



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

CAMPUS II - CAMPINA GRANDE

**ESTUDO DA EVOLUÇÃO DA CAMADA DE LODO DA LAGOA
ANAERÓBIA PROFUNDA DA PEDREIRA Nº7 DO SISTEMA
DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DO RÓGER NA GRANDE
JOÃO PESSOA - PB**

KLEBER GONÇALVES BEZERRA ALVES

CAMPINA GRANDE

ABRIL/2006



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL
CAMPUS I - CAMPINA GRANDE**

**ESTUDO DA EVOLUÇÃO DA CAMADA DE LODO DA LAGOA
ANAERÓBIA PROFUNDA DA PEDREIRA Nº 7 DO SISTEMA DE
TRATAMENTO DE ESGOTOS DO RÓGER NA GRANDE JOÃO
PESSOA - PB**

KLEBER GONÇALVES BEZERRA ALVES

**CAMPINA GRANDE - PB
ABRIL / 2006**

**ESTUDO DA EVOLUÇÃO DA CAMADA DE LODO DA LAGOA
ANAERÓBIA PROFUNDA DA PEDREIRA Nº 7 DO SISTEMA DE
TRATAMENTO DE ESGOTOS DO RÓGER NA GRANDE JOÃO
PESSOA - PB**

KLEBER GONÇALVES BEZERRA ALVES

KLEBER GONÇALVES BEZERRA ALVES

**ESTUDO DA EVOLUÇÃO DA CAMADA DE LODO DA LAGOA
ANAERÓBIA PROFUNDA DA PEDREIRA Nº 7 DO SISTEMA DE
TRATAMENTO DE ESGOTOS DO RÓGER NA GRANDE JOÃO
PESSOA - PB**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado
em Engenharia Civil da Universidade Federal de
Campina Grande – UFCG, em cumprimento às
exigências para obtenção do grau de Mestre.

Área de concentração: Recursos Hídricos
Sub-área: Engenharia Sanitária e Ambiental
Orientadores: Prof. Dra. Mônica de Amorim Coura
Prof. Dr. Rui de Oliveira

CAMPINA GRANDE - PB
ABRIL / 2006



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC

A474e Alves, Kleber Gonçalves Bezerra
2006 Estudo da evolução da camada de lodo da lagoa anaeróbia profunda da
pedreira nº 7 do sistema de tratamento de esgotos do Roger na Grande João Pessoa
- PB/ Kleber Gonçalves Bezerra Alves.- Campina Grande, 2006.
99f. il.

Referências.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de
Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia.

1- Lagoas anaeróbias 2- Lagoas profundas 3- Camada de lodo I- Título

CDU 628.357

**ESTUDO DA EVOLUÇÃO DA CAMADA DE LODO DA LAGOA
ANAERÓBIA PROFUNDA DA PEDREIRA Nº 7 DO SISTEMA DE
TRATAMENTO DE ESGOTOS DO RÓGER NA GRANDE JOÃO
PESSOA - PB**

COMISSÃO EXAMINADORA

Mônica de Amorim Coura

Prof. Dra. Mônica de Amorim Coura
(Orientadora)

Rui de Oliveira

Prof. Dr. Rui de Oliveira
(Orientador)

Celeide Maria Belmont Sabino Meira

Prof. Dra. Celeide Maria Belmont Sabino Meira
(Examinadora Interna)

Valderi Duarte Leite

Prof. Dr. Valderi Duarte Leite
(Examinador Externo)

CAMPINA GRANDE - PB
ABRIL / 2006

À

*Minha mãe Maria de Fátima e
minha esposa Paula Carolina.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, primeiramente, por ter abençoado meu caminho até os dias de hoje e por sempre ter me acolhido;

Aos meus pais, por me incentivarem sempre e por proporcionarem condições para minha formação profissional e pessoal;

À minha querida esposa pelo amor, carinho, apoio e compreensão;

Aos meus professores e orientadores Dra. Mônica de Amorim Coura e Dr. Rui de Oliveira, pela dedicação, compreensão, paciência e amizade prestada ao longo deste trabalho;

Ao amigo Simão Almeida, pelo incentivo e ajuda prestada durante realização deste trabalho;

Aos amigos João, Luciano e Manuela, e especialmente João pela solidariedade e companheirismo durante a realização das coletas;

À professora Paula Frassinetti e as funcionárias Nélia e Walmária pela disponibilidade laboratorial;

À todos os professores da área de Engenharia Sanitária e ambiental – AESA – da UFCG, pelos ensinamentos dispensados;

À Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA;

Ao Dr. Rubens Falcão, à Dra. Tânia Maia e Dra. Carolina Arruda, pela atenção e apoio no desenvolvimento desse trabalho;

À professora Dra. Celeide Sabino pela contribuição na área da estatística desenvolvida neste trabalho;

Aos funcionários do laboratório da CAGEPA, Laís, Soraia, Dilermano, Severino, Geraldo, Antônio, Cleonice, Maribel e Manasses;

À Romário pelo apoio técnico;

À CAPES pelo suporte financeiro.

RESUMO

Neste trabalho são apresentados os resultados obtidos numa investigação experimental realizada na Lagoa anaeróbia profunda do Roger no período de março a novembro de 2005. A lagoa foi desenvolvida a partir de uma pedreira de exploração de calcário desativada, situada no pólo de tratamento de esgotos da Bacia do Rio Paraíba na Grande João Pessoa - PB (7° 10" Sul; 34° 49" Oeste), Nordeste do Brasil. O Objetivo geral desta investigação foi estudar a evolução da camada de lodo da lagoa anaeróbia e os objetivos específicos foram: estudar as distribuições de vazão afluente, monitorar as variáveis físico-químicas do esgoto bruto e do efluente da lagoa, estudar a distribuição de velocidade de escoamento da água residuária no desarenador, estimar o volume de lodo acumulado na lagoa, determinar a estabilidade do lodo acumulado na lagoa. Para atender a esses objetivos foram analisadas variáveis físico-químicas do esgoto bruto, efluente do desarenador e efluente da lagoa anaeróbia, foi monitorada a vazão de esgoto bruto no período de 42 dias, foram analisadas amostras de lodo da zona de entrada e de saída da lagoa, foram determinadas as velocidades de escoamento da água residuária no desarenador e foi realizado um levantamento batimétrico da camada de lodo acumulada na lagoa. A vazão média de esgoto bruto afluente a lagoa foi estimada em 25890 m³/d e representa um aumento de 38,8% em relação à vazão estimada dois anos atrás. O desempenho da lagoa foi inferior ao observado em estudos realizados por Arruda (2003), sendo que as eficiências de remoção de DBO₅ (67,67%), DQO (60,79%) e SS (70,98%) foram reduzidas para 53,64; 7,12 e 37,7% respectivamente. A velocidade do fluxo de água residuária no desarenador se encontra dentro das normas da NBR 12209 quando apenas um dos canais está em funcionamento. Com os dados do levantamento batimétrico ficou evidenciado que a camada de lodo acumulada na lagoa anaeróbia do Róger ocupa uma lâmina média de 1,82 m e um volume estimado em 14122,82 m³, correspondente a 16,7% da capacidade útil do reator. O tempo de detenção hidráulica médio real da Lagoa do Roger é de 2,76 d e se encontra dentro da faixa típica recomendada pela literatura para esse tipo de reator. O lodo da lagoa anaeróbia apresenta uma redução de sólidos voláteis de 5,8%, valor que se encontra dentro do limite máximo de 17% recomendado pela EPA. A partir desta investigação foi observado que a diminuição da eficiência da lagoa parece estar associada aumento progressivo da camada de lodo e o conseqüente arrastamento de sólidos. A partir deste trabalho torna-se evidente que para a recuperação da eficiência da lagoa anaeróbia são necessárias providências imediatas para a remoção, tratamento e disposição do lodo acumulado.

Palavras-chave: Lagoas de estabilização, lagoas anaeróbias, lagoas profundas, estabilidade do lodo, acúmulo de lodo.

ABSTRACT

The results presented in this research were obtained from an experimental investigation accomplished at Roger's deep anaerobic pond during the period from March 2005 to November 2005. The pond was developed in a deactivated quarry of calcareous rock exploration located in the pole of sewer treatment in Paraíba River Basin in João Pessoa City - PB (7° 10" S; 34° 49" W), Northeast of Brazil. The main objective of this research was the study of the evolution of the sludge layer in an anaerobic pond. The specific objectives were: the study of the distributions of affluent flow; the monitoring of the physicochemical variables in the sewer and in the effluent of the pond; the study of the wastewater drainage speed distribution in the desaerator; to esteem the volume of the accumulated sludge in the pond and to determine its stability. To accomplish these objectives, physicochemical variables of the sewer, effluents from the desaerator and from the anaerobic pond were analyzed; the flow of sewer was monitored in a period of 42 days; samples of sludge from the pond entrance zone and from the pond exit zone had been analyze; the wastewater drainage speed in the desaerator was measured; and an hydrographic survey of the accumulated sludge layer in the pond was made. The average flow of the affluent sewer in the pond was esteemed in 25890 m³/d and it represents an increase of 38.8% compared to the one esteemed two years ago. The performance of the pond was inferior to the observed one in studies realized by Arruda (2003), although the efficiencies of removal of BOD₅ (67.67%), COD (60.79%) and SS (70.98%) had been reduced for 53.64; 7.12 and 37.70% respectively. The wastewater flow speed in the desaerator is in agreement with the norms of NBR 12209 when only one canal is in operation. With the data from the hydrographic survey it was evidenced that the accumulated sludge layer in Roger's anaerobic pond had a mean thickness of 1.82m and a volume esteemed in 14122.82 m³, corresponding to 16.7% of the useful capacity of the reactor. The mean hydraulic detention time of Roger's pond was 2.76 days and this value is among the typical limits recommended by the literature for that reactor type. The sludge from the anaerobic pond presents a volatile solid reduction of 5.8%, value that is below the maximum limit of 17.0% recommended by EPA. According to this investigation it was observed that the decrease of the pond efficiency seems to be associated to the progressive increase of sludge layer and the consequent dragging of solids. According to the results presented here it becomes evident that to recover the efficiency of the anaerobic pond it is necessary to take immediate providences to remove, treat and dispose the accumulated sludge.

Key-words: Stabilization ponds, anaerobic ponds, deep ponds, sludge stability, sludge accumulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Esquema de funcionamento de uma lagoa anaeróbia.....	5
Figura 2.2 - Sequências metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.....	7
Figura 2.3 - Classificação dos sólidos nos esgotos.....	8
Figura 2.4 - Sistema robotizado de remoção de lodo.....	15
Figura 2.5 - Draga utilizada na remoção do lodo de lagoas de estabilização.....	16
Figura 2.6 - Sistema de bombeamento automatizado.....	16
Figura 3.1 - Dimensões e esquema do desarenador da lagoa anaeróbia do Roger.....	22
Figura 3.2 - Vista de jusante da unidade de tratamento preliminar da lagoa anaeróbia.....	23
Figura 3.3 - Vista da Pedreira N ^o 7 desativada.....	23
Figura 3.4 - Vertedor de saída do efluente da lagoa anaeróbia.....	24
Figura 3.5 - Dispositivo de entrada da lagoa anaeróbia antes do início do funcionamento.....	24
Figura 3.6 - Representação esquemática dos três pontos de coleta ao longo da lagoa do Roger.....	25
Figura 3.7 - Equipamento utilizado para leitura da lamina d'água.....	27
Figura 3.8 - Secções onde eram medidas as alturas das laminas d'água no desarenador.....	27
Figura 3.9 - Leitura da lâmina líquida no desarenador.....	27
Figura 3.10 - Representação da altura do nível de água e das lâminas líquidas utilizadas no procedimento de determinação da velocidade de escoamento da água residuária no desarenador.....	28
Figura 3.11 - Vista de montante do desarenador (Secções do desarenador onde eram coletadas as amostras de areia).....	29
Figura 3.12 - Linha longitudinal seccionando a lagoa para a realização da batimetria.....	30
Figura 3.13 - Disco metálico utilizado na batimetria da lagoa anaeróbia.....	30
Figura 3.14 - Levantamento batimétrico da camada de lodo acumulado na lagoa.....	31
Figura 3.15 - Dispositivo de entrada do coletor de lodo.....	32
Figura 3.16 - Coleta de lodo na entrada da lagoa anaeróbia profunda (vista da entrada da lagoa).....	32
Figura 3.17 - Coleta de lodo na saída da lagoa anaeróbia profunda (vista do vertedor de saída da lagoa).....	33
Figura 3.18 - Foto do teste de Estabilidade.....	34

Figura 3.19 - Produção de metano do lodo anaeróbio ao longo do tempo.....	35
Figura 4.1 - Variação diária da vazão observada durante a monitoração do afluente da lagoa anaeróbia do Róger, João Pessoa (PB), entre 27/04 e 13/06/2005.....	39
Figura 4.2 - Variação de pH na monitoração do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 17/03 e 01/11/2005.....	45
Figura 4.3 - Variação de temperatura na monitoração do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 17/03 e 01/11/2005.....	46
Figura 4.4 - Variação no ciclo diário de pH do esgoto bruto e do efluente da lagoa anaeróbia da ETE do Róger, João Pessoa – PB, entre 30 e 31 de agosto de 2005.....	47
Figura 4.5 - Variação no ciclo diário de pH do esgoto bruto e do efluente da lagoa anaeróbia da ETE do Róger, João Pessoa – PB, entre 25 e 26 de outubro de 2005.....	47
Figura 4.6 - Variação no ciclo diário da temperatura do esgoto bruto e do efluente da lagoa anaeróbia da ETE do Róger, João Pessoa – PB, entre 30 e 31 de agosto de 2005.....	48
Figura 4.7 - Variação no ciclo diário da temperatura do esgoto bruto e do efluente da lagoa anaeróbia da ETE do Róger, João Pessoa – PB, entre 25 e 26 de outubro de 2005.....	48
Figura 4.8 - Variação de DBO ₅ filtrada medida na monitoração do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 17/03 e 01/11/2005.....	50
Figura 4.9 - Variação da DQO filtrada medida na monitoração do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 17/03 e 01/11/2005.....	51
Figura 4.10 - Variação no ciclo diário da DBO ₅ filtrada do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 30 e 31 de agosto de 2005.....	52
Figura 4.11 - Variação no ciclo diário da DBO ₅ filtrada do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 25 e 26 de outubro de 2005.....	52
Figura 4.12 - Variação no ciclo diário da DQO filtrada do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 30 e 31 de agosto de 2005.....	53
Figura 4.13 - Variação no ciclo diário da DQO filtrada do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 25 e 26 de outubro de 2005.....	53
Figura 4.14 - Variação dos sólidos totais na monitoração do esgoto bruto e efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 17/03 e 01/11/2005.....	55
Figura 4.15 - Variação dos sólidos totais fixos na monitoração do esgoto bruto e efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 17/03 e 01/11/2005.....	55

Figura 4.16 - Variação dos sólidos totais voláteis na monitoração do esgoto bruto e efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 17/03 e 01/11/2005.....	56
Figura 4.17 - Variação no ciclo diário de sólidos totais do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 30 e 31 de agosto de 2005.....	58
Figura 4.18 - Variação no ciclo diário de sólidos totais do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 25 e 26 de outubro de 2005.....	58
Figura 4.19 - Variação no ciclo diário de sólidos totais fixos do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 30 e 31 de agosto de 2005.....	59
Figura 4.20 - Variação no ciclo diário de sólidos totais fixos do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 25 e 26 de outubro de 2005.....	59
Figura 4.21 - Variação no ciclo diário de sólidos totais voláteis do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 30 e 31 de agosto de 2005.....	60
Figura 4.22 - Variação no ciclo diário de sólidos totais voláteis do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 25 e 26 de outubro de 2005.....	60
Figura 4.23 - Variação dos sólidos suspensos totais na monitoração do esgoto bruto e efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 17/03 e 01/11/2005.....	62
Figura 4.24 - Variação dos sólidos suspensos fixos na monitoração do esgoto bruto e efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 17/03 e 01/11/2005.....	63
Figura 4.25 - Variação dos sólidos suspensos voláteis obtida na monitoração do esgoto bruto e efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 17/03 e 01/11/2005.....	63
Figura 4.26 - Variação no ciclo diário dos sólidos suspensos totais do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 30 e 31 de agosto de 2005.....	65
Figura 4.27 - Variação no ciclo diário dos sólidos suspensos totais do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 25 e 26 de outubro de 2005.....	65
Figura 4.28 - Variação no ciclo diário dos sólidos suspensos fixos do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 30 e 31 de agosto de 2005.....	66
Figura 4.29 - Variação no ciclo diário dos sólidos suspensos fixos do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 25 e 26 de outubro de 2005.....	66
Figura 4.30 - Variação no ciclo diário dos sólidos suspensos voláteis do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 30 e 31 de agosto de 2005.....	67

Figura 4.31 - Variação no ciclo diário dos sólidos suspensos voláteis do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 25 e 26 de outubro de 2005.....	67
Figura 4.32 - Variação dos sólidos sedimentáveis na monitoração do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 17/03 e 01/11/2005.....	68
Figura 4.33 - Variação no ciclo diário dos sólidos sedimentáveis do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 30 e 31 de agosto de 2005.....	69
Figura 4.34 - Variação no ciclo diário dos sólidos sedimentáveis do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 25 e 26 de outubro de 2005.....	70
Figura 4.35 - Velocidade média no desarenador da ETE do Róger entre 02/08 e 25/10/2005.....	75
Figura 4.36 - Variação no ciclo diário dos sólidos suspensos totais do afluente e efluente do desarenador da ETE do Róger, entre 30 e 30 de agosto de 2005.....	77
Figura 4.37 - Variação no ciclo diário dos sólidos suspensos totais do afluente e efluente do desarenador da ETE do Róger, entre 25 e 26 de outubro de 2005.....	78
Figura 4.38 - Variação no ciclo diário dos sólidos suspensos fixos do afluente e efluente do desarenador da ETE do Róger, entre 30 e 31 de agosto de 2005.....	78
Figura 4.39 - Variação no ciclo diário dos sólidos suspensos fixos do afluente e efluente do desarenador da ETE do Róger, entre 25 e 26 de outubro de 2005.....	79
Figura 4.40 - Variação no ciclo diário dos sólidos suspensos voláteis do afluente e efluente do desarenador da ETE do Róger, entre 30 e 31 de agosto de 2005.....	79
Figura 4.41 - Variação no ciclo diário dos sólidos suspensos voláteis do afluente e efluente do desarenador da ETE do Róger, entre 25 e 26 de outubro de 2005.....	80
Figura 4.42 - Variação das porcentagens dos sólidos totais e fixos do material retido no desarenador da ETE do Róger, João Pessoa – PB.....	81
Figura 4.43 - Representação do posicionamento das estacas do levantamento batimétrico e da disposição das curvas de nível da camada de lodo da lagoa anaeróbia da ETE do Róger.....	82
Figura 4.44 - Perfil da camada de lodo da lagoa anaeróbia.....	83
Figura 4.45 - Variação dos sólidos totais do lodo da entrada e da saída da lagoa anaeróbia.....	86
Figura 4.46 - Variação dos sólidos totais fixos do lodo da entrada e da saída da lagoa anaeróbia.....	86

Figura 4.47 - Variação dos sólidos totais voláteis do lodo da entrada e da saída da lagoa anaeróbia.....	87
Figura 4.48 - Variação do peso específico do lodo da entrada e da saída da lagoa anaeróbia.....	87
Figura 4.49 - Variação do teor de umidade do lodo da entrada e da saída da lagoa anaeróbia.....	88
Figura 4.50 - Produção diária acumulada de metano do lodo acumulado da lagoa anaeróbia.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Estimativa da produção de lodos em diferentes processos de tratamento de esgotos.....	10
Tabela 2.2 - Impactos ambientais e medidas mitigadoras.....	20
Tabela 3.1 - Variáveis físico-químicas utilizados nas amostras de águas residuárias.....	36
Tabela 3.2 - Variáveis físico químicas utilizadas nas amostras do material retido no desarenador.....	37
Tabela 3.3 - Variáveis físico-químicas utilizadas nas amostras de lodo.....	37
Tabela 4.1 - Análise estatística descritiva dos valores de vazão da lagoa anaeróbia.....	39
Tabela 4.2 - Dados de vazão diária e de precipitação pluviométrica na ETE do Róger, durante o período de monitoração (27/04 a 13/06/2005).....	40
Tabela 4.3 - Análise estatística descritiva das variáveis determinadas no esgoto bruto (EBR) e no efluente (EFR) da lagoa anaeróbia da ETE do Róger, João Pessoa – PB, entre 17/03 e 01/11/2005.....	42
Tabela 4.4 - Medidas das variáveis monitoradas no esgoto bruto (EBR) e efluente (EFR) da lagoa anaeróbia no primeiro perfil realizado entre 30 e 31 de agosto de 2005.....	43
Tabela 4.5 - Medidas das variáveis monitoradas no esgoto bruto (EBR) e efluente (EFR) da lagoa anaeróbia no segundo perfil realizado entre 25 e 26 de outubro de 2005.....	44
Tabela 4.6 - Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para a DBO ₅ de amostras filtradas do afluente e efluente da lagoa anaeróbia do Róger.....	49
Tabela 4.7 - Análise de variância ANOVA (fator único) para a DQO de amostras filtradas do afluente e efluente da lagoa anaeróbia do Róger.....	50
Tabela 4.8 - Análise de variância ANOVA (fator único) para os dados de sólidos totais no afluente e no efluente da Lagoa do Róger.....	56
Tabela 4.9 - Análise de variância ANOVA (fator único) para os dados de sólidos totais fixos no afluente e no efluente da Lagoa do Róger.....	56
Tabela 4.10 - Análise de variância ANOVA (fator único) para os dados de sólidos totais voláteis no afluente e no efluente da Lagoa do Róger.....	57
Tabela 4.11 - Análise de variância ANOVA (fator único) para os dados de sólidos suspensos fixos no afluente e no efluente da Lagoa do Róger.....	61

Tabela 4.12 - Análise de variância ANOVA (fator único) para os dados de sólidos suspensos totais no afluente e no efluente da Lagoa do Róger.....	61
Tabela 4.13 - Análise de variância ANOVA (fator único) para os dados de sólidos suspensos voláteis no afluente e no efluente da Lagoa do Róger.....	62
Tabela 4.14 - Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para os dados de sólidos sedimentáveis do afluente e do efluente da Lagoa do Róger.....	68
Tabela 4.15 - Matriz correlação das variáveis analisadas no esgoto bruto.....	72
Tabela 4.16 - Matriz correlação das variáveis analisadas no efluente.....	72
Tabela 4.17 - Velocidade da água residuária nas câmaras do desarenador.....	73
Tabela 4.18 - Velocidade da água residuária nas câmaras do desarenador.....	74
Tabela 4.19 - Análise estatística descritiva dos sólidos suspensos do afluente e efluente do desarenador.....	76
Tabela 4.20 - Concentrações de sólidos suspensos totais e suas frações no afluente e efluente do desarenador da ETE do Róger no primeiro perfil, entre 30 e 31 de agosto de 2005.....	76
Tabela 4.21 - Concentrações de sólidos suspensos totais e suas frações no afluente e efluente do desarenador da ETE do Róger no segundo perfil, entre 25 e 26 de outubro de 2005.....	77
Tabela 4.22 - Análise estatística descritiva das variáveis determinadas nas amostras do material retido no desarenador da ETE do Róger, João Pessoa – PB, entre 12/07 e 25/10/2005.....	80
Tabela 4.23 - Altura da lâmina líquida e da camada de lodo em cada estaca.....	83
Tabela 4.24 - Área e volume de lâmina de esgoto em cada estaca posicionada na batimetria.....	84
Tabela 4.25 - Análise estatística descritiva das variáveis determinadas no lodo coletado próximo à entrada e à saída da lagoa anaeróbia da ETE do Róger, João Pessoa – PB, entre 19/07 e 25/10/2005.....	85
Tabela 4.26 - Dados da estabilidade do lodo acumulado na lagoa anaeróbia.....	89

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 - Acumulação de lodo em lagoas anaeróbias.....	4
2.1.1 - Princípios de funcionamento de lagoas anaeróbias.....	4
2.1.2 - Diversidade de partículas decantáveis na água residuária doméstica.....	7
2.1.3 - Unidades de pré-tratamento, especialmente os desarenadores.....	8
2.1.4 - Operação e rotina de manutenção de desarenadores.....	9
2.1.5 - Metodologia de acompanhamento do desenvolvimento da camada de lodo.....	10
2.1.6 - Caracterização do lodo acumulado em lagoas anaeróbias.....	11
2.1.7 - Índices e taxas de acumulação de lodo em lagoas anaeróbias.....	13
2.2 - Conseqüência da acumulação de lodos em lagoas anaeróbias.....	13
2.3 - Estratégias de remoção de lodo acumulado em lagoas anaeróbias.....	14
2.3.1 - Remoção contínua de lodo.....	14
2.3.1.1 - Remoção através de caminhão limpa fossa.....	14
2.3.1.2 - Sistema robotizado de remoção de lodo.....	15
2.3.1.3 - Remoção com auxílio de dragas.....	15
2.3.1.4 - Remoção com bombeamento a partir de balsas.....	16
2.3.2 - Remoção com desativação temporária da lagoa.....	17
2.3.2.1 - Remoção manual.....	17
2.3.2.2 - Remoção mecânica.....	17
2.3.2.3 - Remoção através de raspagem mecanizada e bombeamento do lodo.....	17
2.4 - Destinação do lodo removido de lagoas anaeróbias.....	17
2.5 - Impactos ambientais do lodo de lagoas anaeróbias.....	19
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS	
3.1 - Local e período do estudo.....	21
3.2 - Descrição do sistema.....	21
3.2.1 - Esgotamento sanitário da cidade de João Pessoa.....	21

3.2.2 - Características do Pólo de Tratamento do Baixo Paraíba.....	21
3.2.2.1 – Desarenador.....	22
3.2.2.2 – Lagoa Anaeróbia.....	22
3.3 - Coletas de amostras de águas residuárias.....	25
3.4 - Metodologias especiais.....	25
3.4.1 - Determinação da velocidade de escoamento da água residuária no desarenador.....	25
3.4.2 - Coletas do material retido no desarenador.....	28
3.4.3 - Determinação da altura da camada de lodo da lagoa anaeróbia.....	29
3.4.4 - Coleta de lodo.....	31
3.4.4.1 – Coletas de lodo para análises físico-químicas.....	31
3.4.4.2 – Coleta de lodo para determinação do teste de estabilidade.....	33
3.4.5 - Teste de estabilidade.....	33
3.5 – Procedimentos analíticos.....	36
CAPÍTULO 4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	38
4.1 - Dados de vazão do esgoto bruto.....	38
4.2 - Análise estatística descritiva das variáveis físico-químicas.....	41
4.2.1 - pH e Temperatura.....	45
4.2.2 - DBO ₅ e DQO de amostras filtradas.....	49
4.2.3 – Sólidos.....	54
4.2.3.1 – Sólidos Totais.....	54
4.2.3.2 – Sólidos Suspensos.....	61
4.2.3.3 – Sólidos Sedimentáveis.....	68
4.3 - Análise de correlação das variáveis analisadas.....	70
4.4 – Desarenador.....	72
4.4.1 – Velocidade da água residuária no desarenador.....	72
4.4.2 – Sólidos suspensos no afluente e efluente do desarenador.....	74
4.4.3 – Caracterização dos sólidos retidos no desarenador.....	79
4.5 – Estudo da camada de lodo da lagoa anaeróbia.....	80
4.5.1 – Batimetria.....	80
4.5.2 – Caracterização do lodo acumulado.....	84

4.5.3 – Estabilidade do lodo.....	87
CAPÍTULO 5 – DISCUSSÃO.....	90
5.1 - Evolução da operação da Lagoa anaeróbia da Pedreira nº7.....	90
5.2 - Evolução da eficiência operacional da Lagoa do Roger.....	91
5.3 - Influência da camada de lodo.....	91
5.4 - A qualidade do efluente da Lagoa da Pedreira nº7.....	92
5.5 - Perspectivas.....	93
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES.....	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96

1 - INTRODUÇÃO

O uso de lagoas anaeróbias pode contribuir para a diminuição da área ocupada por uma série de lagoas de estabilização no tratamento de águas residuárias domésticas e industriais. Essa menor área é decorrente tanto da aplicação de altas cargas orgânicas como do uso de profundidades mais elevadas com relação aos outros tipos de lagoas. Outras vantagens, entre as quais a diminuição da camada de lodo na lagoa subsequente e a relativamente alta remoção de matéria orgânica, também podem ser a elas atribuídas.

As lagoas anaeróbias são reatores projetados para tratarem altas cargas orgânicas com base em mecanismos físicos e biológicos em condições desprovidas de oxigênio dissolvido sendo recomendados ao tratamento de águas residuárias com altas concentrações de sólidos (METCALF & EDDY, 2003). A grande massa de sólidos depositada na lagoa é digerida anaerobiamente e o sobrenadante parcialmente clarificado é geralmente descarregado em uma lagoa facultativa, podendo, no entanto, ser tratado através de um outro tipo de reator.

A principal desvantagem do uso de lagoas anaeróbias é o aparecimento de odores devido principalmente ao gás sulfídrico produzido pela reação de íons hidrogênio com sulfetos resultantes tanto da digestão anaeróbia de matéria orgânica sulfurada como da redução dissimilatória de sulfato. Para o tratamento de águas residuárias com baixas concentrações de sulfatos (até $500 \text{ mgSO}_4^{2-}/\text{L}$) a produção de odores devido ao gás sulfídrico pode ser controlada tanto pela aplicação de baixas cargas orgânicas ($\leq 400 \text{ gDBO}_5/\text{m}^3.\text{d}$) como pela manutenção de valores de pH mais elevados, em torno de 8 (DE OLIVEIRA, 1990) de acordo com Mara (1976) e Sawyer, McCarty & Parkin (1994). Na prática do tratamento anaeróbio de águas residuárias de origem doméstica, esse controle exigiria ou a aplicação de uma substância química básica já que comumente o pH se situa em torno de 7,0 ou a recirculação do efluente de uma lagoa de maturação. Na maioria das vezes, no entanto, essas alternativas não são viáveis técnica e economicamente. Assim, no projeto de lagoas

anaeróbias, muita atenção é dada à carga orgânica como o fator fundamental de controle de odores devido ao gás sulfídrico. A instalação de reatores anaeróbios, no entanto, deve atender a critérios de localização com relação aos núcleos habitacionais para evitar os inconvenientes da emanção de odores.

A adaptação de uma antiga pedreira de exploração de calcário como lagoa anaeróbia (lagoa anaeróbia profunda da Pedreira nº 7) no Sistema de Tratamento de Esgotos do Baixo Paraíba, na Grande João Pessoa, constitui um bom exemplo da aplicação proveitosa de lagoas anaeróbias no tratamento de esgotos domésticos associando todas as suas vantagens à recuperação de áreas degradadas na periferia de grandes centros urbanos.

Do ponto de vista da operação e manutenção do sistema a instalação de uma lagoa anaeróbia profunda (8 m), como a da Pedreira nº 7, que beneficia, em princípio, uma população de 170000 habitantes, representa um desafio para a empresa operadora em vista da impressionante acumulação de lodo digerido o qual deve ser removido e disposto de modo adequado. Essa acumulação de lodo, de acordo com a literatura (MARA, 1976; LEITE, 1986), pode atingir até $0,050 \text{ m}^3/\text{hab.ano}$, o que, para o caso do reator estudado, pode resultar numa acumulação de até $8500 \text{ m}^3/\text{ano}$ de operação, representando aproximadamente uma ocupação de até 10% do volume útil do reator por ano. A estratégia de remoção desse lodo deve levar em conta algumas outras dificuldades representadas pela sua composição, principalmente a presença de areia, a elevada profundidade da lagoa anaeróbia, a falta de estruturas de acesso de equipamentos de remoção de lodo, a indisponibilidade de área para a disposição do lodo removido do reator.

A lagoa anaeróbia profunda objeto deste estudo, adaptada de uma pedreira de exploração de calcário desativada, é, sem dúvida, um exemplo de criatividade no âmbito da Engenharia Sanitária e Ambiental e representa uma grande contribuição para o controle da poluição do estuário do Rio Paraíba. Torna-se bastante conveniente, no entanto, conhecer a evolução do seu desempenho operacional com vistas à otimização de sua operação e ao planejamento de sua manutenção. Entre fevereiro e outubro de 2003, foi realizada uma primeira investigação desse desempenho com base no levantamento de variáveis físico-químicas e microbiológicas no esgoto bruto afluente e no efluente da lagoa, tendo sido demonstrado que a lagoa profunda apresentava um desempenho típico de lagoas anaeróbias convencionais (ARRUDA, 2004). Depois disso, a observação local sistemática passou a reconhecer, com o tempo, sinais de deterioração desse desempenho operacional sendo evidentes uma maior velocidade de fluxo no desarenador, uma maior quantidade de material flutuante na superfície da lagoa e uma maior quantidade de sólidos em suspensão no efluente

final. Esses sinais podem estar relacionados diretamente à redução da capacidade de tratamento do reator, conseqüente tanto de um possível aumento de contribuições de esgotos ao sistema de drenagem como a um mais provável aumento da camada de lodo acumulada na lagoa ao longo de mais de cinco anos de operação contínua sem qualquer operação de remoção desse lodo.

Assim, preocupada com os possíveis impactos ambientais negativos sobre o estuário do Rio Paraíba decorrentes dessa deterioração do desempenho operacional da lagoa anaeróbia profunda e determinada a planejar estratégias de operação e manutenção em curto, médio e longo prazos, com vistas à observância de um padrão de tratamento capaz de continuar contribuindo positivamente para a conservação do ecossistema natural, a CAGEPA, em parceria com a UFCG, planejou, no final de 2004, uma investigação mais ampla, iniciada em março de 2005, com o objetivo geral de estudar a evolução da camada de lodo da lagoa anaeróbia e com objetivos específicos de: estudar as distribuições de vazão afluente, monitorar as variáveis físico-químicas do esgoto bruto e do efluente da lagoa, estudar a distribuição de velocidade de escoamento da água residuária no desarenador, estimar o volume de lodo acumulado na lagoa e determinar a estabilidade do lodo acumulado na lagoa.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - Acumulação de lodo em lagoas anaeróbias

2.1.1 - Princípios de funcionamento de lagoas anaeróbias

As lagoas anaeróbias são dimensionadas para receberem elevadas cargas orgânicas, o que resulta na ausência de oxigênio dissolvido na massa líquida. Assim, a remoção de poluentes nessas lagoas é devida, principalmente, à sedimentação e ação de microorganismos anaeróbios e facultativos. Dessa forma, esse tipo de lagoa é comumente utilizada como unidade de tratamento primário, em sistema de tratamento convencional, como unidade de pré-tratamento em sistema híbrido (anaeróbio-aeróbio) ou como lagoa primária em uma série de lagoas de estabilização. Em lagoas anaeróbias ocorre um processo contínuo de sedimentação e digestão da matéria orgânica biodegradável do esgoto afluente. A Figura 2.1 ilustra o funcionamento de uma lagoa anaeróbia.

A alta taxa de sedimentação e acumulação, do material particulado do esgoto, favorece a formação de uma massa de lodo no interior da lagoa anaeróbia. Leite (1986) em estudos realizados em lagoas anaeróbias em escala piloto, na cidade de Campina Grande (PB), observou que a taxa de acumulação média de lodo em lagoas anaeróbias, tratando esgoto doméstico foi da ordem de $0,035 \text{ m}^3/\text{hab.ano}$, isto para uma contribuição per-capita média de esgotos de 100 l/hab.d .

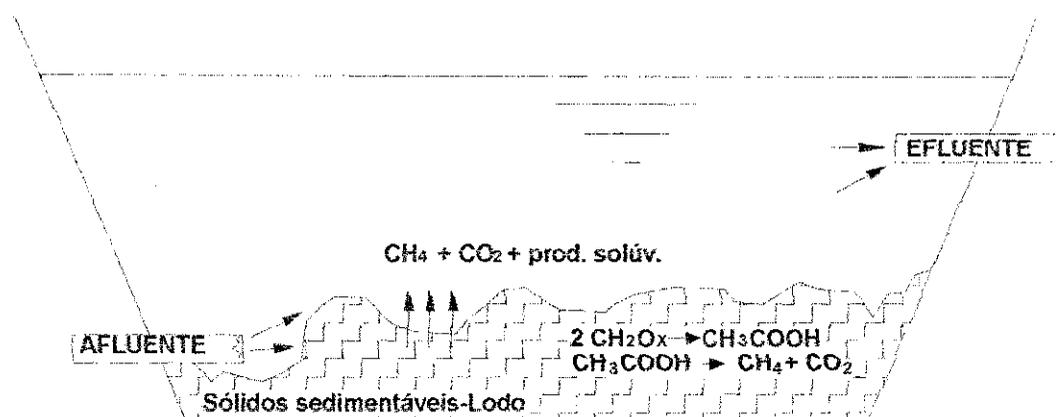


Figura 2.1 – Esquema de funcionamento de uma lagoa anaeróbia.

O ambiente anaeróbio favorece o desenvolvimento de uma comunidade microbiana de bactérias facultativas e anaeróbias que se sucedem na conversão de compostos orgânicos a substâncias inorgânicas e metano. Van Haandel e Lettinga (1994), descrevem a digestão anaeróbia como um processo constituído por quatro fases:

Hidrólise

Nesta etapa, o material orgânico é convertido em compostos dissolvidos de menor peso molecular, as proteínas são convertidas em aminoácidos, os carboidratos em açúcares solúveis e os lipídeos em ácidos graxos de cadeia longa e glicerina. A hidrólise é uma ação enzimática promovida por bactérias fermentativas hidrolíticas.

Acidogênese

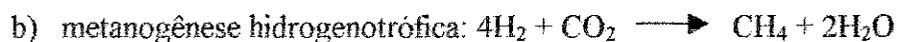
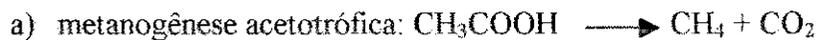
Os compostos que são gerados através da hidrólise são absorvidos pelas bactérias fermentativas e então são excretados como substâncias orgânicas mais simples, como ácidos graxos voláteis, álcoois, ácido láctico e alguns compostos minerais. A fermentação acidogênica é realizada por um grupo diversificado de bactérias, das quais a maioria é anaeróbia obrigatória. Algumas espécies são facultativas e podem metabolizar o material orgânico pela via oxidativa, removendo o oxigênio dissolvido que poderia se tornar uma substância tóxica.

