

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

NICOLE SANTOS OLIVEIRA

ESTUDO DA SECAGEM DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

CURITIBA
2010

NICOLE SANTOS OLIVEIRA

ESTUDO DA SECAGEM DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Área de Concentração em Engenharia Ambiental, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.

Orientador: Profº Dr. Miguel Mansur Aisse

CURITIBA
2010

TERMO DE APROVAÇÃO

NICOLE SANTOS OLIVEIRA

ESTUDO DA SECAGEM DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA -

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:

Prof. Dr. Miguel Mansur Aisse
Departamento de Hidráulica e Saneamento - UFPR.

Prof. Dr. Fernando Fernandes
Departamento de Construção Civil - UEL

Prof. Dr. Júlio César Rodrigues de Azevedo
Departamento de Química e Biologia - UTFPR

Prof.^a D.^a Maria Cristina Borba Braga
Departamento de Hidráulica e Saneamento - UFPR.

Curitiba, 31 de agosto de 2010

Aos meus pais, pelo incentivo, constante apoio,
e por acreditarem nos meus sonhos!

AGRADECIMENTOS

À **Deus**, pelo dom da vida, que na sua bondade infinita, me capacita e proporciona toda a coragem para realizar meus sonhos.

Às instituições UFPR, DHS e PPGERHA, por me proporcionarem os meios e condições para realização desta etapa muito importante da minha vida. À todo corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, que muito contribuíram com meu aprendizado e crescimento.

Em especial ao meu orientador, professor Dr. Miguel Mansur Aisse, profissional competente e professor dedicado, pela orientação, motivação e empenho. Por ampliar minha visão de vida e pesquisa através de valiosos ensinamentos e experiências profissionais passadas.

Aos demais funcionários, colegas e amigos do DHS com quem convivi. Aos amigos, Daniel Larsen e Guilherme Sanways pelo auxílio com a carga nos pilotos. Ao estagiário Tiago Ostrowski, pelo auxílio com as análises em laboratório. À Karina Machado pela companhia durante os estudos e amizade. Ao amigo Eduardo Yoo, pela solícita disposição em contribuir com a realização deste trabalho, agradável companhia e grande amizade.

À CAPES, pela bolsa concedida.

À Sanepar, pela oportunidade de realização deste trabalho e a Sanetec pelo fomento. Aos funcionários da APD: Jonas Heitor Kondageski, coordenador da RIPLA, Cleverson V. Andreoli, Soraia Giordani, Agenor Zarpelon e Wagner Schuchardt. Aos gestores, Ovande Magalhães (ETA Iguaçu), Anderson Araújo e Edson Soares (ETA Iraí) e Renato Kleina (ETA Passaúna); pelo apoio durante atividades em campo. Aos demais funcionários e operários das estações pelo auxílio com os pilotos e coleta de amostras.

À Diprotec, através do Ivan, pela doação dos tecidos utilizados nos leitos.

À minha família, pelo amor e incentivo. Principalmente aos meus pais que me deram todo apoio necessário para cumprir mais esta etapa, e não mediram esforços para auxiliar na sua concretização. Ao meu namorado Alexandre, pessoa especial e importante em minha vida, pelo carinho, atenção e valiosa companhia.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho. Simplesmente, Obrigada!

