orgânica presente no esgoto (ZARBINI, 2000).

Dentre as vantagens amplamente reconhecidas dessa concepção de sistemas de tratamento podem ser citadas (FORESTI *et al.* 1999):

- Baixo consumo de energia.
- Menor produção de lodo de excesso e, portanto, economia considerável no manejo e destino final desse tipo de resíduo dos sistemas de tratamento.
- Possibilidade de recuperação e utilização de gás metano como combustível.
- Possibilidade de funcionar bem mesmo após longos períodos de interrupção (importante para efluentes sazonais).

Os principais aspectos negativos estão relacionados com:

- Sensibilidade do processo a mudanças das condições ambientais (pH, temperatura, sobrecargas orgânicas e hidráulicas).
- Possível emissão de odores ofensivos.

Deve-se ressaltar que os efluentes produzidos por reatores UASB geralmente não são capazes de atender consistentemente aos padrões de lançamento estabelecidos pelas legislações ambientais (ALMEIDA, 2007). Portanto, torna-se importante a inclusão de uma etapa de pós-tratamento dos efluentes gerados nos reatores UASB objetivando não só a qualidade microbiológica do efluente, como também, a qualidade em termos de matéria orgânica e nutriente, em função dos danos ambientais provocados pelas descargas remanescentes, desses constituintes, nos corpos receptores (CHERNICHARO e ALMEIDA, 2009).

Os filtros biológicos percoladores têm encontrado aplicação como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios (von SPERLING, 2005). Sua utilização combinada aos reatores anaeróbios trazem vantagem no que diz respeito a qualidade do efluente final e enquadramento aos padrões exigidos pelos órgãos ambientais.

3.2 Filtro biológico percolador

Em 1893 o primeiro filtro biológico percolador (FBP) entrou em operação na Inglaterra. Sua origem está na evolução dos então chamados “filtros de contato”, que consistiam em tanques

preenchidos com pedras e alimentados com esgoto pela superfície até completar o volume do tanque e, após certo período de tempo de contato entre esgoto e as pedras (tipicamente 6 horas), o tanque era drenado e o leito de pedras deixado em repouso por um período (normalmente também de 6 horas), antes de se repetir o ciclo (GONÇALVES *et al.*, 2001).

O filtro biológico percolador é um sistema de tratamento aeróbio (Figura. 3.2) em que o ar circula nos espaços vazios entre as pedras fornecendo o oxigênio para a respiração dos microrganismos. Esta unidade compreende basicamente um leito de material grosseiro tal como pedra, brita, escória de alto-forno, ripas ou material plástico sobre o qual o esgoto é aplicado sob a forma de gotas ou jatos (von SPERLING, 2005).

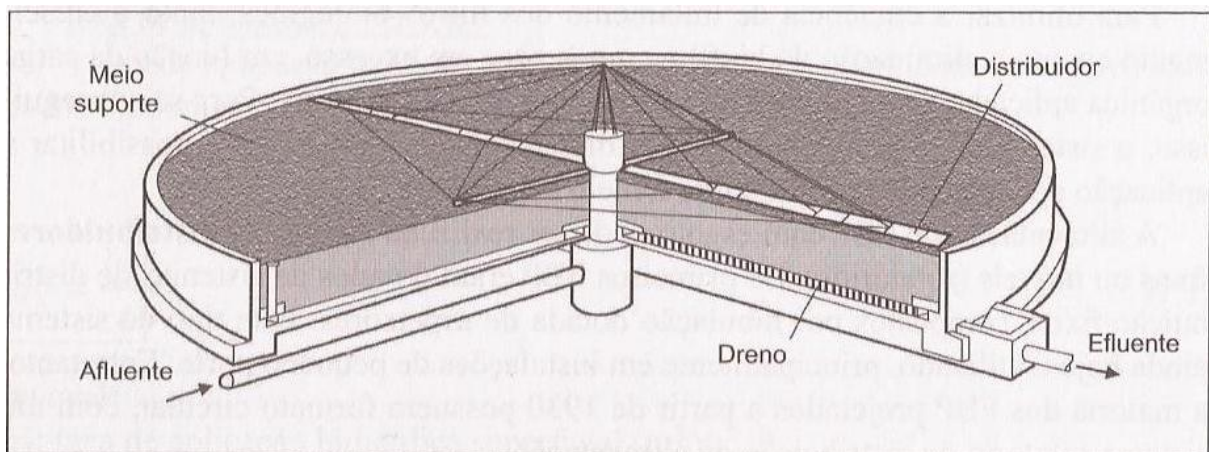


Figura 3.2 - Corte esquemático de um filtro biológico percolador
Fonte: CHERNICHARO, 2007

Após a aplicação, o esgoto percola pelo meio suporte em direção aos drenos de fundo permitindo o crescimento de microrganismos na superfície do material de enchimento, o que resulta na formação de uma matriz biológica ativa, de consistência gelatinosa que contém fungos, bactérias facultativas, aeróbias e anaeróbias, algas e protozoários (ALMEIDA, 2007).

A aplicação do esgoto sobre o meio é realizada através de distribuidores rotativos, movidos pela própria carga hidráulica do esgoto. Com a passagem do líquido há um contato entre os microrganismos e o material orgânico, este é absorvido pela película microbiana e fica retido tempo suficiente para sua estabilização (von SPERLING, 2005).

Com o aumento da biomassa na superfície do material de enchimento, os espaços vazios tendem a diminuir fazendo com que a velocidade de escoamento nos poros aumente. Ao atingir um determinado valor, esta velocidade causa uma tensão de cisalhamento que desaloja

parte do material aderido, fazendo com que ocorra um controle da população microbiana no meio. O lodo desalojado deve ser removido nos decantadores secundários de forma a diminuir o nível de sólidos em suspensão no efluente final (CHERNICHARO, 2007).

3.3 Filtro biológico percolador como pós-tratamento de efluente de reator UASB

O principal papel do pós-tratamento é o de completar a remoção da matéria orgânica, bem como o de propiciar a remoção de constituintes pouco afetados no tratamento anaeróbio, como os nutrientes (N e P) e os organismos patogênicos (vírus, bactérias, protozoários e helmintos) (CHERNICHARO, 2007).

A associação de reatores UASB seguidos de filtros biológicos percoladores apresenta um fluxograma simplificado (Figura 3.3), compreendendo as unidades de tratamento biológico anaeróbio e aeróbio em sequência (reator UASB, filtro biológico percolador e decantador secundário), além da unidade de desidratação. Nesta configuração, o lodo aeróbio excedente retirado do decantador secundário é encaminhado de volta ao reator UASB para adensamento e digestão anaeróbia. (CHERNICHARO e ALMEIDA, 2009).

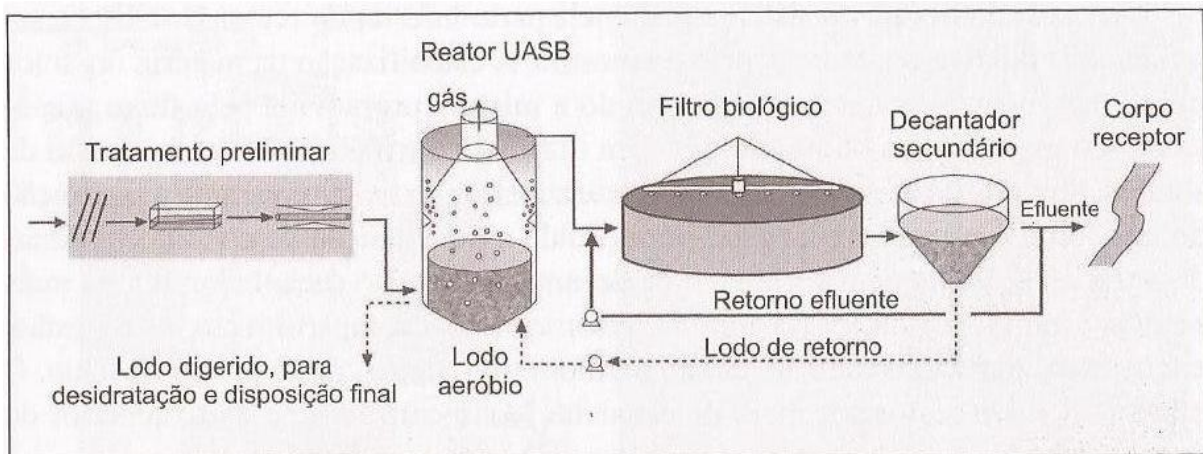


Figura 3.3 - Configuração típica de uma ETE com reator UASB e filtro biológico percolador
Fonte: CHERNICHARO, 2007

O fato de o lodo aeróbio excedente retornar ao reator UASB para adensamento e estabilização dispensa o uso de adensadores de lodo e digestores anaeróbios, que normalmente são utilizados em uma ETE convencional. Outras vantagens que também estão associadas ao processo são a facilidade operacional e o baixo consumo de energia.

3.4 Recirculação de lodo aeróbio ao reator UASB

Como citado anteriormente na configuração de tratamento de águas residuárias que utilizam a combinação do reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) e filtro biológico percolador (FBP), o lodo aeróbio excedente retirado dos decantadores secundários são retornados ao reator UASB para adensamento e estabilização. Este sistema de tratamento apresenta como vantagens a minimização da produção de lodo (que deverá ser reduzida, apenas, ao reator UASB) e a produção de um lodo mais concentrado e estabilizado (PONTES, 2003).

Os processos de estabilização do lodo e do tratamento de águas residuárias apresentam objetivos diferentes, que devem continuar a ser atendidos no sistema de tratamento combinado. Enquanto o primeiro tem como objetivos a obtenção de um lodo com menor concentração de patógenos e a redução do volume de lodo e dos sólidos orgânicos, o segundo tem como objetivo principal a elevada qualidade do efluente final (PONTES, 2003).

Para que os reatores UASB tenham um bom desempenho é necessária a manutenção, dentro dos reatores, de uma biomassa adaptada, com elevada atividade microbiana e resistente a choques, podendo ser favorecido pelo desenvolvimento de um agregado microbiano denso (grânulo). Entretanto, apesar do avanço nos conhecimentos sobre o tratamento combinado de esgoto doméstico e lodo de descarte aeróbio em reatores UASB, pouco se sabe sobre a influência do retorno de lodo aeróbio nas características da biomassa no reator anaeróbio (PONTES e CHERNICHARO, 2009).

A possibilidade de retorno de lodo aeróbio ao reator UASB foi, originalmente, proposta por van Haandel e Lettinga (1994) (PONTES, 2003). Em estudos realizados por Ortega *et al.* (1996) sobre o retorno de lodos ativados ao reator UASB não foi observado um efeito negativo no funcionamento geral do reator ao ser submetido a cargas de sólidos suspensos totais de 0.78 a 2.4 kg/m³.d e, dentro do reator permaneceu a biomassa com maior capacidade de sedimentação ao qual contribuiu a degradação da matéria orgânica fornecida.

Gonçalves *et al.* (1999) ao pesquisarem tratamento secundário de esgoto sanitário através da associação em série de reatores UASB e biofiltros aerados submerso observaram que o efluente final apresentou concentrações da ordem de 10 mgSS/L, 10 mgDBO₅/L e 50 mg DQO /L. As eficiências globais de remoção de SS, DBO₅ e DQO situaram-se sempre em

torno de 95%, 95% e 88%, respectivamente. Nos estudos realizados por Pontes (2003) onde se avaliou reatores UASB aplicados ao tratamento combinado de esgoto sanitário e lodo excedente de filtro biológico percolador, em sistemas em escala piloto e em escala de demonstração, foi observado que as eficiências médias de remoção de DQO no sistema de tratamento operando com retorno de lodo foram de 81 %, para os dois sistemas, as eficiências médias de remoção de DBO foram de 87% (sistemas em escala piloto) e 90% (sistema em escala de demonstração) e o teor de SST no efluente final do sistema de tratamento atendeu ao padrão de lançamento de 60 mg/L durante todas as fases operacionais.