Acetogênese

É a etapa de conversão dos produtos da acidogênese em compostos que formam os substratos para a produção de metano: acetato, hidrogênio e dióxido de carbono. Durante a formação dos ácidos acético e propiônico, o pH decresce, pois há uma grande quantidade de hidrogênio formada. Mas este oxigênio produzido é utilizado pelas bactérias metanogênicas e através da formação de ácidos orgânicos, como propiônico e butírico, formados através da reação do hidrogênio com dióxido de carbono e ácido acético.

Metanogênese

O metano é produzido por dois grupos de bactérias, as acetotróficas a partir da redução de ácido acético e as hidrogenotróficas a partir da redução de dióxido de carbono de acordo com as seguintes reações catabólicas:



Chernicharo (1997) aborda que o processo de digestão anaeróbia pode incluir ainda uma quinta fase, sufetogênese, que ocorre quando o esgoto a ser tratado contém compostos de enxofre (Figura 2.2). Nela, os compostos de enxofre, sulfato, sulfito e outros compostos sulfurados, são reduzidos a sulfeto por um grupo de bactérias anaeróbias estritas denominadas genericamente de bactérias sulforredutoras. A Figura 2.2 ilustra as Sequências metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.

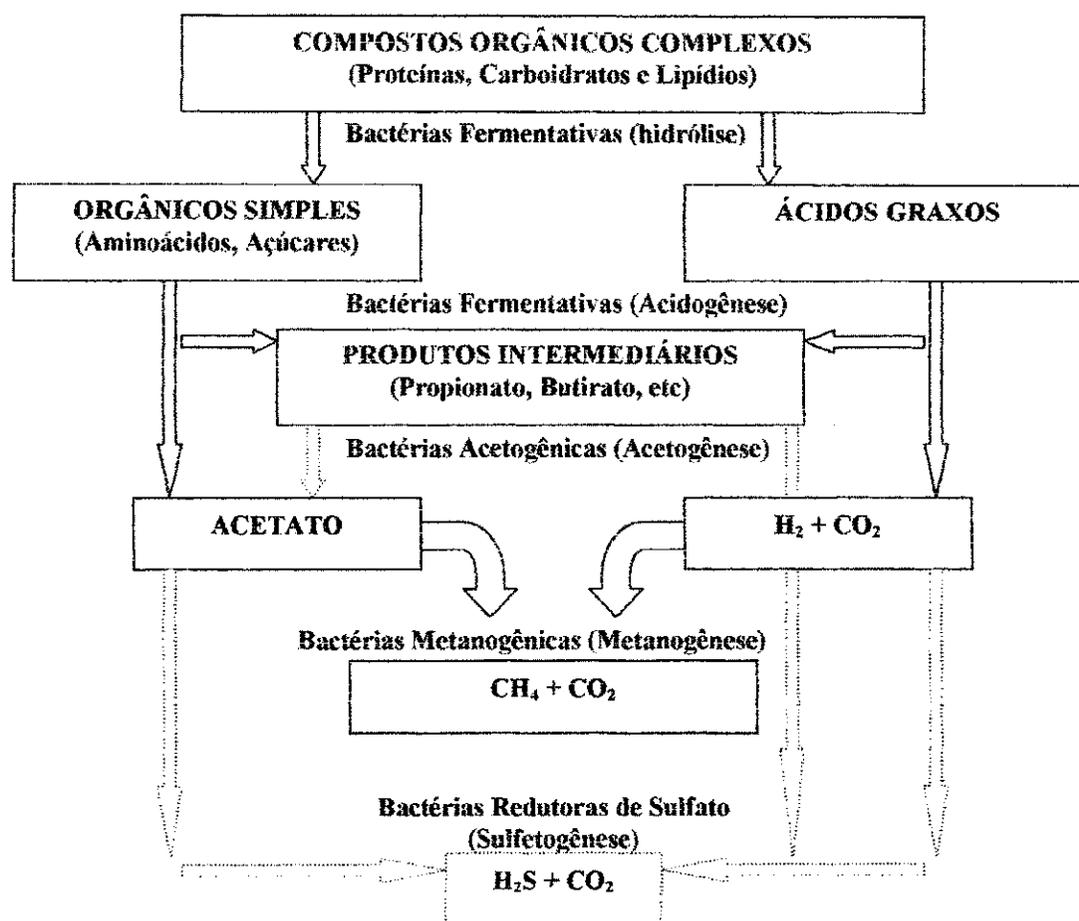


Figura 2.2 – Sequências metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.
Fonte: Modificado de Chernicharo (1997)

A liberação do gás sulfídrico na atmosfera contribui para o aparecimento de odores indesejáveis, que é uma das desvantagens que as lagoas anaeróbias possuem. A formação da crosta de espuma na superfície da lagoa confere um aspecto desagradável ao sistema de tratamento, mas atua de forma benéfica diminuindo o desprendimento de gases.

2.1.2 - Diversidade de partículas decantáveis na água residuária doméstica

As águas residuárias domésticas apresentam em torno de 99,9% de água e 0,1% de material sólido. Os sólidos que compõem os esgotos são constituídos por materiais em suspensão, sedimentáveis, coloidais e em solução (Figura 2.3). Com exceção dos gases dissolvidos, todos os contaminantes presentes nos esgotos contribuem para a carga de sólidos (JORDÃO E PESSOA, 2005).

Os sólidos sedimentáveis são definidos como sendo o material em suspensão que decanta sob ação da gravidade em um período de 60 minutos num recipiente de forma cônica chamado cone de Imhoff. São expressos em ml/l, e constituem uma medida aproximada da

quantidade de lodo que será removida com a sedimentação primária. (APHA *et al.*, 1998; METCALF & EDDY 1991; SAWYER *et al.*, 1994).

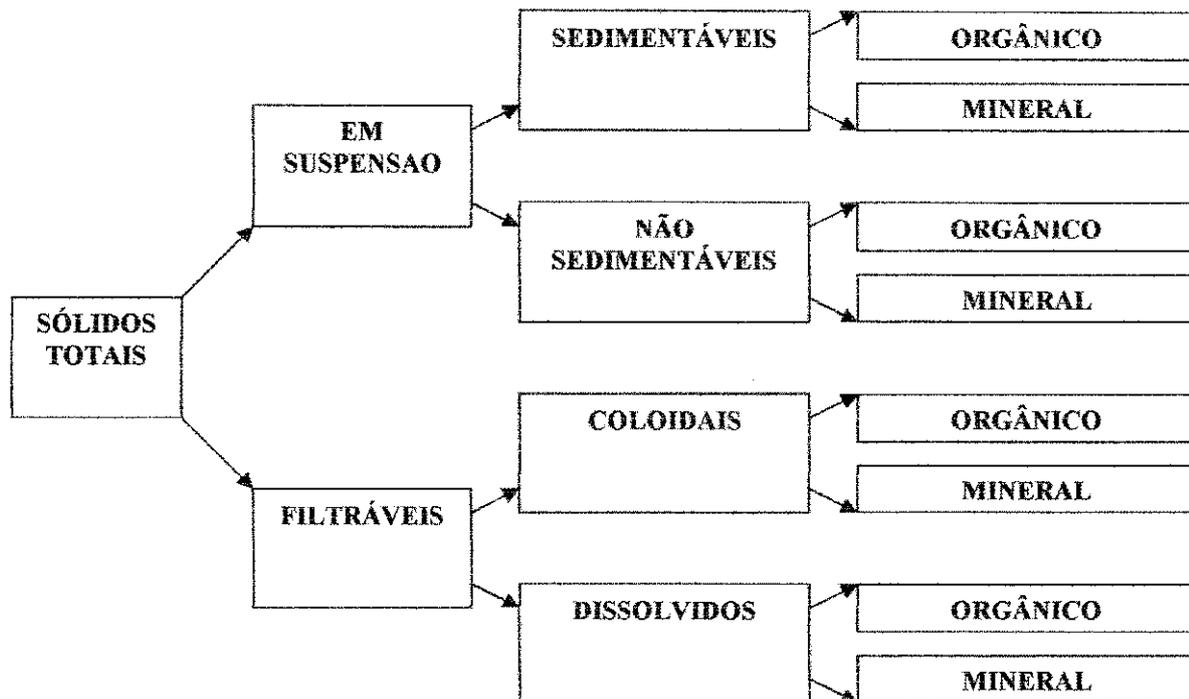


Figura 2.3 - Classificação dos sólidos nos esgotos

Fonte: Adaptado de METCALF & EDDY (2003)

O material sedimentável presente nos esgotos é constituído de material mineral como: areia, pedrisco, salitre, escória, cascalho etc. Este material também contém uma pequena quantidade de matéria orgânica como vegetais, gordura, casca de ovos, pedaços de ossos e penas de aves. Este material é proveniente do manuseio normal do uso doméstico, das águas provenientes do lançamento inadequado nas instalações de esgotamento sanitário, ligações clandestinas de águas pluviais, lavagens de pisos e despejos industriais (JORDÃO E PESSOA, 2005).

2.1.3 - Unidades de pré-tratamento, especialmente os desarenadores

Os desarenadores, ou caixas de areia, como também são conhecidos, são unidades destinadas a reter areia e outros resíduos minerais pesados que se encontram nas águas residuárias. Estes materiais provêm de enxurradas, infiltrações, águas residuárias industriais etc.

A remoção da areia é feita para proteger as bombas contra abrasão evitando, também, a presença de sedimentos que possam incrustar nas canalizações e nas partes componentes da

estação de tratamento de esgoto. Caso não haja uma boa remoção nos desarenadores o material será direcionado aos reatores de tratamento, resultando num maior acúmulo de lodo e influenciando na frequência de sua remoção.

2.1.4 - Operação e rotina de manutenção de desarenadores

Condições de turbulência arrastam partículas sólidas suspensas e mais densas que a água. No regime laminar não se verifica o transporte destes sólidos em suspensão. A remoção de uma partícula ocorre quando sua velocidade de sedimentação é suficiente para alcançar o fundo do desarenador e se a velocidade horizontal do líquido é insuficiente para remover a partícula sedimentada por arraste.

Nos canais de remoção de areia a velocidade de escoamento para vazão média recomendada é 0,30 m/s, não excedendo o limite de 0,40 m/s para a vazão máxima (NBR, 12209). Para velocidades inferiores a 0,15 m/s ocorre uma grande deposição de matéria orgânica, e velocidades acima de 0,40 m/s fazem com que a areia seja arrastada para as unidades seguintes de tratamento, por esta razão deve-se manter a velocidade em 0,30 m/s com tolerância de mais ou menos 20% (MENDONÇA, 2000; JORDÃO E PESSOA, 2005).

Uma das principais dificuldades no projeto e na operação do desarenador esta em se conseguir manter desejada com a variação da vazão. Para superar essa dificuldade projeta-se uma seção controle, no final do desarenador, fazendo com que a altura da lamina liquida varie de acordo com a vazão, mantendo a velocidade de fluxo nas câmaras de sedimentação aproximadamente constante. Essas seções de controle são vertedores proporcionais tipo sutro, calhas tipo Parshall e calhas tipo Palmer Bowlus (JORDÃO E PESSOA, 2005).

Como a areia é retida de forma contínua, então para se obter um bom funcionamento dos desarenadores é necessário que a areia depositada seja removida periodicamente; esta remoção pode ser realizada de forma manual ou mecânica.

Para a remoção manual é necessário que haja a paralisação da unidade de retenção e com a drenagem do líquido a areia pode então ser removida. A remoção mecânica pode ser realizada por dispositivos transportadores de areia, tais como esteiras, caçambas, raspadores, "air lift", de parafuso sem fim, bombas especiais etc. Pode-se também conjugar equipamentos utilizados para a lavagem da areia retida com dispositivos de remoção, e o líquido da lavagem em seguida retorna para o afluente da estação de tratamento.

Jordão e Pessoa (2005) classificam os desarenadores de acordo com as seguintes características:

- Forma: prismática, cilíndrica.
- Separação sólida-líquida: gravidade (natural e aerada), centrifugação (vórtex e centrífuga).
- De acordo com a remoção: manual, ciclone separador, mecanizada.
- De acordo com o fundo: Plano, inclinado, e cônico.

2.1.5 - Metodologia de acompanhamento do desenvolvimento da camada de lodo

Dentre todos os subprodutos dos sistemas de tratamento de esgoto, o lodo se apresenta em maior volume e seu tratamento e disposição final é um problema muito complexo no campo de tratamento de águas residuárias. O lodo é composto por uma mistura de matéria orgânica e inorgânica, oriundas dos esgotos, que se acumula no interior dos sistemas de tratamento necessitando de uma freqüente remoção (FERREIRA *et al.*, 1999).

A temperatura tem forte influência no desenvolvimento da camada de lodo, uma vez que as taxas de digestão anaeróbia são uma função direta desta variável. A quantidade de lodo produzida, como também as características deste lodo, são influenciadas de acordo com cada tipo de tratamento (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 – Estimativa da produção de lodos em diferentes processos de tratamento de esgotos

Tipo de lodo	Densidade	Sólidos secos (kg/m ³)	Produção do Lodo	
			úmido	
			L/hab.dia	m ³ /1000 m ³
Lodo primário	1,020	108 – 168	0,5 - 1,0	3
Filtro biológico	1,025	60 – 95	0,6 – 0,7	4,5
Lodos ativados	1,005	70 – 95	1,5 – 4,5	10,5

Fonte: Adaptado de JORDÃO E PESSOA, 2005.

A produção de lodo em lagoas anaeróbias é bastante acelerada nos primeiros anos de operação, tendendo a diminuir ao longo dos anos. No princípio do funcionamento, devido à ausência de biomassa anaeróbia no fundo da lagoa, ocorrem, então, baixas taxas de hidrólise e metanogênese do material orgânico.

Para se determinar a altura da camada de lodo é utilizada a batimetria e esta pode ser realizada com o auxílio de diversos tipos de equipamento, desde os mais simples até os mais sofisticados.

Tem sido sugerido, na literatura (GONÇALVES, 2000), que a realização de batimetria com a utilização de pH-metro é simples e eficaz, por existir uma diferença nítida entre o pH do lodo e o do sobrenadante, sendo esta detectada com um sensor de pH acoplado a uma haste graduada.

Em Pesquisas desenvolvidas na UFES, para determinação da altura da camada de lodo tem sido utilizados equipamentos sensores de concentrações de sólidos suspensos. O equipamento possui uma sonda de radiação infravermelha, acoplada em uma haste graduada. Este equipamento além de apresentar bons resultados, é bastante simples e preciso, mas o seu custo é bastante elevado (GONÇALVES *et al*, 2000).

Gonçalves *et al*. (1997) em estudos realizados em lagoas na região da Grande Vitória (ES), determinou a altura de lagoas de estabilização através de um equipamento composto de hastes graduadas de PVC, que eram conectadas umas as outras, estas eram introduzidas na massa líquida até alcançar a superfície do lodo, uma placa circular também de PVC situada em uma das bases impedia que as hastes penetrassem no lodo.

Felizatto *et al* (2005) quantificou o volume e a taxa de deposição de lodo de duas lagoas anaeróbias em série tratando esgotos de Brazlândia – DF. Para medição da altura da camada de lodo foi utilizada uma pistola de lodo, que consiste de um sensor óptico acoplado a uma pistola com escala métrica, que apesar de ter se mostrado eficiente e de fácil manuseio apresenta custo elevado. Os resultados mostraram uma taxa per capita de acumulação de aproximadamente 0,045 L/hab.ano para cada lagoa anaeróbia estudada.

Segundo Gonçalves (2000), de 36 estações de tratamento de esgotos brasileiras, mesmo tendo sido verificados tempos de operação, em de algumas delas, de mais de 15 anos e volumes de lodo ocupando mais de 50% do volume do reator, cerca de 90% delas nunca sofreram nenhum tipo de remoção de lodo e em apenas quatro foi realizado algum tipo de remoção, sendo três destas limpezas feitas de forma manual e uma através de dragagem.

2.1.6 - Caracterização do lodo acumulado em lagoas anaeróbias

As características físico-químicas dos lodos são dependentes da composição das águas residuárias e também dos diferentes processos de tratamento. As características variam anualmente, sazonalmente e até mesmo diariamente, e essa variação é conseqüência da água

residuária e se mostra mais acentuada em sistemas que recebem grandes cargas industriais (METCALF & EDDY, 2003).

Para avaliação dos teores de matéria orgânica presente no lodo, a concentração de sólidos voláteis é a variável mais determinada. O lodo oriundo de processos de tratamento com baixos tempos de retenção celular apresenta elevado teor de sólidos voláteis, sendo necessária assim estabilização posterior. Lodos que possuem tempos de permanência superiores a 5 anos no reator permitem um maior adensamento e digestão anaeróbia extensiva, apresentando baixos teores de sólidos voláteis.

A matéria orgânica e os nutrientes presentes no lodo além de aumentar a fertilidade do solo também melhoram a capacidade de armazenamento e infiltração da água, além de constituir uma fonte de macro e micronutrientes para os vegetais através de sua mineralização.

Geralmente os nutrientes presentes no lodo dos esgotos são superiores aos encontrados na maioria dos materiais orgânicos de uso habitual, como adubo, na agricultura e, de acordo com a forma estrutural com que esses nutrientes se encontram, principalmente o nitrogênio, o lodo também pode concorrer com outras formas de fertilizantes. Os lodos provenientes de sistemas anaeróbios apresentam menores concentrações de nutrientes se comparados a lodos aeróbios (FERREIRA, 1999).

A concentração de metais pesados depende do tipo e da qualidade dos efluentes industriais que são lançados no sistema de tratamento. Em baixas concentrações esses metais são fontes de micro-nutrientes para o solo, mas em concentrações mais elevadas apresentam-se tóxicos para plantas, animais e até mesmo para o homem (JORDÃO E PESSOA, 2005; GONÇALVES, 2000). A presença de elementos traços no solo pode ou não causar riscos, dependendo do pH, da capacidade de troca catiônica e do teor de matéria orgânica. (EPA, 1992).

Como o lodo apresenta quantidades significativas de microrganismos patogênicos, é necessário uma higienização prévia, antes da deposição, a fim de serem evitadas doenças para o homem devido à exposição a bactérias, vírus, fungos e helmintos. A presença de coliformes fecais no lodo retirado de lagoas de estabilização apresenta menores concentrações quando comparado a lodos oriundos de sistemas de tratamento diferentes. A densidade média dos coliformes varia de acordo com a profundidade, quanto maior a profundidade menor a densidade média (GONÇALVES, 2000). Os ovos de helmintos nas lagoas de estabilização são removidos através da sedimentação e a taxa de remoção é mais elevada nas regiões de climas quentes. Silva (1982) estudando uma série de lagoas de estabilização operando com

tempo de detenção hidráulica variando de 11,8 a 18,9 dias e carga orgânica superficial variando entre 300 e 400 kgDBO₅/ha.d, verificou que os ovos de helmintos são removidos nas duas primeiras lagoas.

2.1.7 - Índices e taxas de acumulação de lodo em lagoas anaeróbias

A taxa de acumulação de lodo nas lagoas anaeróbias não ocorre de forma homogênea e é influenciada por fatores como características do esgoto, tempo de operação do reator, eficiência do pré-tratamento, posição dos dispositivos de entrada e saída, características geométricas da lagoa e cargas orgânica e hidráulica aplicada.

O maioria dos estudos realizados em lagoas anaeróbias e facultativas primárias mostraram que ocorre um maior acúmulo de lodo nas regiões próximas aos dispositivos de entrada da lagoa (GONÇALVES, 2000). O maior acúmulo do lodo nos dispositivos de entrada é atribuído à grande quantidade de sólidos sedimentáveis orgânicos e inorgânicos no afluente (SILVA, 1983, SCHNEITER *et al.*, 1993 apud GONÇALVES, 2000). Saqqar e Pescod (1995) em estudos realizados em uma lagoa anaeróbia em operação em Alsamra (Jordânia), verificou que o maior acúmulo do lodo ocorreu na região central da lagoa. A tendência de acumulação do lodo nos dispositivos de entrada, também pode ser alterada devido a fatores como, a ação dos ventos e a inversão de temperatura.

Em lagoas onde a variação de temperatura apresenta-se de forma sazonal, durante o inverno ocorre o acúmulo de matéria orgânica na camada de lodo e no verão ocorre uma diminuição da camada de lodo devido ao aumento das atividades de hidrólise e metanogênese. Para temperaturas superiores a 22 °C ocorre uma maior estabilização dos sólidos sedimentáveis orgânicos e também maior produção de biogás, mas em lugares onde a temperatura é menor que 19 °C o acúmulo de material orgânico sedimentável torna-se maior que a capacidade de digestão da biomassa (SCHNEITER *et al.*, 1993 apud GONÇALVES, 2000).

2.2 - Conseqüência da acumulação de lodos em lagoas anaeróbias

Um grande problema do acúmulo do lodo nas lagoas anaeróbias é o afloramento da camada de lodo nos dispositivos de entrada ou de saída, causando o surgimento de maus odores resultantes da digestão anaeróbia do lodo, que, em contato direto com a atmosfera, também pode ensejar o aparecimento e proliferação de vetores, particularmente insetos. As

placas de lodo que acabam flotando também podem ser arrastadas juntamente com o efluente diminuindo assim eficiência de tratamento, gerando problemas para o corpo receptor ou para a unidade subsequente de tratamento. A ocupação de grande parte do volume da lagoa com lodo acarreta em uma redução do tempo de detenção hidráulica que também pode determinar a diminuição do desempenho do reator.

2.3 - Estratégias de remoção de lodo acumulado em lagoas anaeróbias

As técnicas utilizadas para a remoção do lodo das lagoas podem ser postas em prática em lagoas paralisadas (retiradas de operação) e, também, com lagoas em funcionamento.

Segundo Gonçalves (2000), antes do início da remoção do lodo é necessário que se tenha o planejamento desta remoção. Primeiramente determina-se a geometria da lagoa de acordo com o projeto, ou através do levantamento topográfico da mesma, em seguida realiza-se uma batimetria para determinar altura da camada de lodo e a profundidade útil da lagoa. A terceira etapa consiste na caracterização físico-química e microbiológica do lodo e, então, é feita a escolha da metodologia a ser utilizada na remoção, levando em consideração os meios de desidratação e transporte. Por último deve ser definido o destino do lodo levando em consideração os possíveis impactos ambientais.

2.3.1 - Remoção contínua de lodo

2.3.1.1 - Remoção através de caminhão limpa fossa

Consiste num sistema de sucção a vácuo com tubulações flexíveis removendo diretamente o lodo para o compartimento de armazenagem localizado no próprio caminhão. A vantagem deste método consiste no fato de que tanto a remoção como o transporte do lodo são realizados numa mesma operação, mas, como o lodo é removido com um alto teor de umidade, são necessárias muitas viagens para transportá-lo da estação de tratamento até a disposição final.

2.3.1.2 - Sistema robotizado de remoção de lodo

Este também é um sistema de remoção utilizado com lagoas em funcionamento e consiste num pequeno trator robotizado comandado por controle remoto que se move sobre

uma esteira (Figura 2.4). A parte frontal do trator desestrutura a camada de lodo onde em seguida o lodo é aspirado, essa técnica é capaz de remover lodo com altas concentrações de sólidos totais. A principal desvantagem é que o equipamento é importado e de alto custo (GONÇALVES, 2000).



Figura 2.4 - Sistema robotizado de remoção de lodo

Fonte: Disponível em: <<http://www.lwpithog.com>>. Acesso em: 10/01/2006

2.3.1.3 - Remoção com auxílio de dragas

A utilização de dragas é recomendada quando os teores de sólidos totais do lodo são superiores a 15% e se a raspagem for realizada de forma mecânica. Lodos com baixos teores de sólidos não apresentam uma boa remoção devido à consistência do lodo. Algumas dragas possuem dispositivos desestruturantes da camada de lodo facilitando a remoção através de bombeamento. Uma desvantagem do método é que as dragas podem causar revolvimento da camada de lodo, suspendendo grandes quantidades de sólidos que podem sair juntamente com o efluente da lagoa. A Figura 2.5 ilustra o funcionamento de uma draga em uma lagoa de estabilização em operação (GONÇALVES, 2000).



Figura 2.5 – Draga utilizada na remoção do lodo de lagoas de estabilização
Fonte: Disponível em: <<http://www.lwpithog.com>>. Acesso em: 10/01/2006

2.3.1.4 - Remoção com bombeamento a partir de balsas

A remoção do lodo também pode ser realizada através de um equipamento composto por uma bomba acoplada a uma balsa (Figura 2.6), movida a combustível ou eletricidade, e controlado através de controle remoto, o equipamento possui um dispositivo que desestrutura a camada de lodo. Após o bombeamento o lodo é depositado fora da lagoa onde pode ser desidratado ou transportado. A utilização destas bombas é mais recomendada quando o lodo se apresenta com elevados teores de umidade e concentração de sólidos totais inferior a 6%.

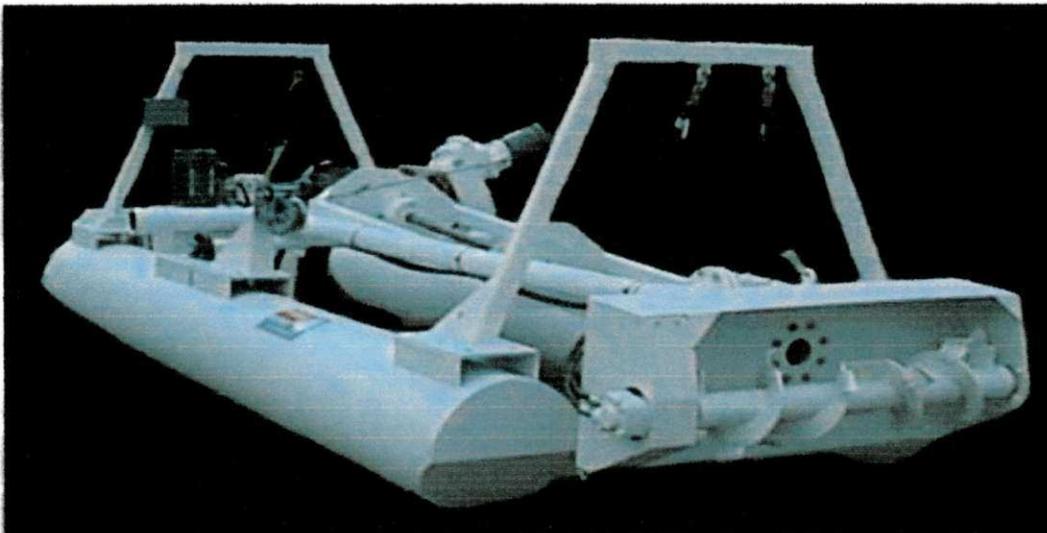


Figura 2.6 – Sistema de bombeamento automatizado
Fonte: Disponível em: <<http://www.lwpithog.com>>. Acesso em: 10/01/2006

2.3.2 - Remoção com desativação temporária da lagoa

2.3.2.1 - Remoção manual

Esse processo é mais utilizado em pequenas estações de tratamento. O lodo é submetido à secagem dentro da própria lagoa até adquirir uma consistência que permita que a remoção seja realizada com pás e carros de mão. É uma opção de baixo custo, mas é necessário que haja a paralisação da lagoa, interrompendo o fluxo do esgoto por um longo período. É uma opção viável para lagoas construídas em módulos, pois permite que o esgoto seja desviado de um módulo para o outro, também permite a higienização do lodo através do uso da energia solar durante a secagem (GONÇALVES, 2000).

2.3.2.2 - Remoção mecânica

Nesse método de remoção o lodo também é submetido à secagem dentro da lagoa, necessitando que haja a paralisação da mesma, sendo a remoção realizada com ajuda de tratores. Como as máquinas possuem um maior rendimento na remoção de lodo, então o funcionamento da lagoa ocorrerá mais rapidamente que no caso da remoção manual, mas para que as máquinas tenham acesso ao fundo da lagoa é necessário que seja verificada a consistência do lodo, evitando que haja problemas com a impermeabilização do fundo da lagoa (GONÇALVES, 2000).

2.3.2.3 - Remoção através de raspagem mecanizada e bombeamento do lodo

Este método é mais utilizado quando a lagoa não pode ficar, por muito tempo, desativada, então é realizada uma secagem parcial seguida de uma raspagem mecânica do lodo, e, em seguida, é feito o bombeamento, sendo este tipo de remoção realizada com auxílio de um trator.

2.4 - Destinação do lodo removido de lagoas anaeróbias

A disposição final do lodo depende diretamente de suas características físico-químicas e microbiológicas, sendo relevantes as concentrações de matéria orgânica, nutrientes, metais pesados e compostos orgânicos tóxicos. A deposição inadequada do lodo pode trazer risco à

saúde humana, animal e vegetal, como também provocar o acúmulo de compostos orgânicos e metais pesados no solo. É também de extrema importância verificar a presença de esgotos industriais no sistema, os quais podem contribuir com características especiais, as quais podem interferir com as características físicas, químicas e biológicas do lodo.

Para o destino final do lodo podem ser citados incineração, aterro sanitário, usos agrícolas, restauração de terras, reuso para aplicações industriais e também o lançamento no oceano. Para todas as opções de disposição do lodo devem ser levados em consideração estudos técnicos, legais, ambientais e econômicos.

Jordão e Pessoa (2005), descrevem que, antes da disposição final do lodo, é necessário realizar algumas fases de pré-condicionamento:

- Pré-tratamento industrial – ocorre redução das concentrações de metais pesados e materiais orgânicos do lodo;
- Adensamento – reduz o volume do lodo e aumenta seu teor de sólidos;
- Digestão – causa redução do número de microrganismos patogênicos e da concentração de sólidos voláteis;
- Estabilização química ou calagem – realizada com a adição de cal, causa o aumento do pH, reduz o número de microrganismos patogênicos e eleva a massa de sólidos secos no lodo;
- Condicionamento químico – é realizado com adição de cal, polímeros e floculantes e causa aumento na massa de sólidos secos;
- Desidratação – aumenta o teor de sólido do lodo seco, reduzindo seu volume e reduzindo também uma parcela de nitrogênio;
- Compostagem – é bastante útil quando se deseja utilizar o lodo em aplicações agrícolas, através deste pré-condicionamento pode-se chegar a eliminar completamente os organismos patogênicos;
- Tratamento térmico – elimina totalmente os microrganismos patogênicos e é bastante utilizado quando se deseja aplicar o lodo como fertilizante agrícola.

A reciclagem agrícola do lodo vem sendo bastante utilizada em substituição à adubação química devido às características do lodo que, além de ser fonte de matéria orgânica, é, também, fonte de nutrientes, além da sua constituição física promover um bom condicionamento do solo tornando-o mais resistente à erosão (FERREIRA, 1999). Também contribui pra fechar os ciclos bioquímicos dos nutrientes minerais, estocando o carbono na

forma de compostos estáveis e não libera o CO₂ na atmosfera, que contribui para aumentar o efeito estufa (FERNANDES *et al.*, (1999).

Estudos realizados mostraram um aumento na produtividade da cultura de milho e repolho com a utilização do lodo como adubo orgânico (GONÇALVES, 2000). O lodo também pode ser utilizado em áreas de reflorestamento desde que não apresente riscos de contaminação para a cadeia alimentar.

Países como Japão, Estados Unidos e África do Sul utilizam o lodo dos esgotos na fabricação de materiais cerâmicos como tijolo para construção e pisos cerâmicos, em escala industrial (JORDÃO E PESSOA, 2005).

Até a década de 90 o lodo oriundo do sistema de lodo ativado da estação de tratamento de esgotos Brasília sul – DF era distribuído para agricultura nas plantações de grãos como milho, feijão, soja e arroz, e também para o cultivo de frutas como siriguela, maracujá, limão etc. Devido à densidade de patógenos presentes no lodo a utilização deste produto exige um elevado grau de monitoramento, e a disposição agrícola do lodo passou a ser supervisionada, sendo então mais utilizado na recuperação de áreas degradadas (DA SILVA, 2005).

2.5 – Impactos ambientais do lodo de lagoas anaeróbias

Além dos aspectos positivos o lodo de esgoto pode causar alguns impactos ambientais devido à presença de compostos orgânicos, microrganismos patogênicos e metais tóxicos, que podem contaminar trabalhadores agrícolas, comprometer a qualidade das culturas para consumo e contaminação do lençol freático.

Estudos realizados por da Silva *et al.* (2005) mostraram que existe uma alta mobilidade do Cd e do Zn, podendo estes metais contaminar o lençol freático. O lodo, quando disposto no solo, promove uma rápida atividade biológica e reciclagem de matéria orgânica e nutrientes e demais materiais, sendo muito importante que sejam tomados todos os cuidados e precauções para sua disposição para serem evitados problemas futuros.

A Tabela 2.2 apresenta alguns fatores de risco da utilização do Biossólido e as medidas preventivas que usualmente são adotadas para sua mitigação.

Tabela 2.2 – Impactos ambientais e medidas mitigadoras.

Impactos ambientais	Medidas mitigadoras
Contaminação do solo e cursos d'água através da disposição inadequada do lodo	Realização de estudos geotécnicos da área de disposição e evitar áreas com lençol freático elevado, proibir a disposição em terrenos que apresentem declividade acentuada, manter distância mínima de 50m das áreas de nascentes e corpos d'água, atender aos Códigos Florestais estabelecidos.
Manuseio do bio-sólido	Utilização de botas de borracha cano médio ou alto, luvas de PVC e máscara descartável.
Contaminação de safra e animais	Não aplicar em vegetais que venham a ser consumidas sem algum tipo de cozimento. Prever período mínimo de resguardo entre a aplicação e a colocação dos animais.

Fonte: DA SILVA (2005)

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Local e período do estudo

A investigação experimental objeto deste trabalho foi realizada no período de 17/03/05 à 01/11/05, na Estação de Tratamento do Róger, situada na cidade de João Pessoa, Paraíba, localizada a 7° 10" Sul; 34° 49" Oeste. O clima é caracterizado por temperaturas diárias entre 24 e 31°C, com isotermas de 26,5°C e umidade relativa do ar em torno de 74%. O período de chuvas se concentra entre março e agosto.

3.2 - Descrição do sistema

3.2.1 - Esgotamento sanitário da cidade de João Pessoa

Apenas 50% dos esgotos da cidade de João Pessoa são coletados. Dentre esses 50%, 10% são diluídos nos tanques dos Esses e descarregados no Rio Paraíba e 90% são tratados. Destes 90%, 70% são tratados na Estação de Tratamento do Róger e 30% na Estação de Tratamento de Mangabeira.

3.2.2 - Características do Pólo de Tratamento do Baixo Paraíba

A Estação de Tratamento do Roger, Pólo de Tratamento do Baixo Paraíba é constituída de uma unidade de tratamento preliminar com grade mecanizada, caixa de areia e calha Parshall (Figura 3.1), e de uma lagoa anaeróbia com profundidade de 8 metros. A lagoa anaeróbia foi desenvolvida a partir de uma pedreira de exploração de calcário desativada, Pedreira nº 7 (Figura 3.2) e está localizada na área sudoeste de João Pessoa. O efluente da Lagoa Anaeróbia é descarregado, através de um vertedor (Figura 3.3), no “Tanque dos Esses”

(tanques de descarga e acumulação de esgotos) na época da maré seca. Na época de maré cheia os esgotos acumulados nesses tanques são diluídos no estuário do Rio Paraíba.

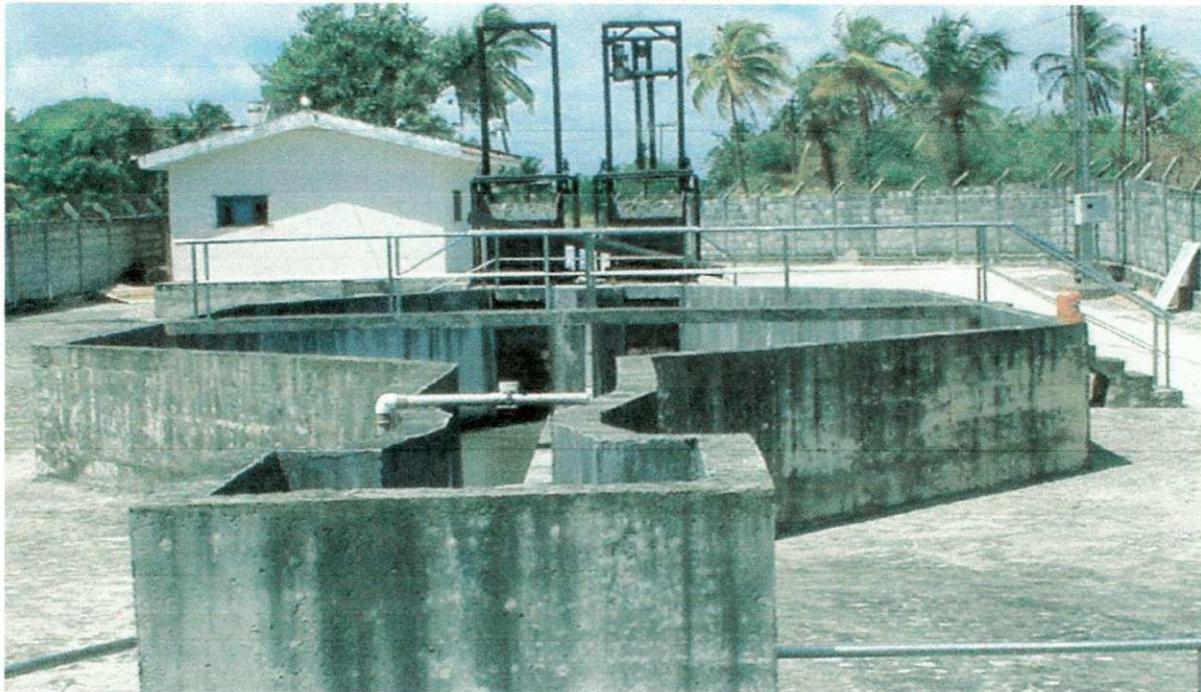


Figura 3.1 – Vista de jusante da unidade de tratamento preliminar da lagoa anaeróbia.