RESUMO

O desaguamento do lodo tem como objetivo a redução do volume, para facilitar ou mesmo possibilitar o transporte e/ou disposição final dos resíduos do tratamento. Tal processo é realizado nas operações de desidratação, as quais podem ser realizadas por sistemas mecânicos e naturais. Os leitos de secagem, sistemas de fácil operação e econômicos, são constituídos por camada suporte, meio filtrante e sistema de drenagem. A desidratação através da centrifugação ocorre através de um processo, no qual são aplicadas forças centrífugas ao lodo, para acelerar a separação das fases líquidas e sólidas. Este trabalho teve como objetivo estudar a secagem do lodo: de forma natural, através de leitos de secagem pilotos convencionais e alternativos; e mecanizada, através de centrífugas em escala real e de bancada. Para isto, foram utilizados leitos de secagem piloto instalados na ETA Iguazu, sendo: 3 leitos de secagem convencionais (meio granular), 2 leitos de secagem alternativos com geotêxtil não-tecido bidim e 2 leitos de secagem alternativos com geotecido. Para o estudo da centrifugação foram utilizadas: centrífugas do tipo decanter, instaladas nas ETA Iraí e ETA Passaúna; e centrífuga de laboratório, no LABEAM da UFPR. Para caracterizar o lodo utilizado na pesquisa, a qualidade do clarificado e estudar a eficiência da desidratação e foram avaliados os parâmetros: pH, condutividade, turbidez, cor, série de sólidos, sólidos sedimentáveis, demanda química de oxigênio, alumínio e óleos e graxas. Dados climatológicos diários obtidos através do INMET foram utilizados, para uma melhor avaliação do processo de secagem do lodo. Como resultados, após 30 dias, para os leitos convencionais foram obtidos teores de até 40%, para os leitos alternativos com bidim de 17 à 27% e leitos alternativos com geotecido de 5 à 7%, como ST. Concluiu-se que a predominância de baixas temperaturas, altos índices de umidade e grande volume de precipitação durante os 2 ciclos, não favoreceram a secagem do lodo. As características da água drenada nos leitos mostraram que o sistema possui excelente condição de clarificação, constatou-se efetiva remoção de sólidos, alumínio e DQO. Foram encontrados teores médios de 14% de ST para o lodo centrifugado da ETA Passaúna e Iraí. A mediana do rendimento da centrifugação para o lodo da ETA Iraí foi de 95%, e para a ETA Passaúna, 94%. A baixa desidratabilidade do lodo da ETA Iraí é pela presença de algas na água bruta e baixa eficiência do flotor, e na ETA Passaúna, pela presença de materiais finos e baixa eficiência do adensador. A dosagem ótima obtida no estudo de centrifugação em escala de bancada foi de 4 g/kg de SST. Verificou-se que o tempo ideal para a realização do ensaio foi de 30 minutos e que, quanto maior a rotação imposta, maior a concentração de ST na torta de lodo.

Palavras-chave: Centrífuga de bancada. Centrífuga decanter. Desidratação de lodo de ETA. Leito de secagem alternativo. Leito de secagem convencional. Lodo de ETA.

ABSTRACT

Sludge dewatering is aimed to reduce the volume to facilitate or enable the transport and/or final disposal of waste treatment. This process is performed during dewatering, which can be performed by natural and mechanical systems. The drying beds, systems easy to operate and economical, are constituted by support layer, the filter medium and drainage system. Dewatering occurs by centrifugation through a process in which centrifugal forces are applied to the sludge, to accelerate the separation of liquid and solid phases. This work aimed to study the drying of sludge: a natural way, through drying beds pilots conventional and alternative, and mechanized, using centrifuges at full scale and bench scale. For this, use drying beds installed in the Iguaçú WTP's, where 3 conventional drying beds (grainy middle), 2 drying beds with alternative non-woven geotextile bidim and two drying beds with alternative geotextil. To study the centrifuge were used: type decanter centrifuges, operating in Iraí and Passaúna WTP's, and benchtop centrifuge at LABEAM laboratory's. To characterize the sludge used in research, to evaluate the efficiency of dehydration and the quality of clarified parameters were evaluated: pH, conductivity, turbidity, color, solids, sedimentable solids, chemical oxygen demand, aluminum and oil and grease. Daily climatological data obtained from the INMET were used for better evaluation of the process of drying the sludge. As a result, for the beds were obtained from conventional levels to 40% for those with alternative bidim beds from 17 to 27% and beds with alternative geotextil, 5 to 7%. It is concluded that the prevalence of low temperatures, high levels of humidity and large amounts of rainfall during the two cycles, did not favor the drying of sludge. The characteristics of the water drained from the beds showed that the system has excellent condition for clarification, it was found effective removal of solids, aluminum and COD. We found levels ranging from 14% of ST in the centrifuged sludge's of Iraí and Passaúna WTP's. The median income of centrifugation for the sludge of Iraí WTP's was 95%, and the Passaúna WTP's, 94%. The low sludge dewatering Iraí WTP's is the presence of algae in raw water and low efficiency of flotation equipment, and Passaúna WTP's, the presence of fines materials and low efficiency of the thickener. The optimum dose in the study obtained by centrifugation in a bench scale was 4 g / kg of TSS. It was found that the ideal time for the test was 30 minutes and that the higher the rotation imposed, the greater the concentration of TS in the sludge.