No que se refere ao adensamento e digestão do lodo aeróbio no reator UASB, Gonçalves *et al.* (2001) avaliaram o balanço energético e produção de lodo em uma ETE do tipo UASB em conjunto com biofiltros (BF) aerados submersos e observaram que a recirculação do lodo do BF modificou o teor de sólidos totais (ST) no fundo do UASB, entretanto manteve concentrações superiores a 4,5% ST e os teores de sólidos voláteis (SV) no lodo do UASB atingiram valores da ordem de 50 a 70%, comprovando a eficiência da digestão anaeróbia. Já nos estudos realizados por Pontes (2003), a porcentagem média de sólidos totais voláteis (SVT) no lodo do reator UASB operando com retorno de lodo foi de 64 e 60%, para os sistemas em escala piloto e em escala de demonstração, respectivamente, indicando que o retorno de lodo não provocou um aumento na concentração de sólidos voláteis no reator.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição do sistema de tratamento

A pesquisa foi realizada na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) *Laboreaux*, no município de Itabira, em Minas Gerais, a qual entrou em operação em julho de 2008, para atendimento de uma população de projeto de 70.000 habitantes em primeira etapa.

A ETE *Laboreaux* apresenta fluxograma simplificado, compreendendo unidades de tratamento preliminar (gradeamento e desarenador), unidades de tratamento biológico anaeróbio e aeróbio em seqüência (reator UASB, filtro biológico percolador e decantador secundário). O lodo dos decantadores secundários é recirculado aos reatores UASB, onde é adensado e estabilizado, seguindo, após o descarte, para a etapa de desidratação, realizada por filtro prensa, e posterior disposição final. No estágio atual de operação, a estação conta com as unidades de tratamento preliminar; 08 (oito) reatores UASB; 02 (dois) filtros biológicos percoladores; 02 (dois) decantadores secundários e o sistema de desidratação do lodo (filtro-prensa). Para a segunda etapa de implantação foi previsto o atendimento de uma população de 123.000 habitantes em final de plano (2029) e a implantação de mais 08 (oito) reatores UASB, 02 (dois) filtros biológicos percoladores e 02 (dois) decantadores secundários.

Além da contribuição referente ao esgoto doméstico, foi considerada a contribuição industrial proveniente do Distrito Industrial de Itabira, cujo equivalente populacional foi estimado em 11.368 habitantes para o alcance de primeira etapa (2014) e em 17.053 habitantes em final de plano (2029) (ROSA e BEJAR, 2011).

A Figura 4.1 mostra o layout das unidades da ETE *Laboreaux* e a Tabela 4.1 apresenta as suas principais características.

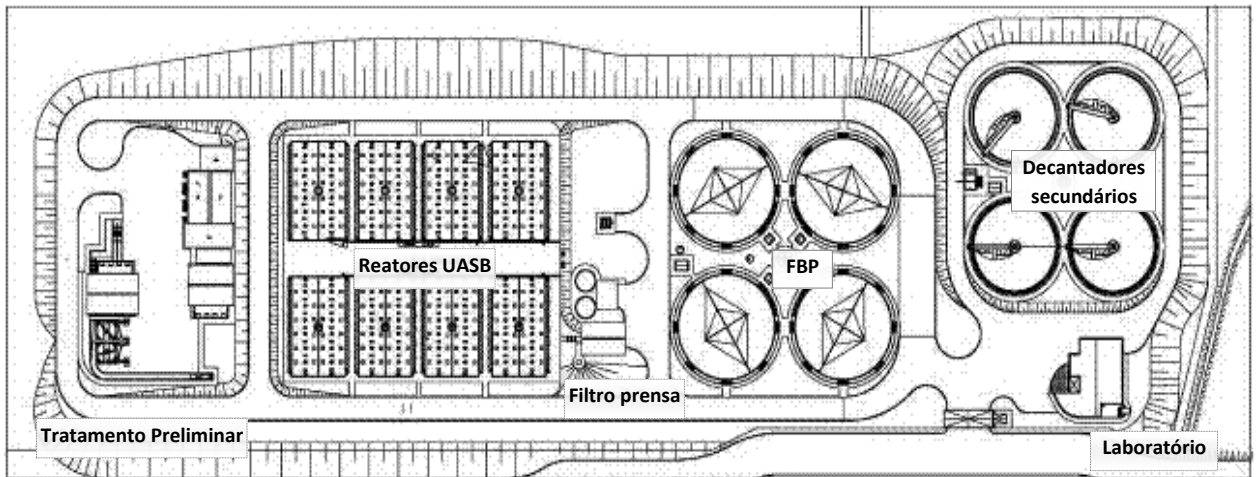


Figura 4.1 - Unidades de tratamento da ETE *Laboreaux*
 Fonte: LOBATO *et al.*, 2011

Tabela 4.1 - Principais características da ETE *Laboreaux*

Características	Reatores UASB	Filtros biológicos percoladores (FBP)	Decantadores secundários (DS)
População (hab.)	70.000 (123.000)		
Vazão (L.s ⁻¹)	170 (313)		
Número de unidades	8 (16)	2 (4)	2 (4)
Tipo	Retangular	Circular	Circular
Dimensões (m)	21,7 × 6,2	D = 22,5	D = 20,0
Área (m ²)	134,5	397,6	314,0
Profundidade útil (m)	4,5	2,5	3,0
Produção de lodo* (kgSST.d ⁻¹)	1.409 (2.758)		
Produção de lodo** (m ³ .d ⁻¹)	34,5 (67,69)		

Fonte: LOBATO *et al.*, 2011

() Valores indicados em parênteses referem-se ao fim de plano.

* Dados de projeto

** Considerando a concentração do lodo igual a 4 %.

A Figura 4.2 mostra as unidades de tratamento da ETE *Laboreaux*



Figura 4.2 - Unidades de tratamento da ETE *Laboreaux*

4.2 Recirculação de lodo aeróbio

O lodo aeróbio dos decantadores secundários é encaminhado para a elevatória de retorno de lodo (ERL), onde é recalcado para a rede de esgotamento dos reatores, tendo como destino o poço de sucção da estação elevatória (EE-02) e, portanto, retornando aos reatores onde ocorre o adensamento e a estabilização anaeróbia.

Devido a problemas operacionais não houve retorno do lodo em alguns períodos. Em outros, o retorno era realizado manualmente e em batelada. Atualmente, o retorno é realizado de forma contínua com sistema de automação. O retorno do lodo é realizado a cada meia hora, começando do decantador 01, depois o decantador 2 e assim sucessivamente. A ERL é acionada quando o volume de lodo dentro do poço chega a uma altura de 1,20 m, retornando o lodo até que esse volume chegue a 0,70 m, ocorrendo dessa maneira durante 24 horas.

4.3 Gerenciamento do lodo anaeróbio excedente

Para o procedimento de avaliação e gerenciamento de lodo excedente foram utilizados os cálculos apresentados no trabalho realizado por Lobato *et al.* (2011), referente ao impacto da implementação da rotina de descarte de lodo excedente nos reatores UASB sobre a melhoria da qualidade do efluente final da ETE *Laboreaux*, conforme descrito a seguir.

Para se obter uma rotina operacional de descarte de lodo dos reatores UASB foi primeiramente calculada a massa mínima que corresponde a biomassa suficiente para digerir a carga orgânica afluyente, e a massa máxima que é dependente da capacidade de retenção de sólidos no reator.

Nos cálculos realizados para estabelecimento da massa máxima observou-se os resultados de monitoramento do efluente do reator, verificando a partir de qual biomassa há um aumento na concentração de demanda química do oxigênio (DQO), demanda bioquímica do oxigênio (DBO) e sólidos suspensos (SS) no efluente. Já a massa mínima foi calculada pela Equação

$$M_{\min} = CO_{DQO} / AME \quad (\text{Eq.1})$$

na qual:

M_{\min} = massa mínima (kgSTV)

CO_{DQO} = carga orgânica afluyente ao reator UASB (kgDQO/d)

AME = atividade metanogênica específica (kgDQO/kgSTV.d)

A partir da avaliação dos resultados de monitoramento do efluente do reator, tomou-se o valor de 8000 kgST como referência para a massa admissível no reator. Considerando a vazão atual média afluyente igual a 80 L/s, concentração de DQO afluyente igual a 550 mg/L e AME igual a 0,20 kgDQO/kgSTV.d (valor adotado), a massa mínima calculada pela Equação 1 é igual a 2376 kgSTV (3960 kgST), sendo adotado o valor de 4000kgST. Desta forma, a partir dos cálculos, a rotina operacional de lodo excedente implementada teve como objetivo manter a biomassa entre os valores mínimo e máximo de 4.000 kgST e 8.000 kgST, respectivamente (LOBATO *et al.*, 2011).

Como a ETE *Laboreaux* utiliza o processo de desidratação mecânica (filtro prensa), o descarte de lodo anaeróbio deve ser feito diariamente, sendo a magnitude dos descartes correspondente à produção diária de lodo considerando todos os reatores, a qual é calculada pelas Equações 2 e 3.

$$V_{\text{lodo}} = \frac{P_{\text{lodo}}}{\gamma \times C_{\text{lodo}}} \quad (\text{Eq.2})$$

$$P_{\text{lodo}} = Y \times CO_{DQO} \quad (\text{Eq. 3})$$

na qual:

V_{lodo} = volume de lodo a ser descartado (m^3)

P_{lodo} = produção de lodo no sistema (kgSST/d)

γ = massa específica do lodo (kg/m^3)

C_{lodo} = concentração do lodo (%).

A rotina operacional para o descarte de lodo excedente dos reatores UASB foi definida levando em consideração a produção diária de lodo de $19 \text{ m}^3/\text{d}$, sendo descartados $4,75 \text{ m}^3$ de lodo de fundo por reator, considerando uma vazão de 80 L/s .

4.3.1 Dispositivo de descarte

O reator UASB possui 07 registros inferiores e 07 superiores localizados na lateral para operação de descarte o que possibilita o escoamento do lodo até o tanque de armazenamento. O tempo de abertura dos mesmos controla o volume a ser descartado em cada registro. No tanque onde o lodo fica armazenado ocorre o preparo para o processo de desidratação mecânica onde inclui adição de produtos químicos, cal e cloreto férrico para o condicionamento do lodo e, posteriormente é realizada uma mistura, através da injeção de ar, visando homogeneizar o lodo, o qual é bombeado até o filtro prensa, unidade que efetivamente promove a desidratação mecânica.

A Figura 4.3 mostra uma representação esquemática do sistema de descarte de lodo excedente e desidratação mecânica e a Figura 4.4 apresenta as unidades envolvidas nesse sistema.

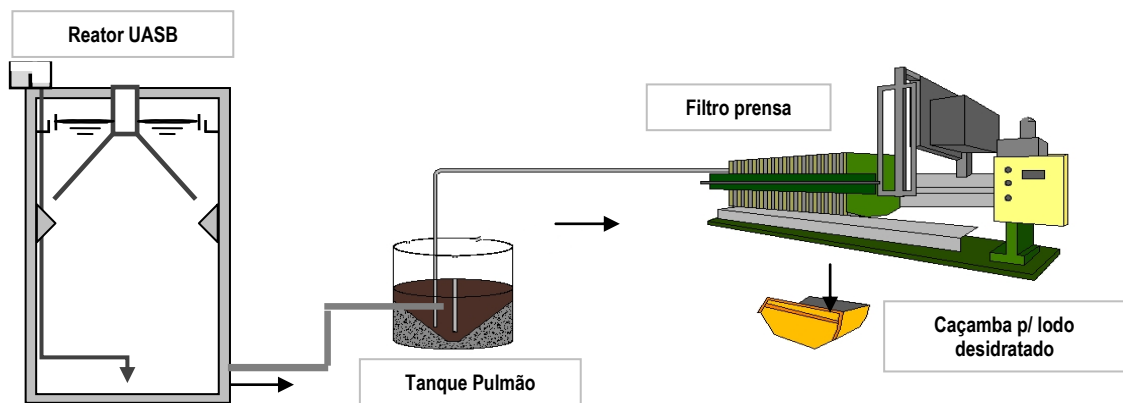


Figura 4.3 - Representação esquemática do sistema de descarte de lodo excedente e desidratação mecânica



Figura 4.4 - (a) Tubulações de descarte de lodo na lateral dos reatores UASB; (b) Tanques de armazenamento de lodo; (c) filtro prensa

Fonte: LOBATO *et al.*, 2011

4.3.2 Protocolo de descarte estabelecido

Após o período de partida houve um acúmulo de lodo nos reatores UASB devido à falta de descarte de lodo excedente. Com a operacionalização do filtro prensa e a partir do cálculo da produção diária de lodo, estabeleceu-se uma rotina para o descarte de lodo. A produção diária de lodo em todo o sistema era descartada a partir dos 7 registros inferiores (lodo do fundo), apenas de dois reatores por dia, em um esquema de rodízio. Entretanto, esta rotina de descarte do lodo excedente mostrou-se inviável, uma vez que os operadores encontraram dificuldades nas últimas prensagens, devido ao lodo estar mais diluído, o que acarretava também em um maior consumo de condicionantes químicos. Desta forma, estabeleceu-se a rotina de descarte do lodo inferior de quatro reatores.