Figura 3.2 – Vista da Pedreira N° 7 desativada.



Figura 3.3 – Vertedor de saída do efluente da lagoa anaeróbia.

3.2.2.1 - Desarenador

O desarenador da lagoa anaeróbia do Róger é constituído por duas câmaras de seções retangulares e fundo plano, estas são separadas por uma passarela utilizada para limpeza e manutenção. Antes do canal de alimentação existem comportas mecanizadas.

As dimensões estão ilustradas na Figura 3.4, com a representação da planta baixa e da seção longitudinal.

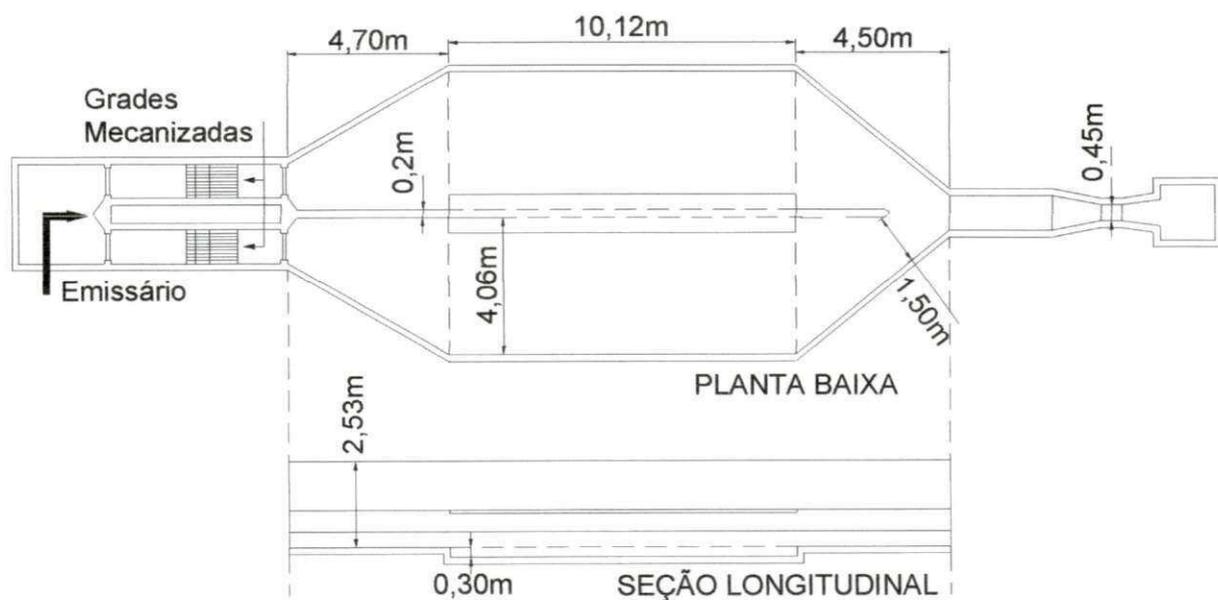


Figura 3.4 - Dimensões e esquema do desarenador da lagoa anaeróbia do Roger.

3.2.2.2 – Lagoa Anaeróbia

A lagoa anaeróbia possui uma área de 10590,63 m², volume de aproximadamente 84725 m³, capacidade de tratar 67313 m³/dia e tempo de detenção hidráulica de 1,26 dias. A entrada de esgoto na lagoa é feita por três tubos de ferro, 600 mm de diâmetro cada, fixados a 1,2 metros do fundo (Figura 3.5).



Figura 3.5 - Dispositivo de entrada da lagoa anaeróbia antes do início do funcionamento.

3.3 - Coletas de amostras de águas residuárias

No presente estudo foram monitorados três pontos da lagoa anaeróbia do Róger, o esgoto bruto, o esgoto após a passagem pelo desarenador e o efluente da lagoa. Os pontos de coleta estão representados na Figura 3.6. As coletas, no total de 31, foram realizadas semanalmente, entre 9 h e 10 h e 30 min e as análises realizadas imediatamente após a chegada das amostras no laboratório. Foram avaliadas as seguintes variáveis: pH, temperatura, DBO₅ e DQO das amostras filtradas, Sólidos totais, fixos e voláteis, Sólidos suspensos, fixos e voláteis e Sólidos sedimentáveis.

Além das coletas semanais foram realizadas duas coletas no ciclo diário (dois perfis de 24 horas), às 6, 11, 17 e 22 horas. As amostras coletadas às 17 e 22 horas foram conservadas sob refrigeração para serem analisadas no dia seguinte.

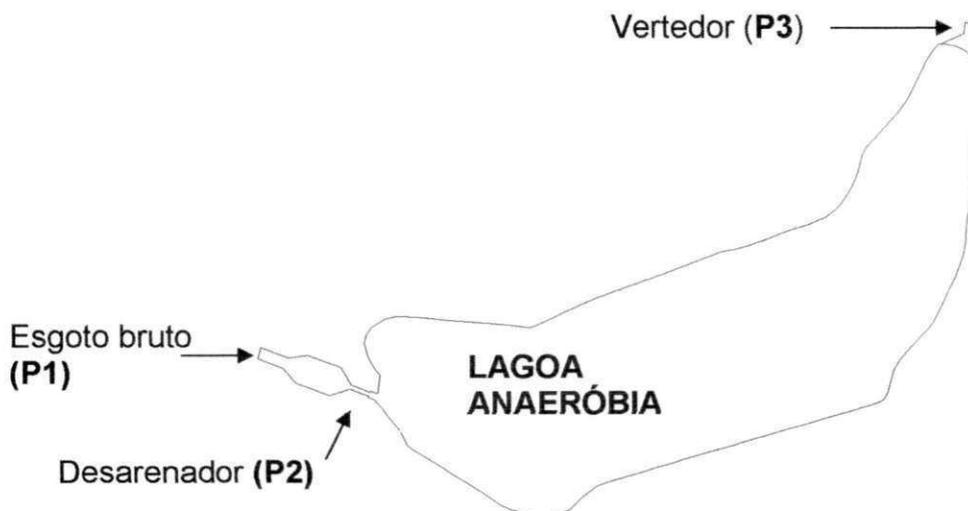


Figura 3.6 – Representação esquemática dos três pontos de coleta ao longo da lagoa do Róger.

3.4 - Metodologias especiais

3.4.1 - Determinação da velocidade de escoamento da água residuária no desarenador

Para a determinação da velocidade de escoamento no desarenador foi utilizado um cilindro metálico (Diâmetro = 5cm) com escala graduada (Figura.3.7), sendo o procedimento utilizado descrito a seguir:

1. Determinar, com a equação 3.1, a vazão de água residuária na calha Parshall antes e após as leituras das lâminas líquidas no desarenador. Determinar a vazão média;
2. Estabelecer 3 seções no desarenador (entrada, meio e saída) e marcar no mínimo 7 pontos de medições de lâmina líquida (y) em cada seção (Figura 3.8);
3. Introduzir em cada ponto de cada seção, o cilindro metálico até que o disco cônico acoplado na extremidade toque a superfície sólida (areia acumulada ou a laje de fundo do desarenador);
4. Ler, no cilindro metálico, a altura da lâmina líquida (Figura 3.9);
5. Determinar a área da seção livre para escoamento de água, ou pelo método da integração gráfica de áreas ou pelo método do produto da largura do canal pela lâmina líquida média de escoamento;
6. A definição da lâmina líquida em cada ponto da seção livre para escoamento segue os seguintes passos:
 - Escolher o fundo do canal como plano de referência;

- Definir a altura (h_{na}) do nível de água, em cada seção, com relação ao plano de referência;
- Subtrair a profundidade (0,30 m) do depósito de areia da altura do nível de água para definir a lâmina líquida máxima (h_{max}) de escoamento livre de água no canal;
- Comparar cada lâmina líquida (y) com a lâmina líquida máxima (h_{max}). Definir a lâmina líquida real (h_r) de escoamento, em cada ponto, de acordo com o seguinte critério: Se $y \geq h_{max}$, fazer $h_r = h_{max}$;
Se $y < h_{max}$, fazer $h_r = y$;
- Estimar a velocidade média de escoamento na seção com base na equação da continuidade, utilizando a área da seção livre para escoamento e a vazão média determinada no item 1 deste procedimento.

A altura do nível de água e as lâminas líquidas utilizadas neste procedimento são ilustradas na Figura.3.10.

$$Q = KH^n$$

Equação 3.1

Onde: $Q =$ Vazão, m^3/s

$K, n =$ Coeficientes

$H =$ Altura da lâmina líquida

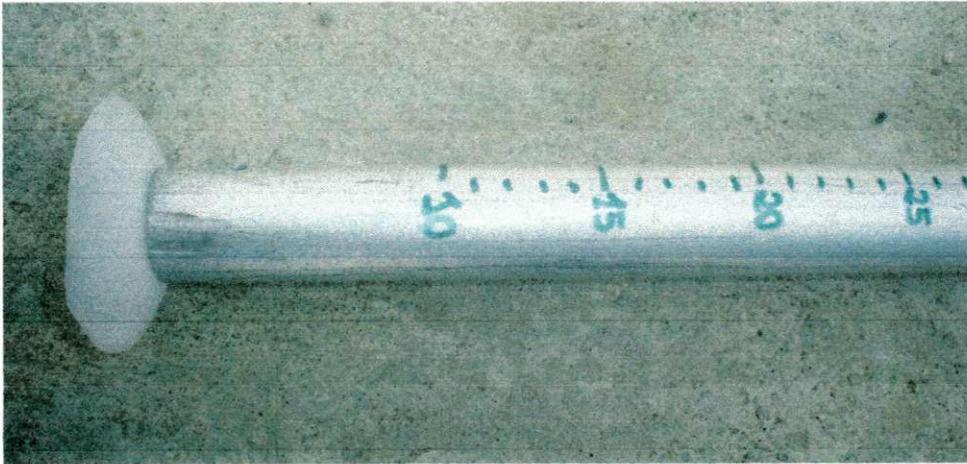


Figura 3.7 – Equipamento utilizado para leitura da lamina d'água.

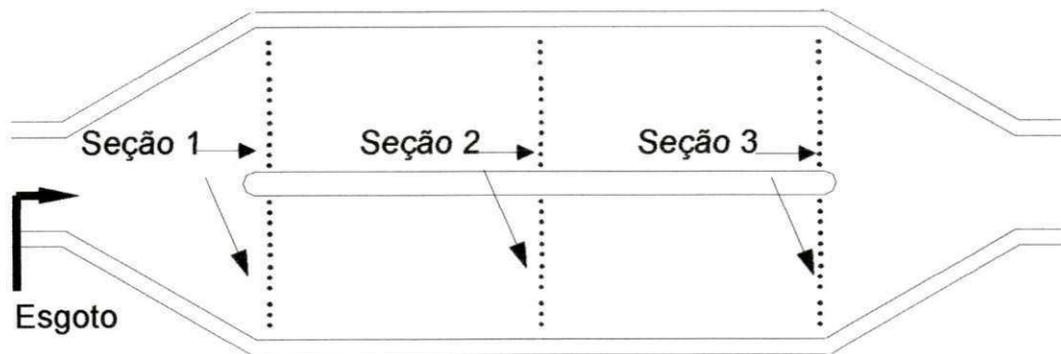


Figura 3.8 – Seções onde eram medidas as alturas das laminas d'água no desarenador.



Figura 3.9 – Leitura da lâmina líquida no desarenador.

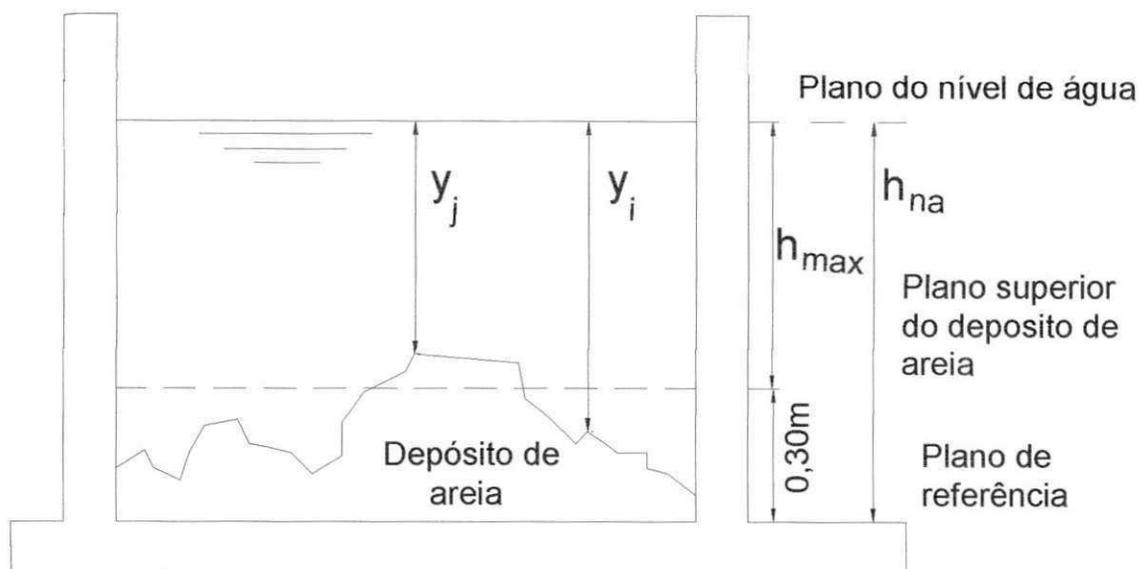


Figura 3.10 - Representação da altura do nível de água e das lâminas líquidas utilizadas no procedimento de determinação da velocidade de escoamento da água residuária no desarenador.

3.4.2 - Coletas do material retido no desarenador

O material acumulado no desarenador foi coletado para análise do teor de sólidos. As coletas foram realizadas semanalmente, entre 9 h e 30 mim e 10 h e 30 mim, entre julho e novembro. O equipamento utilizado foi um coletor de lodo (Descrito no item 3.4.4.1), projetado e construído no laboratório da UFCG. Após a coleta, a areia era misturada e homogeneizada em um balde de onde eram retiradas as amostras para análises. A Figura 3.11 ilustra a seção onde eram coletadas as amostras do material retido no desarenador.

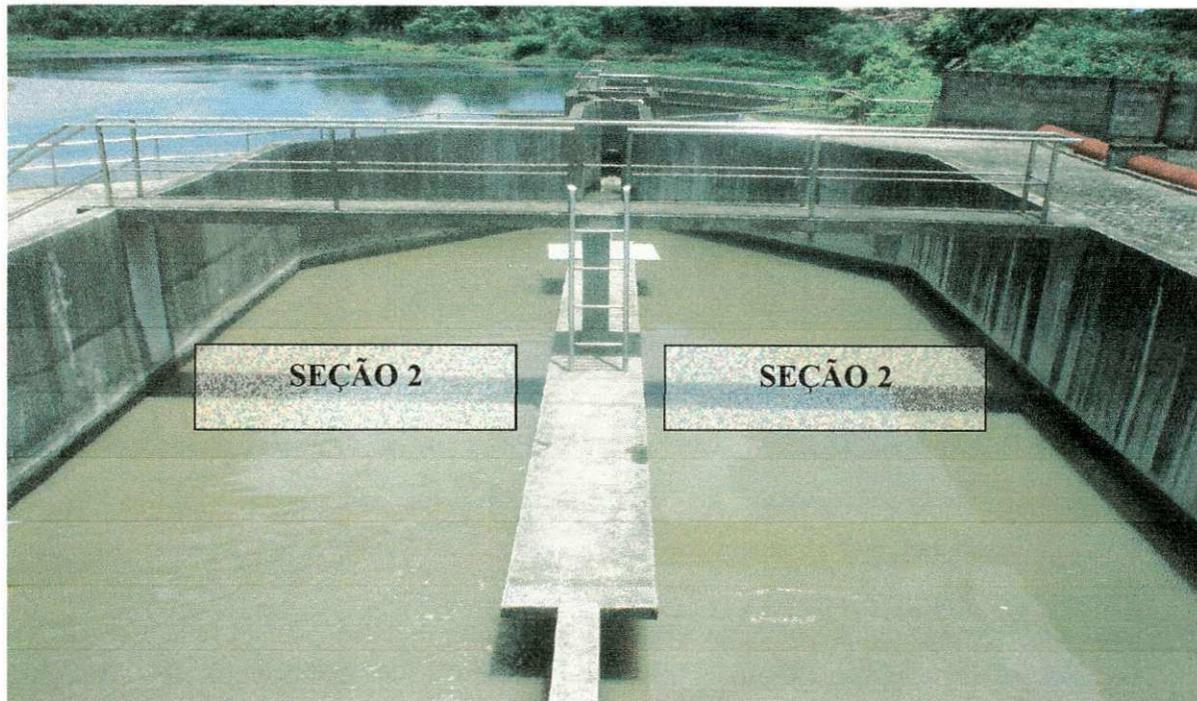


Figura 3.11 – Vista de montante do desarenador (Seção do desarenador onde eram coletadas as amostras de areia).

3.4.3 - Determinação da altura da camada de lodo da lagoa anaeróbia

A altura da camada de lodo na lagoa anaeróbia foi determinada através de um levantamento batimétrico que foi realizado em novembro de 2004, aproximadamente cinco anos após o início de funcionamento da lagoa.

Procedimento:

- Colocar uma linha longitudinal na lagoa (Figura 3.12);
- A cada 20m da linha longitudinal marcar com estacas, totalizando 11;
- Inserir um disco metálico com uma escala métrica na massa líquida (Figura 3.13) ao longo da área de cada estaca até atingir a camada de lodo;
- Em cada estaca realizar o levantamento topográfico da área (Figura 3.14);
- A partir dos dados de altura do lodo e da área estimar o volume de lodo acumulado na lagoa anaeróbia;
- Determinar a média das alturas de lodo medidas em cada estaca e construir um gráfico com o perfil de altura do lodo.



Figura 3.12 – Linha longitudinal seccionando a lagoa para a realização da batimetria.



Figura 3.13 – Disco metálico utilizado na batimetria da lagoa anaeróbia.

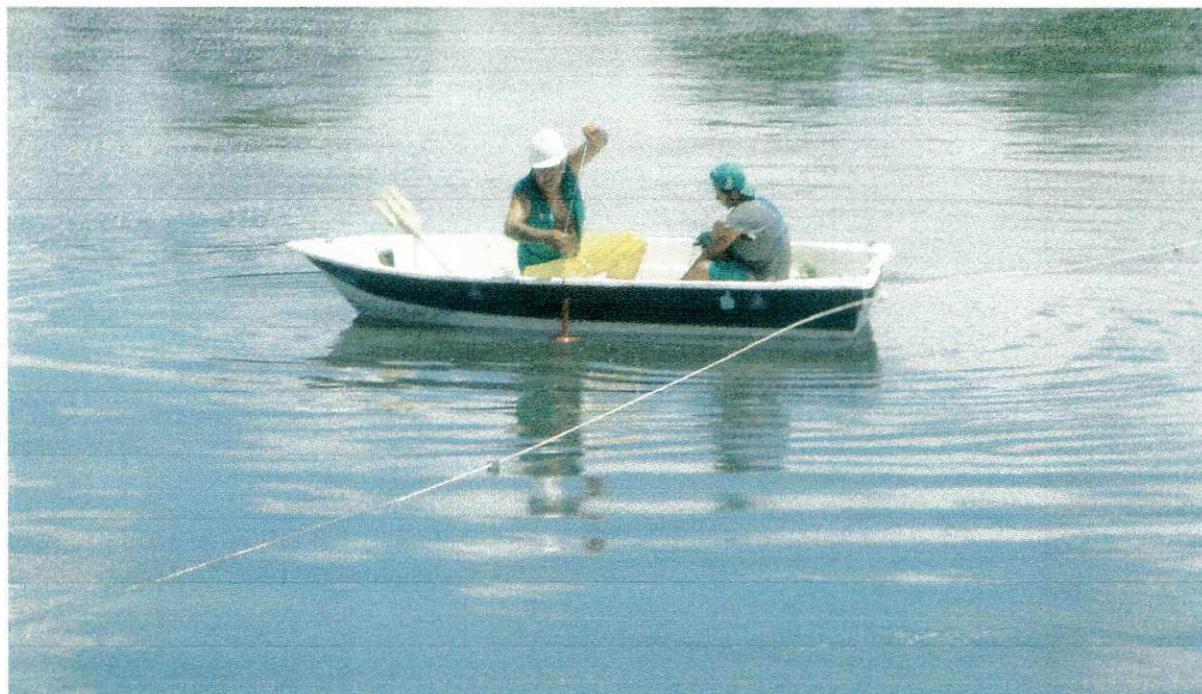


Figura 3.14 - Levantamento batimétrico da camada de lodo acumulado na lagoa.

3.4.4 - Coleta de lodo

3.4.4.1 – Coletas de lodo para análises físico-químicas

O lodo da lagoa anaeróbia foi coletado em dois pontos distintos. O primeiro ponto foi localizado na entrada da lagoa (Figura 3.16) e o segundo na saída (Figura 3.17). As coletas, no total de 12, foram realizadas semanalmente, entre 9 h e 30 min e 10 h e 30 min, no período de agosto a outubro de 2005. O equipamento utilizado era constituído de hastes cilíndricas de alumínio de dois metros de comprimento. As hastes eram encaixadas e parafusadas de acordo com o tamanho desejado.

Procedimento

- Inserir o equipamento cilíndrico na massa líquida até penetrar na camada de lodo;
- Fechar o dispositivo de entrada do equipamento (Figura 3.15) para evitar o escape do lodo;
- Retirar o equipamento da lagoa e misturar as amostras coletadas em um balde plástico;
- Homogeneizar e retirar as amostras para análise.



Figura 3.15 - Dispositivo de entrada do coletor de lodo.

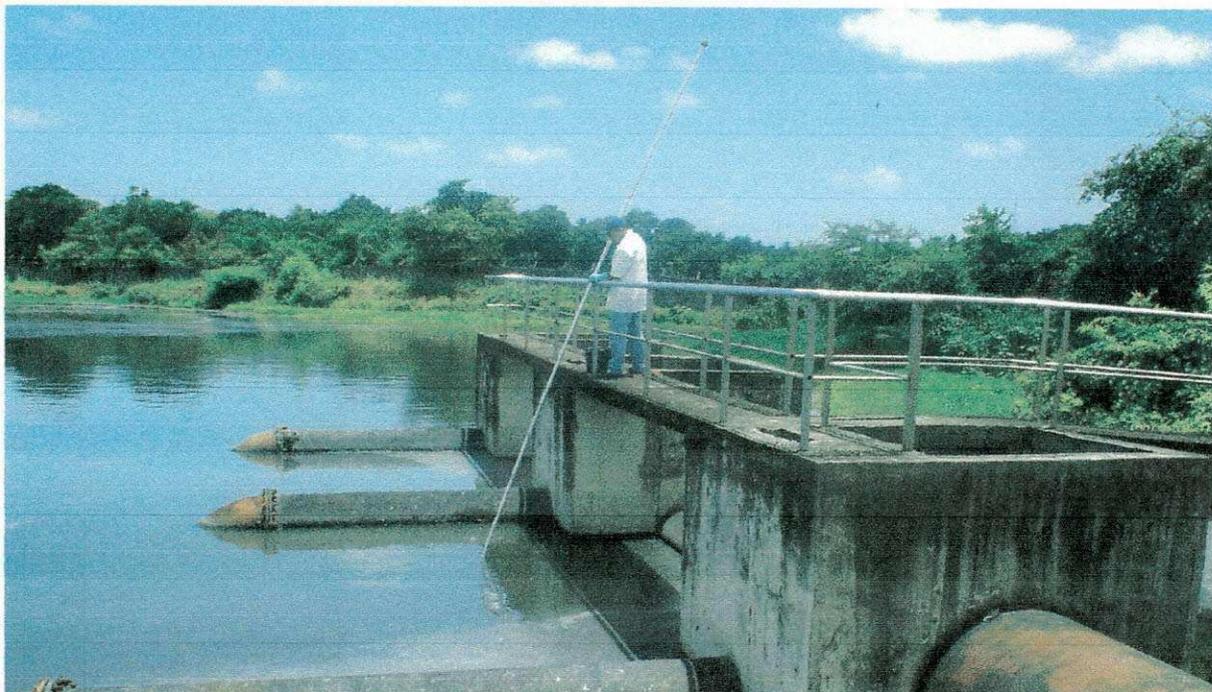


Figura 3.16 - Coleta de lodo na entrada da lagoa anaeróbia profunda (vista da entrada da lagoa).



Figura 3.17 - Coleta de lodo na saída da lagoa anaeróbia profunda (vista do vertedor de saída da lagoa).

3.4.4.2 – Coleta de lodo para determinação do teste de estabilidade

A coleta de lodo para a realização do teste de estabilidade seguiu o mesmo procedimento utilizado na coleta de lodo para as análises físico-químicas com a ressalva de que o lodo foi coletado em vários pontos na saída da lagoa anaeróbia.

3.4.5 - Teste de estabilidade

O teste de estabilidade foi realizado segundo o procedimento de Haskoning & Euroconsult (1990) adaptado por Coura (2002). O método é uma medida indireta da fração biodegradável da matéria orgânica que está presente no lodo, através da medição do volume diário de metano até o lodo alcançar a respiração endógena.

Procedimento:

- Introduzir um volume de lodo que pode variar entre 250 e 500 ml em uma garrafa de soro com volume variável entre 500 e 1000 ml;
- Em uma garrafa de soro de 1 litro colocar uma solução de NaOH a 3% contendo fenolftaleína;
- Vedar as garrafas com borrachas específicas;

- Colocar as garrafas em uma sala com temperatura controlada (30⁰C);
- Diariamente, conectar as duas garrafas através de duas agulhas interligadas com uma mangueira de 20cm e em seguida inserir uma terceira agulha na garrafa de NaOH para que o volume de hidróxido de sódio, equivalente ao volume de metano, possa ser medido em um becker (Figura 3.18);
- A medição, diária, do volume de metano deve proceder até ser observada uma produção constante (o lodo atingir a respiração endógena).

O experimento foi realizado em triplicata para uma maior segurança nos resultados sendo que as amostras foram incubadas no dia 15 de setembro de 2005 por um período de trinta dias.

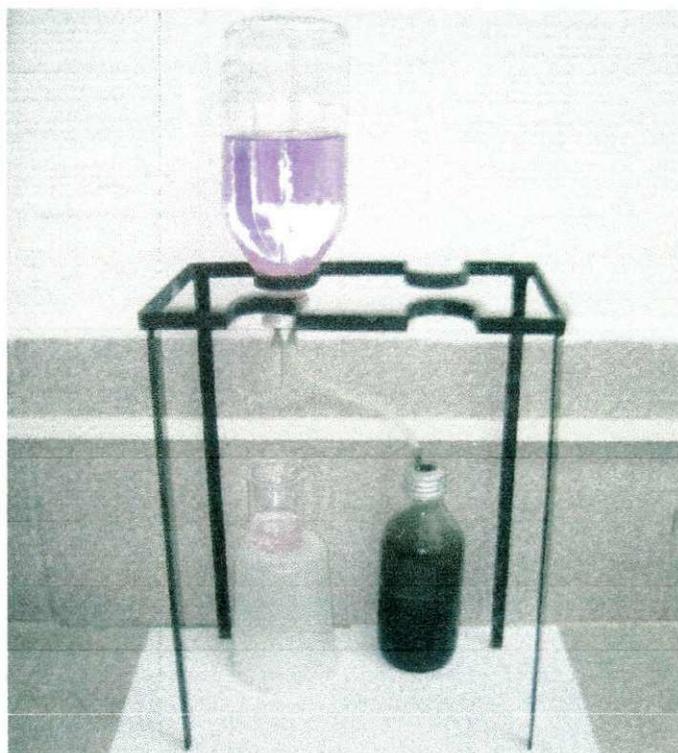


Figura 3.18 – Foto do teste de Estabilidade

Determinação da estabilidade do lodo

Com o volume de metano acumulado diariamente versus o tempo é possível construir uma curva a partir da qual a produção exógena de metano pode ser determinada (Figura 3.19).

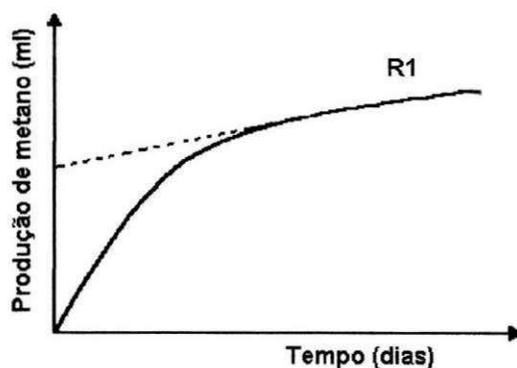


Figura 3.19 - Produção de metano do lodo anaeróbio ao longo do tempo

A reta R1, tangente à última inclinação da curva (Figura 19), representa a produção de metano devido apenas à respiração endógena. O ponto onde a reta toca o eixo das ordenadas determina a produção de metano antes do lodo alcançar a respiração endógena.

A estabilidade é expressa como a produção de gás pelo lodo antes de alcançar a respiração endógena e pode ser determinada pela relação entre o volume de metano produzido antes do lodo alcançar a respiração endógena e a quantidade de lodo utilizada em cada garrafa (Equação 3.2).

$$Est = \frac{CH_4 (ml)}{gSV} \quad \text{Equação 3.2}$$

Também é possível avaliar a estabilidade do lodo através da redução dos sólidos voláteis. Esse teste pode ser realizado com a mesma amostra de lodo utilizada para a determinação da estabilidade pela medição da produção de metano. Dessa forma, o teste da redução de sólidos voláteis, representa uma outra possibilidade de determinação do grau de estabilidade do lodo ao mesmo tempo em que serve para comprovar o resultado do teste da produção de metano. Para tanto deve ser seguido o seguinte procedimento:

- Tomar uma amostra de 50 ml do mesmo lodo a ser incubado para o teste de estabilidade da produção de metano e realizar a determinação dos sólidos voláteis;
- Ao realizar a última leitura do volume de metano no teste de estabilidade, deixar a garrafa de lodo incubada até completar o período de 40 dias e retirar uma amostra de 50 ml do lodo da garrafa de soro para realizar a determinação dos sólidos voláteis.
- Com a diferença entre as duas determinações de sólidos voláteis calcular a redução dos sólidos voláteis ocorrida no tempo de incubação do lodo (40 dias);

- Para comparar a redução dos sólidos voláteis com o teste de estabilidade da produção de metano, calcular a redução teórica dos sólidos voláteis a partir do valor de CH_4 (ml)/gSV obtido no referido teste.

3.5 – Procedimentos analíticos

As análises foram realizadas no Laboratório de Efluentes Sanitários da CAGEPA, na Estação de Tratamento de Mangabeira, de acordo com os procedimentos descritos em APHA *et al.* (1998).

Tabela 3.1 – Variáveis físico-químicas utilizados nas amostras de águas residuárias.

Variáveis	Métodos Analíticos
DBO₅ (mg/l) do filtrado	Método da diluição em frascos padrões de DBO ₅ , com incubação a 20 ^o C por 5 dias, e com utilização de papeis de filtro de fibra de vidro, GF/C Whatman, para filtração da amostra.
DQO (mg/l) do filtrado	Método da refluxação fechada do dicromato de potássio, com determinação titulométrica e com utilização de papeis de filtro de fibra de vidro, GF/C Whatman, para filtração da amostra.
Temperatura (°C)	Termômetro de mercúrio INCOTERM com escala de 0 a 60°C.
ST (mg/l)	Método gravimétrico, com cápsula cerâmica, em estufa à 105°, e balança Bosch modelo S.2000.
STF (mg/l)	Método gravimétrico, com cápsula cerâmica, em mufla à 500°, e balança Bosch modelo S.2000.
STV (mg/l)	Método gravimétrico, com cápsula cerâmica, em mufla à 500°, e balança Bosch modelo S.2000.
SST (mg/l)	Método gravimétrico com papeis de filtro de fibra de vidro (GF/C Whatman) a 105° e balança Bosch modelo S.2000.
SSF (mg/l)	Método gravimétrico com papeis de filtro de fibra de vidro (GF/C Whatman) a 500° e balança Bosch modelo S.2000.
SSV (mg/l)	Método gravimétrico com papeis de filtro de fibra de vidro (GF/C Whatman) a 500° e balança Bosch modelo S.2000.
S. Sedimentáveis (ml/l)	Método do Cone de Imhoff, sedimentação durante 1 hora.

Tabela 3.2 – Variáveis físico químicas utilizadas nas amostras do material retido no desarenador.

Variáveis	Métodos Analíticos
ST (%)	Método gravimétrico, com cápsula cerâmica, em estufa à 105° durante 12 horas, e balança Bosch modelo S.2000.
STF (%)	Método gravimétrico, com cápsula cerâmica, em mufla à 500° durante uma hora, e balança Bosch modelo S.2000.
STV (%)	Método gravimétrico, com cápsula cerâmica, em mufla à 500° durante uma hora, e balança Bosch modelo S.2000.

Tabela 3.3 – Variáveis físico-químicas utilizadas nas amostras de lodo.

Variáveis	Métodos Analíticos
ST (mg/l)	Método gravimétrico, com cápsula cerâmica, em estufa à 105° durante 12 horas, e balança Bosch modelo S.2000.
STF (mg/l)	Método gravimétrico, com cápsula cerâmica, em mufla à 500°, e balança Bosch modelo S.2000.
STV (mg/l)	Método gravimétrico, com cápsula cerâmica, em mufla à 500°, e balança Bosch modelo S.2000.
Peso específico (g/l)	Proveta de 100 ml e balança Bosch modelo S.2000.
Teor de umidade (%)	Peso específico e Sólidos totais determinados.

3.6 – Procedimentos estatísticos

Foi realizada a análise de parâmetros estatísticos descritivos das amostras de variáveis físico-químicas da água residuária. Foi aplicado o critério de Kolmogorov-Smirnov para todas as amostras a fim e verificar ajuste de dados à distribuição normal. Para a realização destas análises foi utilizado o programa de estatística SPSS.

Os dados foram, ainda, submetidos à análise de variância (ANOVA-fator único), com significância de 5%, para comparar os valores médios de cada conjunto. Para esta análise foi utilizada a planilha eletrônica Microsoft Excel.

Também foram realizadas análises de correlação das variáveis físico-químicas, para se medir a intensidade da associação observada entre qualquer par de variáveis (SOKAL E ROHLF, 1981, 1995).

4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 - Dados de vazão do esgoto bruto

Na Tabela 4.1 podem ser observados os dados de vazão diária da lagoa e os dados de precipitação pluviométrica durante o período de 27/04 a 13/06/05, tendo os dados de precipitação sido fornecidos pelo Laboratório de Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande.

O valor médio das 42 aquisições de vazão, durante o período de monitoração, foi 25890 m³/d, o qual se encontra abaixo da capacidade máxima da lagoa apresentada pelo Projeto do Tratamento dos Esgotos da Bacia do Baixo Paraíba na cidade de João Pessoa – PB, que é 67313 m³/d. O desvio padrão observado foi de 11249 m³/d., com vazão máxima de 74467 m³/d e vazão mínima de 15691 m³/d, registradas nos dias 20 e 16 de maio respectivamente, sendo notável que a vazão máxima registrada apresentou-se superior à capacidade máxima da lagoa. A Figura 4.1 ilustra o comportamento da vazão diária do esgoto bruto afluente da lagoa anaeróbia no período de monitoração, destacando-se as maiores vazões, registradas nos dias 04/05 e 20/05, sendo esta última aquisição bem superior às demais. Esse aumento de vazão não pode ser justificado pela ocorrência de altas precipitações pluviométricas tendo em vista que nos dias em que foram registradas as maiores vazões não ocorreram grandes precipitações pluviométricas como pode ser observado na Tabela 4.1.

Um fator que pode ser considerado é que a água armazenada no solo pode estar se infiltrando no sistema de esgotamento sanitário, tendo em vista que a área onde a bacia de contribuição da estação de tratamento de esgotamento sanitário esta localizada encontra-se em uma região onde o lençol freático é muito superficial, podendo influir nas variações de vazão.

O tempo de detenção hidráulica projetado para o final de plano é de 1,26 dias para uma vazão de 779,01 l/s, mas, de acordo com a monitoração das vazões do afluente da lagoa

anaeróbia foi estimado que a lagoa está operando com um tempo de detenção hidráulica de 3,27 dias. Arruda (2004), num estudo anterior, entre 16/10 e 14/11/2003, verificou que a lagoa estava operando com tempo de detenção hidráulica de 4,54 dias.

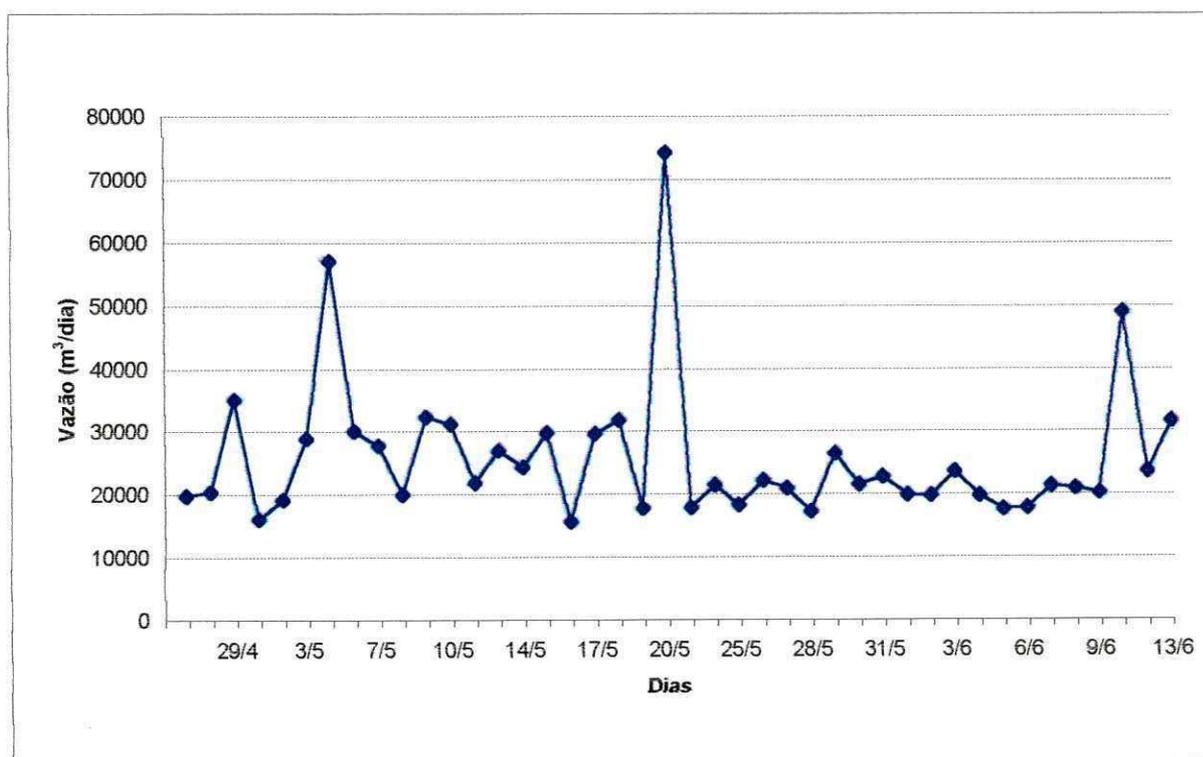


Figura 4.1 – Variação diária da vazão observada durante a monitoração do afluente da lagoa anaeróbia do Róger, João Pessoa (PB), entre 27/04 e 13/06/2005.