Keywords: sludge's WTP. Dewatering of sludge's WTP. Conventional drying bed. Alternative drying bed. Decanter centrifuge, bench scale centrifuge

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - DISTRIBUIÇÃO DAS DIFERENTES FRAÇÕES DE ÁGUA NO FOCO DO LODO	30
FIGURA 2 – DIAGRAMA DE ETAS CONVENCIONAIS COM A APRESENTAÇÃO DOS PONTOS DE GERAÇÃO DE LODO	31
FIGURA 3 - FLUXOGRAMA TÍPICO DE UM SISTEMA DE DESAGUAMENTO DOS DESPEJOS LÍQUIDOS GERADOS EM ETAS.....	36
FIGURA 4 - CONSTITUIÇÃO DO LEITO DE SECAGEM CONVENCIONAL	41
FIGURA 5 - MODIFICAÇÃO DOS LEITOS DE SECAGEM TRADICIONAIS DE PESQUISAS DE CORDEIRO	43
FIGURA 6 - LEITO DE DRENAGEM UTILIZADO POR ACHON E CORDEIRO (2003)	45
FIGURA 7 - PROTÓTIPO DESENVOLVIDO POR CORDEIRO (2001).....	46
FIGURA 8 - VARIAÇÃO DA VAZÃO DE DRENAGEM DA ÁGUA LIVRE (EM L/S) PARA OS LODOS DE SULFATO DE ALUMÍNIO E PACL DURANTE AS PRIMEIRAS 5 HORAS DURANTE A PESQUISA DE ACHON, BARROSO E CORDEIRO	48
FIGURA 9 - INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NA VAZÃO DE DRENAGEM DA ÁGUA LIVRE (EM L/S) PARA OS LODOS DE SULFATO DE ALUMÍNIO E PACL DURANTE 24 HORAS.....	48
FIGURA 10 - LEITOS DE DRENAGEM APÓS 1 DIA DE APLICAÇÃO DOS LODOS.....	49
FIGURA 11 - LEITOS DE DRENAGEM APÓS 7 DIAS DE APLICAÇÃO DOS LODOS	49
FIGURA 12 - EXEMPLOS DE GEOTUBES OU BAG'S	50
FIGURA 13 - FORMAÇÃO DO TORTA DE FILTRAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DA UMIDADE	52
FIGURA 14 - DECANTER CENTRÍFUGO MODELO FP600 DA PIERALISI.....	57
FIGURA 15 - CURVAS DE CENTRIFUGAÇÃO OBTIDAS POR REALI EM PESQUISA DE OTIMIZAÇÃO DE DOSAGEM DE POLÍMERO	59
FIGURA 16 - ETA IGUAÇU	67
FIGURA 17-DECANTADOR E RASPADORES MECANIZADOS DA ETA IGUAÇU -	68
FIGURA 18-FLUXOGRAMA DA ETA IGUAÇU.....	68
FIGURA 19 - ETA IRAÍ	69
FIGURA 20 - FLUXOGRAMA DA ETA IRAÍ.....	71
FIGURA 21 - ETA PASSAÚNA	72
FIGURA 22 - FLUXOGRAMA DA ETA PASSAÚNA	73
FIGURA 23 - LEITOS CONVENCIONAIS E ALTERNATIVOS UTILIZADOS NO CICLO 1 ..	74
FIGURA 24 - LEITOS ALTERNATIVOS UTILIZADOS NO CICLO 2.....	74
FIGURA 25 - LEITOS DE DRENAGEM PROPOSTOS POR CORDEIRO	76
FIGURA 26- DESENHO ESQUEMÁTICO DOS LEITOS CONVENCIONAIS.....	78
FIGURA 27 - CENTRÍFUGAS DAS ETAS IRAÍ E PASSAÚNA.....	79
FIGURA 28 - ETA IGUAÇU: DESCARGA DE LODO DOS DECANTADORES.....	82
FIGURA 29 - TANQUE PARA HOMEGEINIZAÇÃO DO LODO.....	83
FIGURA 30 - ENSAIO DE CENTRIFUGAÇÃO EM LABORATÓRIO.....	87
FIGURA 31- DOSAGEM DE POLÍMERO NO ENSAIO DE CENTRIFUGAÇÃO	88
FIGURA 32 - APARÊNCIA DO DRENADO OBTIDO NOS LC – CICLO 1	95
FIGURA 33 – VOLUME DE DRENADO DO LC E PRECIPITAÇÃO - CICLO 1.....	99
FIGURA 34 - EVOLUÇÃO DA ALTURA LIVRE DA BORDA E PRECIPITAÇÃO - CICLO 1	100
FIGURA 35 - VARIAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS NOS LC E PRECIPITAÇÃO – CICLO 1	101
FIGURA 36 ASPECTO DO LODO NOS LC NO 1º E 30º DIA - CICLO 1	102
FIGURA 37 - TEOR DE SÓLIDOS RETIDO NOS 3 LC E UMIDADE DO AR - CICLO 1....	103
FIGURA 38 - TEOR DE SÓLIDOS RETIDOS NOS 3 LC E TEMPERATURA- CICLO 1	104
FIGURA 39 - APARÊNCIA DO DRENADO OBTIDO NOS LC – CICLO 2	109
FIGURA 40 - VOLUME DO DRENADO NOS 3 LC - CICLO 2	113