No início de 2011 foram construídos quatro leitos de secagem (área total 600 m²) a fim de se evitar interrupções na rotina de descarte de lodo, devido a possíveis paralisações na operação do filtro prensa, sendo assim, essas unidades funcionam como suporte ao filtro prensa para o gerenciamento do lodo excedente, evitando situações de passivo de lodo no interior dos reatores, o que pode acarretar em um acúmulo de sólidos nos mesmos e a conseqüente deterioração da qualidade do efluente, como já observado na prática operacional.

4.4 Monitoramento do sistema

Para garantir a otimização das condições operacionais da estação de tratamento, visando à estabilidade do processo, a redução dos custos e o atendimento aos padrões de lançamento estabelecidos pela legislação ambiental, são necessários o efetivo monitoramento e o controle de todas as unidades que a compõe. A Tabela 4.2 apresenta os parâmetros e a frequência de monitoramento das unidades da ETE *Laboreaux*.

Tabela 4.2 - Parâmetros e frequência de monitoramento – ETE *Laboreaux*

Parâmetro	Unidade	Pontos e frequência de monitoramento					Pontos de amostragem do lodo
		CDV-1	Efluente de cada reator UASB*	CDV-2	CDV3	DS	
Eficiência de tratamento							
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	mg/L	2 x semana	semanal	2 x semana	2 x semana	2 x semana	
Demanda química de oxigênio (DQO)	mg/L	2 x semana	semanal	2 x semana	2 x semana	2 x semana	
Sólidos sedimentáveis	mL/L	2 x semana	semanal	2 x semana	2 x semana	2 x semana	-
Sólidos suspensos totais (SST)	mg/L	2 x semana	semanal	2 x semana	2 x semana	2 x semana	-
Temperatura	°C	2 x semana	semanal	2 x semana	2 x semana	2 x semana	-
pH	-	semanal	semanal	semanal	semanal	semanal	-
Alcalinidade e ácidos graxos voláteis	mg/L	semanal	semanal	semanal	semanal	semanal	-
Óleos e graxas	mg/L	-	-	quinzenal	-	quinzenal	-
Quantidade/qualidade do lodo							
Sólidos totais	mg/L	-	-	-	-		semanal
Sólidos totais voláteis e fixo	mg/L	-	-	-	-		semanal

* Esquema de rodízio, uma semana reatores 1 a 4 e na outra semana reatores 5 a 8

Todas as análises foram realizadas no laboratório da ETE *Laboreaux* utilizando os métodos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

Em relação ao lodo aeróbio as amostragens para a mensuração da concentração de ST foram realizadas nos dias 19/11/2011 e 20/11/2011, assim como, verificada a vazão de recirculação do lodo aeróbio a fim de avaliar o impacto no desempenho dos reatores UASB.

As amostragens foram realizadas na saída de cada decantador (Figura 4.5a) utilizando-se frascos de 100 mL e um cronômetro para marcar o tempo entre uma coleta e outra. O tempo estabelecido foi de 1 minuto sendo 10 amostragens para cada decantador. Esse procedimento foi realizado para os dois decantadores. Foi utilizado uma balança com medidor infravermelho para a mensuração de ST (Figura 4.5b)

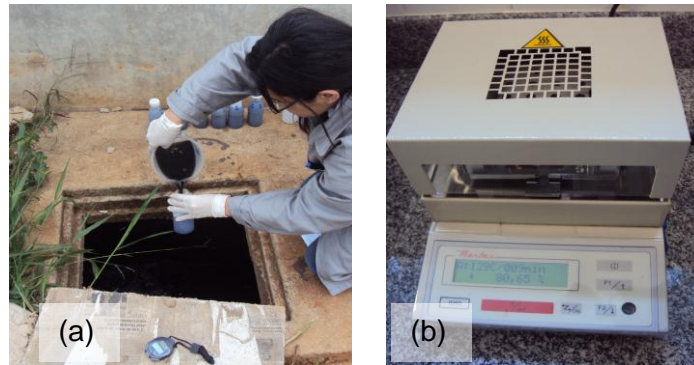


Figura 4.5 - (a) Coleta de lodo aeróbio; (b) balança infravermelho

A vazão de recirculação do lodo aeróbio foi calculada a partir das medições do nível de lodo no poço no intervalo de 4 minutos (tempo de descarte de lodo no poço até o acionamento da bomba) e da área do poço de sucção igual a $2,52 \text{ m}^2$ ($2,1\text{m} \times 1,2 \text{ m}$).

4.5 Análise dos dados de monitoramento

A ETE *Laboreaux* entrou em operação em julho de 2008 sendo monitorada desde então. Foram estabelecidos períodos com base nas diferentes condições operacionais de descarte de lodo excedente e recirculação de lodo aeróbio, descritos na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Períodos operacionais

Período	Dias operacionais	Número de dias	Condição operacional
1	0 a 125	125	Partida do sistema
2	126 a 499	373	Filtro prensa não operacional sem descarte de lodo
3	500 a 699	199	Filtro prensa sem rotina operacional
4	700 a 787	87	Filtro prensa com a rotina operacional estabelecida e recirculação de lodo sem automação
5	787 a 873	86	Filtro prensa com a rotina operacional estabelecida e recirculação de lodo aeróbio com automação em teste
6	844 a 938	94	Filtro prensa com a rotina operacional estabelecida e recirculação de lodo aeróbio com automação definida
7	939 a 1026	87	Filtro prensa com a rotina operacional estabelecida e sem recirculação de lodo aeróbio
8	1027 a 1136	110	Filtro prensa com a rotina operacional estabelecida e recirculação de lodo aeróbio manual
9	1137 a 1296	43	Filtro prensa com a rotina operacional estabelecida e recirculação de lodo aeróbio com automação

Como o foco desse trabalho é o impacto da recirculação de lodo aeróbio na eficiência do sistema, apenas os períodos 7 e 9 foram analisados. Foram calculadas algumas estatísticas descritivas desses dados (percentis, mínimo, máximo e média) e elaborados gráficos box-plot, séries temporais e percentis para apresentação dos resultados obtidos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Impacto da carga orgânica e da vazão de recirculação de lodo aeróbio na carga orgânica e vazão afluente à ETE Laboreaux

5.1.1 Vazão afluente à ETE Laboreaux e de recirculação de lodo aeróbio

A vazão afluente à ETE Laboreaux é medida na calha Parshall através de medidor ultrassônico. As estatísticas descritivas dos dados de monitoramento da vazão média diária afluente à ETE Laboreaux são apresentadas na Tabela 5.1, para os períodos 7 e 9, sem e com recirculação de lodo aeróbio, respectivamente.

Tabela 5.1 - Estatística descritiva da vazão afluente à ETE Laboreaux

Estatística Descritiva	Vazão (m ³ /h)	
	Período 7	Período 9
Nº dados	84	154
Média	329	294
Mínimo	210	185
Máximo	504	521
10%	264	225
25%	292	241
50%	318	258
75%	358	339
90%	418	421

Os resultados para a vazão afluente à ETE Laboreaux podem ser visualizados no gráfico box-plot contido na Figuras 5.1.

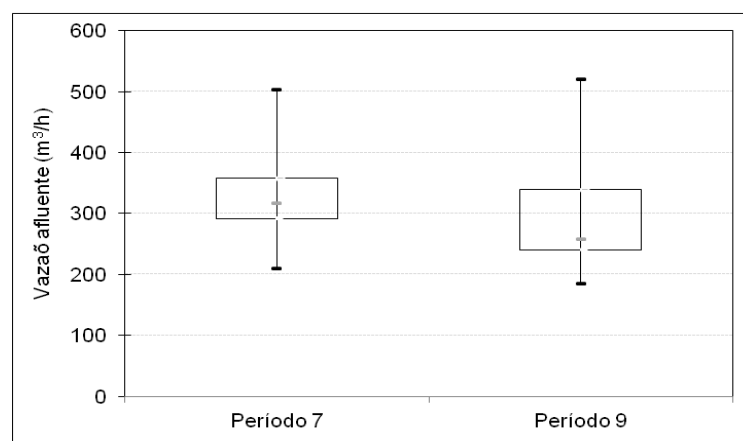


Figura 5.1 - Vazão afluente à ETE Laboreaux nos períodos 7 e 9

As vazões afluentes médias à ETE *Laboreaux*, para o período 7 e 9, foram iguais a 329 m³/h (91 L/s) e 294 m³/h (82 L/s), respectivamente. Pelo gráfico pode-se observar uma maior variação dos dados, entre os percentis de 25 e 75%, para o período 9.

Para avaliar o impacto do retorno do lodo aeróbio para os reatores UASB calculou-se a vazão de recirculação do lodo e o seu impacto na vazão afluyente à ETE *Laboreaux*. Como citado anteriormente, a vazão de recirculação do lodo aeróbio foi calculada a partir das medições do nível de lodo no poço no intervalo de 4 minutos, sendo anotado o volume de enchimento a cada minuto, e da área do poço de sucção igual a 2,52 m² (2,1m x 1,2 m), sendo os resultados apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Nível e volume do poço de sucção

Tempo (min.)	Nível - DS 1 (m)	Volume - DS1 (m ³)	Nível - DS 2 (m)	Volume - DS2 (m ³)
1	0,05	0,13	0,06	0,15
2	0,20	0,50	0,21	0,53
3	0,17	0,43	0,16	0,40
4	0,10	0,25	0,10	0,25
Total	0,52	1,31	0,53	1,34

De acordo com a Tabela 5.2, o volume de recirculação de lodo por ciclo foi igual a 1,31 m³ para o DS1 e 1,34 m³ para o DS2, totalizando 2,65 m³/h (63,50 m³/d). Esse cálculo foi realizado no mês de outubro de 2011 em que o sistema de automação estava funcionando de forma adequada.

Na Tabela 5.3 é apresentado o percentual da vazão de recirculação de lodo aeróbio em relação a vazão afluyente à ETE *Laboreaux*, considerando os dados do mês de outubro de 2011.

A partir da Tabela 5.3 observa-se que a vazão de recirculação do lodo aeróbio de 2,65 m³/h correspondeu a apenas 1,07% da vazão média afluyente à ETE *Laboreaux* de 257,34 m³/h (71,48 L/s). Ao considerar a vazão mínima e máxima afluyente à ETE *Laboreaux*, o impacto da vazão de recirculação de lodo aeróbio na vazão afluyente foi igual a 2,66 % e 0,66%, respectivamente. Pode-se concluir que o impacto da vazão de recirculação de lodo na vazão afluyente é muito pequeno para acarretar prejuízos a qualidade do efluente dos reatores UASB e, conseqüentemente, a eficiência global do sistema.