Os parâmetros da análise estatística descritiva dos dados de vazão são apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.1 - Dados de vazão diária e de precipitação pluviométrica na ETE do Róger, durante o período de monitoração (27/04 à 13/06/2005).

Data	Vazão diária (m³/dia)	Precipitação (mm)
27/04/05	19864	0,0
28/04/05	20387	1,8
29/04/05	35158	8,6
01/05/05	16137	0,0
02/05/05	19241	0,0
03/05/05	28870	0,0
04/05/05	57122	0,0
06/05/05	30173	0,0
07/05/05	27831	1,0
08/05/05	20003	1,3
09/05/05	32424	0,0
10/05/05	31280	8,2
11/05/05	21884	22,0
12/05/05	26985	19,2
14/05/05	24322	26,4
15/05/05	29800	13,2
16/05/05	15691	87,2
17/05/05	29688	23,6
18/05/05	31898	4,0
19/05/05	17849	19,2
20/05/05	74467	7,8
23/05/05	17955	55,8
24/05/05	21530	10,2
25/05/05	18432	1,0
26/05/05	22289	22,6
27/05/05	21073	7,6
28/05/05	17326	23,6
29/05/05	26586	1,0
30/05/05	21622	73,6
31/05/05	22855	5,4
01/06/05	19975	44,8
02/06/05	19937	9,6
03/06/05	23659	39,6
04/06/05	19885	8,2
05/06/05	17781	12,3
06/06/05	17972	5,8
07/06/05	21443	16,0
08/06/05	21083	14,4
09/06/05	20309	21,6
10/06/05	49154	1,0
12/06/05	23690	35,8
13/06/05	31768	22,6

Tabela 4.2 – Análise estatística descritiva dos valores de vazão da lagoa anaeróbia.

Número de dados (N)	Média (m³/d)	σ_{n-1} (m³/d)	Mínimo (m³/d)	Máximo (m³/d)
42	25890	11249	15691	74467

4.2 - Análise estatística descritiva das variáveis físico-químicas

A Tabela 4.3 apresenta o resumo da análise estatística descritiva das variáveis estudadas durante o período de monitoração da lagoa anaeróbia, entre 17 de março e 01 de novembro de 2005.

No presente estudo foram realizados dois experimentos (perfil) de 24 horas, o primeiro realizado no mês de agosto (dias 30 e 31) e o segundo no mês de outubro (dias 25 e 26). As coletas foram realizadas nos horários de 6h, 11h, 17h e 22h. Esses horários foram escolhidos com base em estudos anteriores de monitoração horária dos dados de vazão realizados na lagoa anaeróbia (ARRUDA 2004), nos quais foi observada a representatividade das coletas nesses horários. O estudo do ciclo diário teve como objetivo analisar as variações das características do esgoto bruto e do efluente da lagoa anaeróbia ao longo do ciclo diário e as características noturna e diurna das variáveis estudadas. As variáveis avaliadas foram pH, temperatura, DBO₅ e DQO das amostras filtradas, sólidos totais, fixos e voláteis, sólidos suspensos, fixos e voláteis, e sólidos sedimentáveis.

As Tabelas 4.4 e 4.5 ilustram os resultados dos dois perfis realizados.

Tabela 4.3 – Análise estatística descritiva das variáveis determinadas no esgoto bruto (EBR) e no efluente (EFR) da lagoa anaeróbia da ETE do Róger, João Pessoa – PB, entre 17/03 e 01/11/2005.

Variáveis	Amostra	N	Média	σ_{n-1}	Máximo	Mínimo
pH	EBR	49	7,19	0,20	7,52	6,54
	EFR	49	6,85	0,21	7,37	6,12
Temperatura (°C)	EBR	48	30	1,22	33	28
	EFR	48	30	1,27	32	28
DBO₅ filtrada(mg/l)	EBR	28	89	23,31	153	43
	EFR	28	53	11,39	71	34
DQO filtrada(mg/l)	EBR	28	379	132,16	740	121
	EFR	28	304	125,45	711	123
ST (mg/l)	EBR	31	646	97,46	922	420
	EFR	31	618	342,38	2340	348
STF (mg/l)	EBR	31	337	72,32	589	175
	EFR	31	346	162,31	1161	200
STV (mg/l)	EBR	31	309	69,19	534	168
	EFR	31	273	189,98	1179	129
SST (mg/l)	EBR	31	236	66,43	491	145
	EFR	31	147	120,30	627	38
SSF (mg/l)	EBR	31	64	49,59	197	17
	EFR	31	48	52,74	198	1
SSV (mg/l)	EBR	31	173	75,48	359	22
	EFR	31	99	86,76	443	4
S.SED. (mg/l)	EBR	31	5,4	2,49	17	2,5
	EFR	31	4,2	9,91	55	0,4

Notas:

N = Número de amostras

σ_{n-1} = Desvio padrão amostral

Tabela 4.4 - Medidas das variáveis monitoradas no esgoto bruto (EBR) e efluente (EFR) da lagoa anaeróbia no primeiro perfil realizado entre 30 e 31 de agosto de 2005.

Variáveis		06h	11h	17h	22h
pH	EBR	7,65	7,38	7,12	7,31
	EFR	7,17	7,12	6,95	6,90
Temperatura (°C)	EBR	27	29	29	28
	EFR	27	28	29	28
DBO ₅ filtrada (mg/l)	EBR	75	67	71	101
	EFR	53	51	40	49
DQO filtrada (mg/l)	EBR	357	486	478	261
	EFR	186	257	333	261
ST (mg/l)	EBR	539	669	643	663
	EFR	497	474	478	561
STF (mg/l)	EBR	321	358	291	371
	EFR	281	299	283	346
STV (mg/l)	EBR	218	311	352	292
	EFR	216	175	195	215
SST (mg/l)	EBR	149	326	228	193
	EFR	75	97	86	142
SSF (mg/l)	EBR	13	62	15	3
	EFR	1	13	21	19
SSV (mg/l)	EBR	136	264	213	190
	EFR	74	84	65	123
S.Sedimentáveis (mg/l)	EBR	3,5	7,5	4,0	4,5
	EFR	0,9	0,9	1,0	2,0

Tabela 4.5 - Medidas das variáveis monitoradas no esgoto bruto (**EBR**) e efluente (**EFR**) da lagoa anaeróbia no segundo perfil realizado entre 25 e 26 de outubro de 2005.

Variáveis		06h	11h	17h	22h
pH	EBR	7,31	7,42	7,40	6,95
	EFR	6,99	6,66	6,86	6,61
Temperatura (°C)	EBR	30	31	30	30
	EFR	29	30	29	30
DBO₅ filtrada (mg/l)	EBR	52	68	114	85
	EFR	54	46	47	33
DQO filtrada (mg/l)	EBR	426	250	324	456
	EFR	235	338	132	279
ST (mg/l)	EBR	497	723	735	671
	EFR	478	348	571	538
STF (mg/l)	EBR	242	392	299	312
	EFR	321	200	320	304
STV (mg/l)	EBR	255	331	436	359
	EFR	157	148	251	234
SST (mg/l)	EBR	160	310	252	263
	EFR	99	59	110	89
SSF (mg/l)	EBR	21	45	43	32
	EFR	13	9	23	12
SSV (mg/l)	EBR	139	265	209	231
	EFR	86	50	87	77
S.Sedimentáveis (mg/l)	EBR	2,0	5,5	3,5	3,5
	EFR	1,3	0,7	1,2	0,6

4.2.1 - pH e Temperatura

Foi observado que os valores de pH para o esgoto e para o efluente se mostraram bem próximos à neutralidade. O pH médio do esgoto bruto foi de 7,19, apresentando uma dispersão (σ_{n-1}) de 0,20. O efluente final apresentou valor médio de 6,85 com dispersão de 0,21. A Figura 4.2 ilustra a distribuição espaço-temporal dos valores de pH medidos no esgoto bruto e no efluente da lagoa anaeróbia, sendo possível observar que os valores de pH do esgoto bruto se apresentaram mais elevados que os valores do efluente, com exceção do dia 16/05/05 em que o pH do efluente foi levemente superior ao esgoto bruto.

A média de temperatura para o esgoto bruto e para o efluente foi de 30°C, com desvios de 1,22 e 1,25 °C respectivamente. Para o esgoto bruto a temperatura mais elevada foi registrada no mês de março chegando a alcançar 33 °C e a menor temperatura foi medida nos meses de junho e agosto alcançando 28 °C em três dias diferentes. A Figura 4.3 ilustra a variação espaço-temporal da temperatura do esgoto bruto e do efluente durante o período estudado.

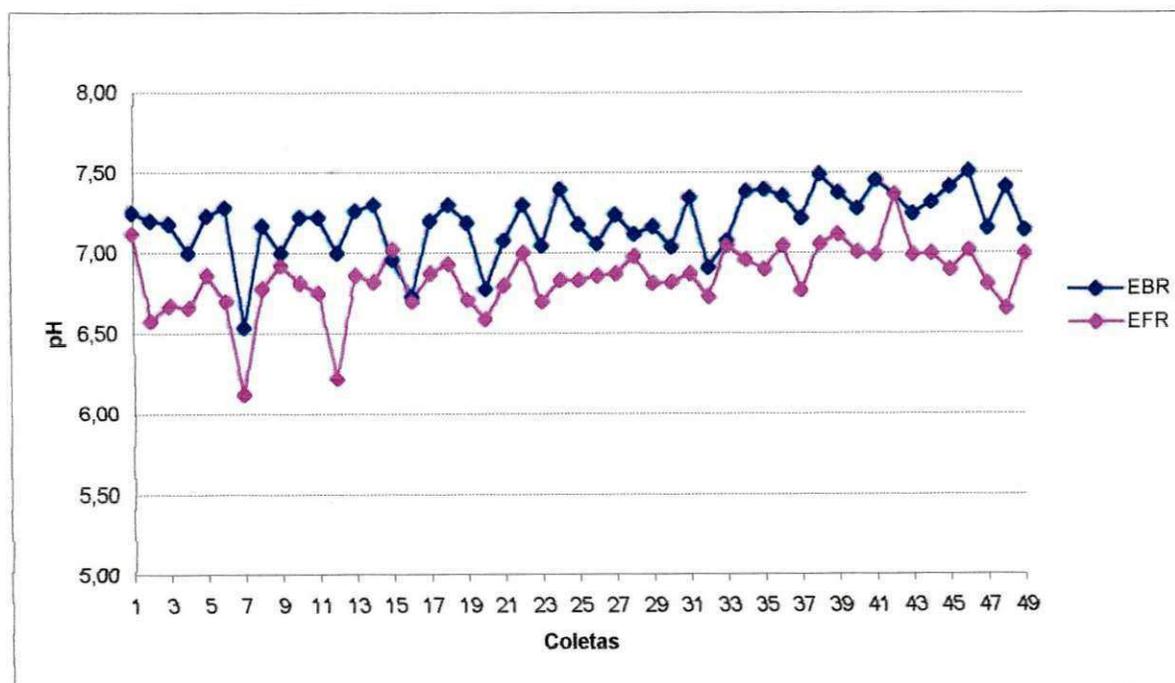


Figura 4.2 - Variação de pH na monitoração do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 17/03 e 01/11/2005.

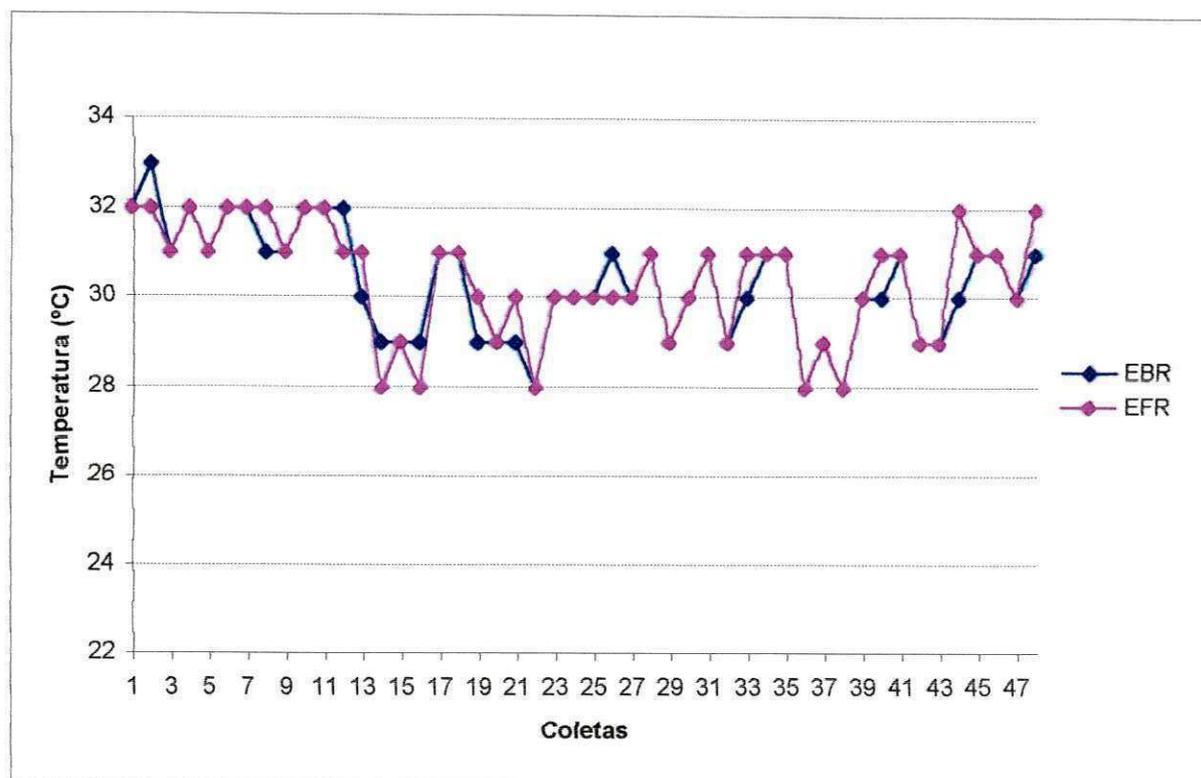


Figura 4.3 - Variação de temperatura na monitoração do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 17/03 e 01/11/2005.

As Figuras 4.4 e 4.5 ilustram as variações do pH ao longo do dia no esgoto bruto e efluente da lagoa nas análises realizadas durante o ciclo diário.

O pH do esgoto bruto no 1º perfil apresentou valor mínimo de 7,12 às 17h e máximo de 7,65 às 6h. No 2º perfil, o valor máximo foi de 7,42 às 11h, e mínimo de 6,95 às 22h.

No efluente da lagoa anaeróbia os valores de pH foram mais próximos da neutralidade, para os dois perfis realizados, no primeiro experimento o valor mínimo foi de 6,90 às 22h, e máximo de 7,17 às 6h. No segundo perfil os valores de pH foram menores, com valor máximo foi de 6,99 às 6h e mínimo de 6,61 às 22h. Nos dois perfis os valores de máximo e mínimo foram observados as 6 e 22h, respectivamente.

No 2º perfil as temperaturas alcançadas foram mais elevadas que as do 1º perfil. O primeiro perfil foi caracterizado por uma maior ocorrência de chuvas, registrando a menor temperatura de 27°C e a temperatura mais elevada ocorreu no segundo perfil (31°C).

As Figuras 4.6 e 4.7 apresentam as variações da temperatura ao longo do dia no esgoto bruto e efluente da lagoa nas análises realizadas do 1º e 2º perfil respectivamente.

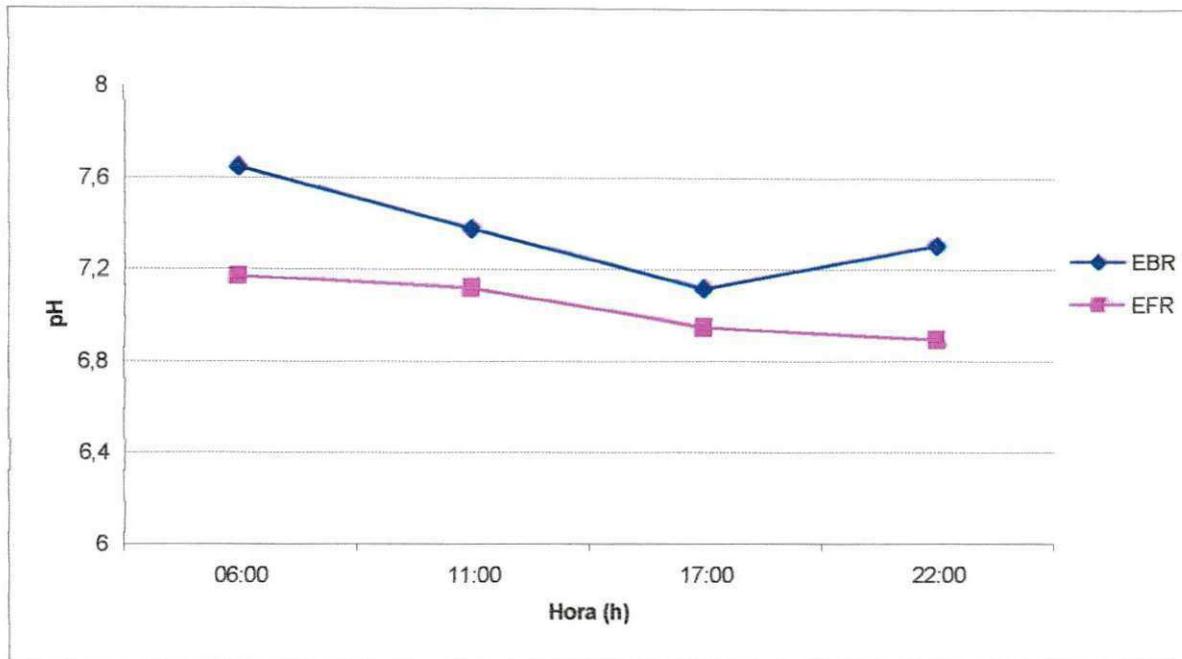


Figura 4.4 – Variação no ciclo diário de pH do esgoto bruto e do efluente da lagoa anaeróbia da ETE do Róger, João Pessoa – PB, entre 30 e 31 de agosto de 2005.

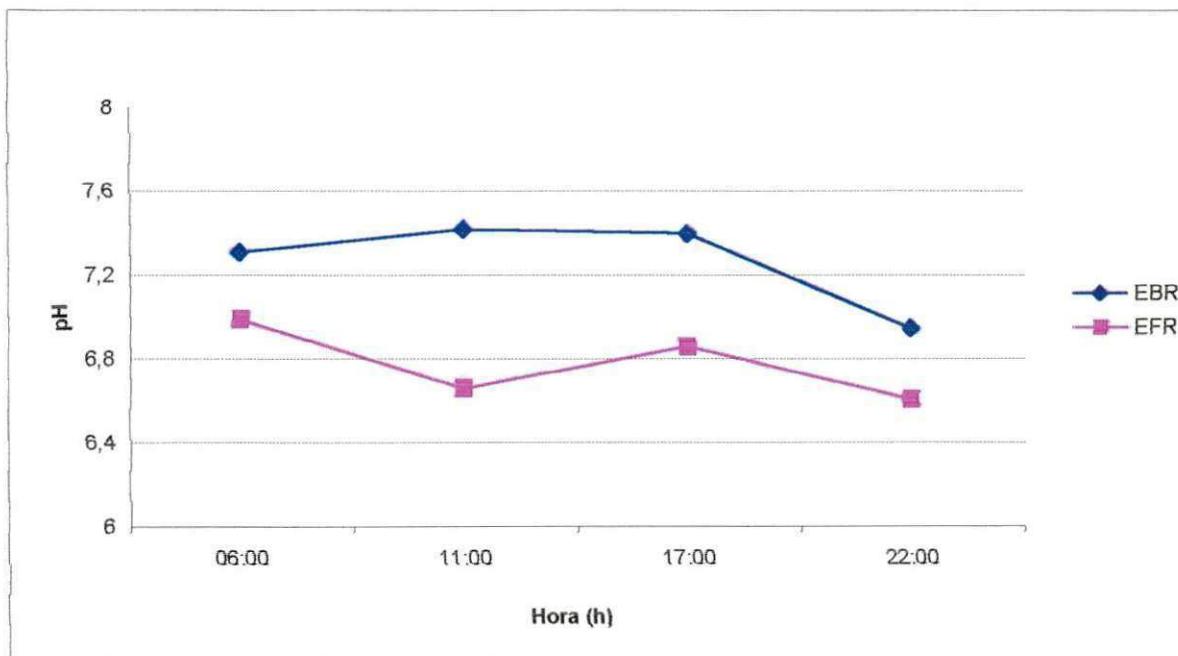


Figura 4.5 – Variação no ciclo diário de pH do esgoto bruto e do efluente da lagoa anaeróbia da ETE do Róger, João Pessoa – PB, entre 25 e 26 de outubro de 2005.

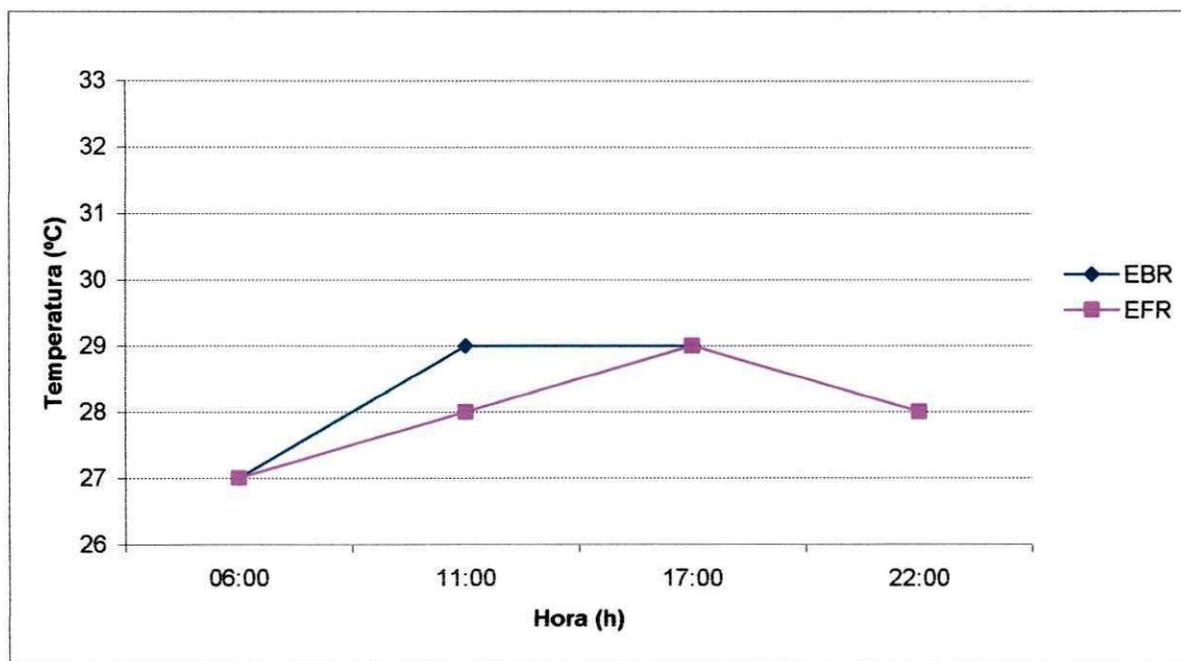


Figura 4.6 – Variação no ciclo diário da temperatura do esgoto bruto e do efluente da lagoa anaeróbia da ETE do Róger, João Pessoa – PB, entre 30 e 31 de agosto de 2005.

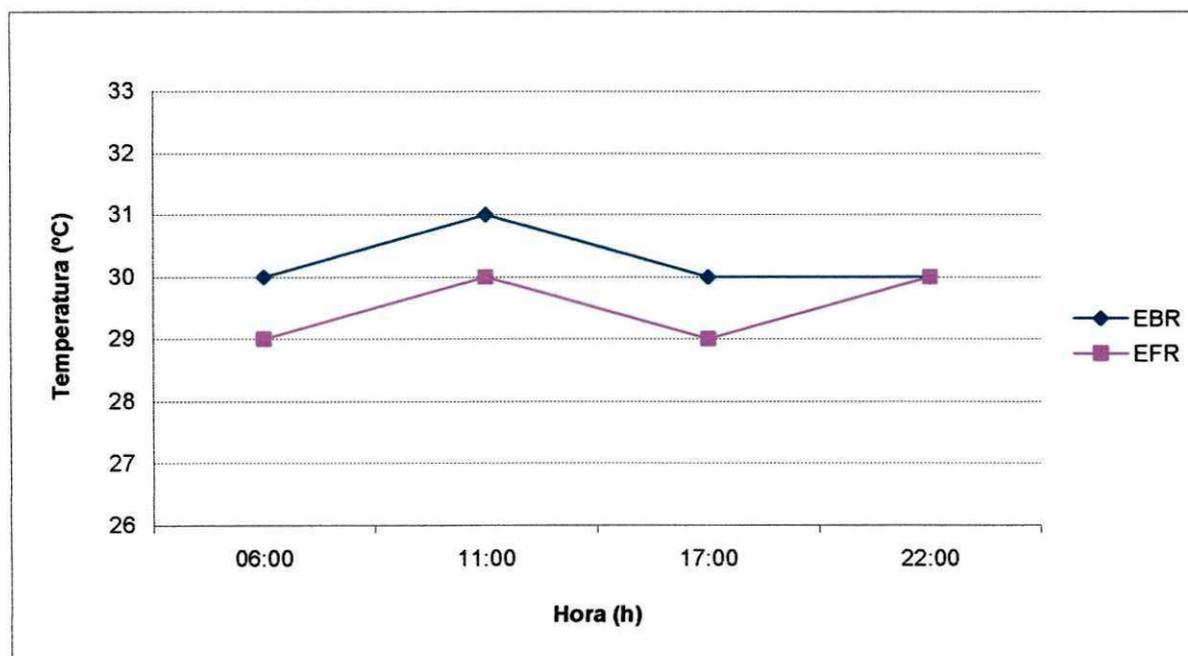


Figura 4.7 – Variação no ciclo diário da temperatura do esgoto bruto e do efluente da lagoa anaeróbia da ETE do Róger, João Pessoa – PB, entre 25 e 26 de outubro de 2005.

4.2.2 - DBO₅ e DQO de amostras filtradas

A DBO₅ média do esgoto bruto filtrado foi de 89 mg/l e a do efluente foi 53 mg/l, apresentando uma eficiência de remoção média de 40,87%. Em relação à DQO de amostras filtradas a eficiência de remoção (19,84%) foi bem menor, sendo a DQO filtrada do esgoto bruto e do efluente de 379 mg/l e 304 mg/l, respectivamente. As Figuras 4.8 e 4.9 mostram as respectivas distribuições espaço-temporais de DBO₅ e DQO medidas nos filtrados do esgoto bruto e do efluente da lagoa anaeróbia.

Na Figura 4.8 pode ser observado que todos os valores de DBO₅ de amostras filtradas do esgoto bruto foram superiores aos valores do efluente filtrado. A DBO₅ do efluente não mostrou grandes variações apresentando valor médio de 53 mg/l, com máximo e mínimo de 71 e 34 mg/l, respectivamente. O esgoto bruto filtrado apresentou variações maiores, com média de 89 mg/l e valores de máximo e mínimo de 153 e 43 mg/l, respectivamente. Em relação às concentrações de DQO do filtrado esta se apresentou bastante variável durante o período de monitoração tanto para o esgoto bruto como para o efluente. No esgoto bruto a concentração média foi de 379 mg, registrando valor máximo de 740 mg/l e mínimo de 121mg/l, e o efluente apresentou média de 304 mg/l, e máximo e mínimo de 711 e 123mg/l, respectivamente.

As Tabelas 4.6 e 4.7 resumem as análises de variância ($\alpha = 0,05$) ANOVA (fator único) aplicadas aos dados de DBO₅ e DQO respectivamente, para testar a existência ($F > F$ crítico) de diferenças significativas entre as médias dos conjuntos de uma mesma variável medida em amostras filtradas do esgoto bruto e do efluente da lagoa anaeróbia. Tanto para o caso da DBO₅ como da DQO a ANOVA rejeitou a hipótese nula e, conseqüentemente provou a existência de diferença significativa, no nível de significância de 5%, entre as médias do aflente e do efluente.

Tabela 4.6 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para a DBO₅ de amostras filtradas do aflente e efluente da lagoa anaeróbia do Róger.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	18578,57	1	18578,57	55,18648	8,29E-10	4,01954
Dentro dos grupos	18179,14	54	336,6508			
Total	36757,71	55				

Tabela 4.7 – Análise de variância ANOVA (fator único) para a DQO de amostras filtradas do afluente e efluente da lagoa anaeróbia do Róger.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	79284,55	1	79284,55	4,775288	0,033229	4,01954
Dentro dos grupos	896567	54	16603,09			
Total	975851,5	55				

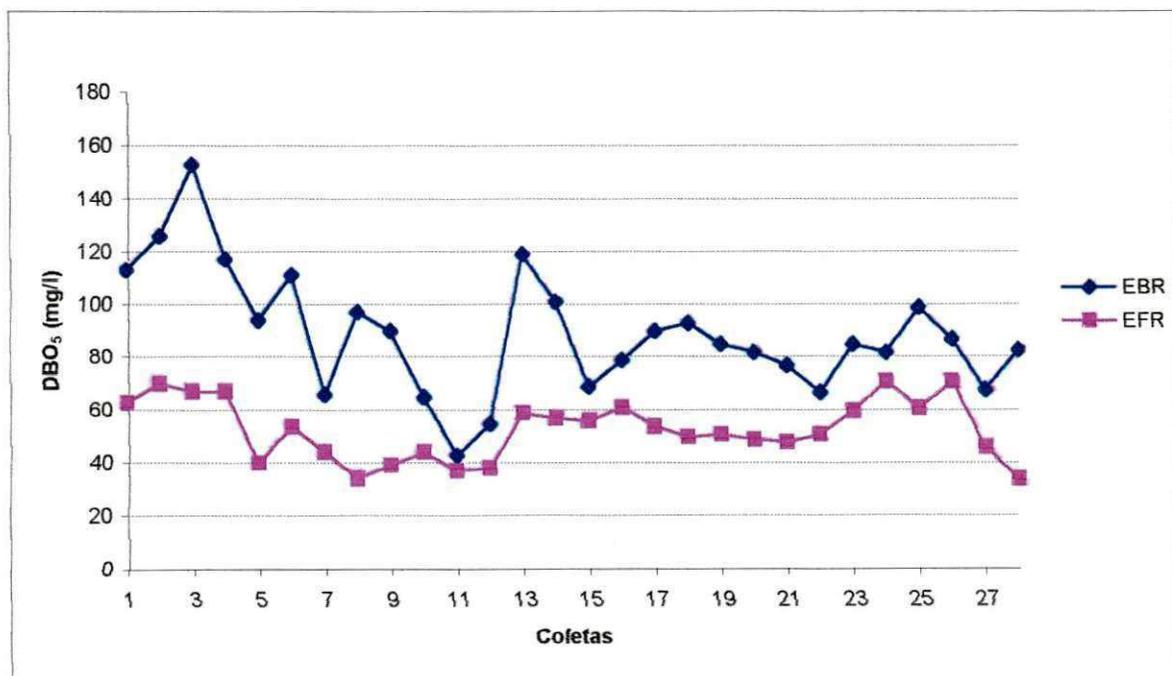


Figura 4.8 – Variação de DBO₅ filtrada medida na monitoração do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 17/03 e 01/11/2005.

ACERVO BIBLIOTECA

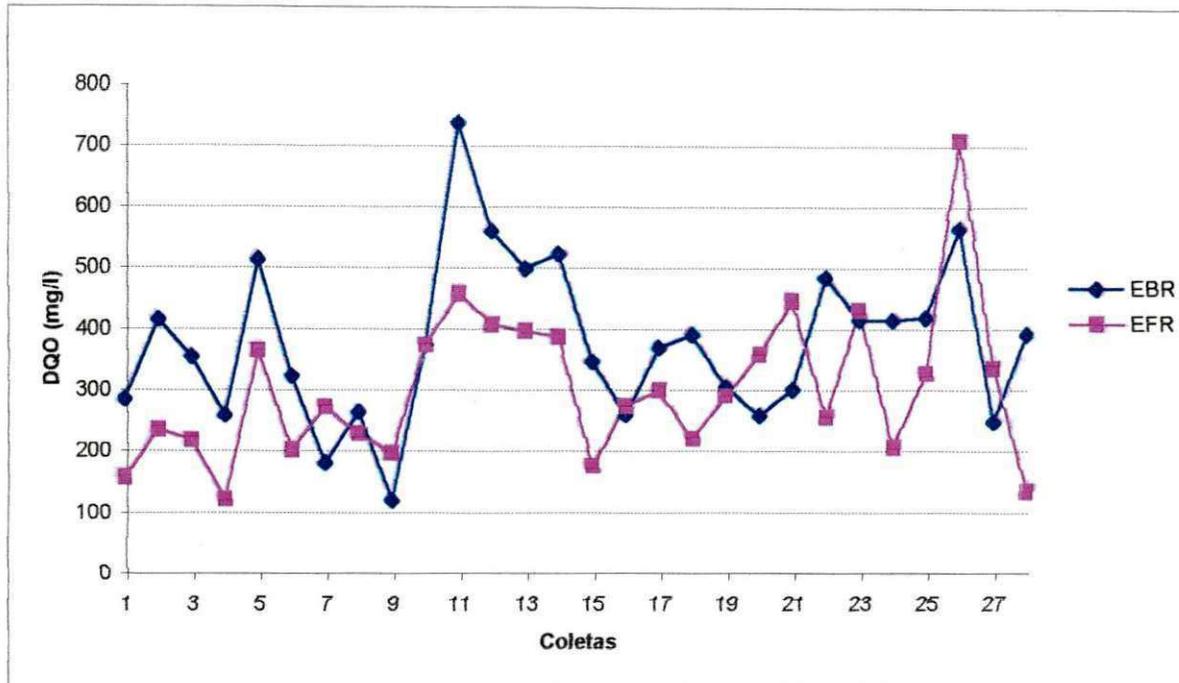


Figura 4.9 – Variação da DQO filtrada medida na monitoração do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 17/03 e 01/11/2005.

Com relação à DBO_5 das amostras filtradas, as concentrações do efluente apresentaram pouca variação ao longo do ciclo diário, o que não ocorreu com o esgoto bruto (ver Figuras 4.10 e 4.11). No 1º perfil a DBO_5 filtrada do esgoto bruto variou de 67 à 101 mg/l, no 2º a variação foi entre 52 e 114 mg/l,

No efluente da lagoa foi observado uma variação bem menor, sendo de 40 e 53 mg/l no primeiro perfil as 17 e 06h respectivamente. No 2º perfil a concentração máxima foi de 54 mg/l às 6h e a mínima foi observada às 22h, sendo de 33mg/l.

Com relação à DQO das amostras filtradas foi observado que as amostras de esgoto bruto e efluente apresentaram comportamento bastante diferente entre os dois perfis (ver Figuras 4.12 e 4.13). No 1º perfil o esgoto bruto apresentou concentrações variando entre 261 e 486 mg/l, No 2º perfil, a variação foi entre 250 e 456 mg/l, Para o efluente a variação no 1º perfil foi entre 186 e 333 mg/l, e no 2º a variação foi entre 132 e 338 mg/l.

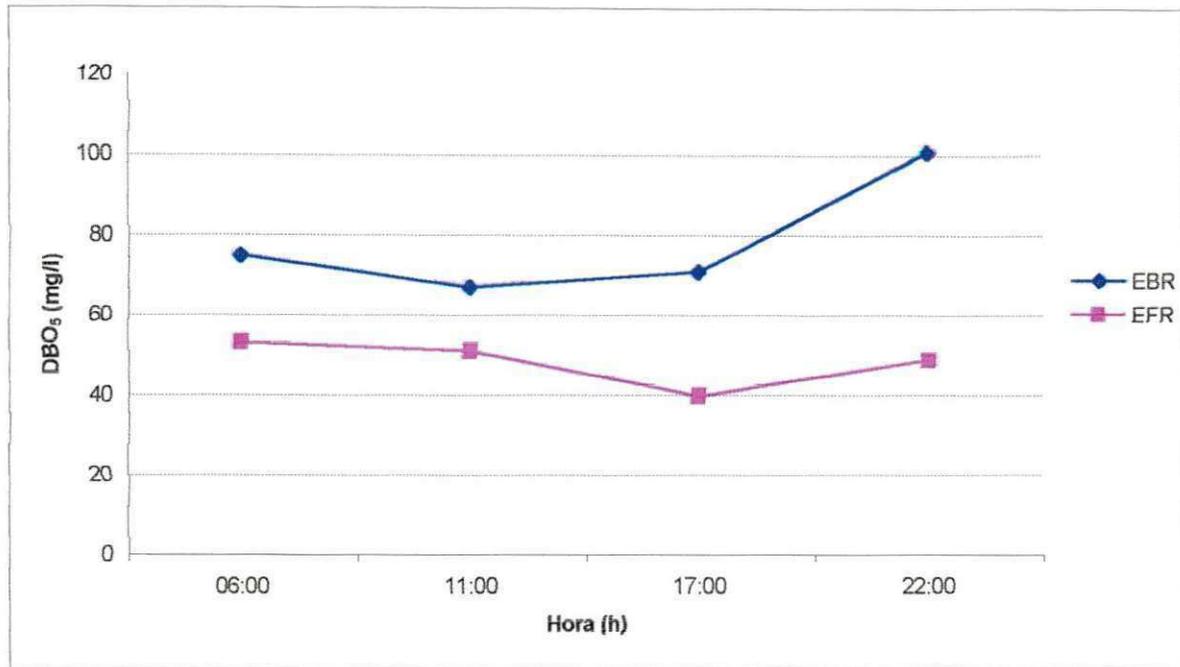


Figura 4.10 – Variação no ciclo diário da DBO₅ filtrada do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 30 e 31 de agosto de 2005.