FIGURA 41 - EVOLUÇÃO DA ALTURA LIVRE DA BORDA NOS LC -CICLO 2.....	114
FIGURA 42 - VARIAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS NOS LC E PRECIPITAÇÃO - CICLO 2	116
FIGURA 43 ASPECTO DO LODO RETIDO NOS LC – CICLO 2.....	117
FIGURA 44 - INFLUÊNCIA DA UMIDADE NO TEOR DE SÓLIDOS RETIDO NOS LC - CICLO 2.....	118
FIGURA 45 – VARIAÇÃO DE TEMPERATURA E TEOR DE SÓLIDOS DO LODO NOS LC - CICLO 2.....	119
FIGURA 46 - APARÊNCIA DO DRENADO OBTIDO NOS LABS – CICLO 2.....	120
FIGURA 47 – VOLUME DO DRENADO NOS 3 LC – CICLO 2.....	122
FIGURA 48 - EVOLUÇÃO DA ALTURA LIVRE DA BORDA NOS LC -CICLO 2.....	123
FIGURA 49 - VARIAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS NOS LAB E PRECIPITAÇÃO - CICLO 2	124
FIGURA 50 - ASPECTO DO LODO RETIDO NOS LAB – CICLO 2.....	125
FIGURA 51 - UMIDADE E TEOR DE SÓLIDOS RETIDO NOS LAB - CICLO 2.....	126
FIGURA 52 - TEMPERATURA E TEOR DE SÓLIDOS RETIDO NOS LAB - CICLO 2.....	127
FIGURA 53 - APARÊNCIA DO DRENADO OBTIDO NOS LAG – CICLO 2.....	127
FIGURA 54 – VOLUME DO DRENADO NOS 2 LAG – CICLO 2.....	130
FIGURA 55 - EVOLUÇÃO DA ALTURA DE BORDA LIVRE NOS LAG -CICLO 2.....	131
FIGURA 56 - VARIAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS NOS LAG E PRECIPITAÇÃO - CICLO 2	132
FIGURA 57 - ASPECTO DO LODO RETIDO NOS LAG - CICLO 2.....	133
FIGURA 58 - INFLUÊNCIA DA UMIDADE NO TEOR DE SÓLIDOS RETIDO NOS LC - CICLO 2.....	134
FIGURA 59 - TEMPERATURA E TEOR DE SÓLIDOS RETIDO NOS LAG - CICLO 2.....	134
FIGURA 60 - ASPECTO DO LODO CLARIFICADO, FLOTADO E CENTRIFUGADO DA ETA IRAÍ- COLETA DO DIA 10/08.....	141
FIGURA 61 - VAZÃO DE LODO E DE POLÍMERO DAS CENTRÍFUGAS DECANter DA ETA IRAÍ.....	143
FIGURA 62 - TEORES DE SÓLIDOS DO LODO FLOTADO DA ETA IRAÍ.....	147
FIGURA 63 - SST E SSF DO LODO FLOTADO DA ETA IRAÍ.....	150
FIGURA 64 - TEORES DE ST E STF DO LODO CENTRIFUGADO DA ETA IRAÍ.....	151
FIGURA 65- TEORES DE ST E STF DO CLARIFICADO OBTIDO ATRAVÉS DA CENTRIFUGAÇÃO NA ETA IRAÍ.....	156
FIGURA 66 - TEORES DE SST E SSF DO CLARIFICADO OBTIDO ATRAVÉS DA CENTRIFUGAÇÃO NA ETA IRAÍ.....	157
FIGURA 67 - EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE CENTRIFUGAÇÃO NA ETA IRAÍ DURANTE O MONITORAMENTO.....	158
FIGURA 68 - LODOS, ADENSADO E CENTRIFUGADO DA ETA PASSAÚNA.....	159
FIGURA 69 - TEOR DE ST E STF PARA O LODO SEDIMENTADO DA ETA PASSAÚNA.....	161
FIGURA 70 - TEORES DE SST E SSF DO LODO DECANTADO DA ETA PASSAÚNA.....	163
FIGURA 71- TEOR DE ST E STF PARA O LODO ADENSADO DA ETA PASSAÚNA.....	166
FIGURA 72 - TEORES DE SST E SSF DO LODO ADENSADO DA ETA PASSAÚNA.....	167
FIGURA 73- TEOR DE ST E STF PARA O LODO CENTRIFUGADO DA ETA PASSAÚNA	168
FIGURA 74 - TEOR DE ST E STF PARA O CLARIFICADO OBTIDO NA CENTRIFUGAÇÃO DO LODO DA ETA PASSAÚNA.....	172
FIGURA 75- TEORES DE SST E SSF CLARIFICADO DA CENTRÍFUGA DA ETA PASSAÚNA.....	174
FIGURA 76 - EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE CENTRIFUGAÇÃO NA ETA PASSAÚNA	175
FIGURA 77 -MISTURA LODO-POLÍMERO ANTES E A APÓS ENSAIO DE CENTRIFUGAÇÃO.....	178
FIGURA 78 - CURVAS DE CENTRIFUGAÇÃO REFERENTES AO ENSAIO NA ROTAÇÃO DE 1970 RPM ($G^* 347$).....	178