TABELA 5.3 - Impacto da vazão de recirculação de lodo aeróbio na vazão afluyente à ETE *Laboreaux*

Vazão média diária (m ³ /h)	Impacto de recirculação (%)	Vazão mínima (m ³ /h)	Vazão máxima (m ³ /h)	Impacto de recirculação (%)	
				Mínimo	Máximo
264,0	1,00	54,0	324,0	4,90	0,82
204,3	1,30	79,2	594,0	3,34	0,45
248,1	1,07	93,6	392,4	2,83	0,67
220,8	1,20	82,8	324,0	3,20	0,82
209,9	1,26	223,2	320,4	1,19	0,83
277,2	0,95	46,8	306,0	5,65	0,86
185,0	1,43	86,4	428,4	3,06	0,62
241,2	1,10	86,4	306,0	3,06	0,86
209,3	1,26	86,4	320,4	3,06	0,83
211,8	1,25	82,8	316,8	3,20	0,84
208,4	1,27	93,6	360,0	2,83	0,74
216,8	1,22	82,8	320,4	3,20	0,83
217,4	1,22	90,0	442,8	2,94	0,60
230,3	1,15	86,4	442,8	3,06	0,60
258,9	1,02	165,6	288,0	1,60	0,92
244,8	1,08	104,4	403,2	2,53	0,66
233,7	1,13	97,2	313,2	2,72	0,84
237,6	1,11	93,6	460,8	2,83	0,57
225,2	1,18	86,4	432,0	3,06	0,61
228,0	1,16	90,0	331,2	2,94	0,80
229,8	1,15	108,0	619,2	2,45	0,43
330,0	0,80	262,8	579,6	1,01	0,46
401,9	0,66	252,0	619,2	1,05	0,43
342,0	0,77	133,2	504,0	1,99	0,53
298,4	0,89	97,2	370,8	2,72	0,71
265,4	1,00	93,6	630,0	2,83	0,42
286,4	0,92	97,2	676,8	2,72	0,39
317,6	0,83	230,4	493,2	1,15	0,54
390,6	0,68	169,2	388,8	1,56	0,68
286,0	0,93	212,4	496,8	1,25	0,53
257,34	1,07	118,92	426,84	2,66	0,66

5.1.2 Carga orgânica à ETE *Laboreaux* e do lodo aeróbio

Para avaliar o impacto do retorno do lodo aeróbio para os reatores UASB em termos de carga orgânica, calculou-se a carga orgânica do lodo aeróbio e o seu impacto na carga orgânica à ETE *Laboreaux*.

As concentrações médias de ST obtidas nas análises do lodo aeróbio dos DS1 e DS2 foram iguais a 2,95 kgST/m³ e 3,33 kgST/m³, respectivamente. A vazão de recirculação de lodo aeróbio calculada no item anterior foi igual a 63,50 m³/d, logo a carga orgânica do lodo aeróbio foi igual a 199,62 kgST/d. Considerando a relação SV/ST de 75% (valor adotado) e

1,42 kgDQO_{lodo}/kgSV, a carga orgânica de DQO no lodo aeróbio será igual a 212,60 kgDQO/d.

No mês de outubro de 2011, a concentração média de DQO foi igual a 613 mgDQO/L e a vazão afluyente à ETE *Laboreaux* foi igual a 71,48 L/s, logo a carga orgânica afluyente foi igual a 3.785,81 kgDQO/d. Para SST a concentração média foi de 320 mgSST/L, sendo então, a carga orgânica afluyente igual a 1.976,28KgSST/d .

A partir dos resultados de DQO e SST observa-se que a carga orgânica de lodo aeróbio de 212,60 kgDQO/d e 199,62 kgST/d correspondeu a apenas 5,62% da carga orgânica afluyente à ETE *Laboreaux* de 3.785,81 kgDQO/d e 10% da carga orgânica afluyente à ETE *Laboreaux* de 1.976,28KgSST/d, respectivamente

Assim, como no caso da avaliação do impacto da vazão de recirculação do lodo aeróbio na vazão afluyente à ETE, pode-se concluir que o impacto da carga orgânica de lodo aeróbio na carga orgânica afluyente não deve acarretar prejuízos a qualidade do efluente dos reatores UASB e, conseqüentemente, no desempenho do sistema.

5.2 Atendimento a metas de qualidade e aos padrões de lançamento em cursos d'água

5.2.1 Análise preliminar dos resultados de monitoramento

As estatísticas descritivas referentes aos dados de monitoramento das concentrações de DQO, DBO e SST obtidos durante o monitoramento, para os períodos 7 e 9, são mostradas na Tabela 5.4.

O período 7 compreende os dias entre 06/01/2011 e 30/03/2011 e o período 9 compreende os dias entre 28/07/2011a 28/12/2011.

As séries temporais dos resultados obtidos para o período 7 e 9 são apresentadas nas Figuras 5.2 a 5.4 e 5.5 a 5.7, respectivamente.

Tabela 5.4 - Estatística descritiva dos parâmetros DBO, DQO e SST nos períodos 7 e 9

Parâmetro	Estatística Descritiva	Período 7			Período 9		
		Esgoto bruto	Efluente UASB	Efluente final	Esgoto bruto + Lodo de retorno	Efluente UASB	Efluente final
DBO (mg/L)	Nº dados	24	24	18	34	34	34
	Média	194	26	15	250	45	18
	Mínimo	62	13	8	97	21	10
	Máximo	324	55	37	519	88	42
	10%	90	18	10	132	28	12
	25%	161	20	12	195	35	13
	50%	202	26	14	249	41	16
	75%	243	28	17	289	53	21
	90%	264	36	19	334	70	27
DQO (mg/L)	Nº dados	25	24	18	42	42	42
	Média	500	89	31	584	158	46
	Mínimo	146	42	21	260	58	19
	Máximo	1341	155	45	1500	335	74
	10%	291	71	24	320	91	24
	25%	373	74	26	436	113	40
	50%	502	85	31	574	143	50
	75%	611	100	36	694	178	55
	90%	647	112	40	745	229	58
SST (mg/L)	Nº dados	25	22	16	39	39	39
	Média	281	36	14	349	67	19
	Mínimo	100	16	7	128	16	6
	Máximo	808	62	26	1500	209	56
	10%	142	17	9	188	22	10
	25%	204	29	10	222	40	12
	50%	282	35	14	300	55	17
	75%	322	42	15	395	76	21
	90%	378	57	20	497	138	27

No período 7, as concentrações médias afluentes a ETE foram iguais a 194 mgDBO/L, 500 mgDQO/L e 281 mgSST/L. Considerando essas concentrações e a vazão média afluyente a ETE no período 7, calculada no item anterior, nesse período o sistema operou com cargas orgânicas médias de 1.525 kgDBO/d, 3.931 kgDQO/d e 2.209 kgSST/d. No que tange a remoção de DBO, os reatores UASB e os FBP/DS foram capazes de produzir um efluente com concentração média de 26 mgDBO/L e 15 mgDBO/L, respectivamente. Para o parâmetro DQO, os reatores UASB e os FBP/DS reduziram a concentração a valores médios de 89 mgDQO/L e 31 mgDQO/L, respectivamente. Já as concentrações médias de SST no efluente dos reatores UASB e dos FBP/DS foram iguais a 36 mgSST/L e 14 mgSST/L, respectivamente.