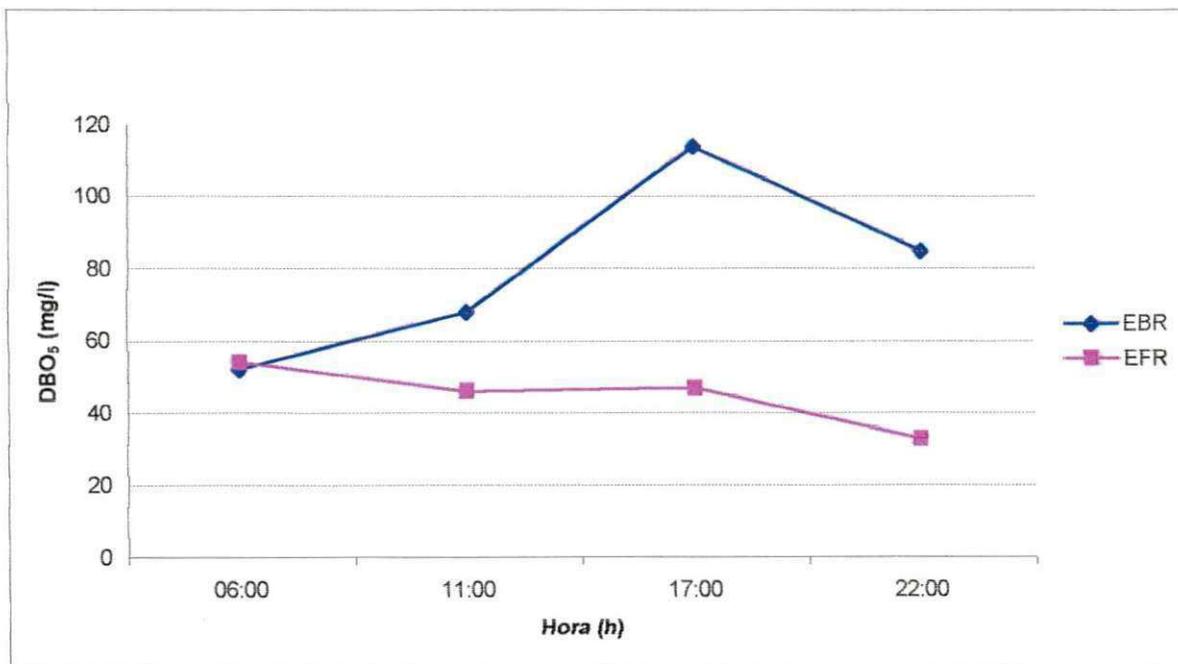


Figura 4.11 – Variação no ciclo diário da DBO₅ filtrada do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 25 e 26 de outubro de 2005.

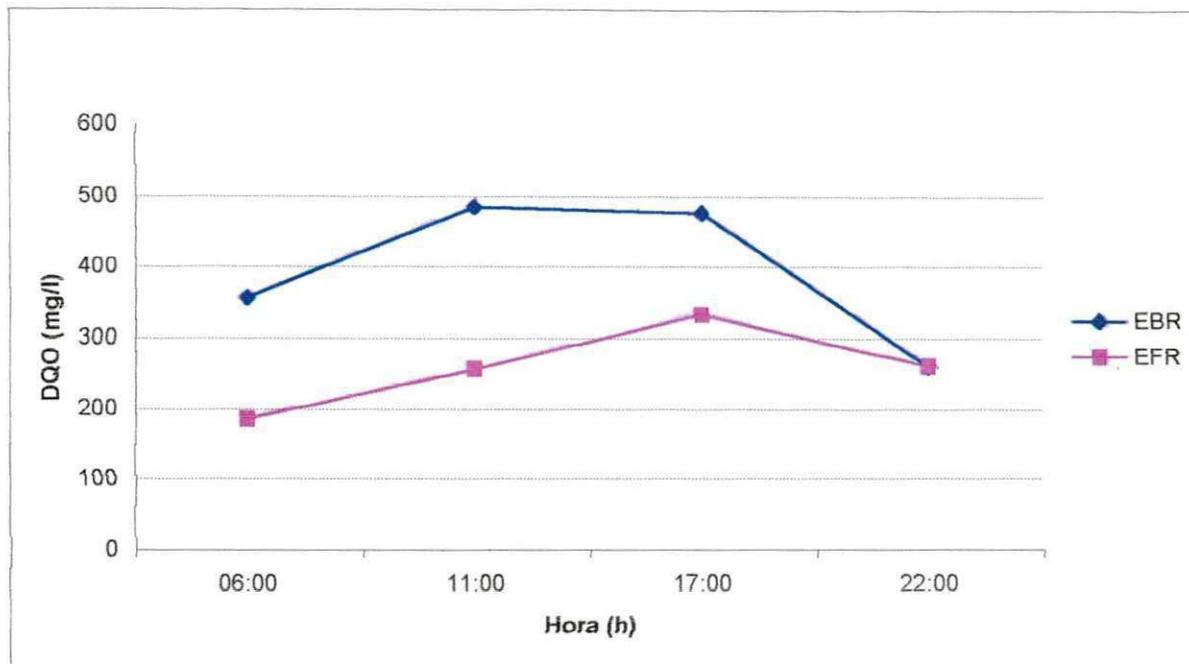


Figura 4.12 – Variação no ciclo diário da DQO filtrada do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 30 e 31 de agosto de 2005.

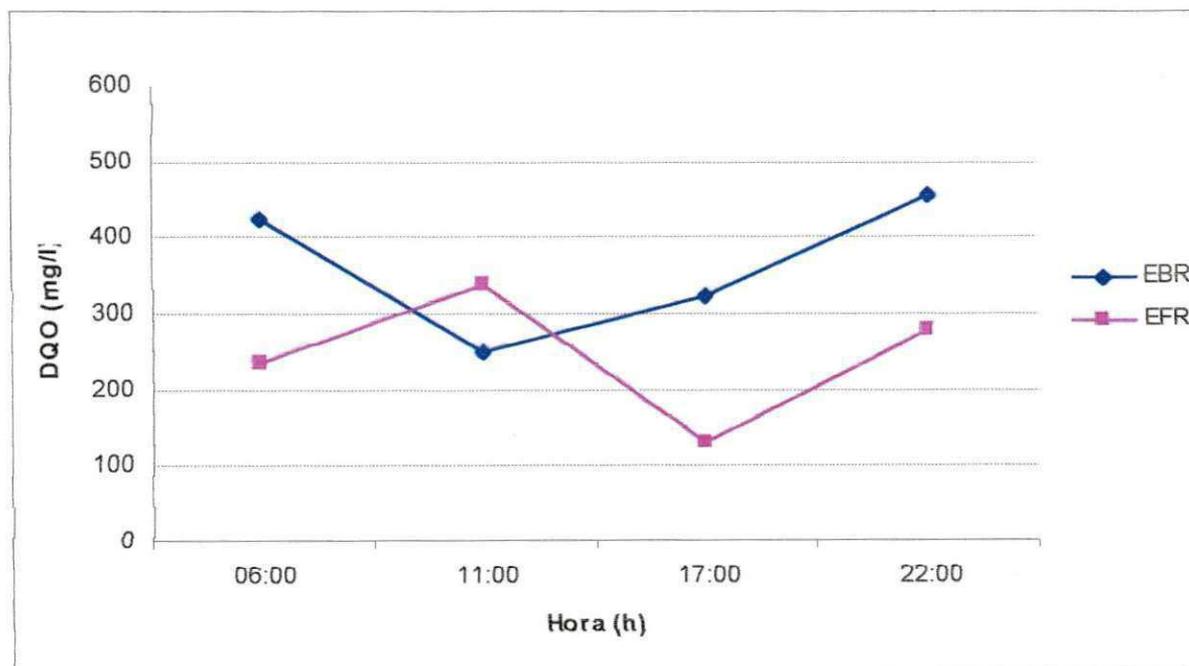


Figura 4.13 – Variação no ciclo diário da DQO filtrada do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 25 e 26 de outubro de 2005.

4.2.3 – Sólidos

4.2.3.1 – Sólidos Totais

Conforme apresentado na Tabela 4.3, a maior fração dos sólidos totais foi constituída de sólidos fixos, ou seja, sólidos de origem predominantemente inorgânica, tanto para amostras de esgoto bruto, como do efluente da lagoa anaeróbia. Em relação a essa fração o valor médio do esgoto foi de 337 mg/l e do efluente foi de 346 mg/l, o que evidencia que não houve nenhuma remoção, pelo contrário as concentrações tenderam a aumentar. Em relação à fração dos sólidos voláteis o valor médio do esgoto bruto foi de 309 mg/l enquanto que para o efluente o valor médio foi 273 mg/l, resultando numa remoção de 11,72%. Em relação aos sólidos totais a remoção entre o esgoto bruto e o efluente foi de 4,34%.

As Figuras 4.14, 4.15 e 4.16 ilustram as variações para os sólidos totais e suas frações fixa e volátil, respectivamente.

A Tabela 4.8 resume o resultado da análise de variância ANOVA (fator único) levada a efeito para os sólidos totais, tendo sido verificado que não houve diferença significativa ($F < F_{cr}$) entre as médias dos dados amostrais de esgoto bruto e efluente da lagoa anaeróbia do Roger. Resultados similares foram obtidos da aplicação de ANOVA para os conjuntos dos dados das frações fixa e volátil como pode ser observado nas Tabelas 4.9 e 4.10, respectivamente.

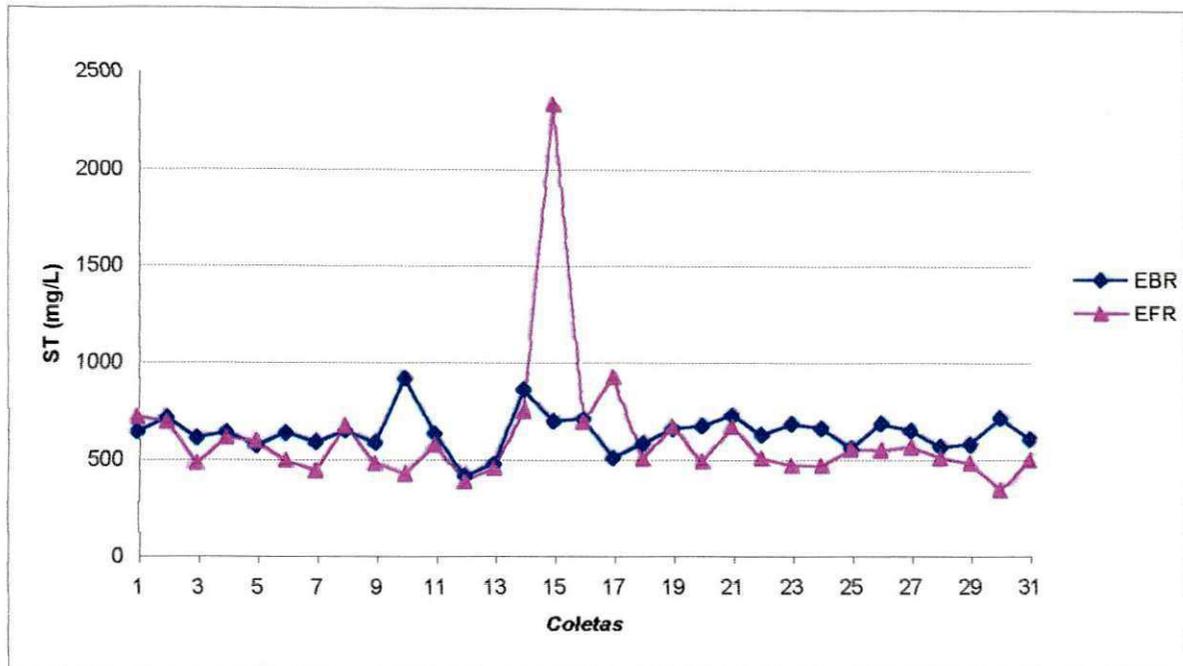


Figura 4.14 – Variação dos sólidos totais na monitoração do esgoto bruto e efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 17/03 e 01/11/2005.

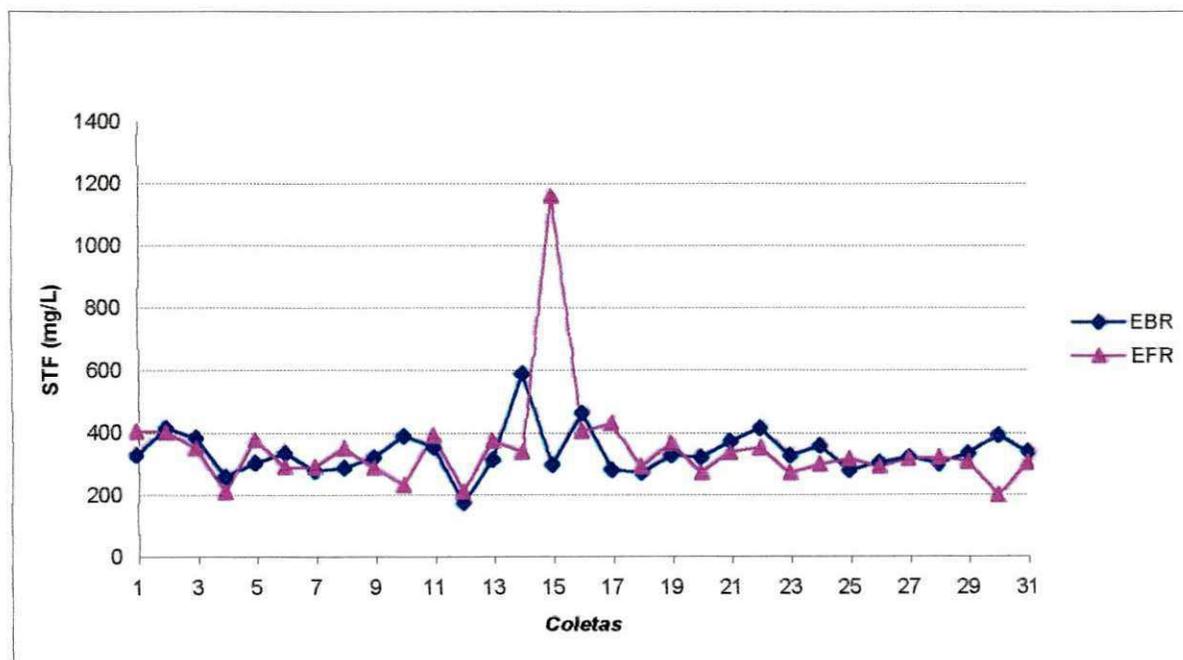


Figura 4.15 – Variação dos sólidos totais fixos na monitoração do esgoto bruto e efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 17/03 e 01/11/2005.

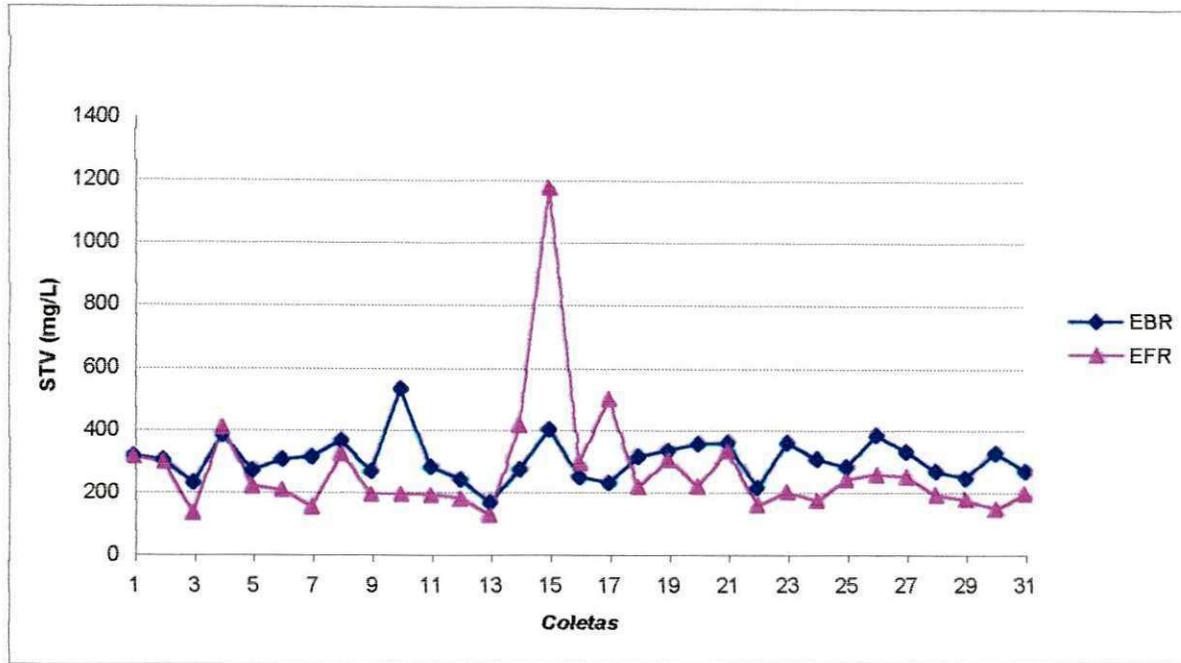


Figura 4.16 – Variação dos sólidos totais voláteis na monitoração do esgoto bruto e efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 17/03 e 01/11/2005.

Tabela 4.8 – Análise de variância ANOVA (fator único) para os dados de sólidos totais no afluente e no efluente da Lagoa do Róger.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	12124,02	1	12124,02	0,191442	0,66329	4,001194
Dentro dos grupos	3799802	60	63330,04			
Total	3811926	61				

Tabela 4.9 – Análise de variância ANOVA (fator único) para os dados de sólidos totais fixos no afluente e no efluente da Lagoa do Róger.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1471,032	1	1471,032	0,093272	0,761115	4,001194
Dentro dos grupos	946284,2	60	15771,4			
Total	947755,2	61				

Tabela 4.10 – Análise de variância ANOVA (fator único) para os dados de sólidos totais voláteis no afluente e no efluente da Lagoa do Róger.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	20413,31	1	20413,31	0,998808	0,321613	4,001194
Dentro dos grupos	1226260	60	20437,67			
Total	1246673	61				

No 1º perfil a concentração de Sólidos totais no esgoto bruto apresentou valor máximo (669 mg/l) às 11h, e mínimo de 539 mg/l às 6h. No 2º perfil as concentrações apresentaram valor máximo de 735 mg/l às 17h e mínimo (497 mg/l) às 6h.

No efluente da lagoa a máxima concentração no 1º perfil foi (561 mg/l) às 22h, e a concentração mínima de 474 mg/l às 11h. No 2º experimento as concentrações máxima e mínima foram de 571 e 348 mg/l, às 17 e 11h respectivamente.

A fração de sólidos totais voláteis do esgoto bruto apresentou concentração máxima (352 mg/l) às 17h, e mínima de 218 mg/l às 6h, no 1º perfil. No 2º perfil a concentração máxima e mínima foram maiores, 436 e 255 mg/l respectivamente, obtidas nos mesmos horários do 1º experimento.

No 1º perfil a concentração máxima no efluente foi 216 mg/l às 6h e mínima de 175 mg/l às 11h. O 2º perfil apresentou concentração máxima (251 mg/l) às 17h e mínima (148 mg/l) às 11h.

As Figuras 4.17 e 4.18 ilustram as variações dos sólidos totais observadas no primeiro e segundo perfil, respectivamente.

As Figuras 4.19 e 4.20 ilustram as variações dos sólidos totais fixos observadas no primeiro e segundo perfil, respectivamente, enquanto as Figuras 4.21 e 4.22 ilustram, respectivamente, as variações dos sólidos totais voláteis.

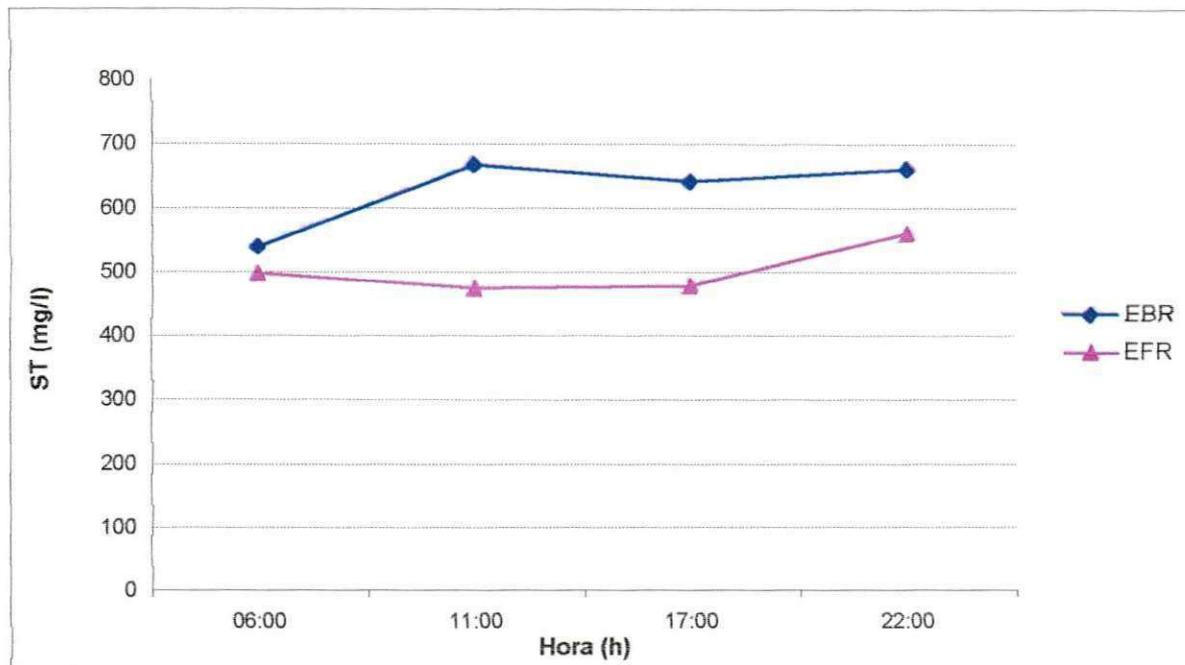


Figura 4.17 – Variação no ciclo diário de sólidos totais do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 30 e 31 de agosto de 2005.

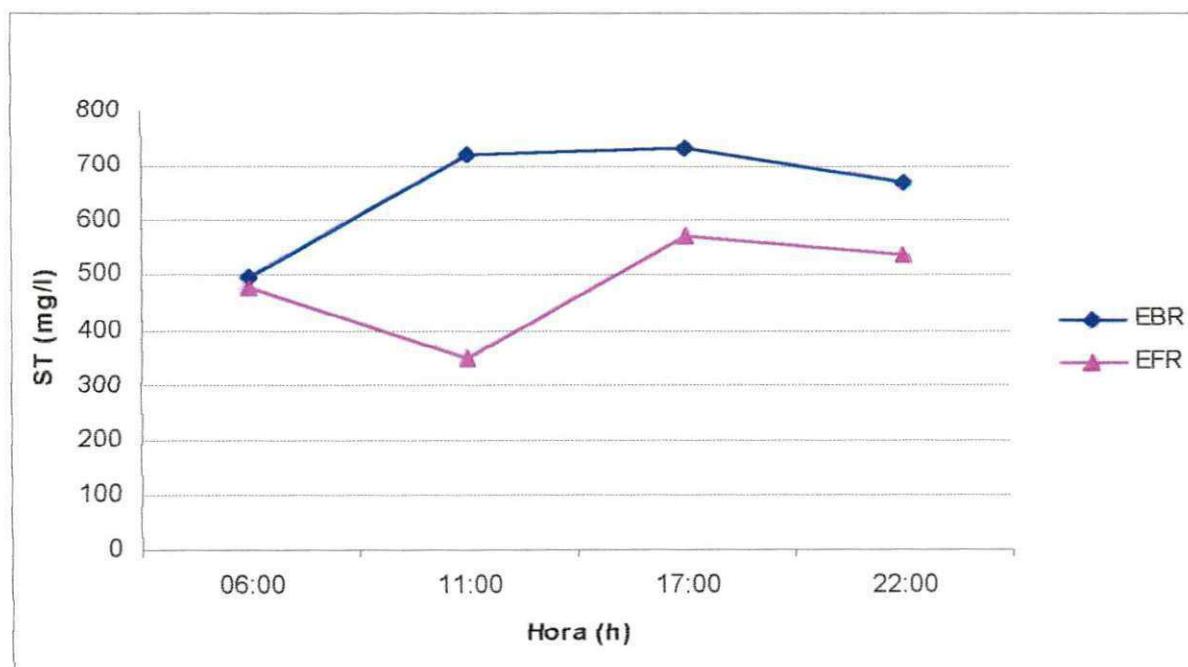


Figura 4.18 – Variação no ciclo diário de sólidos totais do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 25 e 26 de outubro de 2005.

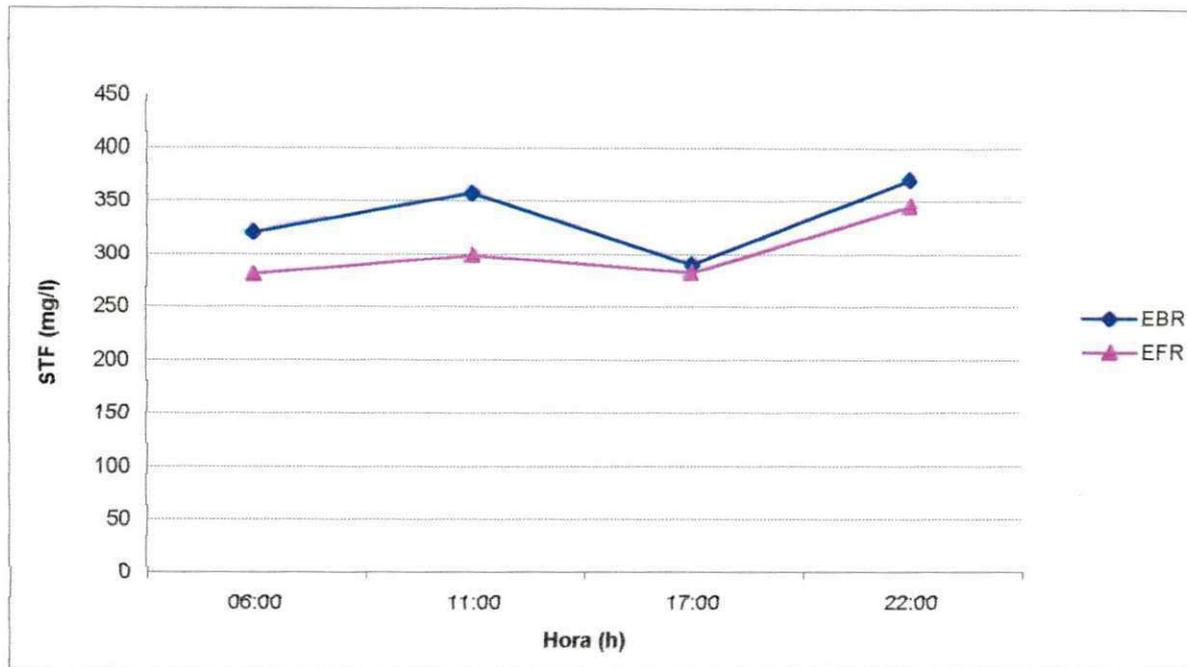


Figura 4.19 – Variação no ciclo diário de sólidos totais fixos do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 30 e 31 de agosto de 2005.

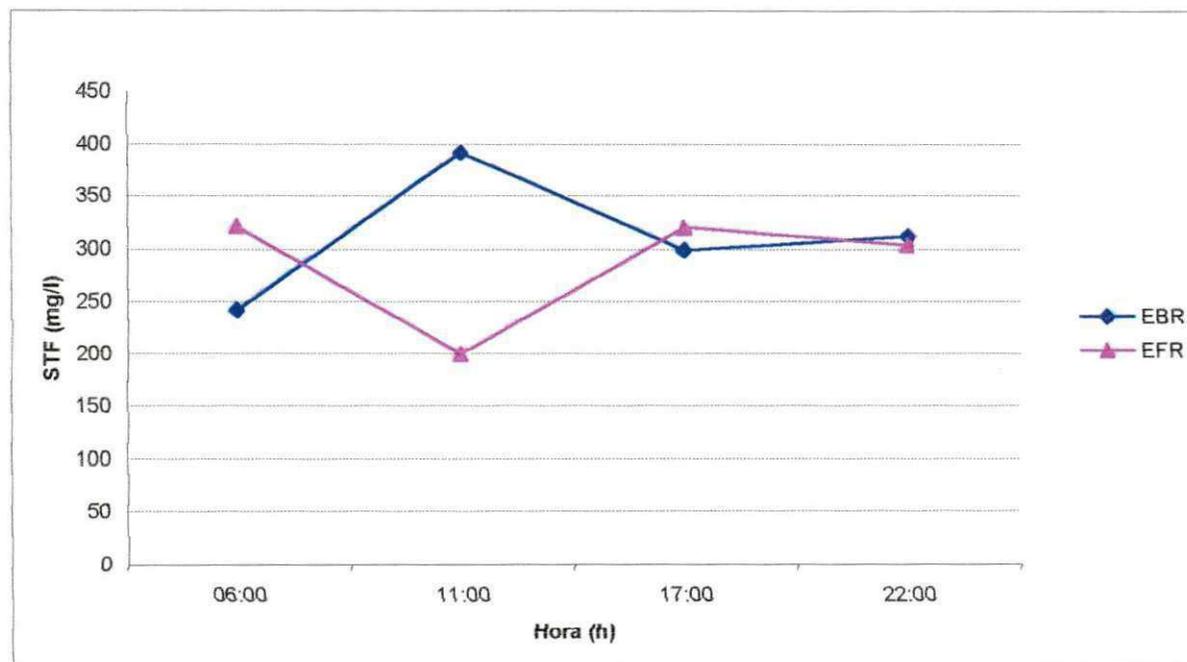


Figura 4.20 – Variação no ciclo diário de sólidos totais fixos do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 25 e 26 de outubro de 2005.

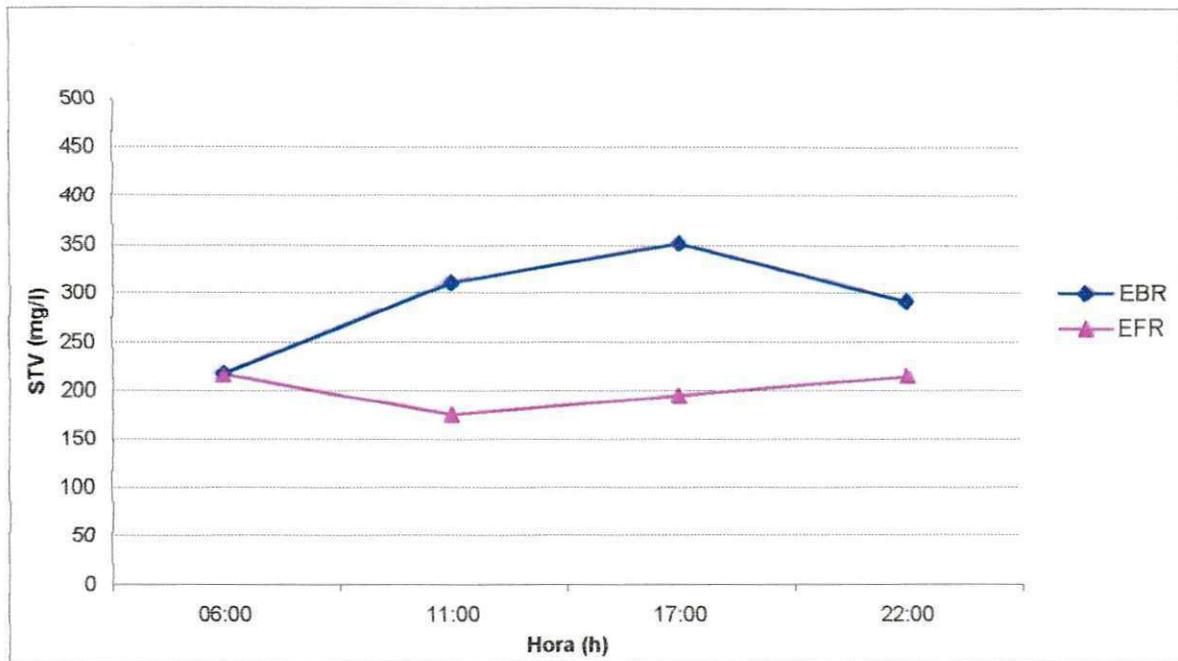


Figura 4.21 – Variação no ciclo diário de sólidos totais voláteis do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 30 e 31 de agosto de 2005.

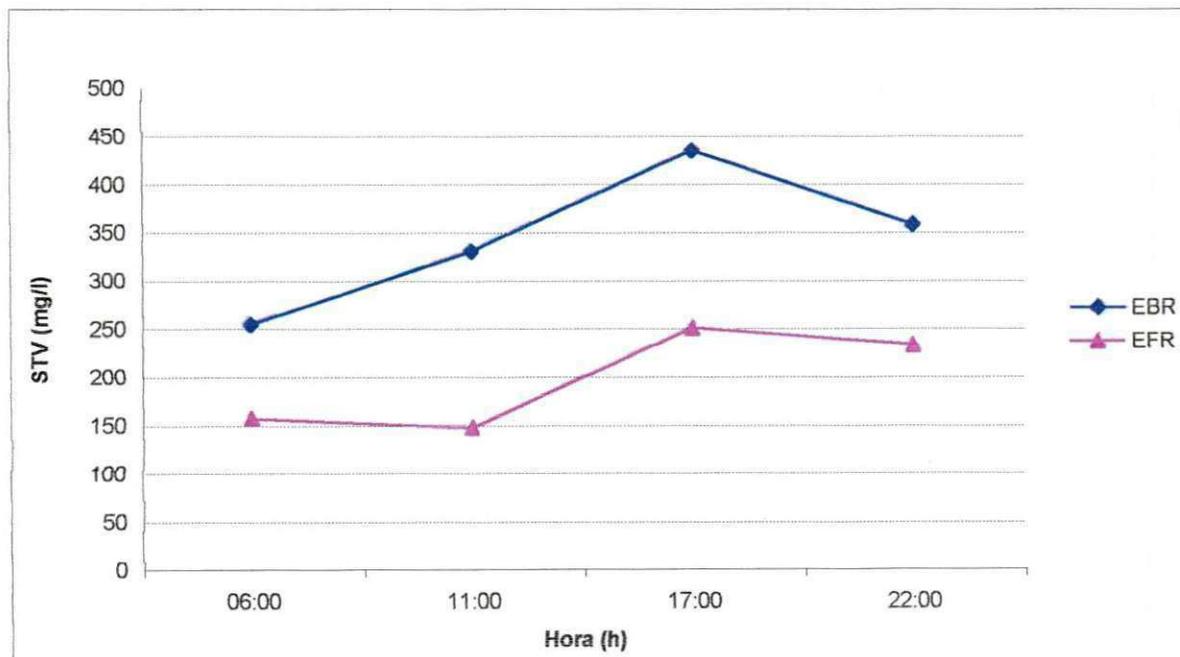


Figura 4.22 – Variação no ciclo diário de sólidos totais voláteis do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 25 e 26 de outubro de 2005.

4.2.3 2 – Sólidos Suspensos

Em relação aos sólidos suspensos a maior fração foi constituída por sólidos voláteis, ou seja, sólidos de origem predominantemente orgânica. Os sólidos suspensos totais apresentaram o mesmo comportamento em relação à variação temporal dos sólidos suspensos voláteis, como pode ser observado nas Figuras 4.23 e 4.25. Os sólidos suspensos totais do esgoto bruto e do efluente apresentaram valores médios de 236 e 147 mg/l, respectivamente. Entre o afluente e o efluente houve remoção de 37,76% para os sólidos suspensos totais, 23,77% para a fração fixa e 42,88% para os sólidos suspensos voláteis. As figuras 4.23, 4.24 e 4.25 ilustram as variações dos SST, SSF e SSV, respectivamente, durante o período de monitoração.

Também foi realizada análise de variância ANOVA (fator único) para os sólidos suspensos, e foi verificado que não houve diferença significativa ($F < F_{cr}$) entre as médias dos conjuntos de dados de SSF, como pode ser comprovado pela Tabela 4.11. A análise de variância ANOVA (fator único) mostrou que para SST e SSV houve remoção significativa (Tabelas 4.12 e 4.13)

Tabela 4.11 – Análise de variância ANOVA (fator único) para os dados de sólidos suspensos fixos no afluente e no efluente da Lagoa do Róger.