FIGURA 79 - CURVAS DE CENTRIFUGAÇÃO REFERENTES AO ENSAIO NA ROTAÇÃO DE 3110 RPM ($G^* 865$)	179
FIGURA 80 - CURVAS DE CENTRIFUGAÇÃO REFERENTES AO ENSAIO NA ROTAÇÃO DE 3550 RPM ($G^* 1127$).....	180
FIGURA 81 - CURVAS DE CENTRIFUGAÇÃO REFERENTES AO ENSAIO NA ROTAÇÃO DE 4020 RPM ($G^* 1445$).....	181

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- COMPONENTES DO LODO, PROVENIÊNCIA E FORMAS DE APARÊNCIA..	26
TABELA 2-RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO DE LODO DE ALGUMAS ETAS DO ESTADO DO PARANÁ	28
TABELA 3 - RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO DA TOXICIDADE DO LODO DE ALGUMAS ETAS DO PARANÁ	28
TABELA 4 - PARÂMETROS REGISTRADOS DE LODOS DE ETA	29
TABELA 5 – DESAGUAMENTO DO LODO:VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE LEITOS DE SECAGEM.....	41
TABELA 6 – LEITOS DE DRENAGEM: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA DRENADA NOS DOIS PROTÓTIPOS.....	49
TABELA 7 - COMPARAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES GERAIS DAS PRINCIPAIS FAMÍLIAS DE POLÍMEROS	52
TABELA 8 - CAPACIDADE HIDRÁULICA DE CENTRÍFUGAS	57
TABELA 9 - COMPARAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS CONAMA DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES COM LODOS DE DECANTADORES DE ALGUMAS ETAS.....	64
TABELA 10 - UTILIZAÇÃO DE LEITOS TUBULARES POR OUTROS PESQUISADORES PARA DESAGUAMENTO DE LODO.....	75
TABELA 11-CARACTERÍSTICAS DOS TECIDOS UTILIZADOS NOS LEITOS ALTERNATIVOS	77
TABELA 12 - CARACTERÍSTICAS E CONDIÇÕES OPERACIONAIS DAS CENTRÍFUGAS DECANter MONITORADAS NA ETA IGUAÇU E PASSAÚNA.....	79
TABELA 13 - ESPECIFICAÇÕES DOS LEITOS DE SECAGEM	81
TABELA 14 - DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES REALIZADAS EM CAMPO: COLETA DE AMOSTRAS E MONITORAMENTO PARA O 1º CICLO	81
TABELA 15 - DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES REALIZADAS EM CAMPO: COLETA DE AMOSTRAS E MONITORAMENTO PARA O 2º CICLO	82
TABELA 16 - MATERIAIS E MÉTODOS PARA A AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS.....	90
TABELA 17 - CARACTERIZAÇÃO DO LODO UTILIZADO NO CICLO 1.....	93
TABELA 18 - CÁLCULO DAS TAXAS DE APLICAÇÃO DE SÓLIDOS NOS LEITOS.....	94
TABELA 19 - CARACTERIZAÇÃO DO DRENADO OBTIDO NO LC-1 – CICLO 1	96
TABELA 20 - CARACTERIZAÇÃO DO DRENADO OBTIDO NO LC-2 – CICLO 1	96
TABELA 21 - CARACTERIZAÇÃO DO DRENADO OBTIDO NO LC-3 – CICLO 1	96
TABELA 22 - VALORES DE DQO, AL E O&G PARA O DRENADO DO LC-3.....	97
TABELA 23 - CARACTERIZAÇÃO DO LODO UTILIZADO NO CICLO 2.....	107
TABELA 24 - CÁLCULO DAS TAXAS DE APLICAÇÃO DE SÓLIDOS NOS LEITOS – CICLO 2.....	109
TABELA 25 - CARACTERIZAÇÃO DO DRENADO OBTIDO NO LC-1 – CICLO 2	110
TABELA 26 - CARACTERIZAÇÃO DO DRENADO OBTIDO NO LC-2 – CICLO 2	110
TABELA 27 - CARACTERIZAÇÃO DO DRENADO OBTIDO NO LC-3 – CICLO 2	111
TABELA 28 - VALORES DE DQO, AL E O&G PARA O DRENADO DO LC-3 - CICLO 2 ..	112
TABELA 29 - CARACTERIZAÇÃO DO DRENADO OBTIDO NO LAB-1 – CICLO 2	120
TABELA 30 - CARACTERIZAÇÃO DO DRENADO OBTIDO NO LAB-2 – CICLO 2	121
TABELA 31 - VALORES DE DQO, AL E O&G PARA O DRENADO DO LAB-2 - CICLO 2	122
TABELA 32 - CARACTERIZAÇÃO DO DRENADO OBTIDO NO LAG-1 – CICLO 2.....	128
TABELA 33 - CARACTERIZAÇÃO DO DRENADO OBTIDO NO LAG-2 – CICLO 2.....	128
TABELA 34 - VALORES DE DQO, AL E O&G PARA O DRENADO DO LAG-2 - CICLO 2	129
TABELA 35 - RESUMO DOS DADOS CLIMÁTICOS DO CICLO 1 - 14/09/09 À 14/10/09.	135
TABELA 36 - RESUMO DOS DADOS CLIMÁTICOS DO CICLO 2 - 19/05/10 À 19/06/10 -	135
TABELA 37 - RESUMOS DOS TEORES DE SÓLIDOS E REBAIXAMENTO DO LODO DOS LC - CICLO 1 -	136