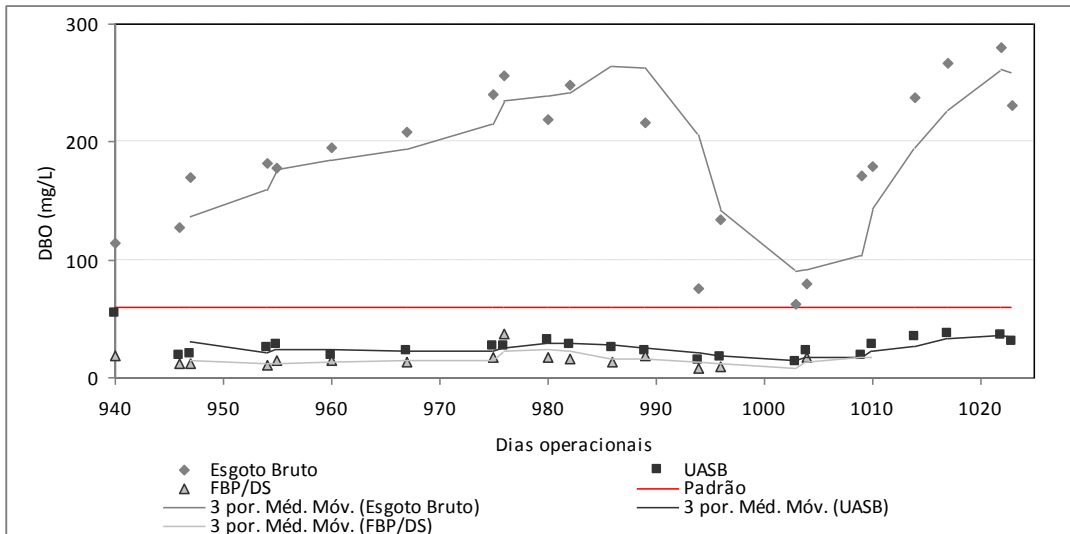


Figura 5.2 - Período 7 - Série temporal DBO

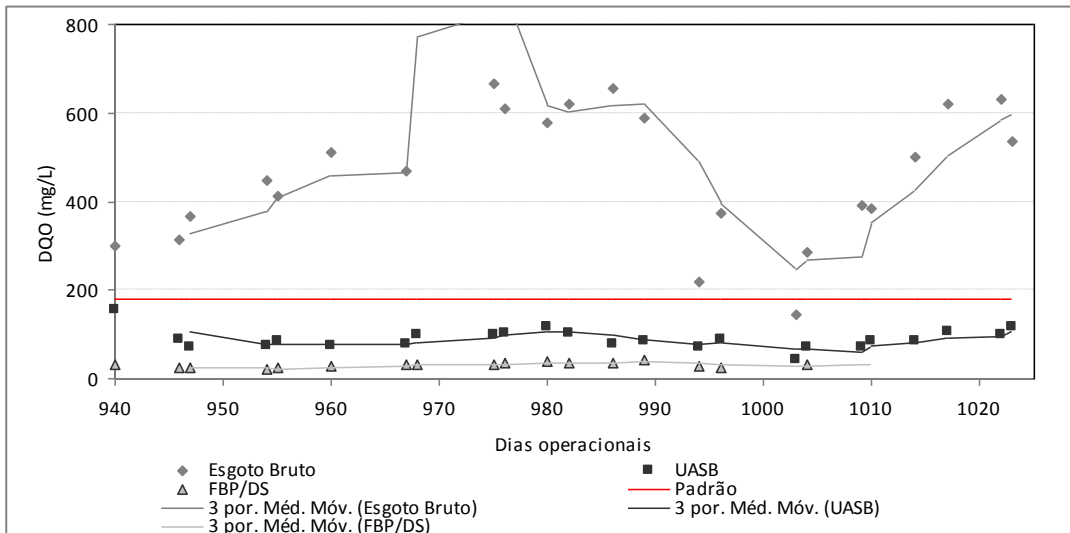


Figura 5.3 - Período 7 - Série temporal DQO

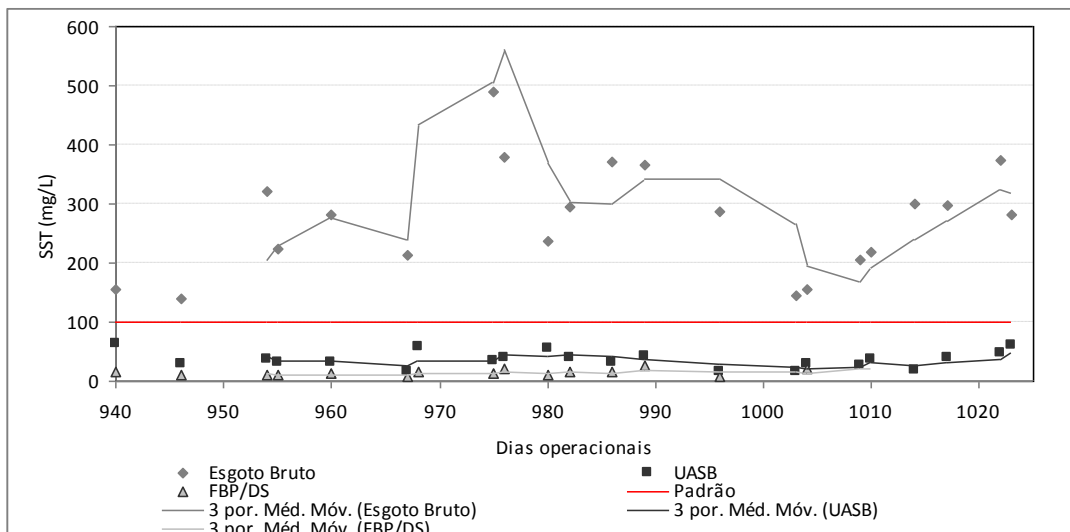


Figura 5.4 - Período 7 - Série temporal SST

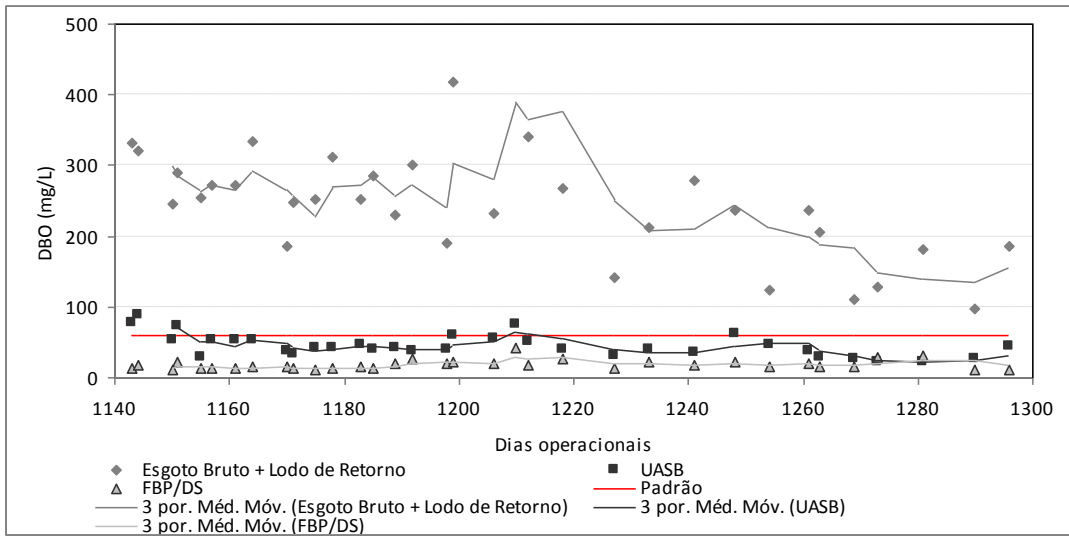


Figura 5.5 - Período 9 - Série temporal DBO

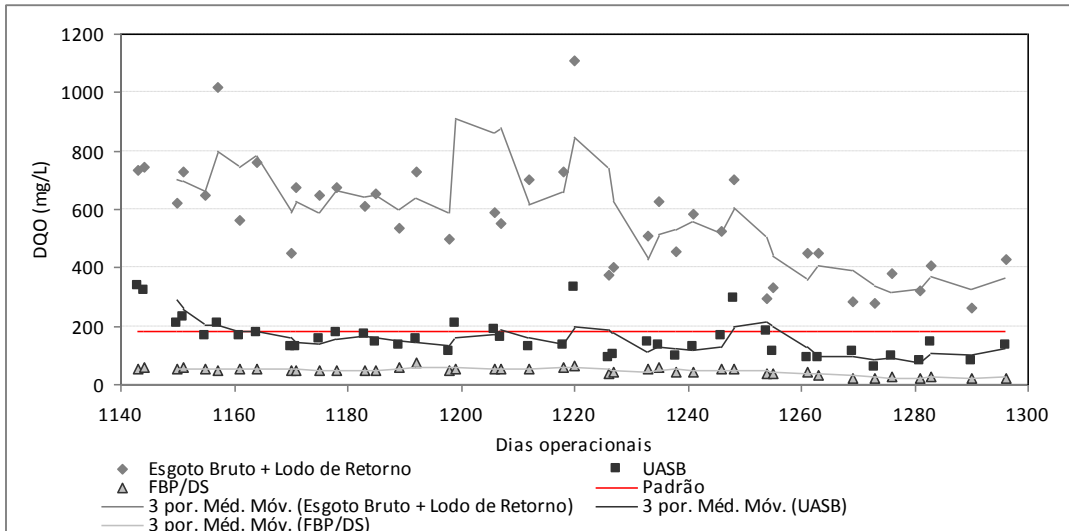


Figura 5.6 - Período 9 - Série temporal DQO

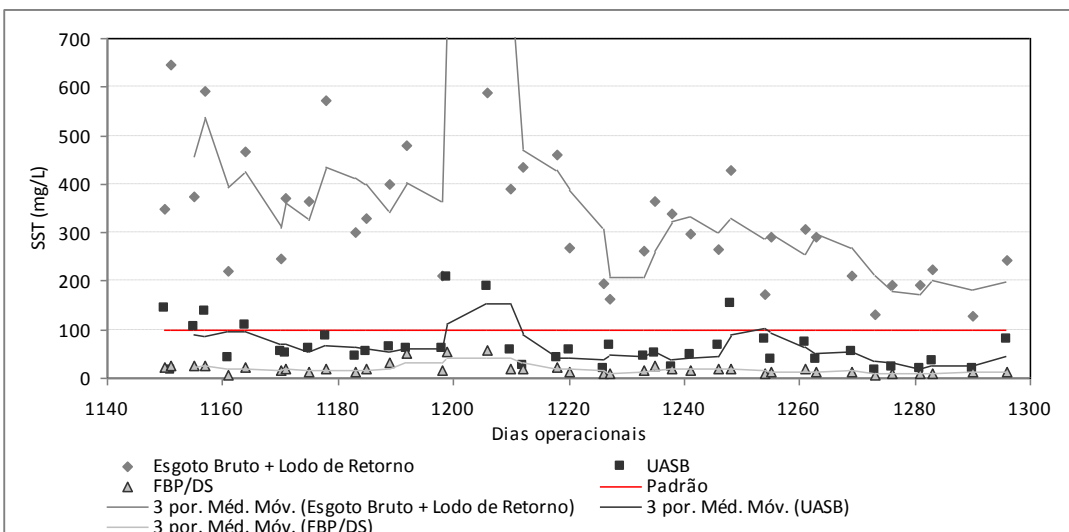


Figura 5.7 - Período 9 - Série temporal SST

No período 9 as concentrações médias afluentes a ETE foram iguais a 250 mgDBO/L, 584 mgDQO/L e 349 mgSST/L. Considerando essas concentrações e a vazão média afluente a ETE no período 9, calculada no item anterior, nesse período o sistema operou com cargas orgânicas volumétricas médias de 1.771 kgDBO/d, 4.137 kgDQO/d e 2.472 kgSST/d. Os reatores UASB e os FBP/DS produziram efluentes com concentrações médias de DBO iguais a 45 mgDBO/L e 18 mgDBO/L, respectivamente. Em termos de DQO, as concentrações médias foram iguais a 158 mgDQO/L e 46 mgDQO/L, respectivamente, para o efluente dos reatores UASB e o efluente final da ETE. Para SST, a concentração média no efluente dos reatores UASB foi de 67 mgSST/L e no efluente final de 19 mgSST/L.

5.2.2 Atendimento a metas de qualidade pelo efluente dos reatores UASB e aos padrões de lançamento em cursos d'água pelo efluente final

A fim de se verificar o atendimento do efluente dos reatores UASB a metas de qualidade (as quais podem ser definidas em função das eficiências médias de remoção dos parâmetros DBO, DQO e SST nesse tipo de tratamento) e do efluente final aos padrões de lançamento em cursos d'água são apresentados na Figura 5.8 os gráficos de percentis para os parâmetros DBO, DQO e SST, para o período 7 e 9.

Como metas de qualidade adotaram-se como concentrações médias esperadas para o efluente dos reatores UASB: 100 mgDBO/L, 210 mgDQO/L e 100 mgSST/L. Na figuras 5.8a, 5.8c e 5.8e que mostram os gráficos percentis das concentrações de DBO, DQO e SST no efluente dos reatores UASB, pode-se observar que, nos períodos 7 e 9, 100% dos resultados de DBO ficaram abaixo da meta de qualidade adotada de 100 mgDBO/L. Para os parâmetros DQO e SST, 100% dos resultados, no período 7, sem recirculação de lodo aeróbio, ficaram abaixo das metas de qualidade de 210 mgDQO/L e 100 mgSST/L, respectivamente. No período 9, com recirculação de lodo aeróbio, 80% dos resultados de DQO e SST ficaram abaixo das metas de qualidade adotadas.

Ao se analisar o efluente final da ETE *Laboreaux*, Figuras 5.8b, 5.8d e 5.8f, observa-se que durante os dias operacionais analisados, 100% dos resultados das concentrações de DBO, DQO e SST no efluente final da ETE, em ambos os períodos, estiveram abaixo dos padrões de lançamento de 60 mgDBO/L, 180 mgDQO/L e 100 mgSST/L (COPAM/CERH-MG N° 01 05/08).

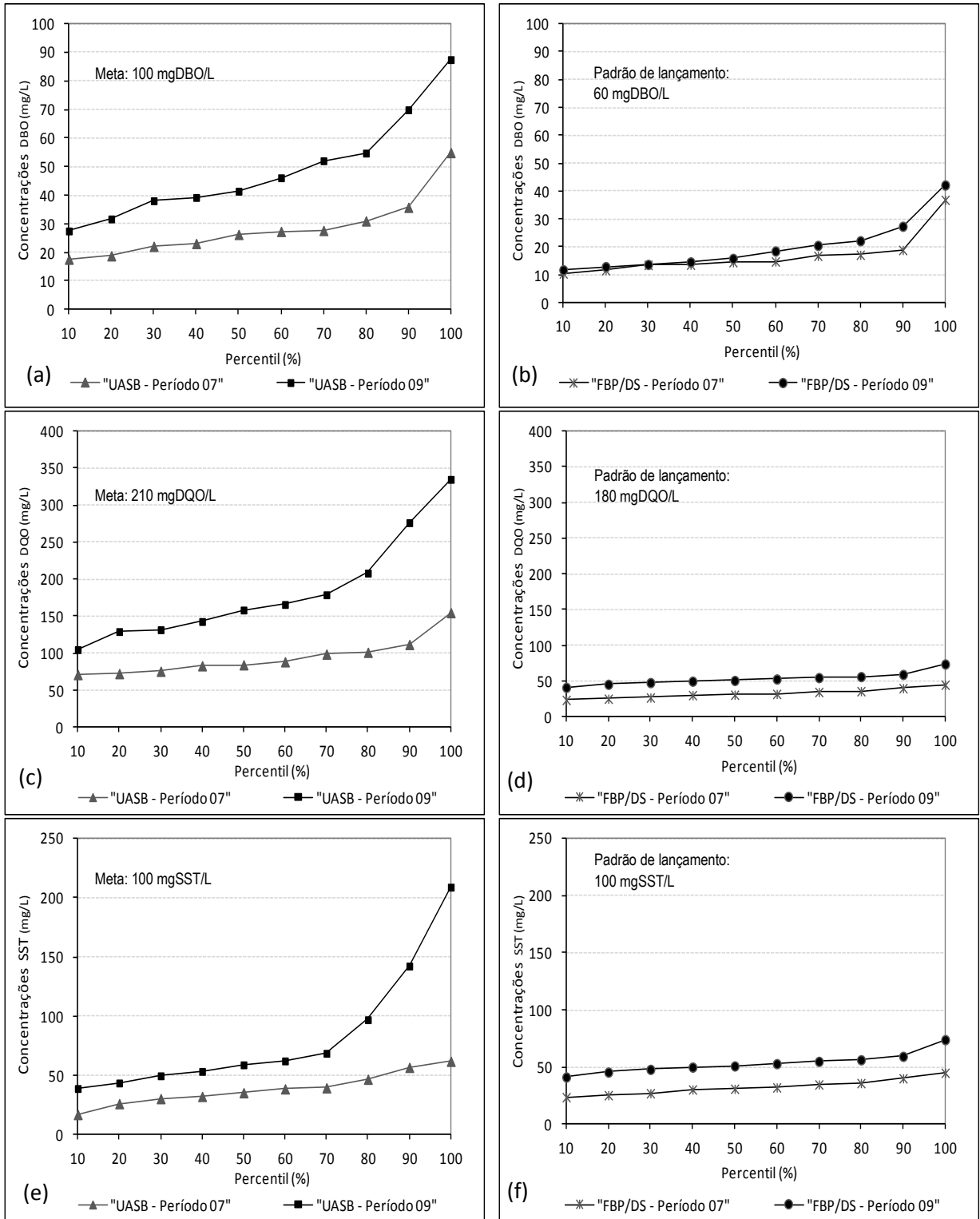


Figura 5.8 – Gráficos percentis para os períodos 07 e 09 – Efluente UASB (a) DBO; (c) DQO; (e) SST e Efluente FBP/DS: (b) DBO; (d) DQO; (f) SST

Com o objetivo de comparar os resultados encontrados entre os períodos 07 e 09 foram utilizados os gráficos box-plot apresentados na Figura 5.9.