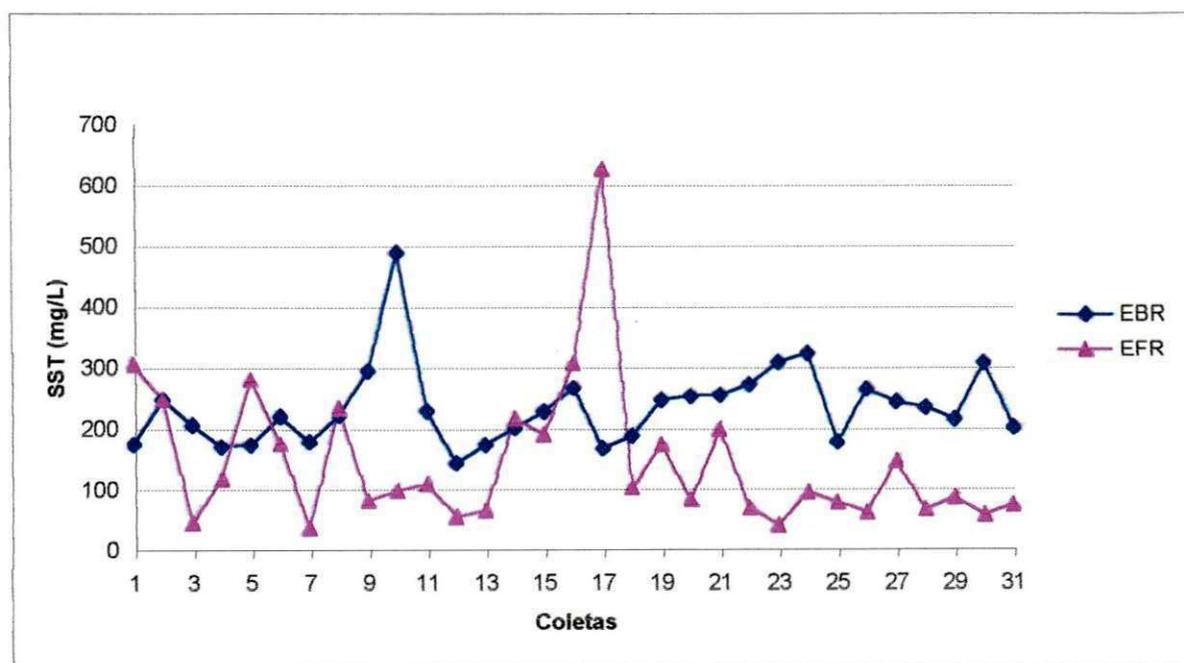
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	3540,198	1	3540,198	1,351642	0,249595	4,001194
Dentro dos grupos	157151	60	2619,183			
Total	160691,1	61				

Tabela 4.12 – Análise de variância ANOVA (fator único) para os dados de sólidos suspensos totais no afluente e no efluente da Lagoa do Róger.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	123399,3	1	123399,3	13,06999	0,000616	4,001194
Dentro dos grupos	566485,4	60	9441,423			
Total	689884,7	61				

Tabela 4.13 – Análise de variância ANOVA (fator único) para os dados de sólidos suspensos voláteis no afluente e no efluente da Lagoa do Róger.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	85137,2	1	85137,2	12,88217	0,000669	4,001194
Dentro dos grupos	396535,2	60	6608,919			
Total	481672,4	61				

**Figura 4.23** – Variação dos sólidos suspensos totais na monitoração do esgoto bruto e efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 17/03 e 01/11/2005.

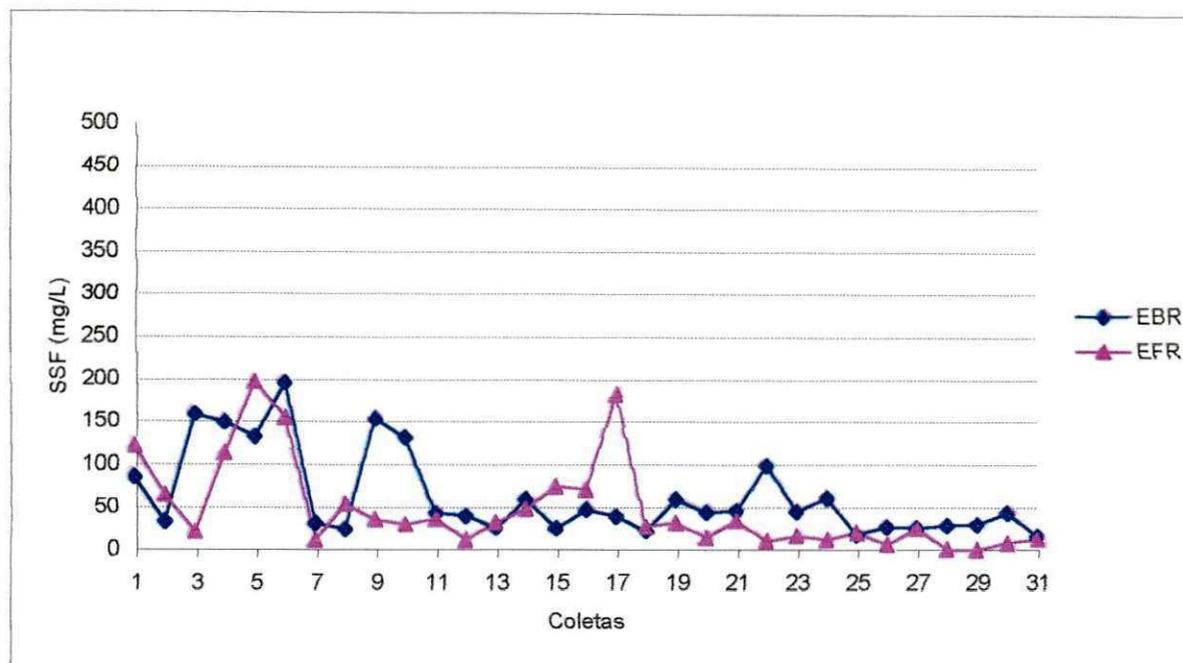


Figura 4.24 – Variação dos sólidos suspensos fixos na monitoração do esgoto bruto e efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 17/03 e 01/11/2005.

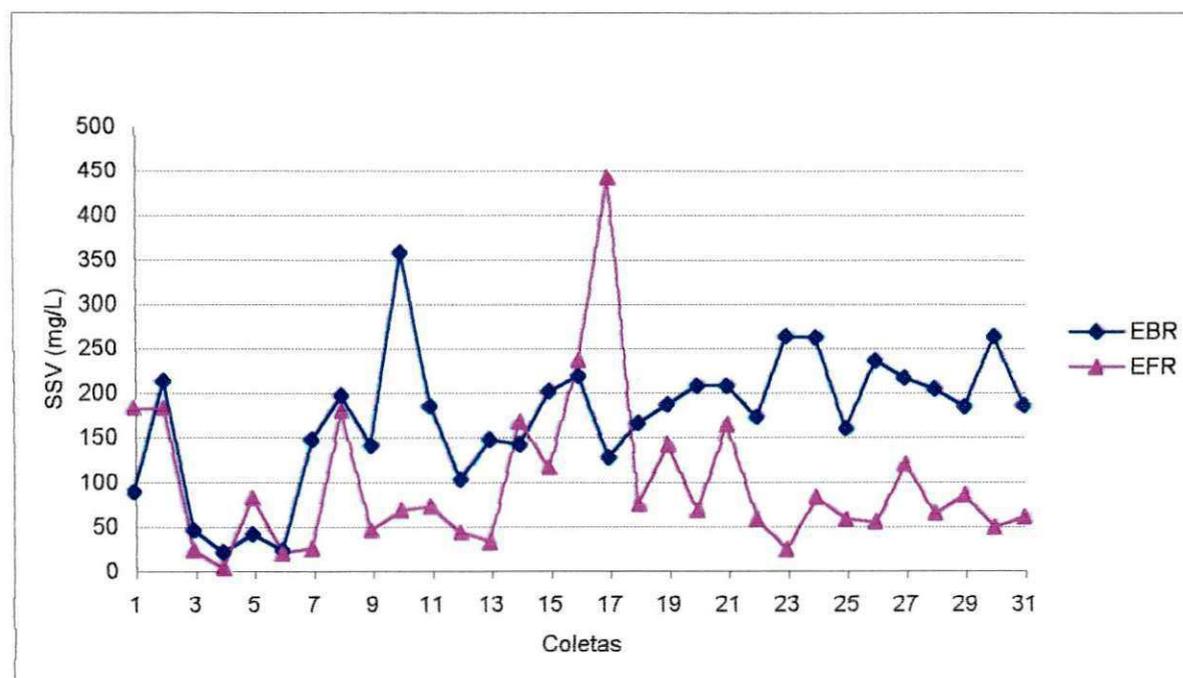


Figura 4.25 – Variação dos sólidos suspensos voláteis obtida na monitoração do esgoto bruto e efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 17/03 e 01/11/2005.

As Figuras 4.26 e 4.27 ilustram as variações dos sólidos suspensos totais observadas no primeiro e segundo perfil, respectivamente.

No 1º perfil o esgoto bruto a concentrações de sólidos suspensos totais apresentou valor máximo (326 mg/l) às 11h, e mínimo (149 mg/l) às 6h. No 2º perfil as concentrações máxima e mínima também foram registradas nos mesmos horários, com máximo de 310 mg/l e mínimo de 160 mg/l.

O efluente apresentou concentração máxima (142 mg/l) às 22h e mínima (75 mg/l) às 17h no 1º perfil. No 2º perfil as concentrações foram menores, sendo a concentração máxima (110 mg/l) às 17h e mínima (59 mg/l) às 11h.

No 1º perfil a concentração de sólidos suspensos voláteis no esgoto bruto apresentou valor máximo (264 mg/l) às 11h e mínimo (136 mg/l) às 6h, No 2º perfil as concentrações foram menores, sendo registradas no mesmo horário, com máximo de 265 mg/l e mínimo de 139 mg/l.

O efluente apresentou concentração máxima (123 mg/l) às 22h e mínima (65 mg/l) às 17h, no 1º perfil. No 2º perfil as concentrações foram menores, com máximo de 86 mg/l às 6h e mínimo (50 mg/l) às 11h.

As Figuras 4.28 e 4.29 ilustram as variações dos sólidos suspensos fixos observadas no primeiro e segundo perfil, respectivamente, enquanto as Figuras 4.30 e 4.31 ilustram, respectivamente, as variações dos sólidos suspensos voláteis.

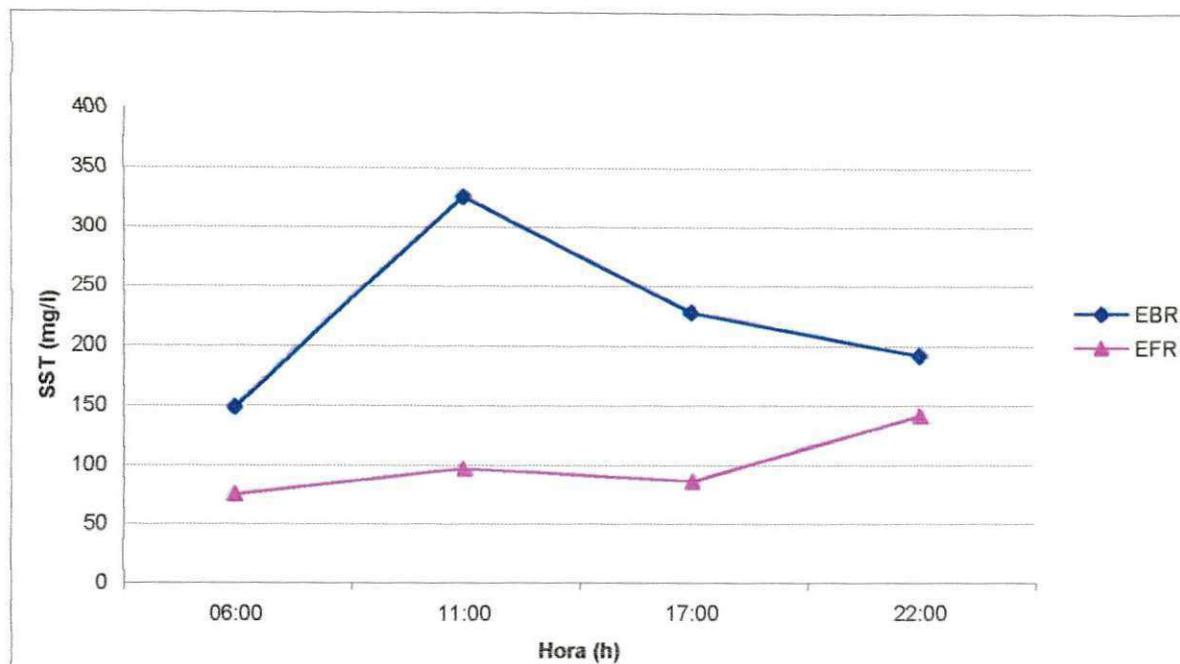


Figura 4.26 – Variação no ciclo diário dos sólidos suspensos totais do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 30 e 31 de agosto de 2005.

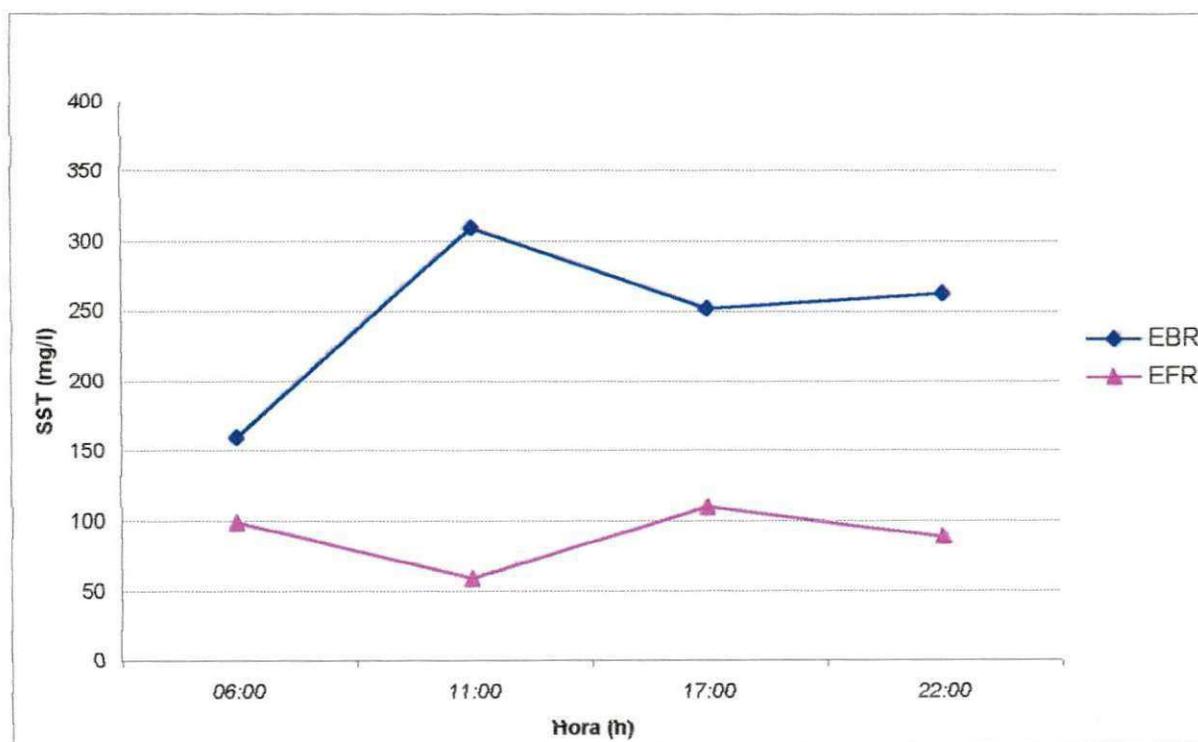


Figura 4.27 – Variação no ciclo diário dos sólidos suspensos totais do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 25 e 26 de outubro de 2005.

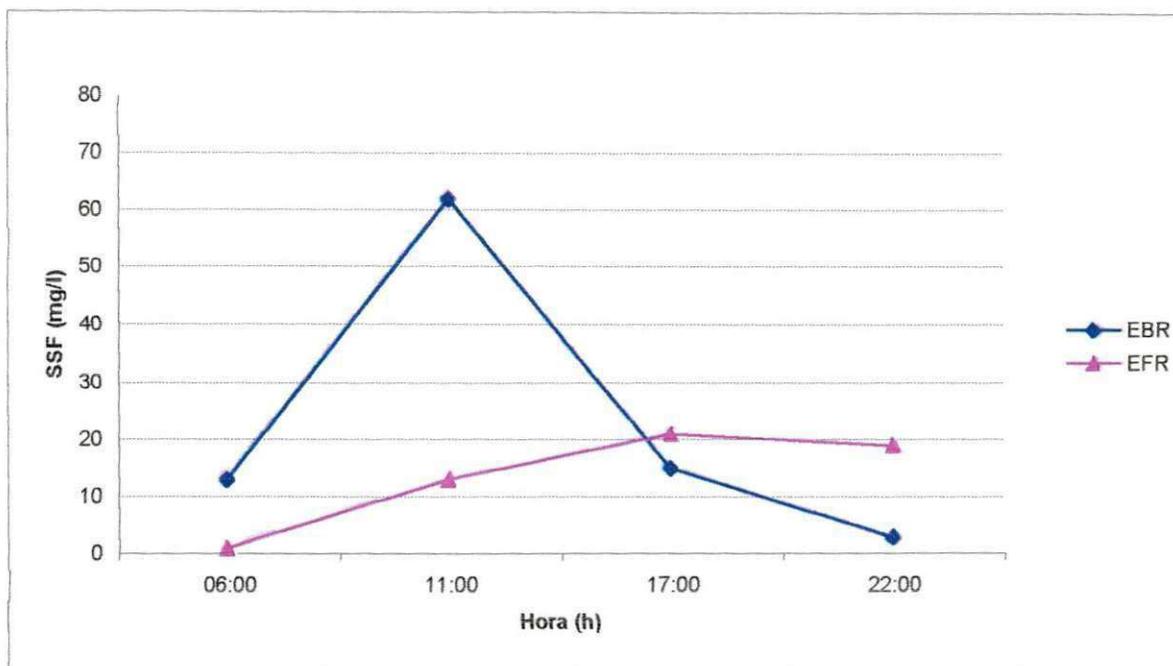


Figura 4.28 – Variação no ciclo diário dos sólidos suspensos fixos do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 30 e 31 de agosto de 2005.

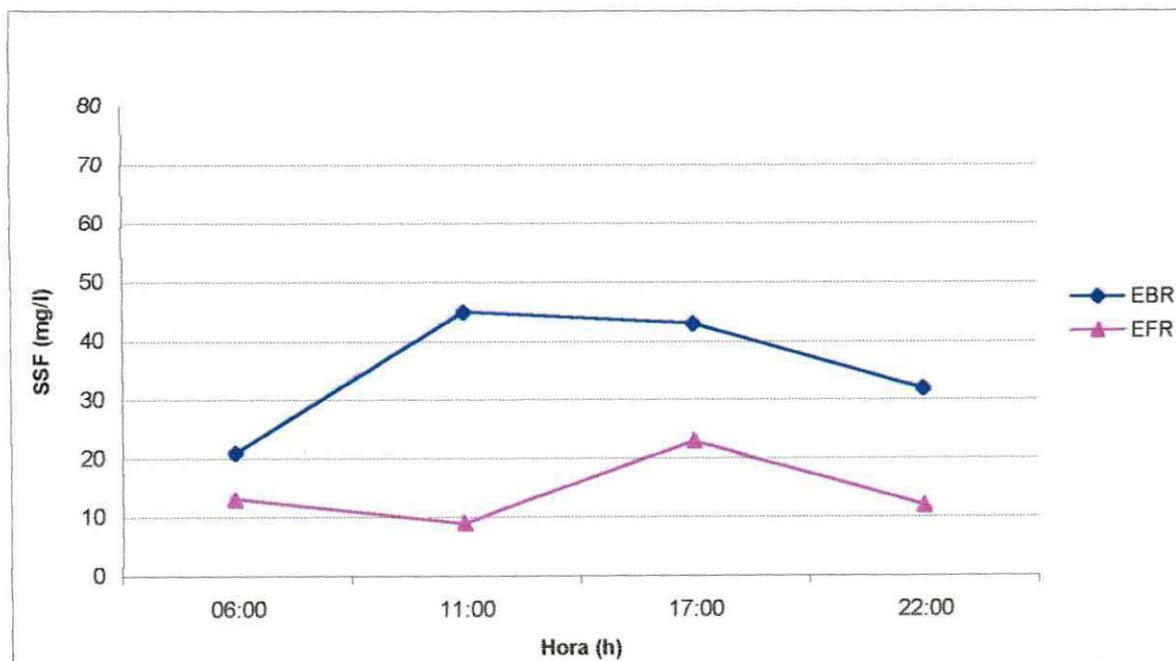


Figura 4.29 – Variação no ciclo diário dos sólidos suspensos fixos do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 25 e 26 de outubro de 2005.

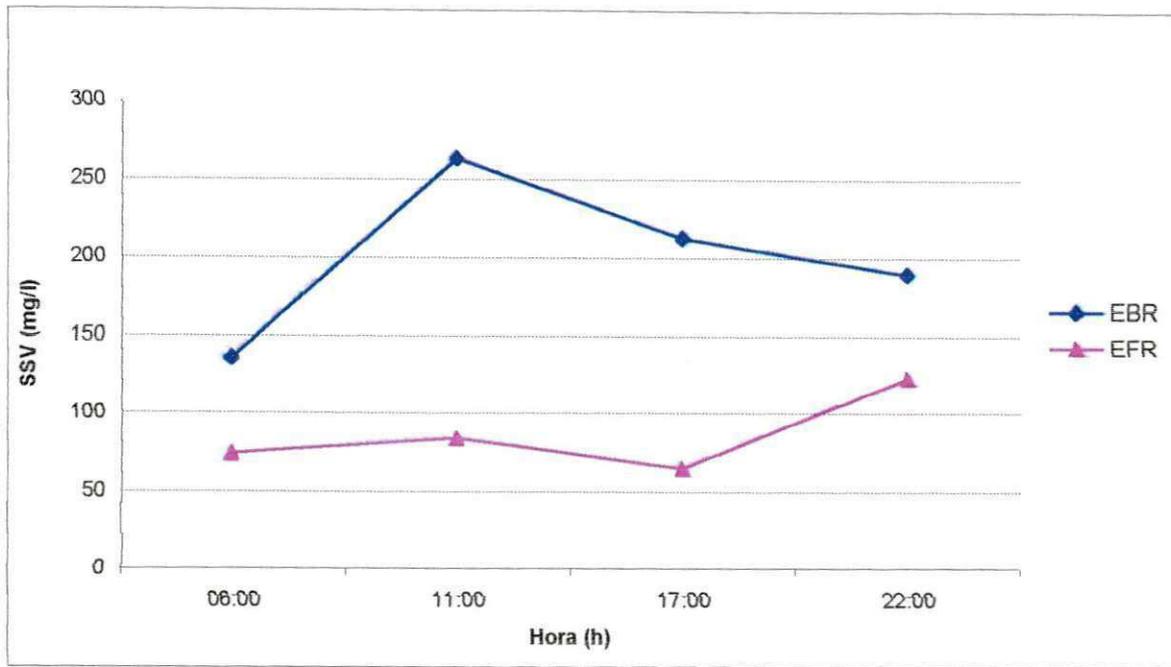


Figura 4.30 – Variação no ciclo diário dos sólidos suspensos voláteis do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 30 e 31 de agosto de 2005.

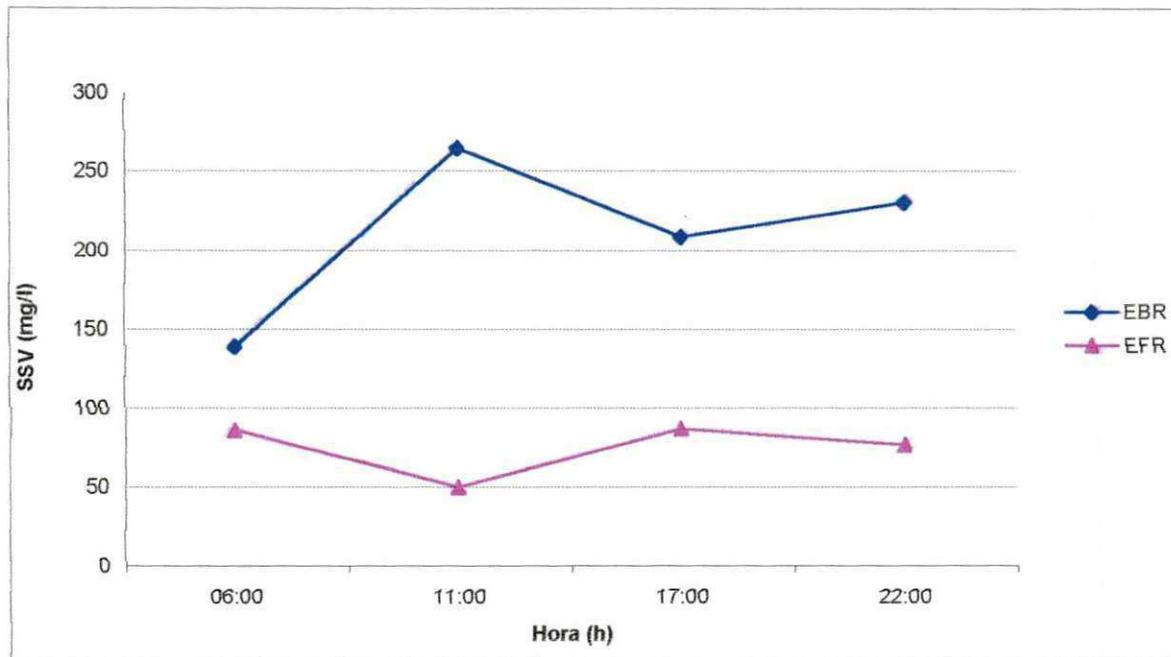


Figura 4.31 – Variação no ciclo diário dos sólidos suspensos voláteis do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 25 e 26 de outubro de 2005.

4.2.3 3 – Sólidos Sedimentáveis

As concentrações médias de sólidos sedimentáveis do esgoto bruto e do efluente da lagoa anaeróbia foram 5,4 e 4,2 ml/l, respectivamente, sendo a remoção de 21,44%. A Figura 4.32 ilustra a variação dos sólidos sedimentáveis, podendo ser observadas grandes variações entre as concentrações do efluente, chegando a alcançar valor máximo de 55 ml/l e mínimo de 0,4 ml/l.

A análise de variância ANOVA (fator único) para os sólidos sedimentáveis, mostrou que não houve diferença significativa ($F < F_{cr}$) entre as médias dos conjuntos de dados amostrais obtidos durante o período de estudo, conforme demonstrado na Tabela 4.14.

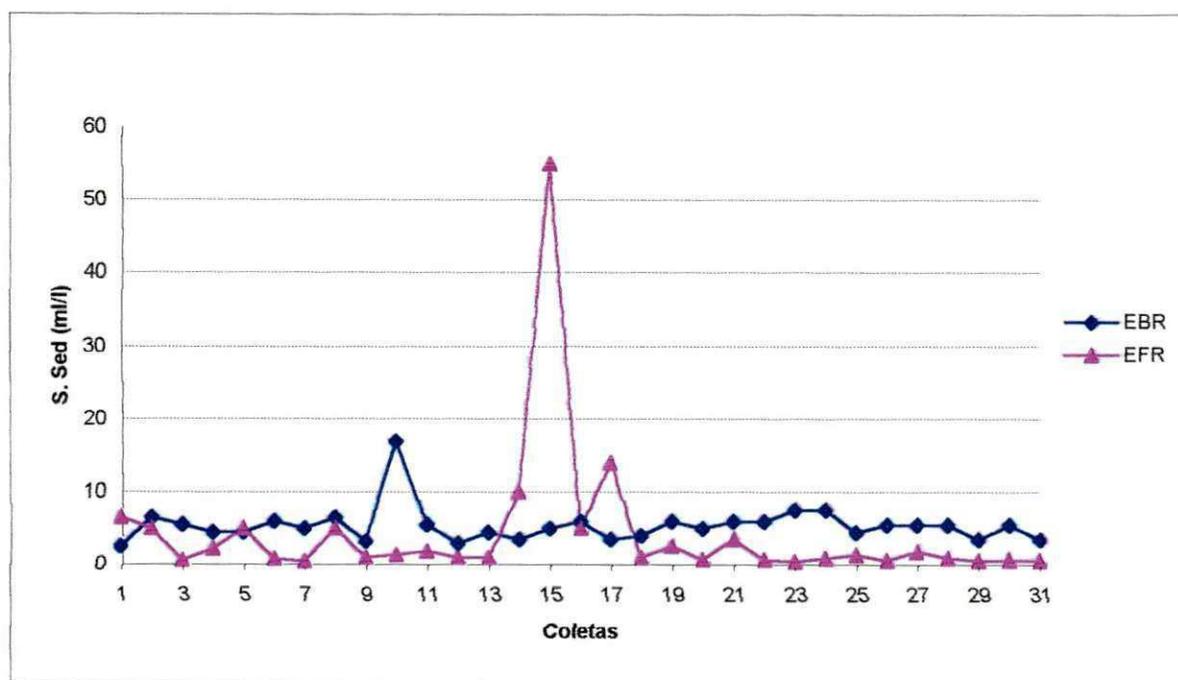


Figura 4.32 – Variação dos sólidos sedimentáveis na monitoração do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa – PB, entre 17/03 e 01/11/2005.

Tabela 4.14 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para os dados de sólidos sedimentáveis do afluente e do efluente da Lagoa do Róger.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	20,67161	1	20,67161	0,396045	0,531528	4,001194
Dentro dos grupos	3131,704	60	52,19506			
Total	3152,375	61				

A análise do ciclo diário para os sólidos sedimentáveis demonstrou comportamentos semelhantes nos dois perfis (Figuras 4.33 e 4.34). No 1º perfil a concentração apresentou valor máximo (7,5 ml/l) às 11h e mínimo (3,5 ml/l) às 6h. No 2º perfil as concentrações máxima e mínima foram 5,5 e 2,0 ml/l, também registradas nos horários de 11 e 6h, respectivamente.

No efluente as concentrações foram menores. No 1º perfil máximo de 2,0 ml/l às 22h e mínimo de 0,9 ml/l às 6 e 11h. No 2º perfil o máximo foi 1,3 ml/l às 6h e mínimo (0,6 ml/l) às 22h.

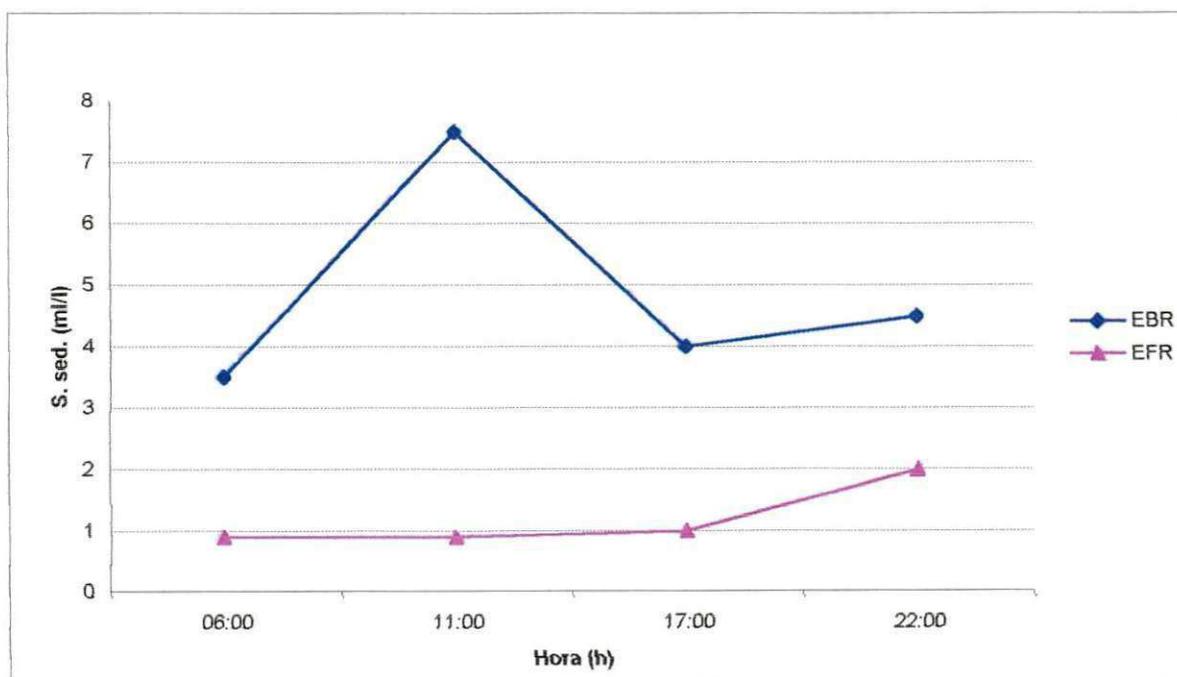


Figura 4.33 – Variação no ciclo diário dos sólidos sedimentáveis do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 30 e 31 de agosto de 2005.

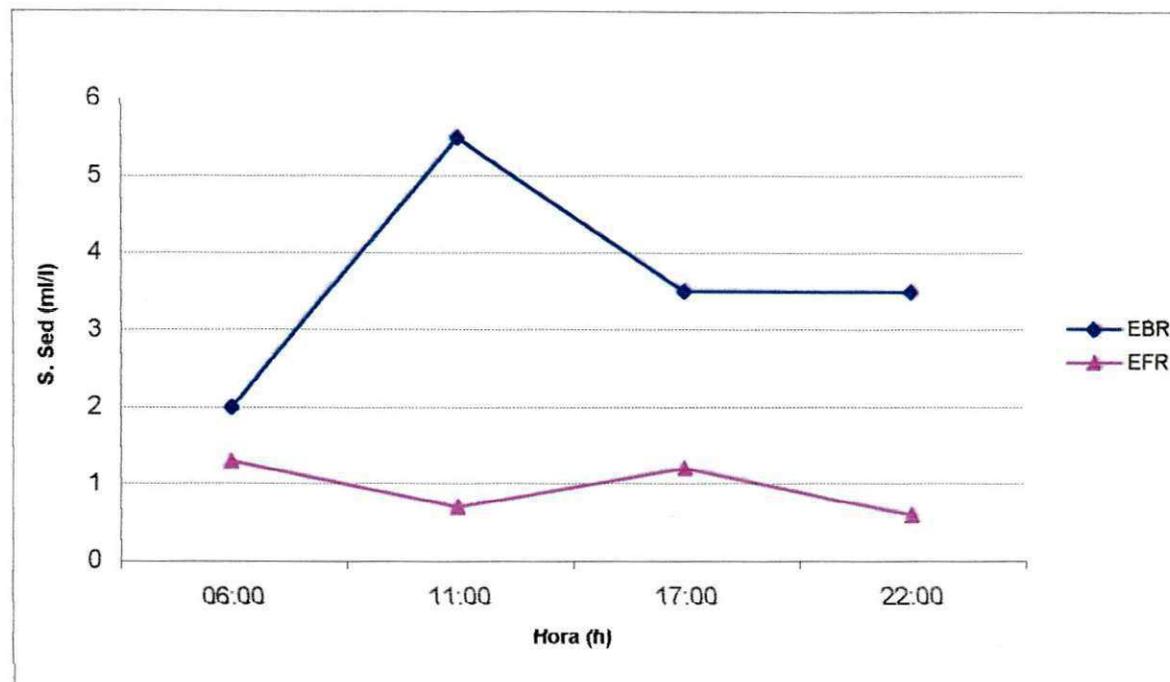


Figura 4.34 – Variação no ciclo diário dos sólidos sedimentáveis do esgoto bruto e do efluente da Lagoa do Róger, João Pessoa (PB), entre 25 e 26 de outubro de 2005.

4.3 - Análise de correlação das variáveis analisadas

Foram realizadas as análises de correlação das variáveis pH, temperatura, DQO e DBO₅ das amostras filtradas, sólidos totais e sólidos suspensos totais e suas frações fixas e voláteis e sólidos sedimentáveis, medidas no esgoto bruto e no efluente da lagoa anaeróbia. Essa análise foi realizada para verificar a existência de correlações estatisticamente significantes entre as variáveis medidas. Todos os coeficientes de correlação, significativos ao nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), estão assinalados com um asterisco (*).

Nas Tabelas 4.15 e 4.16 pode ser observado que as correlações significativas foram todas positivas para as variáveis analisadas no esgoto bruto e no efluente, tendo sido verificado que o esgoto bruto apresentou mais relações significativas que o efluente.

No esgoto bruto a concentração de sólidos totais apresentou correlação significativa com todos os tipos de sólidos e suas frações com exceção dos sólidos suspensos fixos. No caso do pH, este só apresentou correlação significativa com os sólidos suspensos voláteis, a temperatura apresentou correlação significativa com a variável DBO₅ do filtrado.

No efluente, a DBO₅ do filtrado apresentou correlação significativa com a variável sólidos suspensos fixos. As variáveis pH, temperatura e DQO do filtrado não apresentaram correlação significativa com nenhuma outra variável.

Tabela 4.15 – Matriz correlação das variáveis analisadas no esgoto bruto.

	pH	Temperatura	DQO Filt	DBO ₅ Filt	ST	STF	STV	SST	SSF	SSV	S. Sed.
pH	1										
Temperatura	0,053	1									
DQO Filt	-0,279	-0,260	1								
DBO ₅ Filt	0,174	0,562*	-0,234	1							
ST	0,254	-0,319	-0,105	0,152	1						
STF	0,097	-0,365	0,129	-0,125	0,717*	1					
STV	0,264	-0,082	-0,283	0,346	0,696*	-0,002	1				
SST	0,321	-0,354	-0,303	0,012	0,713*	0,328	0,685*	1			
SSF	-0,082	0,248	-0,407	0,442*	0,161	0,131	0,096	0,214	1		
SSV	0,341*	-0,485	0,016	-0,297	0,518*	0,199	0,538*	0,735*	-0,505	1	
S. Sed.	0,203	-0,161	-0,209	0,191	0,640*	0,201	0,711*	0,866*	0,230	0,605*	1

Tabela 4.16 – Matriz correlação das variáveis analisadas no efluente.

	pH	Temperatura	DQO Filt	DBO ₅ Filt	ST	STF	STV	SST	SSF	SSV	S. Sed.
pH	1										
Temp.	-0,196	1									
DQO Filt	-0,021	-0,224	1								
DBO ₅ Filt	-0,111	0,330	0,027	1							
ST	-0,009	-0,085	0,101	0,158	1						
STF	0,026	-0,070	0,138	0,109	0,964	1					
STV	-0,043	-0,105	0,075	0,181	0,977*	0,887*	1				
SST	-0,039	-0,028	-0,228	0,165	0,348*	0,264	0,396*	1			
SSF	-0,229	0,173	-0,373	0,356*	0,251	0,190	0,288	0,741*	1		
SSV	0,081	-0,140	-0,090	0,015	0,323	0,247	0,367*	0,919*	0,417*	1	
S. Sed.	-0,061	-0,135	0,116	0,095	0,989*	0,959*	0,964*	0,336	0,259	0,302	1

4.4 – Desarenador

4.4.1 – Velocidade da água residuária no desarenador

A coleta de dados de velocidade da água residuária no desarenador foi realizada no período de 02/08/05 a 25/10/05, totalizando 10 conjuntos de dados. A Tabela 4.17 apresenta uma estimativa da velocidade da água residuária com o funcionamento de apenas uma das câmaras.