TABELA 38 - RESUMOS DOS TEORES DE SÓLIDOS E REBAIXAMENTO DO LODO- CICLO 2.....	137
TABELA 39 – VOLUMES DE LODO, PRECIPITAÇÃO, DRENADO E VOLUME RETIDO NO LEITO – CICLO 1	137
TABELA 40 - VOLUMES DE LODO, PRECIPITAÇÃO, DRENADO E VOLUME RETIDO NO LEITO – CICLO 2	138
TABELA 41 – CARACTERÍSTICAS DO DRENADO OBTIDO NOS LC REFERENTE À AMOSTRA COLETADA NO 7º DIA - CICLO 1.....	139
TABELA 42 - – CARACTERÍSTICAS DO DRENADO OBTIDO NOS LEITOS REFERENTE À AMOSTRA COLETADA NO 7º DIA - CICLO 2.....	139
TABELA 43 - VAZÃO DE LODO E DE POLÍMERO DAS CENTRÍFUGAS DECANter LOCALIZADAS NA ETA IRAÍ	142
TABELA 44 - CARACTERIZAÇÃO DO LODO FLOTADO DA ETA IRAÍ - IF ATRAVÉS DOS PARÂMETROS: pH, COR, CONDUTIVIDADE, TURBIDEZ E SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS. -	144
TABELA 45 - ANÁLISES DE DQO, O&G E AI DO LODO FLOTADO DA ETA IRAÍ	146
TABELA 46 -TEORES DE SÓLIDOS DO LODO FLOTADO DURANTE O MONITORAMENTO DA ETA IRAÍ -	148
TABELA 47 - SST E SSF DO LODO FLOTADO DA ETA IRAÍ	150
TABELA 48 - TEORES DE ST E STF DO LODO CENTRIFUGADO DA ETA IRAÍ.....	151
TABELA 49 - CARACTERIZAÇÃO DO CLARIFICADO OBTIDOS NA CENTRÍFUGAS DA ETA IRAÍ ATRAVÉS DOS PARÂMETROS: PH, COR, CONDUTIVIDADE, TURBIDEZ E SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS.	153
TABELA 50 - VALORES DE DQO, O&G E AL DO CLARIFICADO DA CENTRÍFUGA – ETA IRAÍ	154
TABELA 51 - TEORES DE ST E STF DO CLARIFICADO OBTIDOS NAS CENTRÍFUGAS - ETA IRAÍ.....	155
TABELA 52 - TEORES DE SST E SSF DO CLARIFICADO OBTIDO NAS CENTRÍFUGAS - ETA IRAÍ.....	157
TABELA 53- CARACTERIZAÇÃO DO LODO SEDIMENTADO DA ETA PASSAÚNA ATRAVÉS DOS PARÂMETROS: pH, COR, CONDUTIVIDADE, TURBIDEZ E SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS.....	159
TABELA 54 - VALORES DE DQO, O&G E AI DO LODO SEDIMENTADO – ETA PASSAÚNA	160
TABELA 55 - TEORES DE ST E STF DO LODO SEDIMENTADO DA ETA PASSAÚNA..	161