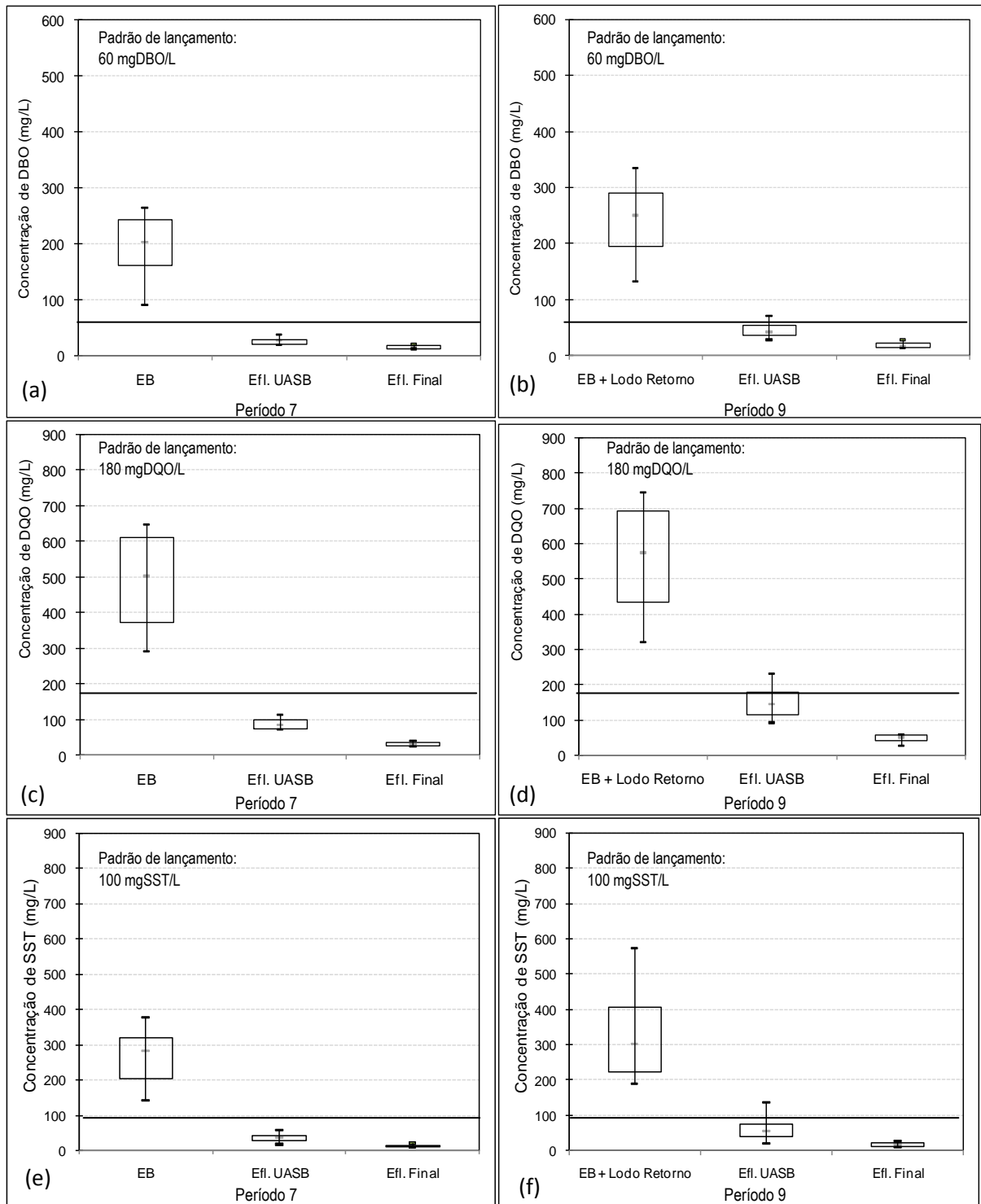


Figura 5.9 – Gráficos box-plot - Período 07: Concentrações (a) DBO; (c) DQO; (e) SST e Período 09: Concentrações (b) DBO; (d) DQO; (f) SST

A análise das Figuras 5.9a e 5.9b mostram que durante o período 9, com recirculação de lodo aeróbio, o esgoto bruto apresentou concentrações de DBO maiores, bem como uma variação um pouco maior em relação ao período 7, sem recirculação de lodo aeróbio. Ao comparar o efluente do reator UASB e o efluente final nos dois períodos, observa-se que os resultados são bem próximos, sendo a concentração de efluente no reator UASB ligeiramente superior no

período 09, no entanto, nos dois períodos as concentrações de DBO tanto do efluente dos reatores UASB quanto do efluente final são inferiores ao padrão de lançamento de 60 mg DBO/L.

Assim como o parâmetro de DBO, as concentrações de DQO no esgoto bruto são maiores no período 9, o que pode ser explicado pela parcela de lodo aeróbio recirculado ao sistema. Quanto a remoção de DQO (Figuras 5.9c e 5.9d) pode-se perceber que as concentrações efluentes de DQO no efluente do reator UASB foram maiores no período 9, bem como houve uma maior variação nesses resultados.

Para ambos os períodos, as concentrações médias de DQO no efluente final ficaram abaixo do padrão estabelecido pela Deliberação Normativa do COPAM/CERH-MG 1/08 que estabelece o limite de 180 mgDQO/L para lançamento de efluentes em cursos d'água. Tais observações indicam que mesmo a ETE operando com a recirculação de lodo aeróbio, o sistema de tratamento (reator UASB seguido de FBP/DS) apresentou um efluente com qualidade satisfatória.

Em relação ao parâmetro SST (Figuras 5.9e e 5.9f) percebe-se, assim como para os parâmetros de DBO e DQO, concentrações maiores de SST no esgoto bruto e no efluente do reator UASB, no período 9 (com recirculação de lodo aeróbio), bem como uma variabilidade maior nos resultados. Mesmo apresentando concentrações de SST no efluente do reator UASB maiores no período 9, quando comparado com o período 7 (sem recirculação de lodo aeróbio), a concentração média ficou abaixo de 100 mgSST/L, padrão de lançamento estabelecido pela legislação ambiental, o mesmo ocorrendo com o efluente final, em que houve uma menor variabilidade dos resultados.

5.2.3 Avaliação da eficiência do processo de tratamento

As estatísticas descritivas referentes as eficiências de remoção de DQO, DBO e SST para o reator UASB e o sistema UASB/FBP, para os períodos 7 e 9, são mostradas na Tabela 5.5. Esses resultados também são apresentados nos gráficos box-plot contidos na Figura 5.10.

Tabela 5.5 - Estatística descritiva das eficiências de remoção de DBO, DQO e SST nos períodos 7 e 9

Parâmetro	Estatística Descritiva	Período 7		Período 9	
		UASB	Global	UASB	Global
DBO (%)	Nº dados	22	16	34	34
	Média	85	92	81	92
	Mínimo	52	79	62	78
	Máximo	100	96	89	96
	10%	79	87	74	88
	25%	85	91	77	90
	50%	87	93	82	92
	75%	89	94	86	95
	90%	90	94	87	95
DQO (%)	Nº dados	24	15	42	42
	Média	80	93	72	92
	Mínimo	48	88	38	87
	Máximo	93	98	86	96
	10%	71	91	60	90
	25%	78	93	68	90
	50%	82	94	75	92
	75%	84	95	78	93
	90%	86	95	80	94
SST (%)	Nº dados	22	14	39	39
	Média	86	95	80	94
	Mínimo	60	90	53	89
	Máximo	95	98	94	97
	10%	79	93	67	92
	25%	83	95	76	94
	50%	88	96	84	85
	75%	91	96	87	95
	90%	93	97	90	96

No período 7, para o reator UASB e FBP/DS, a eficiência média em termos de DBO foi igual a 85% e 92%, respectivamente, já a eficiência média em termos de DQO foi igual a 80% e 93%. A eficiência média de remoção de SST no reator UASB foi de 86% e no FBP/DS foi de 95%.

No período 9, para o reator UASB e FBP/DS a eficiência média em termos de DBO foi igual a 81% e 92%, respectivamente. Já a eficiência média em termos de DQO foi igual a 72% e 92%, respectivamente. A eficiência média de remoção de SST no reator UASB foi de 80% e no FBP/DS foi de 94%.

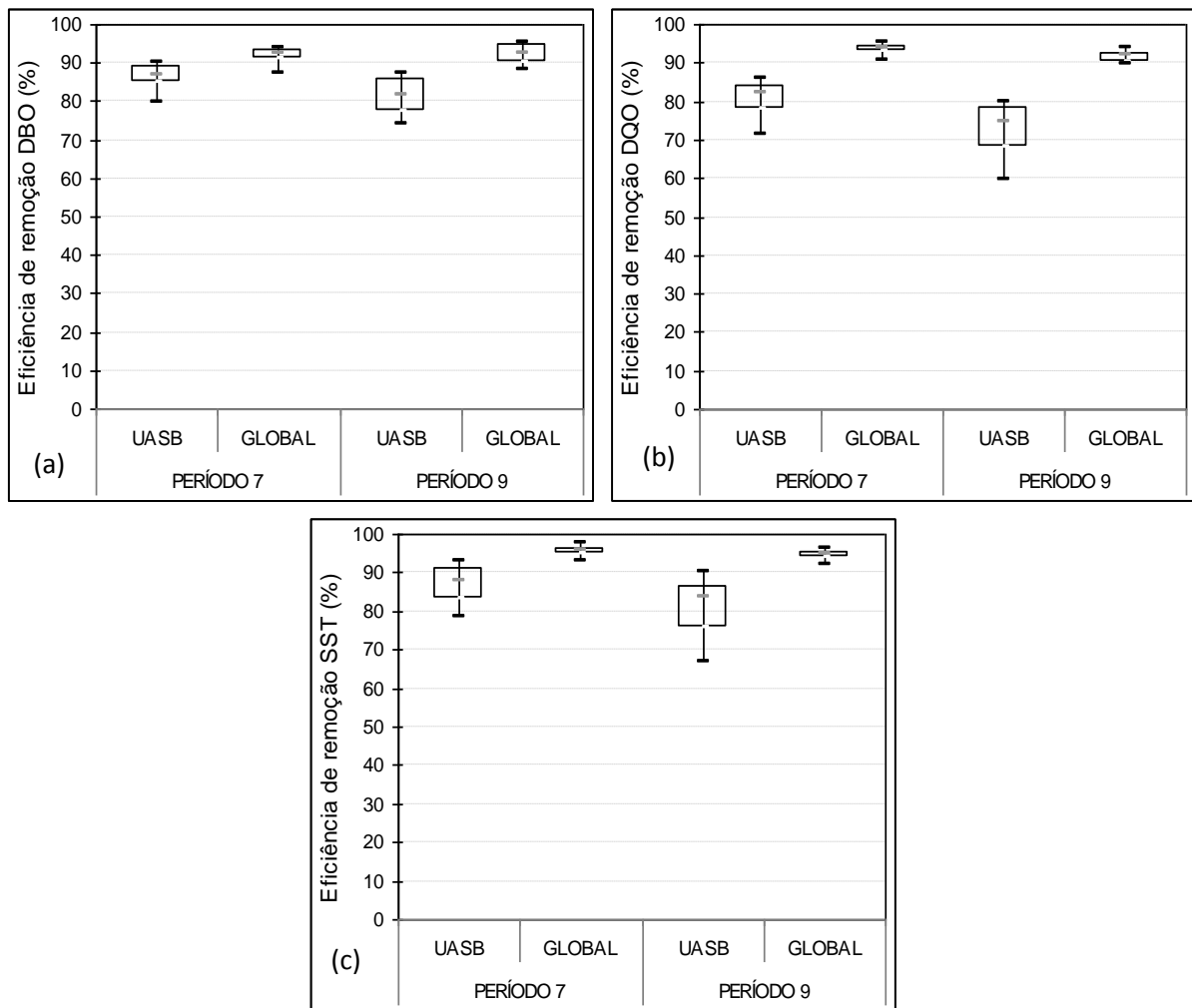


Figura 5.10 – Gráficos box-plot - Eficiências de remoção nos períodos 7 e 9: (a) DBO; (b) DQO; (c) SST

Comparando as eficiências médias de remoção do efluente final entre o período 7, sem retorno de lodo, com o período 9, com retorno de lodo aeróbio, nota-se que ficaram bem próximas, demonstrando que o sistema operando com o retorno de lodo aeróbio não influenciou significativamente na eficiência de remoção de DBO, DQO e SST, uma vez que as concentrações desses parâmetros no efluente final ficaram abaixo dos padrões estabelecidos. Mesmo nos dias operacionais em que a concentração dos parâmetros avaliados ficou acima do padrão, o pós-tratamento foi capaz de reduzir a concentração do efluente final a valores admissíveis.