Tabela 4.17 – Velocidade da água residuária nas câmaras do desarenador

Data	Seção	Velocidade (m/s)	
		Câmara 1	Câmara 2
02/08/2005	1	0,302	-
	2	0,281	-
	3	0,271	-
	Média	0,285	-
18/08/2005	1	0,258	-
	2	0,248	-
	3	0,251	-
	Média	0,252	-
23/08/2005	1	0,180	-
	2	0,181	-
	3	0,184	-
	Média	0,182	-
30/08/2005	1	0,214	-
	2	0,231	-
	3	0,220	-
	Média	0,222	-
06/09/2005	1	0,173	-
	2	0,172	-
	3	0,165	-
	Média	0,170	-
13/09/2005	1	0,230	-
	2	0,232	-
	3	0,230	-
	Média	0,231	-
20/09/2005	1	0,227	-
	2	0,235	-
	3	0,227	-
	Média	0,230	-

A Tabela 4.18 mostra uma estimativa da velocidade com o funcionamento das duas câmaras do desarenador, mostrando uma velocidade menor em relação ao funcionamento de apenas uma câmara do desarenador.

Numa primeira fase da monitoração o desarenador contava apenas com uma das câmaras em funcionamento. No dia 22/09/05 foi realizada a primeira limpeza do desarenador, desde o período de coleta de dados, a partir do dia 27/09, os dados coletados foram referentes às duas câmaras.

Tabela 4.18 – Velocidade da água residuária nas câmaras do desarenador

Data	Seção	Velocidade (m/s)	
		Câmara 1	Câmara 2
27/09/2005	1	0,097	0,097
	2	0,099	0,097
	3	0,101	0,097
	Média	0,099	0,097
04/10/2005	1	0,125	0,125
	2	0,129	0,128
	3	0,129	0,126
	Média	0,128	0,126
18/10/2005	1	0,078	0,076
	2	0,077	0,082
	3	0,080	0,092
	Média	0,078	0,083
25/10/2005	1	0,138	0,127
	2	0,134	0,175
	3	0,140	0,156
	Média	0,137	0,153

A Figura 4.35 ilustra a evolução da velocidade média da água residuária no desarenador durante o período de monitoração. Mesmo quando somente um canal do desarenador estava em operação, nenhuma velocidade média superou 0,3 m/s, tradicionalmente adotada como parâmetro de projeto de desarenadores (NBR 12209). Quando os dois canais estavam em operação as velocidades médias tenderam a diminuir bastante assumindo valores menores que 0.15 m/s, limite inferior da faixa operacional (JORDÃO E PESSOA, 2005).

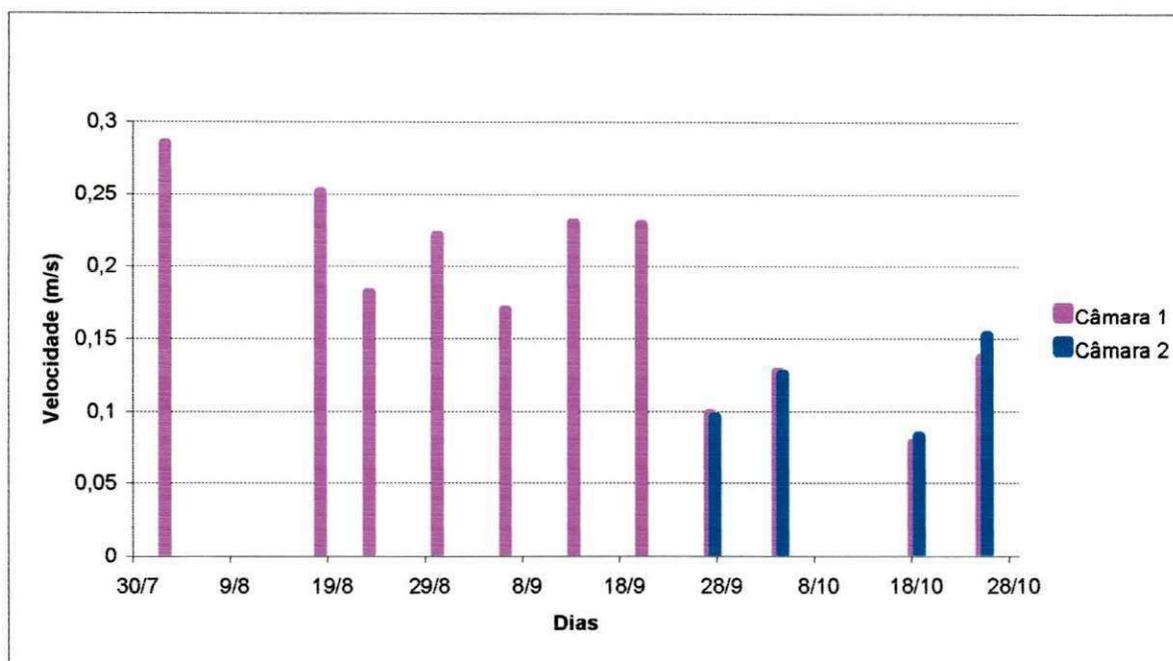


Figura 4.35 – Velocidade média da água residuária no desarenador da ETE do Róger entre 02/08 e 25/10/2005.

4.4.2 – Sólidos suspensos no afluente e efluente do desarenador

A Tabela 4.19 ilustra a análise estatística descritiva (número de dados, média, desvio padrão amostral e valores máximo e mínimo) dos sólidos suspensos e suas frações, durante o período de monitoração (17 de março a 01 de novembro de 2005) do afluente e efluente do desarenador da lagoa anaeróbia. Para todos os conjuntos de dados foi aplicado o critério de Kolmogorov-Smirnov tendo sido verificado que todos os dados obtidos apresentaram distribuição normal.

Tabela 4.19 – Análise estatística descritiva dos sólidos suspensos do afluente e efluente do desarenador.

Variáveis	Ponto de amostragem	N	Média	σ_{n-1}	Máximo	Mínimo
SST (mg/l)	Afluente	31	236,32	66,43	491,00	145,00
	Efluente	31	235,16	61,92	402,00	59,00
SSF (mg/l)	Afluente	31	63,52	49,59	197,00	17,00
	Efluente	31	62,00	43,24	187,00	13,00
SSV (mg/l)	Afluente	31	172,81	75,48	359,00	22,00
	Efluente	31	172,55	72,66	343,00	6,00

A observação do conteúdo da Tabela 4.19 permite concluir que as concentrações de sólidos suspensos e suas respectivas frações foram virtualmente as mesmas entre o afluente e o efluente do desarenador e, portanto, o seu desempenho ocorreu conforme o esperado para uma unidade de pré-tratamento desse tipo.

Também foram analisadas as variações e características médias dos sólidos suspensos e suas frações no afluente e efluente do desarenador da ETE, como também as diferenças entre as características noturnas e diurnas, em dois experimentos (perfis) de 24 horas, um no mês de agosto nos dias 30 e 31 e outro no mês de outubro (dias 25 e 26), sendo as coletas realizadas nos horários de 6, 11, 17 e 22 horas. As concentrações de sólidos suspensos nos dois perfis são ilustradas nas Tabelas 4.20 e 4.21.

Tabela 4.20 – Concentrações de sólidos suspensos totais e suas frações no afluente e efluente do desarenador da ETE do Róger no primeiro perfil, entre 30 e 31 de agosto de 2005.

Variáveis	Ponto de amostragem	6h	11h	17h	22h
SST (mg/l)	Afluente	149	326	228	193
	Efluente	150	249	218	222
SSF (mg/l)	Afluente	13	62	15	3
	Efluente	15	63	47	49
SSV (mg/l)	Afluente	136	264	213	190
	Efluente	135	186	171	173

Tabela 4.21 - Concentrações de sólidos suspensos totais e suas frações no afluente e efluente do desarenador da ETE do Róger no segundo perfil, entre 25 e 26 de outubro de 2005.

Variáveis	Ponto de amostragem	6h	11h	17h	22h
SST (mg/l)	Afluente	160	310	252	263
	Efluente	166	355	262	291
SSF (mg/l)	Afluente	21	45	43	32
	Efluente	20	70	36	41
SSV (mg/l)	Afluente	139	265	209	231
	Efluente	146	285	226	250

Os pares de figuras 4.36 e 4.37, 4.38 e 4.39 e 4.40 e 4.41 ilustram as variações, nos dois perfis, de sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis, respectivamente.

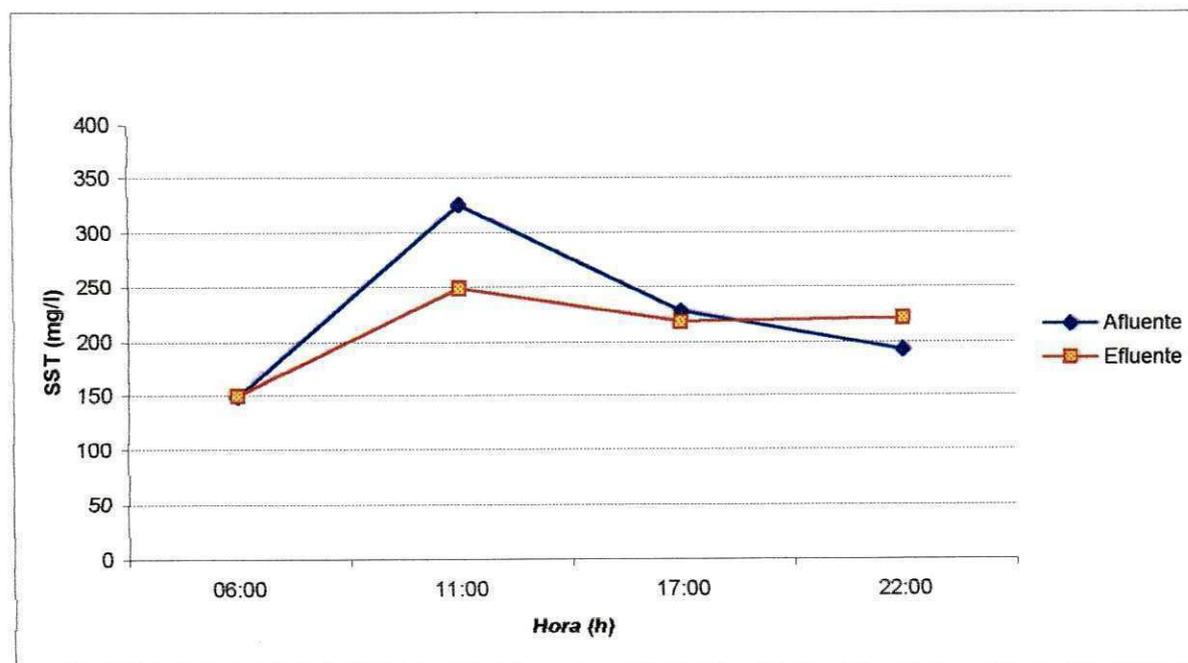


Figura 4.36 – Variação no ciclo diário dos sólidos suspensos totais do afluente e efluente do desarenador da ETE do Róger, entre 30 e 30 de agosto de 2005.

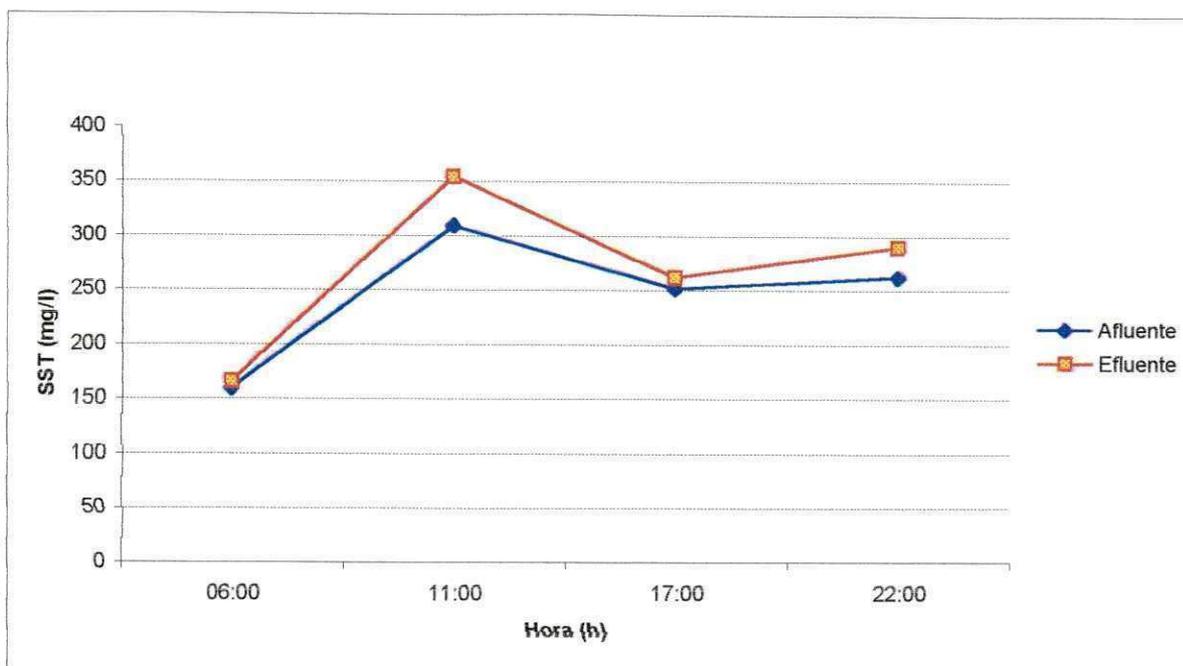


Figura 4.37 – Variação no ciclo diário dos sólidos suspensos totais do afluente e efluente do desarenador da ETE do Róger, entre 25 e 26 de outubro de 2005.

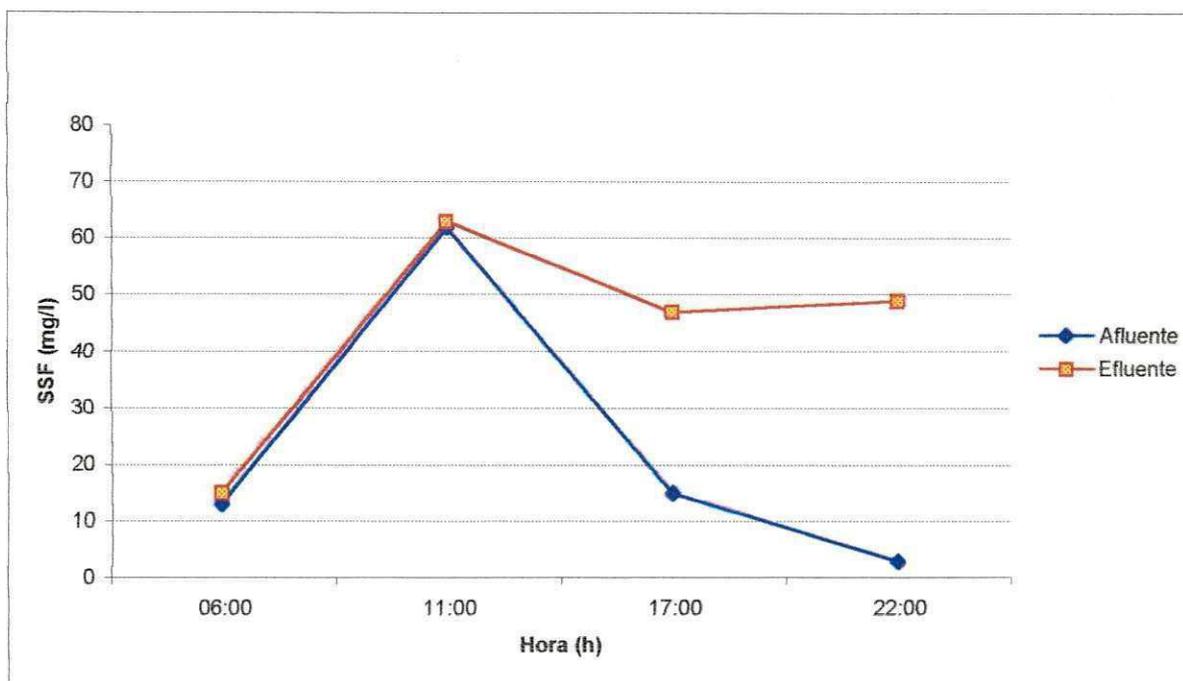


Figura 4.38 – Variação no ciclo diário dos sólidos suspensos fixos do afluente e efluente do desarenador da ETE do Róger, entre 30 e 31 de agosto de 2005.

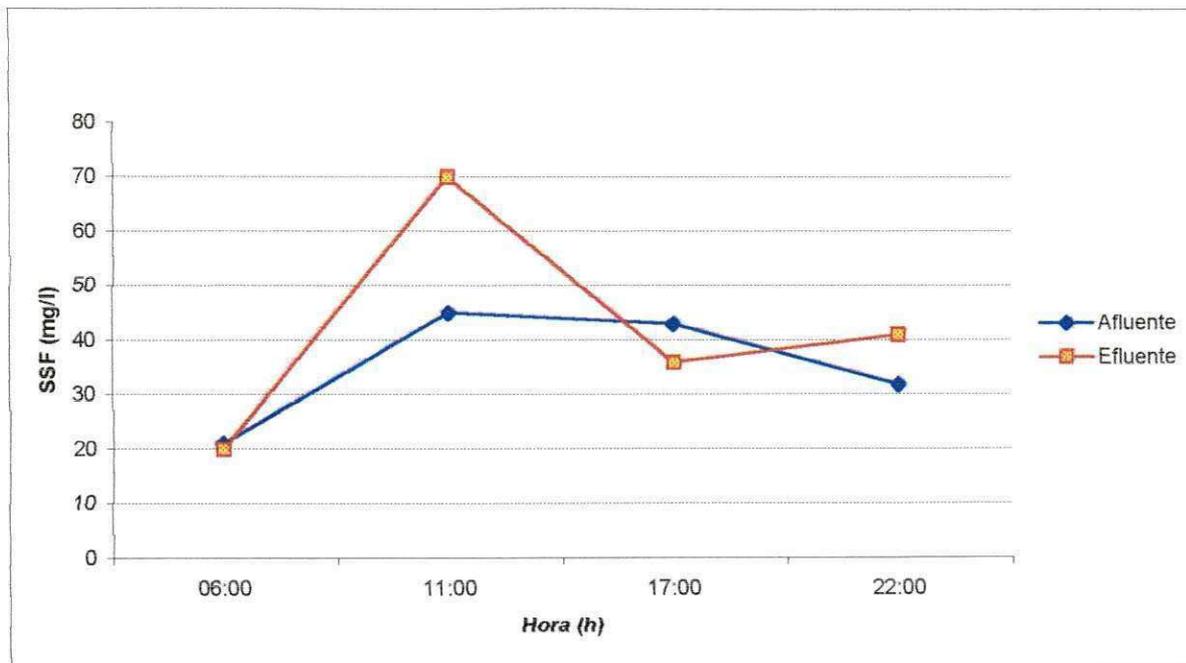


Figura 4.39 – Variação no ciclo diário dos sólidos suspensos fixos do afluente e efluente do desarenador da ETE do Róger, entre 25 e 26 de outubro de 2005.

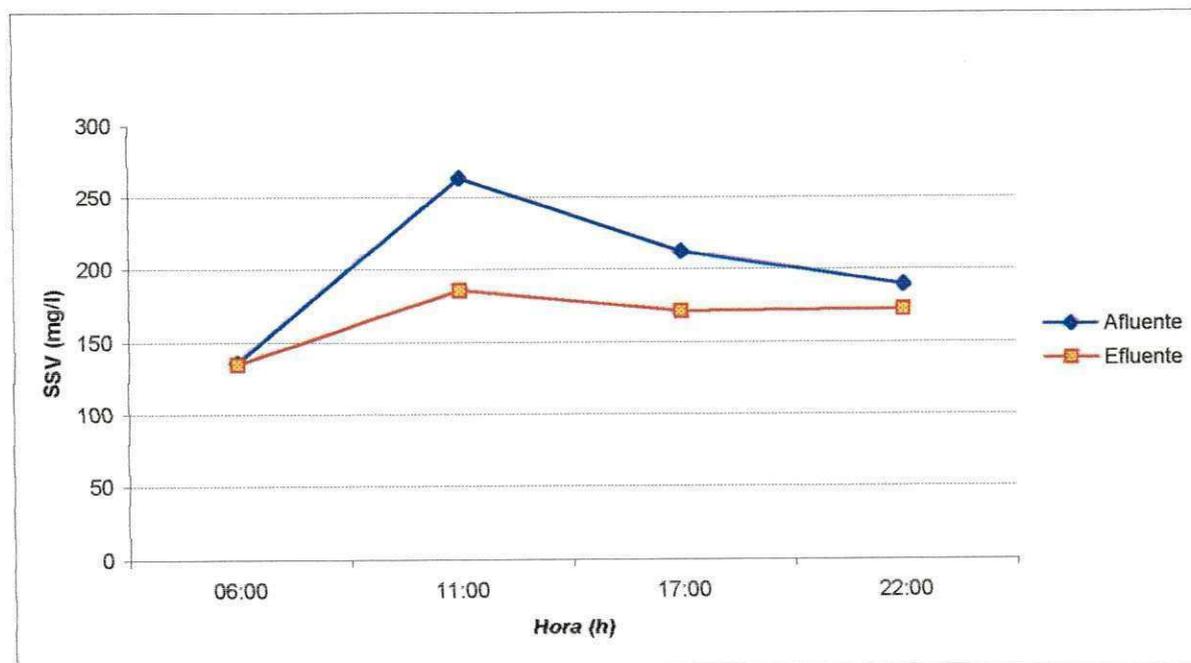


Figura 4.40 – Variação no ciclo diário dos sólidos suspensos voláteis do afluente e efluente do desarenador da ETE do Róger, entre 30 e 31 de agosto de 2005.

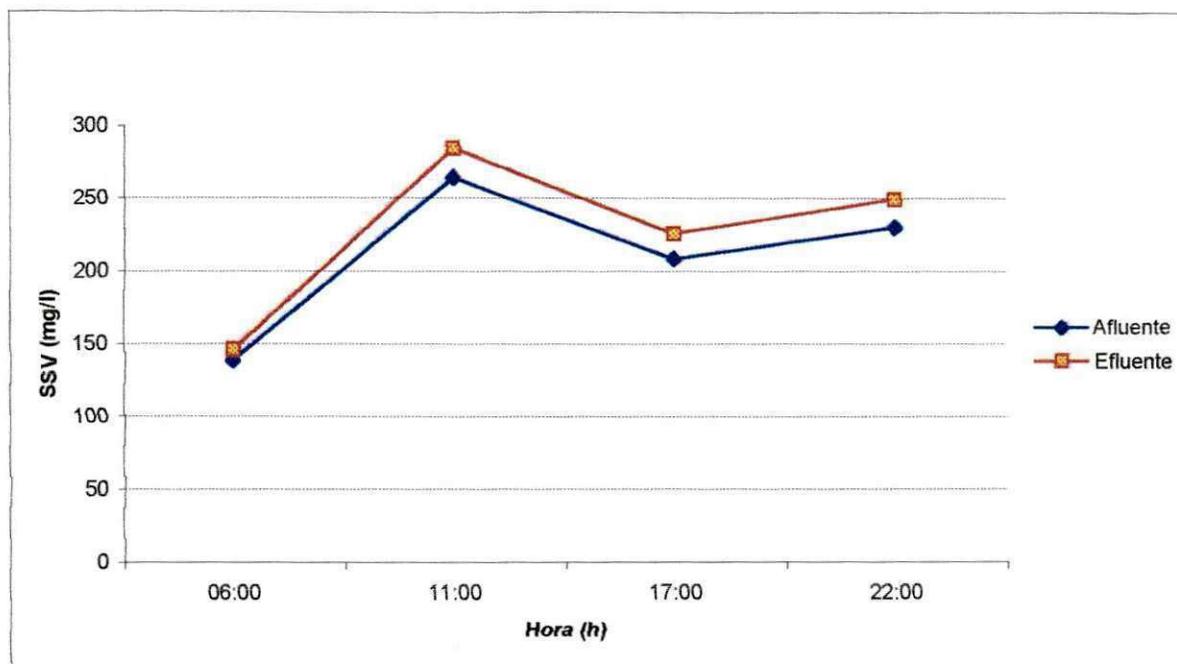


Figura 4.41 – Variação no ciclo diário dos sólidos suspensos voláteis do afluyente e efluente do desarenador da ETE do Róger, entre 25 e 26 de outubro de 2005.

4.4.3 – Caracterização dos sólidos retidos no desarenador

A Tabela 4.22 ilustra a análise estatística descritiva (número de dados, média, desvio padrão amostral e valores máximo e mínimo) das porcentagens de sólidos totais, a porcentagem complementar corresponde ao teor de umidade do material retido no desarenador da ETE do Róger, durante as 13 coletas realizadas no período de 12/07 a 25/10 de 2005.

As análises de sólidos totais realizadas nas amostras do material retido no desarenador mostraram que esse material é constituído quase que completamente por sólidos totais fixos, que são sólidos de origem inorgânica como, por exemplo, a areia.

Tabela 4.22 – Análise estatística descritiva das variáveis determinadas nas amostras do material retido no desarenador da ETE do Róger, João Pessoa – PB, entre 12/07 e 25/10/2005.

Parâmetros	Média	σ_{n-1}	Máximo	Mínimo
ST (%)	80,34	1,88	85,13	77,98
STV (%)	0,86	0,55	2,28	0,39
STF (%)	99,14	0,55	99,61	97,71

O valor dos sólidos voláteis obtido (0,86%) está situado bem abaixo do limite tolerável segundo Jordão e Pessoa (2005), ou seja, valor inferior a 30%. Valores acima deste limite indicam excesso de lodo sedimentado devido falhas de projeto e problemas operacionais.

A Figura 4.42 ilustra a variação dos sólidos totais no material retido no desarenador, podendo ser observado que a maior porcentagem dos sólidos totais é constituída por sólidos fixos.

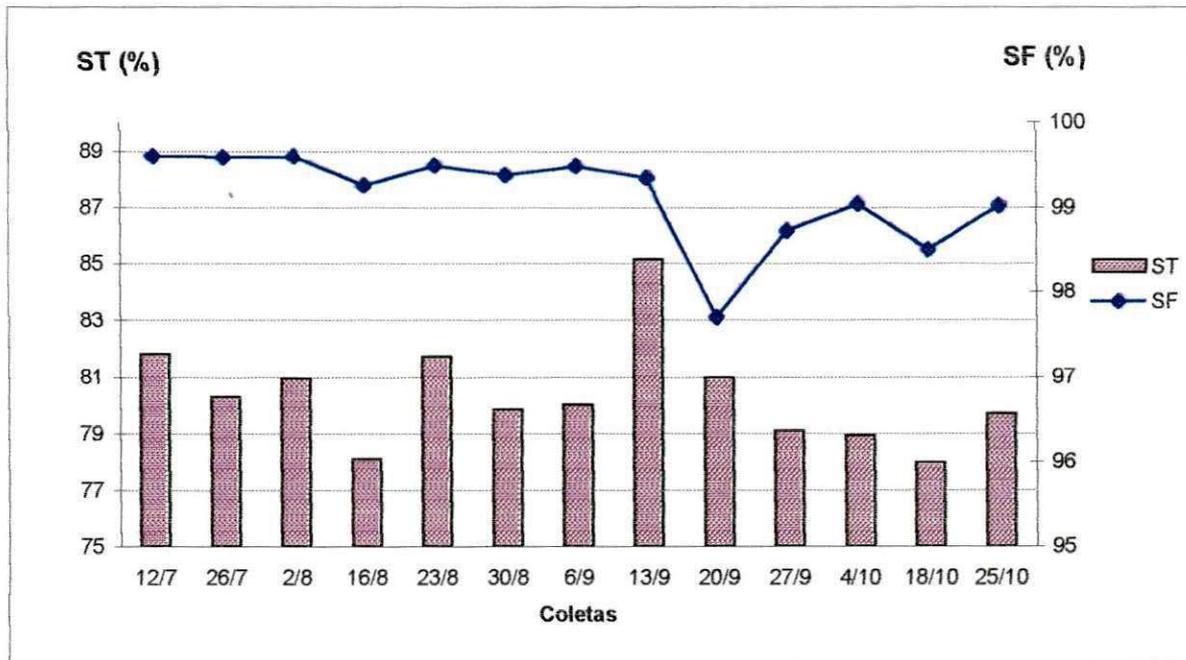


Figura 4.42 – Variação das porcentagens dos sólidos totais e fixos do material retido no desarenador da ETE do Róger, João Pessoa – PB.

4.5 – Estudo da camada de lodo da lagoa anaeróbia

4.5.1 – Batimetria

A altura da camada de lodo acumulado na lagoa anaeróbia foi estimada a partir dos dados do levantamento batimétrico realizado em novembro de 2005, aproximadamente cinco anos após o início do seu funcionamento. A Figura 4.43 ilustra o posicionamento das estacas e a disposição das curvas de nível do lodo acumulado.

O perfil da camada de lodo da lagoa anaeróbia é ilustrado na Figura 4.44, e as alturas da lâmina líquida de esgoto e camada de lodo, em cada estaca são mostradas na Tabela 4.23.

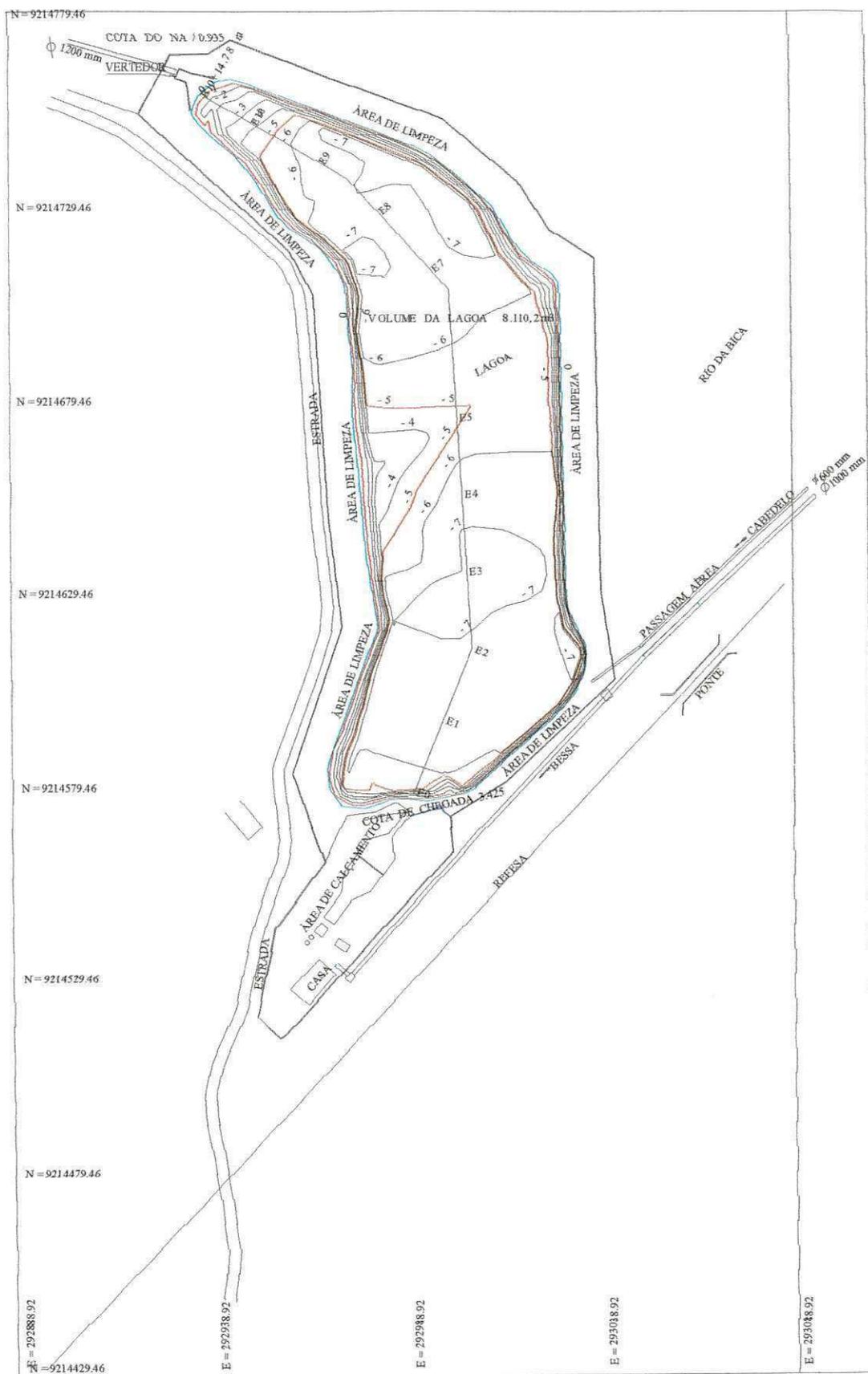


Figura 4.43 – Representação do posicionamento das estacas do levantamento batimétrico e da disposição das curvas de nível da camada de lodo da lagoa anaeróbia da ETE do Róger.

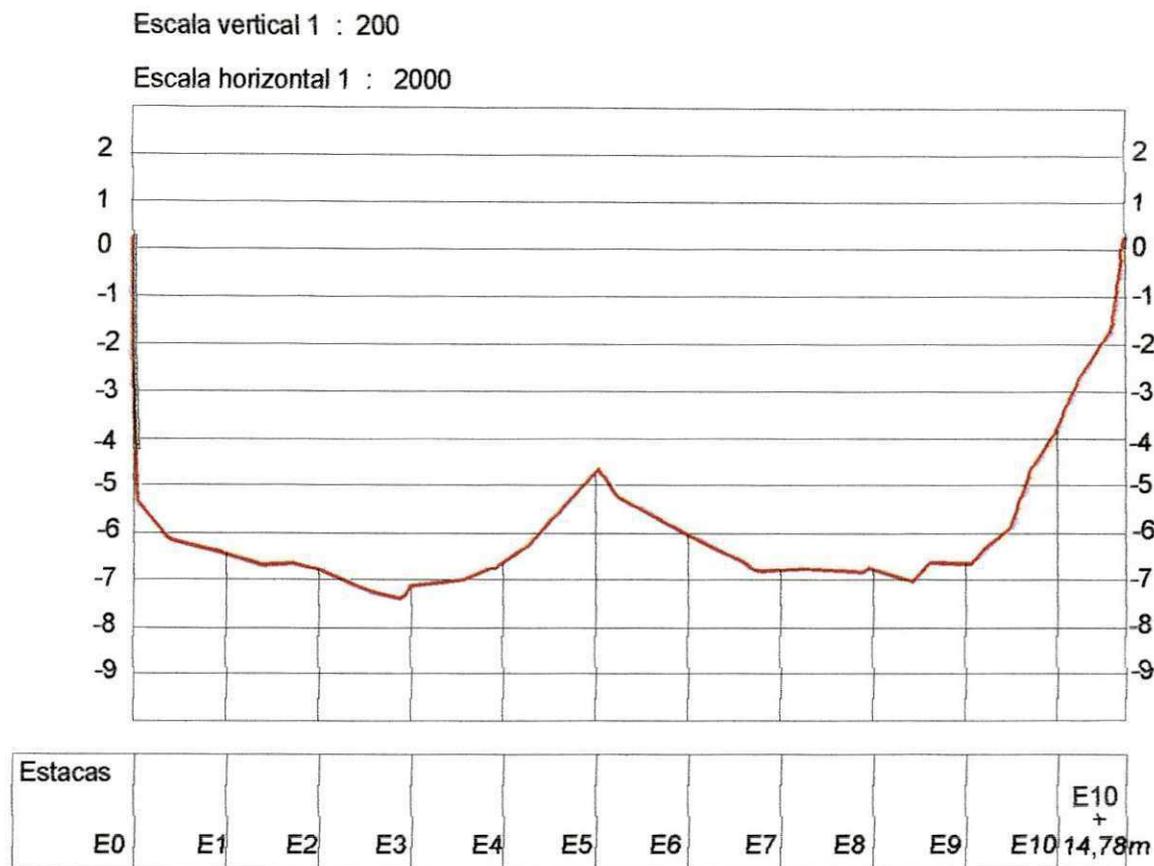


Figura 4.44 – Perfil da camada de lodo da lagoa anaeróbia.

Tabela 4.23 – Altura da lâmina líquida e da camada de lodo em cada estaca

Estaca	Altura lâmina líquida (m)	Altura camada de lodo (m)
E0	0,30	-
E1	-6,43	1,57
E2	-6,78	1,22
E3	-7,20	0,80
E4	-6,66	1,34
E5	-4,76	3,24
E6	-6,01	1,99
E7	-6,78	1,22
E8	-6,75	1,25
E9	-6,64	1,36
E10	-3,81	4,19
E10 + 14,78m	0,30	-
Média	6,18	1,82

De acordo com a batimetria realizada foi observado que o maior acúmulo de lodo ocorre no centro da lagoa anaeróbia, área representada pelas estacas E5 com altura de 3,24m. A altura média da camada de lodo foi de 1,82m.

Todos os dados referentes ao levantamento batimétrico foram fornecidos pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA.