Para os parâmetros DBO e SST a eficiência ficou acima de 80% e para DQO acima de 70%, ficando também dentro da média de remoção reportado por von Sperling (2005).

5.3 Efeito do retorno de lodo aeróbio para o reator UASB e do descarte do lodo anaeróbio excedente na qualidade do efluente dos reatores UASB.

Para avaliação do efeito do retorno de lodo aeróbio ao reator UASB e a rotina de descarte de lodo anaeróbio sobre a qualidade do efluente dos reatores UASB, foram analisados os dados de monitoramento dos reatores A e B, nos períodos 7 e 9. As estatísticas descritivas para as concentrações efluentes de DBO, DQO e SST e para a biomassa dos reatores UASB são apresentadas na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Estatística descritiva - Concentrações efluentes e biomassa dos reatores A e B

Estatística Descritiva	Reator A							
	Concentração (mg/L)						Biomassa (kg)	
	DBO		DQO		SST		ST	
Percentis	Período 7	Período 9	Período 7	Período 9	Período 7	Período 9	Período 7	Período 9
Nº dados	6	12	6	11	5	11	11	19
Média	27	55	102	194	61	102	8530	9451
Mínimo	11	21	37	91	16	26	7313	6288
Maximo	40	104	168	411	93	246	11591	12313
10%	15	33	53	101	18	37	7398	7662
25%	19	38	70	135	22	63	8122	8712
50%	28	51	101	157	84	95	8205	9950
75%	34	68	135	245	90	120	8564	10265
90%	37	78	152	256	92	172	9321	10945
Estatística Descritiva	Reator B							
	Concentração (mg/L)						Biomassa (kg)	
	DBO		DQO		SST		ST	
Percentis	7	9	7	9	7	9	7	9
Nº dados	7	9	7	11	7	11	11	18
Média	24	39	82	143	30	54	8031	8145
Mínimo	15	23	66	79	19	25	6550	6808
Maximo	30	50	95	325	46	147	10715	10514
10%	18	33	70	84	20	32	6756	6966
25%	22	36	74	108	21	33	7267	7575
50%	24	39	83	131	29	42	7863	7790
75%	28	43	90	144	35	50	8501	8654
90%	29	45	93	198	42	107	8942	9490

Os resultados encontrados para as concentrações efluentes de DBO, DQO e SST e para a biomassa dos reatores UASB estão ilustrados na Figura 5.11.

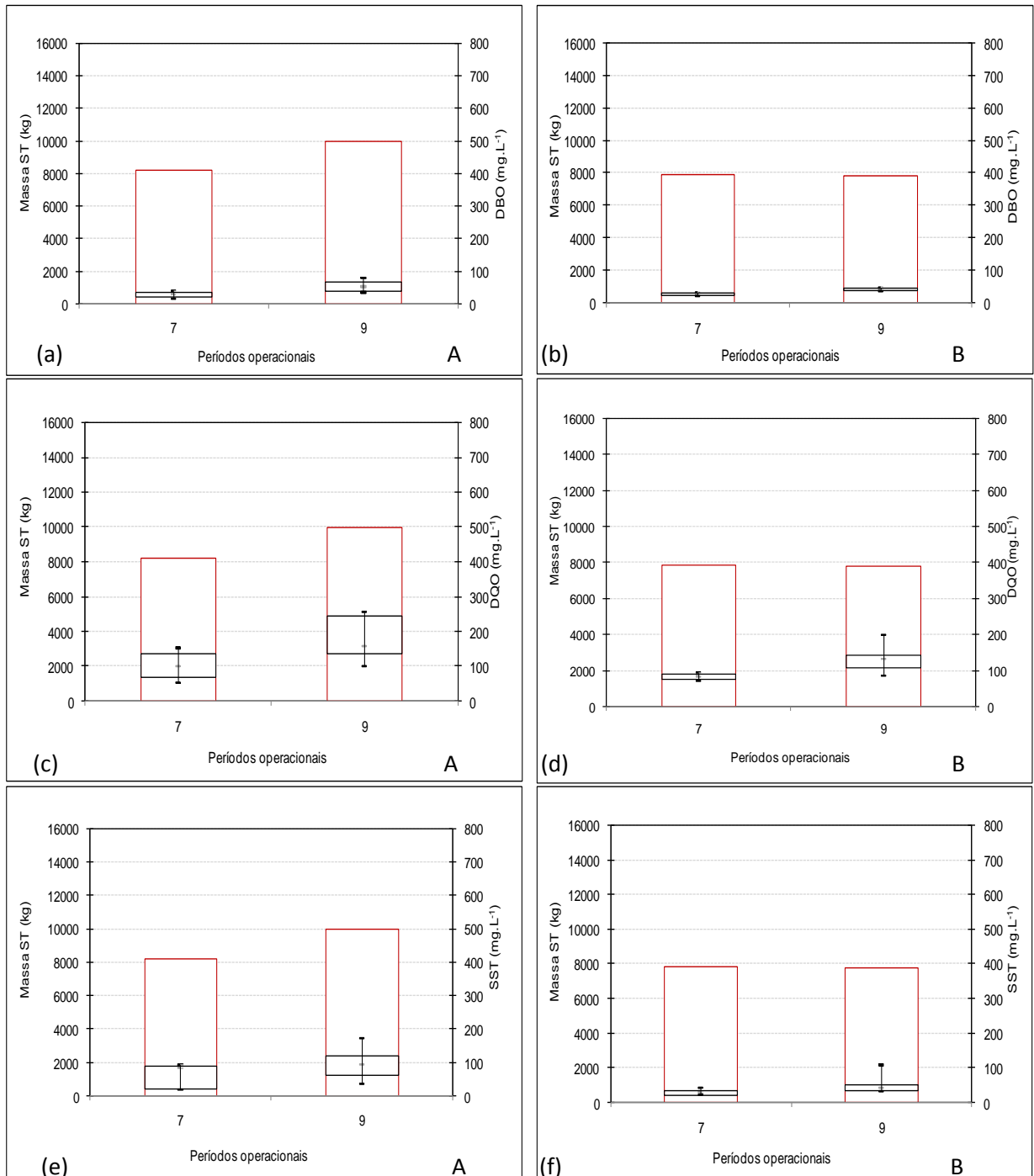


Figura 5.11 – Gráficos box-plot de biomassa e concentrações no reator UASB - Reator A: (a) DBO; (c) DQO; (e) SST e Reator B: (b) DBO; (d) DQO; (f) SST

Pode-se observar que no reator A, a biomassa foi maior no período 9, em que houve recirculação de lodo aeróbio, do que no período 7, em que não houve recirculação de lodo aeróbio. Nota-se que para o reator A, no período 9, quando a biomassa estava acima de 8000 Kg, as concentrações de DBO, DQO e SST foram superiores as observadas no período 07, em que a biomassa manteve-se próximo a condição estabelecida no protocolo de descarte de lodo anaeróbio excedente.

Entretanto, ao analisar o reator B, em que a biomassa média foi de aproximadamente 8000 kg nos dois períodos, observa-se pouca diferença nas concentrações de DBO, DQO e SST, ao se comparar os dois períodos, com e sem retorno de lodo.

Essas observações demonstram que a rotina de descarte de lodo anaeróbio excedente influencia substancialmente a qualidade do efluente e a eficiência do reator UASB, sem todavia afetar significativamente a qualidade do efluente final (FBP) e a eficiência global do sistema de tratamento.

5.4 Efeito do retorno de lodo aeróbio na estabilização do lodo no reator UASB

A partir da determinação do perfil de sólidos nos reatores UASB para o período 7, sem retorno, e período 9, com retorno de lodo aeróbio avaliou-se a porcentagem de sólidos totais voláteis (STV) em relação ao teor de sólidos totais (ST) ao longo das diferentes alturas no reator. Os resultados para a relação STV/ST são apresentados na Tabela 5.6 e na Figura 5.12.

Tabela 5.7 - Estatística descritiva - Relação STV/ST (%)

Estatística Descritiva	Reator A							
	Período 7				Período 9			
	Altura de amostragem (m)				Altura de amostragem (m)			
Percentis	0,5	1,0	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0
25%	50	50	51	36	54	55	53	39
50%	51	51	52	47	55	56	55	55
10%	50	50	51	34	50	52	48	28
90%	53	55	54	55	57	57	58	58
75%	52	52	52	53	57	57	57	56
N	12	12	12	12	18	19	19	19
Estatística Descritiva	Reator B							
	Período 7				Período 9			
	Altura de amostragem (m)				Altura de amostragem (m)			
Percentis	0,5	1,0	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0
25%	51	51	50	33	55	53	41	31
50%	51	52	52	37	57	55	44	38
10%	48	51	25	26	54	47	36	28
90%	54	54	57	50	57	57	57	52
75%	52	53	54	46	57	57	57	42
N	12	12	12	12	19	19	19	19

A percentagem média de STV em relação ao teor de sólidos totais ao longo das diferentes alturas no reator A foi de 50% para o período 7 e de 55% para o período 9. Já para o reator B, no período 7, a relação STV/ST média foi de 52% para as alturas de amostragem de 0,5 m; 1,0 m e 1,5 m, e para a altura de 2,0 m a relação foi de 37%. No período 9, a relação STV/ST média foi de 57%, 55%, 44% e 38%, respectivamente, para as alturas de amostragem 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m e 2,0 m.

Os resultados da relação STV/ST foram próximos nos dois períodos, indicando que a recirculação de lodo aeróbio não provocou um aumento na concentração de sólidos voláteis no reator.

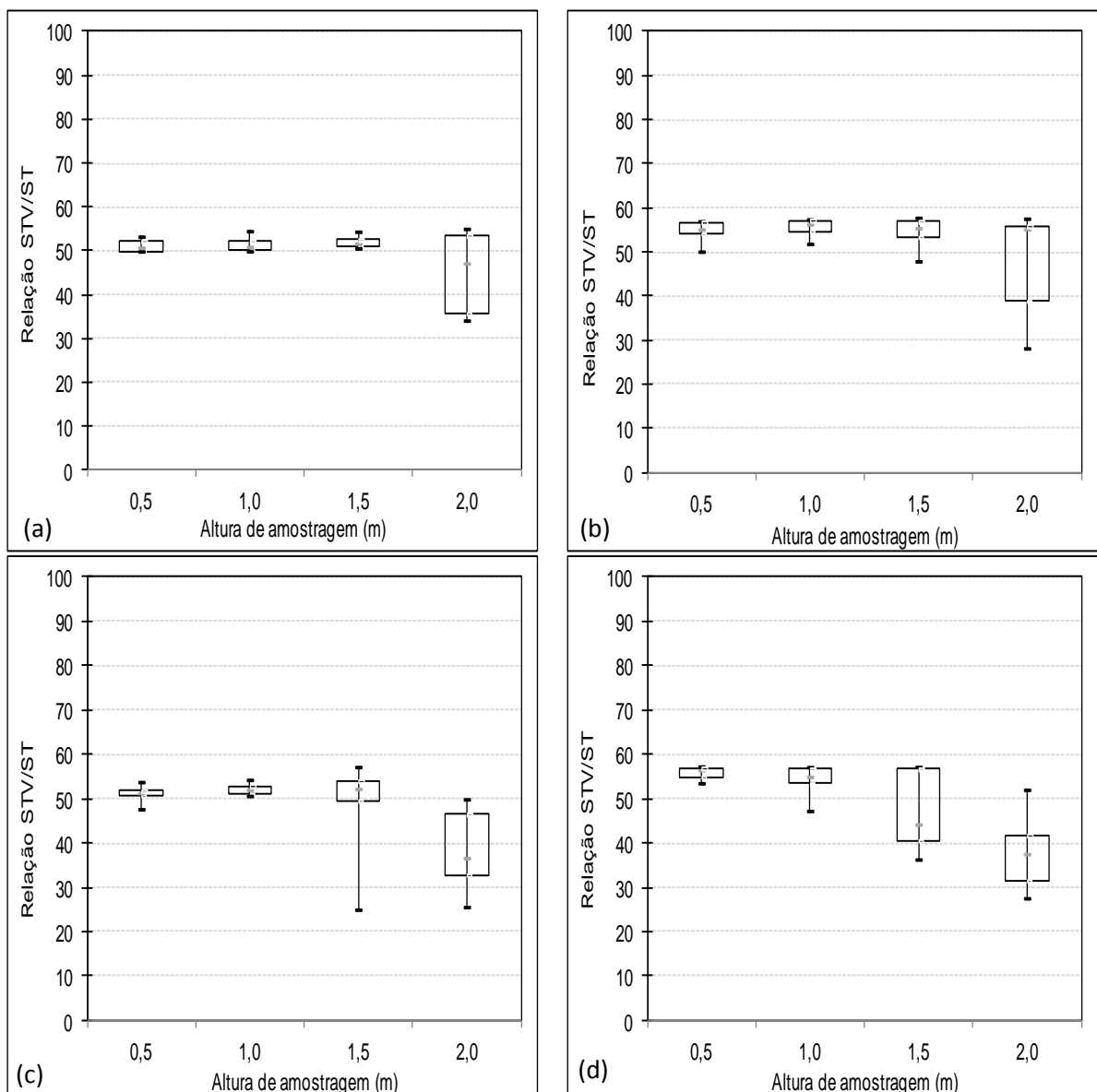


Figura 5.12 - Gráficos box-plot relação STV/ST- Reator A: (a) período 7 e (b) período 9; Reator B: (c) período 7 e (d) período 9.

As menores relações STV/ST nas alturas de amostragem de 1,5 m e 2,0 m no reator B, quando comparado com o reator A, podem ser explicadas devido a menor precisão da análise de ST nessas alturas, uma vez que essa análise foi realizada em cápsulas de porcelana. O lodo nas alturas de amostragem superiores estava bastante diluído, devido ao fato de que a biomassa no interior do reator estava próxima a condição estabelecida no protocolo de descarte de lodo anaeróbio excedente (8.000 kgST). A fim de se obter resultados mais precisos para as alturas de amostragem superiores, em que o lodo estava mais diluído, as análises de ST deveriam ter sido realizadas utilizando-se filtros e não cápsulas. Essa alteração na análise de ST acarretaria em uma maior precisão da análise, já que não mais seria observada a interferência da massa da cápsula, que é bastante superior a massa de lodo, quando o lodo analisado é muito diluído.

O lodo com relação STV/ST abaixo de 60% é considerado estabilizado, logo, de acordo com a Figura 5.12, em que a maioria dos resultados ficou na faixa de 50 a 60% (exceto os resultados das alturas de amostragem superiores), pode-se concluir que não houve impacto significativo na estabilização do lodo no reator UASB quando ocorreu recirculação de lodo aeróbio (período 9).

6. CONCLUSÕES

Os resultados encontrados na avaliação do retorno do lodo aeróbio para os reatores UASB mostraram-se satisfatórios uma vez que a eficiência média de remoção de DBO, DQO e SST no período com retorno de lodo foi de 92%, 92% e 94% respectivamente, valores muito próximos ao do período sem retorno de lodo que foi de 92% para DBO, 93 % para DQO e 95% para SST, demonstrando que o sistema operando com o retorno de lodo aeróbio não influenciou significativamente na eficiência de remoção.

Referente a avaliação do impacto da vazão de recirculação, foi visto que o volume recirculado de 2,65 m³/h, somando-se os dois decantadores, correspondeu a 1,07% da vazão média afluyente a ETE *Laboreaux* de 257,34 m³/h (71,48 L/s) e, que o impacto da vazão de recirculação de lodo aeróbio na vazão afluyente foi igual a 2,66 % e 0,66%, considerando a vazão mínima e máxima respectivamente. A partir destes dados concluiu-se que o impacto da vazão de recirculação de lodo na vazão afluyente é muito pequeno para acarretar prejuízos a qualidade do efluente dos reatores UASB e, conseqüentemente, a eficiência global do sistema. O mesmo concluiu-se para a avaliação da carga orgânica de lodo aeróbio de 212,60 KgDQO/d que correspondeu a apenas 5,62% da carga orgânica afluyente a ETE *Laboreaux* de 3.785,81 KgDQO/d e da carga orgânica de lodo aeróbio de 199,62 kgST/d correspondeu a 10% da carga orgânica afluyente à ETE *Laboreaux* de 1.976,28KgSST/d.

No que tange ao atendimento às metas de qualidade, onde as concentrações médias esperadas para o efluente dos reatores UASB foram de 100 mgDBO/L, 210 mgDQO/L e 100 mgSST/L, observou-se que no período com retorno de lodo 100% dos resultados de DBO ficaram abaixo da meta de qualidade adotada e, para os parâmetros de DQO e SST, 80% dos resultados ficaram abaixo das metas de qualidade adotadas. Para o efluente final, com o sistema operando com retorno de lodo, 100% dos resultados das concentrações de DBO, DQO e SST da ETE estiveram abaixo dos padrões de lançamento estabelecidos pela COPAM/CERH-MG Nº 01 05/08. A partir destes resultados observou-se que mesmo a ETE operando com a recirculação de lodo aeróbio, o sistema de tratamento (reator UASB seguido de FBP/DS) apresentou um efluente com qualidade satisfatória.

Na avaliação do descarte de lodo anaeróbio excedente na qualidade do efluente dos reatores UASB, os resultados demonstram que a rotina de descarte influenciou substancialmente a

qualidade do efluente e a eficiência do reator UASB, sem todavia afetar significativamente a qualidade do efluente final (FBP) e a eficiência global do sistema de tratamento.

Quanto ao efeito do retorno de lodo aeróbio para o reator UASB sobre a estabilização do lodo no reator UASB, os resultados demonstraram que a relação STV/ST foram próximos nos períodos com e sem retorno de lodo indicando que a recirculação não provocou um aumento na concentração de sólidos voláteis no reator. Os resultados mostraram também que o lodo apresentou-se com relação STV/ST na faixa de 50 a 60% (exceto os resultados das alturas de amostragem superiores), levando a concluir que não houve impacto significativo na estabilização do lodo no reator UASB quando ocorreu recirculação de lodo aeróbio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, P. G. S. DE. *Efeito de diferentes tipos de meio suporte no desempenho de filtros biológicos percoladores aplicados ao pós-tratamento de efluentes de reatores UASB com ênfase na nitrificação*. 2007. 156f. Tese - Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Diário da União, Brasília, 16 mai. 2011.
- CHERNICHARO, C.A.L. Introdução. In: _____. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Reatores Anaeróbios*. 2ª Ed. Belo Horizonte: UFMG, 2ª ed., 1997. v. 5. p.19-29.
- CHERNICHARO, C.A.L.; ALMEIDA, P. G. S. DE. *Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por filtros biológicos percoladores*. 2009. Apostila ABES. UFMG.
- EATON, A.D.; CLESCERI, L.S.; RICE, E.W. GREENBERG, A.E. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Centennial Edition. 21ª edição.
- FORESTI, E.; FLORÊNCIO, L.; HAANDEL, A. V.; ZAIAT, M.; CAVALCANTI, P. F. Fundamentos do tratamento Anaeróbio. In: CAMPOS, J.R. (coord.). *Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo*. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 29-51. Projeto PROSAB.
- FORESTI, E. Anaerobic treatment of domestic sewage: established technologies and perspectives. *Water Science & Technology*, v. 45, n. 10, p. 181-186. 2002.
- GONÇALVES, R. F.; CHERNICHARO, C. A. L.; NETO, C. O. A.; SOBRINHO, P. A.; KATO M. T.; COSTA, R. H. R. da, AISSE, M. M.; ZAIAT, M. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por reatores com biofilme. In: CHERNICHARO, C. A. L. (coord.). Rio de Janeiro. FINEP/PROSAB, 2001. 82p.
- KATO, M. T.; NETO, C.O.A.; CHERNICHARO, C.A.L.; FORESTI, E.; CYBIS, L.F. CAPÍTULO 3. In.: *Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo: Configurações de Reatores Anaeróbios*. Rio de Janeiro: ABES, 1999, p. 53-97. Projeto PROSAB.
- LETTINGA, G.; MAN, A.; LAST, A.; WIEGANT, W.; KNIPPENBERG, K.; FRIJNS, J.; BUREN, J. Anaerobic treatment of domestic sewage and wastewater. *Water Science & Technology*, v. 27, n. 9, p. 67-73. 1993.
- LOBATO, L. C. da S.; CARDOSO, L. C.; DIVINO, M. G. D.; SILVA, H.; CHERNICHARO, C. A. L. *Influência da rotina operacional de descarte do lodo excedente de reatores UASB na qualidade do efluente de uma estação de tratamento de esgoto*. In: 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. II-112. 2011. Porto Alegre.
- MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1, de 5 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.
- PONTES, P. P. *Reatores UASB aplicados ao tratamento combinado de esgotos sanitários e lodo excedente de filtro biológico percolador*. 2003. 198f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

PONTES, P. P.; CHERNICHARO, C.A.L. Efeito do retorno de lodo aeróbio sobre as características da biomassa presente em reatores UASB tratando esgoto sanitário. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*. v.14. n.2. p.223-234,abr/jun, 2009.

ROSA, A. P; BEJAR, D. Manual de Operação da Estação de Tratamento de Esgotos – ETE Laboreaux/Itabira-MG. 2011, 130p.

SEGHEZZO, L.; ZEEMAN, G.; VAN LIER, J.B.; HAMELERS, H.V.M.; LETTINGA, G. A. Review: the anaerobic treatment of sewage in UASB and EGSB reactors. *Bioresource Technology*, v. 65, p. 190-215, 1998.

SOBRINHO, P. A.; JORDÃO, E. P. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios – uma análise crítica. In: CHERNICHARO, C. A. L. (coord.). *Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios*. Rio de Janeiro. FINEP/PROSAB, 2001. 16p.

von SPERLING, M. Níveis, processos e sistemas de tratamento de esgotos. In: _____. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3ª Ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. v.1. p. 249-337.

von SPERLING, M. E CHERNICHARO, C.A.L. Biological wastewater treatment in warm climate regions. IWA Publishing, London, 2005. 1452 p.

ZERBINI, A. M. *Identificação e análise de viabilidade de ovos de helmintos em um sistema de tratamento de esgotos domésticos constituído de reatores anaeróbios e rampas de escoamento superficial*.157f. Dissertação - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2000.