Os dados da Tabela 4.24 foram elaborados pelo Dr. George Cunha da empresa Arco Projetos e Construção Ltda, e estes foram fornecidos pela CAGEPA. Nela são apresentadas estimativas de áreas e volumes ocupados por esgoto. De acordo com esta estima-se um volume de lodo acumulado na lagoa de 14122,82 m³, volume correspondente a aproximadamente 17% do volume total da lagoa.

Tabela 4.24 – Área e volume de lâmina de esgoto em cada estaca posicionada na batimetria

Estacas	Área (m ²)	Soma das áreas (m ²)	D/2 (m)	Volume (m ³)	
				Parcial	Total
-9	-	-			
-8	400,00	400,00	0,5	200	200
-7	6250,00	6650,00	0,5	3325	3525
-6	7500,00	13750,00	0,5	6875	10400
-5	8500,00	16000,00	0,5	8000	18400
-4	8400,00	16900,00	0,5	8450	26850
-3	8250,86	16650,86	0,5	8325,43	35175,43
-2	8562,80	16813,66	0,5	8406,83	43582,26
-1	8857,70	17420,50	0,5	8710,25	52292,51
0	9166,87	18024,57	0,5	9012,285	61304,8
1	9427,90	18594,77	0,5	9297,385	70602,18
Volume estimado de líquido na lagoa anaeróbia					70602,18
Volume estimado de lodo na lagoa anaeróbia					14122,82

4.5.2 – Caracterização do lodo acumulado

A análise estatística descritiva é apresentada na Tabela 4.25 e ilustra a média, o desvio padrão amostral e os valores máximo e mínimo das variáveis estudadas durante as 12 coletas de lodo realizadas próximo à entrada e à saída da lagoa anaeróbia, no período de 19/07/2005 à 25/10/2005.

A maior fração dos sólidos totais do lodo foi constituída por sólidos fixos, sendo que essa fração foi bem mais elevada no lodo da entrada que no da saída da lagoa.

As concentrações médias foram de 208,55 e 78,93 gST/l para o lodo da entrada e da saída, respectivamente. O peso específico médio das amostras coletadas na entrada também foi mais elevado, mas, em relação ao teor de umidade, este foi mais elevado para as amostras coletadas na saída da lagoa.

A Figura 4.45 ilustra a variação dos sólidos totais para o lodo coletado na entrada e saída da lagoa, enquanto que as Figuras 4.46 e 4.47 ilustram as frações fixa e volátil para estes respectivos pontos de amostragem. A variação do peso específico do lodo está ilustrada na Figura 4.50, e do teor de umidade na Figura 4.51.

Tabela 4.25 – Análise estatística descritiva das variáveis determinadas no lodo coletado próximo à entrada e à saída da lagoa anaeróbia da ETE do Róger, João Pessoa – PB, entre 19/07 e 25/10/2005.

Variáveis	Ponto de amostragem	N	Média	σ_{n-1}	Máximo	Mínimo
ST (g/l)	Entrada	12	208,55	77,88	310,49	81,07
	Saída	12	78,93	6,03	91,03	70,02
STF (g/l)	Entrada	12	182,89	70,81	282,13	72,99
	Saída	12	41,75	4,41	52,44	34,63
STV (g/l)	Entrada	12	25,66	9,16	40,24	8,04
	Saída	12	37,19	3,75	42,47	28,94
PEL (ϕ) (g/l)	Entrada	11	1116,09	69,99	1238,40	1023,00
	Saída	11	1012,62	10,17	1035,60	997,80
TU (%)	Entrada	11	81,79	6,46	92,12	74,07
	Saída	11	92,26	0,58	93,02	91,00

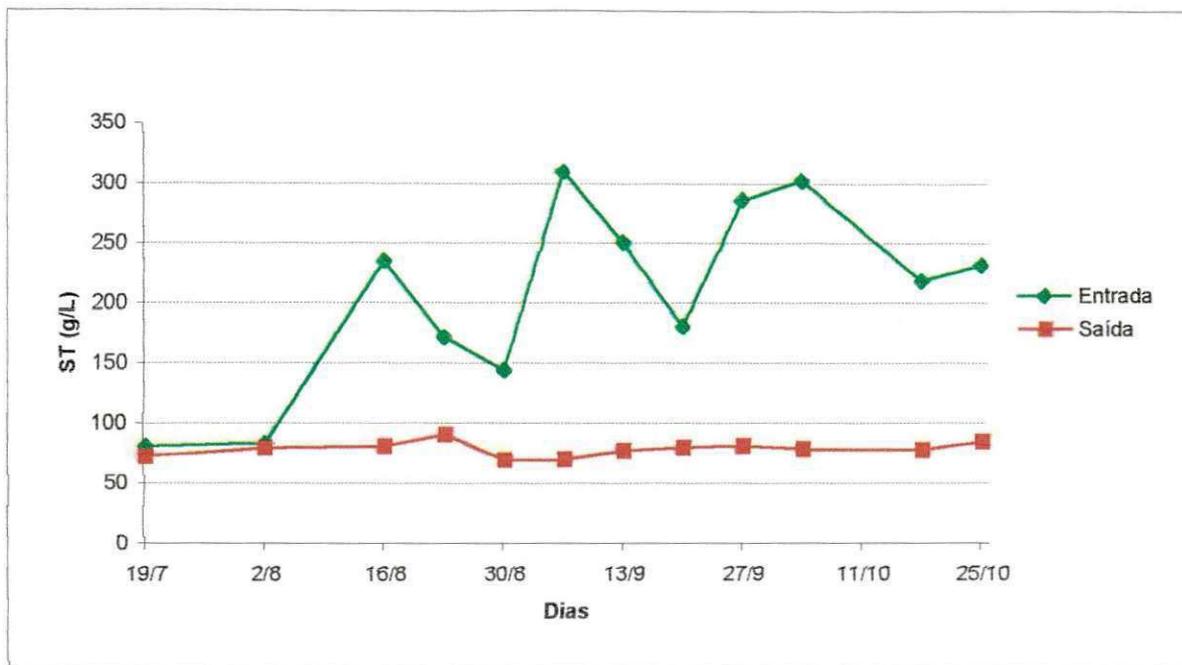


Figura 4.45 – Variação dos sólidos totais do lodo da entrada e da saída da lagoa anaeróbia.

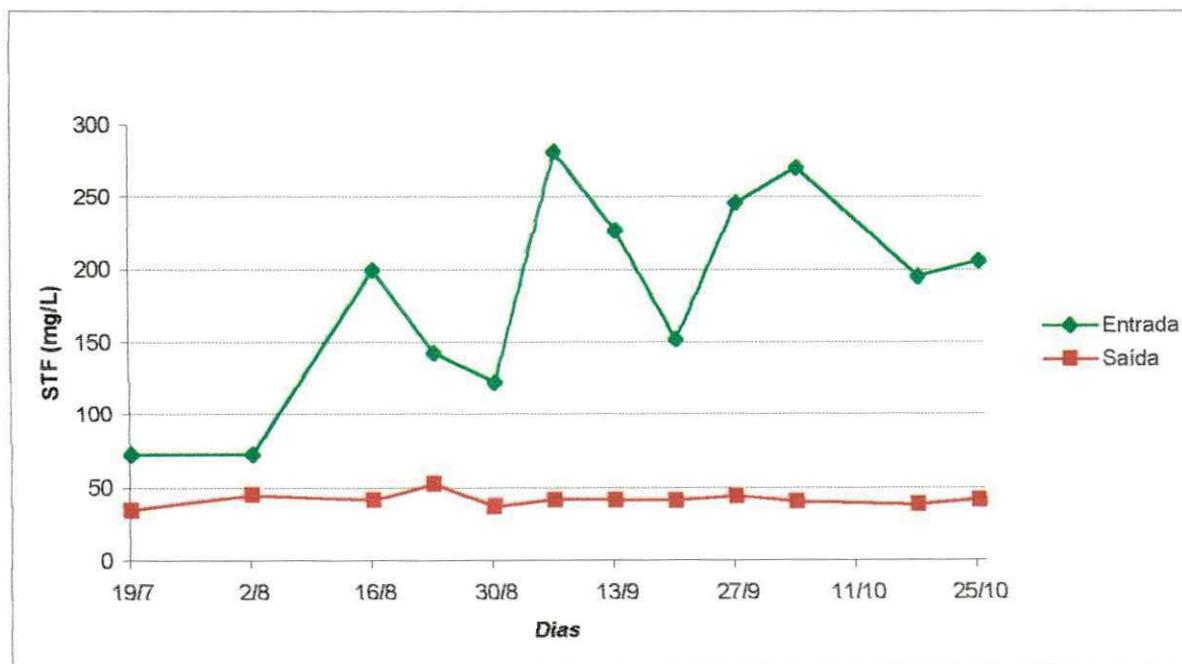


Figura 4.46 – Variação dos sólidos totais fixos do lodo da entrada e da saída da lagoa anaeróbia.

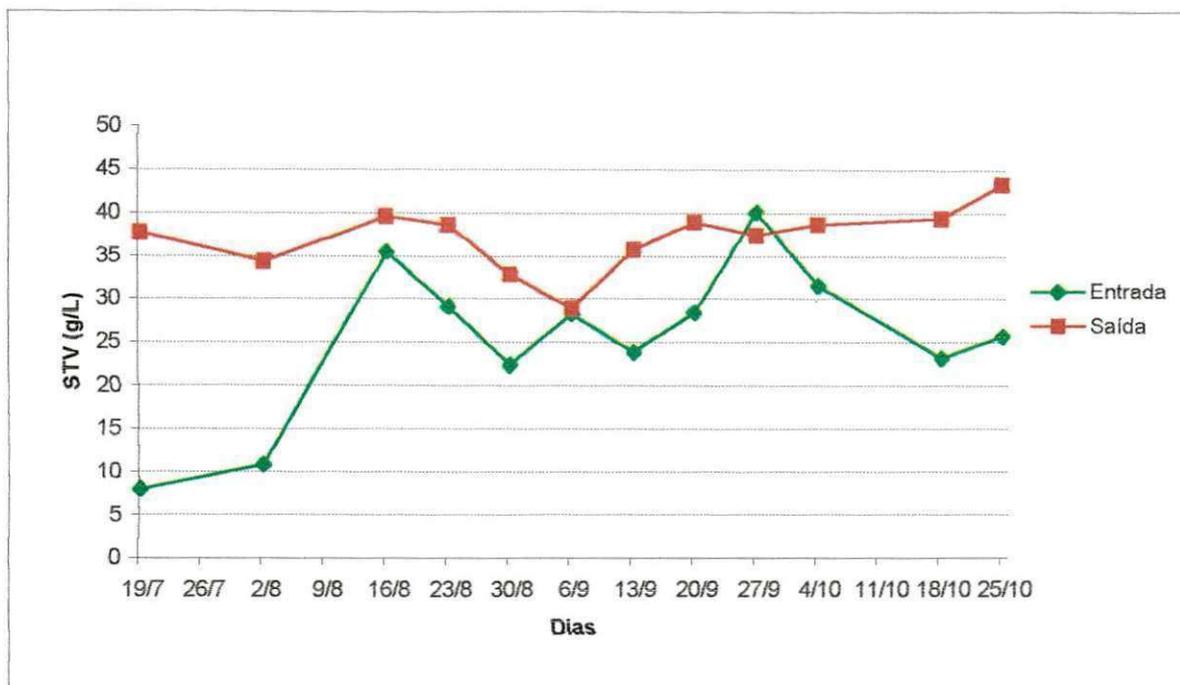


Figura 4.47 – Variação dos sólidos totais voláteis do lodo da entrada e da saída da lagoa anaeróbia.

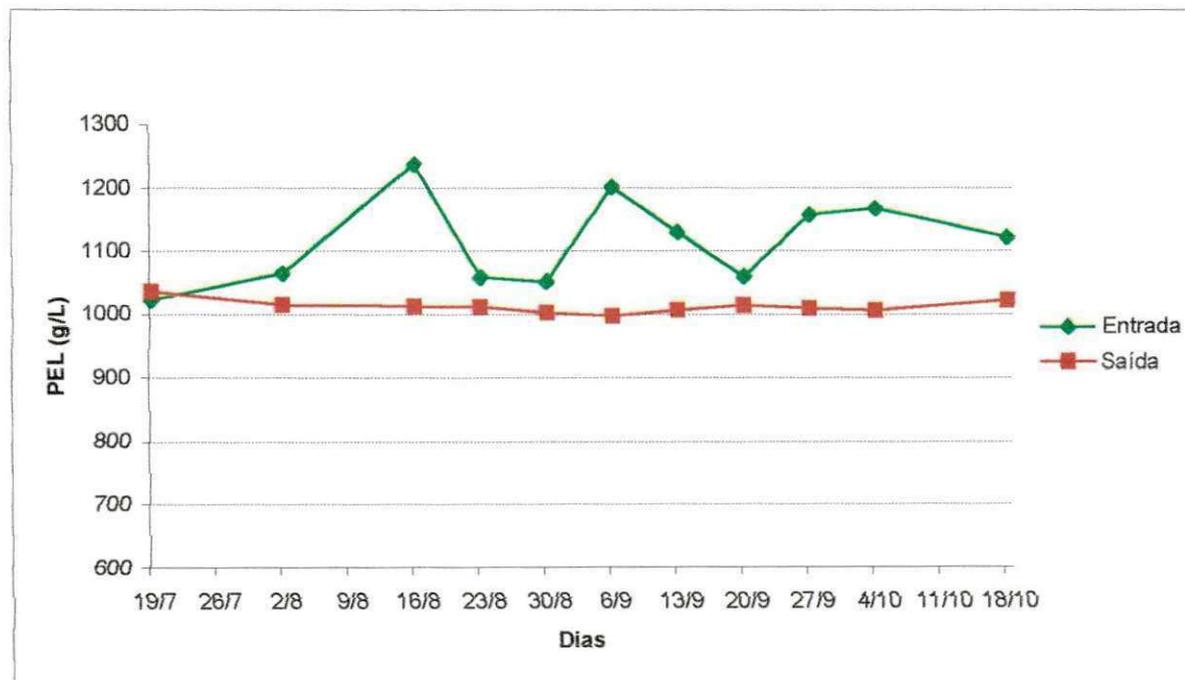


Figura 4.48 – Variação do peso específico do lodo da entrada e da saída da lagoa anaeróbia.

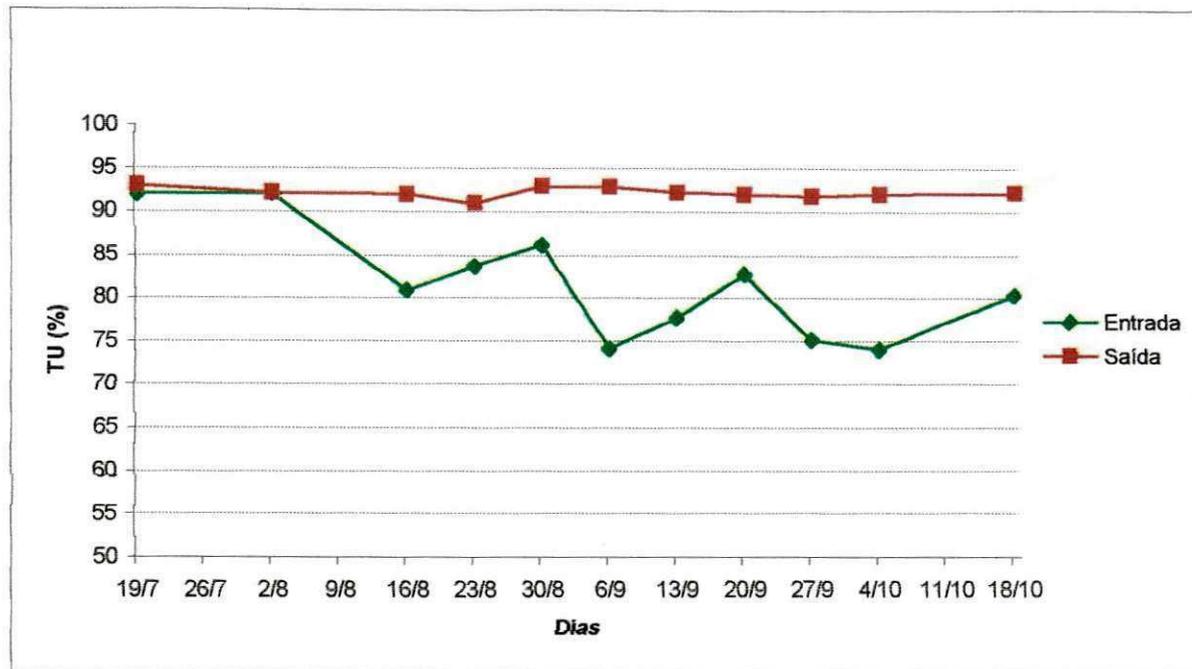


Figura 4.49 – Variação do teor de umidade do lodo da entrada e da saída da lagoa anaeróbia.

4.5.3 – Estabilidade do lodo

Os dados da estabilidade do lodo acumulado na lagoa anaeróbia, determinados segundo os critérios descritos no teste de estabilidade, são apresentados na Tabela 4.26. A Figura 4.50 mostra a produção diária acumulada de metano obtida na incubação do lodo à temperatura de 30^o C durante a realização do referido teste.

Pela Tabela 4.26 pode ser observado que o grau de estabilidade determinado pela redução de sólidos voláteis (5,7%) foi superior ao valor determinado pela redução teórica a partir do volume de metano produzido (1%). Esta diferença pode ser atribuída às maiores probabilidades de erro do método de redução teórica a partir do volume de metano produzido. No entanto, os valores determinados pelos dois métodos (5,7 e 1%) são inferiores ao valor máximo (17%) estabelecido pela EPA (1992). Assim, pode ser concluído que o lodo da lagoa anaeróbia do Roger, acumulado em 5 anos de operação, apresenta um alto grau de estabilização.

Tabela 4.26 – Dados da estabilidade do lodo acumulado na lagoa anaeróbia.

Data de incubação	SV (g/l) início da incubação	SV (g/l) fim da incubação	Redução de sólidos voláteis (%)	Volume de CH ₄ /massa de SV (ml CH ₄ /g SV)	Redução de sólidos voláteis teórica (%)
15/09/2005	44,13	41,57	5,8	5,7	1,0

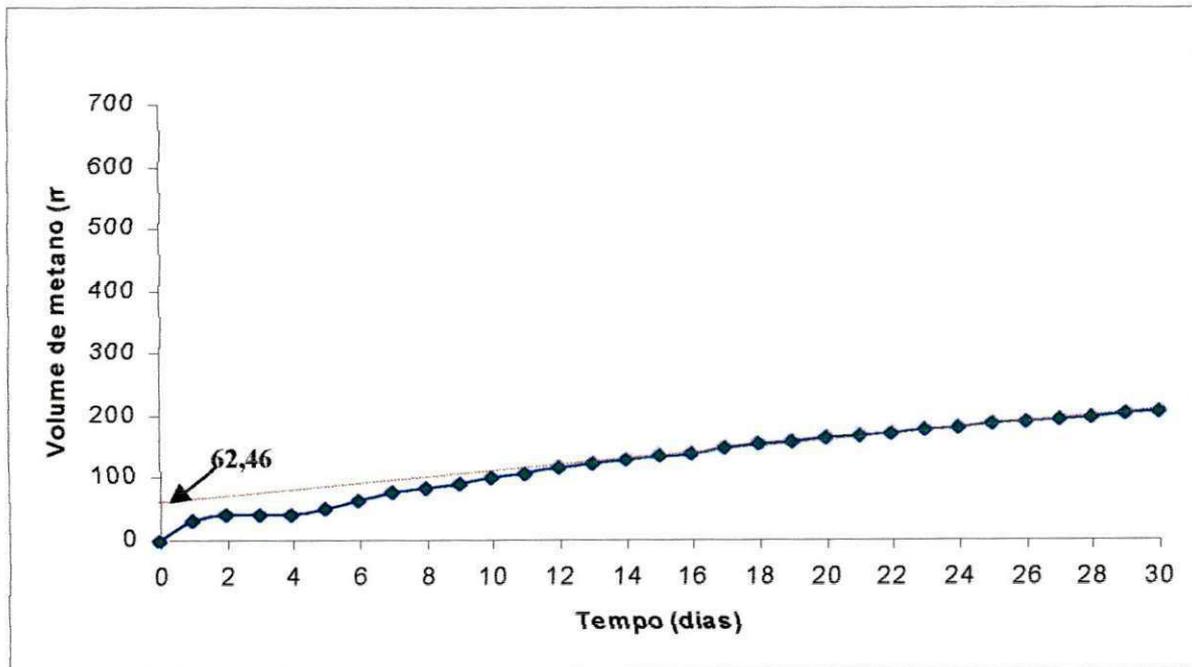


Figura 4.50 - Produção diária acumulada de metano do lodo da lagoa anaeróbia.

5 - DISCUSSÃO

5.1 - Evolução da operação da Lagoa anaeróbia da Pedreira n^o7

A Estação de Tratamento de Esgotos do Roger, constituída por uma lagoa anaeróbia profunda (8m), desenvolvida a partir de uma pedreira (Pedreira n^o7) de exploração de calcário, desativada, teve sua operação iniciada em outubro de 2000, como parte do Projeto de Tratamento de Efluentes do Sistema de Esgotamento Sanitário da Região do Baixo Paraíba. A lagoa anaeróbia da Pedreira n^o 7, com um volume útil de 84725 m³, foi projetada para tratar uma vazão média de 67313 m³/d com um tempo de detenção hidráulica médio de 1,26 d, sob uma carga orgânica volumétrica de 336 gDBO₅/m³.d no final do plano. Tendo em vista o porte da ETE, instalada para beneficiar populações num raio de até mais de 14 km, o reator teve sua operação iniciada tratando uma parcela mínima da contribuição prevista para o final do plano, com o beneficiamento de praticamente 450000 habitantes. Entre 16 de outubro e 14 de novembro de 2003 (3 anos após o início da operação), a monitoração da vazão revelou que a ETE estava tratando em média, 18656 m³/d (ARRUDA, 2004), correspondente ao tempo de detenção hidráulica médio de 4,54 dias, sob uma carga orgânica volumétrica de 86,45 gDBO₅/m³.d.

No presente trabalho, com base nos dados de vazão coletados entre maio e junho de 2005, foi estimada a vazão média de 25890 m³/d, representando um aumento de contribuição de 38,8% com relação à estimativa anterior, correspondendo ao tempo de detenção hidráulica de 3,27 d, sob uma carga orgânica de 82,50 gDBO₅/m³.d. As novas condições de operação representam, por um lado uma diminuição da capacidade de tratamento (tdh diminuiu), mas, por outro lado representam uma condição menos crítica, particularmente com relação à emissão de odores em face da diminuição da carga. Mas, de modo geral, o conjunto das

características operacionais atuais se situa muito aquém daquelas previstas para o final do plano, o que representa uma operação com folga.

5.2 - Evolução da eficiência operacional da Lagoa do Roger

O projeto de adaptação da pedreira desativada como lagoa anaeróbia profunda previa uma remoção média de DBO_5 de 65% (PMSS II, 1997). Arruda (2004) em outubro de 2003, observou eficiências de remoção de $DBO_5 = 67,67\%$, $DQO = 60,79\%$ e $SS = 70,98\%$ ($SSF = 71,93\%$ e $SSV = 70,73\%$), caracterizadas como muito boas para reatores desse tipo. Oliveira (2006), baseado em dados coletados em 2005, observou eficiências de remoção de $DBO_5 = 53,64\%$ e $DQO = 7,12\%$.

Neste trabalho foram observadas eficiências médias de $SS = 37,7\%$ ($SSF = 23,8\%$, $SSV = 42,8\%$), evidenciando uma séria diminuição do desempenho operacional do sistema de tratamento. Em princípio, fatores como aumento da contribuição e conseqüente diminuição do tdh e crescimento da camada de lodo e conseqüente arrastamento de sólidos juntamente com o efluente podem ter contribuído para essa queda de eficiência.

A diminuição do tempo de detenção hidráulica não parece, no entanto, ser um fator crítico visto que se situa na faixa típica (2 a 5 dias) de lagoas anaeróbias; de fato ainda bem maior que o limite mínimo dessa faixa. Também a carga orgânica volumétrica, que se situa até abaixo da faixa (100 a $400 \text{ g}DBO_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$) não parece ter influenciado nessa diminuição de desempenho.

O aumento progressivo da camada de lodo e o conseqüente arrastamento de sólidos suspensos pode ser uma importante causa da diminuição de eficiência da lagoa. De fato entre 2003 e 2005, a concentração média de SS no efluente final aumentou de 67mg/l para 147mg/l . As remoções de DBO_5 filtrada ($40,8\%$) e DQO filtrada ($19,8\%$) embora baixas, não constituem em si, base segura para julgar sobre uma tendência de diminuição da eficiência operacional do reator, em vista da falta de dados referências na literatura.

5.3 - Influência da camada de lodo

Os dados do levantamento batimétrico realizado em novembro de 2004, evidenciaram que a camada de lodo acumulada na lagoa anaeróbia do Róger ocupava uma lâmina média de $1,82\text{m}$ e um volume estimado em $14122,82 \text{ m}^3$, correspondente a $16,7\%$ da capacidade útil do reator. Convém considerar, no entanto, a inacurácia da metodologia

utilizada para o levantamento das lâminas líquidas (e conseqüentemente as lâminas de lodo) em torno das diversas estacas estabelecidas no caminhamento entre a região da entrada e da saída da lagoa. Referidas lâminas eram medidas com a utilização de uma escala métrica introduzida na massa líquida sob a direção de um disco metálico de 25 cm de diâmetro e 2 kg, insuficiente para manter a escala na posição vertical, mas, possivelmente, suficiente para detectar somente superfícies mais densas no interior da camada de lodo. Assim, as medidas das lâminas líquidas podem ter sido maiores e as das lâminas de lodo menores que as reais. De fato, a camada de lodo de um reator das dimensões da Lagoa do Róger, após 4 anos de operação, deve ser constituída por estratos de diferentes densidades formados ao longo do tempo de acumulação sendo o estrato superior formado por lodo mais leve, possivelmente mantido num certo grau de suspensão, principalmente na região do efluente. Os dados de análise do lodo demonstraram que as amostras coletadas na região da saída da lagoa eram bem menos concentradas ($78,93 \text{ kgST/m}^3$) e menos densas ($1012,62 \text{ kg/m}^3$) que as amostras coletadas na região da entrada ($208,55 \text{ kgST/m}^3$ e $1116,09 \text{ kg/m}^3$, respectivamente). Assim, pode ser presumido que o volume da camada de lodo, através do método aqui utilizado, seja menor que o volume real. Metodologias mais acuradas poderiam, em futuros levantamentos, ser utilizadas com vistas a estimativas mais realistas.

A influência negativa de uma grossa camada de lodo acumulado numa lagoa profunda como a da Pedreira n^o7 pode ser manifestada, em princípio, de dois modos; o primeiro pelo arraste de lodo mais leve e o segundo pela diminuição do tempo de detenção hidráulica. Comumente, a estimativa do tempo de detenção médio, no âmbito do projeto e operação de lagoas de estabilização não leva em consideração a extensão da camada de lodo e se traduz no quociente entre o volume útil total e a vazão média. Assim quando Arruda (2004), determinou o t_{dh} médio de 4,5 dias, levou em consideração o quociente entre o volume de 84725 m^3 e a vazão média de $18656 \text{ m}^3/\text{d}$. O t_{dh} aqui estimado de 3,27 dias foi baseado no mesmo volume útil de 84725 m^3 e na vazão média de $25890 \text{ m}^3/\text{d}$. Mas, uma correção deveria ser introduzida para exprimir com mais fidelidade as reais condições de ocupação do volume útil total do reator. Assim, considerando o volume útil de somente $70602,18 \text{ m}^3$ e a vazão média diária acima referida, o t_{dh} médio real corrigido seria de somente 2,73 dias.

5.4 - A qualidade do efluente da Lagoa da Pedreira n^o7

Tipicamente, o efluente da Lagoa anaeróbia profunda da ETE do Roger tem características de efluente de reatores nos quais o processo de digestão anaeróbia ocorre equilibradamente. A temperatura em torno de 30^oC é um fator bastante favorável ao desempenho das bactérias envolvidas nos diversos estágios do processo e o pH resultante (6,85) é bastante típico e favorável à metanogênese. No entanto, a concentração média de sólidos suspensos (147 mg/l), da qual 99 mg/l são SSV, é bastante elevada para descargas em corpos receptores. Padrões internacionais, normalmente não admitem o lançamento de efluentes com concentrações superiores a 30 mg/l (OLIVEIRA,1990). Lagoas, dificilmente produzem efluentes que satisfaçam a esse limite devido à presença de algas, cianobactérias, microcrustáceos, etc., isto é matéria orgânica viva, o que levou a União Européia a admitir até 150 mgSS/l (CEC,1991) desde que esses SS sejam devido a essa presença e não a partículas de detritos como é o caso do efluente da Lagoa do Roger. Também a concentração média de sólidos sedimentáveis de 4,2 ml/l é bastante superior ao limite máximo de 1ml/l recomendado pela resolução CONAMA 357/2005 para descarga em corpos receptores, no Brasil.

5.5 - Perspectivas

A análise de dados do desempenho operacional bem como do desenvolvimento da camada de lodo da lagoa anaeróbia profunda da ETE do Roger demonstrou ter ocorrido, entre os anos 2003 e 2005, uma grave deterioração da eficiência do sistema. As elevadas cargas efluentes de sólidos em suspensão e sedimentáveis representam um sério risco ao equilíbrio ecológico do estuário do Rio Paraíba, mesmo considerando que atualmente, o sistema está tratando um pouco menos de 40% da vazão de esgotos, prevista para o final do plano. Assim, é previsível que mantida a atual configuração e os atuais esquemas de operação e manutenção a tendência futura é de uma progressiva degradação ambiental.

Obviamente, a Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba, consciente de suas responsabilidades, deverá planejar soluções em nível de operação e manutenção, como a remoção, tratamento e disposição do lodo, bem como em nível do pós-tratamento do efluente o que pode ser conseguido com a ampliação do sistema.

6 - CONCLUSÕES

- As características operacionais atuais da lagoa anaeróbia do Róger se encontram muito aquém daquelas previstas, no projeto inicial, para o final do plano;
- Atualmente a Lagoa do Roger trata uma vazão média estimada em 25890 m³/d representando um aumento de 38,8% em relação à vazão média estimada, 2 anos atrás;
- A Lagoa anaeróbia apresentou desempenho inferior ao observado em estudos realizados por Arruda (2003). As eficiências de remoção de DBO₅ (67,67%), DQO (60,79%) e SS (70,98%) foram reduzidas para 53,64; 7,12 e 37,7% respectivamente;
- A diminuição da eficiência da Lagoa parece estar associada ao aumento progressivo da camada de lodo e o conseqüente arrastamento de sólidos;
- A velocidade do fluxo de água residuária, no desarenador se encontra dentro das normas da NBR 12209 quando apenas um dos canais está em funcionamento. Quando os dois canais estão em operação as velocidades médias tendem a diminuir bastante assumindo valores menores que 0,15 m/s, limite inferior estabelecido pela literatura, e que impõe que para a vazão atual o desarenador da Lagoa do Róger deva funcionar com apenas um canal;

- Os dados do levantamento batimétrico evidenciam que a camada de lodo acumulada na lagoa anaeróbia do Róger ocupa uma lâmina média de 1,82 m e um volume estimado em 14122,82 m³, correspondente a 16,7% da capacidade útil do reator;
- O tempo de detenção hidráulica médio real da Lagoa do Roger é de 2,76 d, considerando que 16,7% do volume útil deste reator é ocupado com lodo, e se encontra dentro da faixa típica de 2 a 5 dias, recomendada pela literatura para esse tipo de reator;
- O lodo da lagoa anaeróbia apresentou uma redução de sólidos voláteis de 5,8%, valor bem menor que o limite máximo (17%) recomendado pela EPA 1992;
- Afim de melhorar a eficiência da lagoa anaeróbia do Róger, devem ser tomadas providências imediatas pela Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba na remoção, tratamento e disposição final do lodo acumulado;
- O sistema de tratamento de esgotos do Róger deve ser ampliado a nível de pós-tratamento afim de produzir efluentes que satisfaçam as exigências da legislação ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação brasileira de normas técnicas. NBR 12209. **Projeto de estações de tratamento de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro, 1992.

APHA. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 20. ed. Washington D.C.: American Public Health Association, 1998.

ARRUDA, C.B. **Estudo do desempenho da lagoa anaeróbia profunda da Pedreira N° 7 do Pólo de Tratamento de Esgotos da Bacia do Rio Paraíba na Grande João Pessoa**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande, 2004.

CONAMA – **Conselho nacional do meio ambiente**. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Ministério do meio ambiente. Secretaria especial do meio ambiente, Brasília – DF, 2005.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios de tratamento biológicos de águas residuárias - Reatores Anaeróbios**. Vol. 5, DESA – UFMG, 1997.

CEC, **Council european communities**. Council directive of 21 May 1991 concerning urban waste water treatment (91/271/EEC). Official journal of the European communities L135/40-50. 1991.

COURA, M. A. **Comportamento do sistema anaeróbio-aeróbio com reatores anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo e o sistema de lodo ativado no tratamento de esgoto doméstico na região tropical**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande. 2002.

EPA, Environmental regulations and technology. **Regulation and vector attraction in sewage sludge**. U.S. environmental protection agency, 1992. 151p.

FELIZATTO, M. R., BALBINO, F. T., SILVA, H. A. M. **Estimativa da acumulação de lodo em lagoas de tratamento anaeróbico tratando esgotos domésticos – o caso da ETE Brazlândia – DF.** Anais do 23º Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental - ABES, 2005.

FERNANDES, F. **Fundamentos do processo de compostagem aplicado ao tratamento dos biossólidos . Manual pratico para compostagem de biossólidos.** PROSAB. Rio de Janeiro. 1999. pp. 14-21.

FERREIRA, A. C., ANDREOLI, C. V., JURGENSEN, D. **Produção e características dos biossólidos.** Uso e manejo do lodo de esgotos na agricultura. PROSAB. Rio de Janeiro. 1999. pp. 16-25.

FERREIRA, A. C., ANDREOLI, C. V., JURGENSEN, D. **Destino final do lodo.** Uso e manejo do lodo de esgotos na agricultura. PROSAB. Rio de Janeiro. 1999. pp. 26-28

GONÇALVES, R. F., **Introdução ao gerenciamento do lodo de esgotos de lagoas de estabilização.** PROSAB. Rio de Janeiro. 2000. pp. 1-3.

GONÇALVES, R. F., **Formação de lodos em lagoas de estabilização anaeróbias ou facultativas primárias.** PROSAB. Rio de Janeiro. 2000. pp. 7-13.

GONÇALVES, R. F., OLIVEIRA, F. F., **Estimativa da formação de lodo em lagoas anaeróbias e facultativas primárias.** PROSAB. Rio de Janeiro. 2000. pp. 15-24.

GONÇALVES, R. F., LIMA, M. R. P. L., PASSAMANI, F. R. F., **Características físico-químicas e microbiológicas do lodo de lagoas.** PROSAB. Rio de Janeiro. 2000. pp. 25-37.

GONÇALVES, R. F., NASCIMENTO, C. G., LIMA, M. R. P. L., **Remoção de lodo de lagoas.** PROSAB. Rio de Janeiro. 2000. pp. 39-47.

HASKONING & EUROCONSULT, **Monitoring report of the 5MLD UASB treatment plant at kapus-technical report,** may. 1990.

JORDÃO, E. P. & PESSOA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos.** V. 1. 4. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005.

LEITE, V. D. **Estudo do Comportamento de Sólidos em Lagoas Anaeróbias.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Campina Grande. 1986.

MARA, D. D. **Sewage Treatment in Hot Climates**. London: John Wiley and Sons, 1976.

MENDONÇA, S. R. **Sistemas de lagunas de estabilizacion – como utilizar águas residuales tratadas em sistemas de regadio**. McGRAW-HILL. V. 1. Colômbia, 2000

METCALF & EDDY, Inc. **Wastewater Engineering - Treatment and Reuse**. 4. ed. New York, McGraw - Hill Book, 2003. 1815p.

OLIVEIRA, J. B. **Avaliação das concentrações de nutrientes (N e P) na lagoa anaeróbia profunda da pedreira nº 7 do pólo de tratamento de esgotos do Baixo Paraíba**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Campina Grande. 2006.

OLIVEIRA, R. **The performance of deep waste stabilization ponds in northeast Brazil**. PhD. Thesis, University of Leeds, U. K. 1990

PMSS – **Projeto de modernização do setor de saneamento II. Programa de saneamento ambiental e social do subprojeto de esgotamento sanitário de João Pessoa**. 1997.

SAQQAR, M. M., PESCOD, M. B. **Modelling sludge accumulation in anaerobic wastewater stabilization pond**. Water Science and Technology, Vol. 31, Nº 12, pp. 185-190, 1995.

SAWYER, C. N.; McCARTY, P. L.; PARKIN, G. F. **Chemistry for environmental engineering**. 4. ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1994.

SILVA, C. M. **Dinâmica de metais potencialmente tóxicos no solo após aplicação do lodo de esgoto**. Anais do 23º Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental - ABES, 2005.

SILVA, M. **Situação atual e perspectivas futuras para o gerenciamento do lodo gerado na estação de tratamento de esgotos Brasília Sul**. Anais do 23º Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental - ABES, 2005.

SILVA, S. A. **On the treatment of domestic sewage in wast stabilization ponds in northeast Brazil**. PhD. Thesis, University of Dundee, U. K. 1982

SILVA, S. A. e MARA, D. D. **Tratamento biológico de águas residuárias: Lagoas de estabilização**. 1. ed. Rio de Janeiro- RJ: ABES, 1979.

SOKAL, R. R. & ROHLFF, J. Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research. 2. ed. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1981, 1995.

SCHNEITER, R. W., MIDDLEBROOKS, J., SLETTEN, R. S., REED, S. C. Sludge from cold regions lagoons. Water Science and Technology, Vol. 65, Nº 2, pp. 146-155, 1993.

VAN HAANDEL, A. & LETTINGA, G. Tratamento anaeróbio de esgotos: Um manual para regiões de clima quente. Campina Grande: UFPB, 1994. 208p.