TABELA 56 - TEORES DE SST E SSF DO LODO SEDIMENTADO DA ETA PASSAÚNA	163
TABELA 57- CARACTERIZAÇÃO DO LODO ADENSADO DA ETA PASSAÚNA ATRAVÉS DOS PARÂMETROS: PH, COR, CONDUTIVIDADE, TURBIDEZ E SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS.....	164
TABELA 58 - TEORES DE ST E STF DO LODO ADENSADO DA ETA PASSAÚNA	166
TABELA 59 - TEORES DE SST E SSF DO LODO ADENSADO DA ETA PASSAÚNA.....	167
TABELA 60 - TEORES DE ST E STF DO LODO CENTRIFUGADO DA ETA PASSAÚNA	168
TABELA 61 - CARACTERIZAÇÃO DO CLARIFICADO OBTIDO NA CENTRIFUGAÇÃO DO LODO DA ETA PASSAÚNA ATRAVÉS DOS PARÂMETROS: PH, COR, CONDUTIVIDADE, TURBIDEZ E SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS.	170
TABELA 62 - VALORES DE DQO, O&G E AL DO CLARIFICADO DA CENTRÍFUGA – ETA PASSAÚNA	171
TABELA 63 - TEORES DE ST E STF DO CLARIFICADO OBTIDO NA CENTRIFUGAÇÃO DA ETA PASSAÚNA -	172
TABELA 64 - TEORES DE SST E SSF DO CLARIFICADO OBTIDO NA CENTRÍFUGA DA ETA PASSAÚNA	173
TABELA 65 - CARACTERIZAÇÃO DO LODO UTILIZADO NO ENSAIO DE CENTRIFUGAÇÃO EM ESCALA DE BANCADA – COLETA REALIZADA NO DIA 10/03/10	176

TABELA 66 - CONDIÇÕES REAIS DE OPERAÇÃO DO PROCESSO DE CENTRIFUGAÇÃO NA ETA IRAÍ NO DIA DA COLETA DO LODO UTILIZADO NO ENSAIO	176
TABELA 67 - CARGA DE SÓLIDOS, CARGA E DOSAGEM REAL DE POLÍMERO DURANTE A CENTRIFUGAÇÃO	177

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASCE	- American Society of Civil Engineers
AL	- Alumínio
AWWA	- American Water Works Association
CEPPA	- Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos
CETESB	- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	- Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO	- Demanda bioquímica de oxigênio
DQO	- Demanda química de oxigênio
ETA	- Estações de tratamento de água
ETE	- Estação de tratamento de esgoto
EPA	- Environmental Protection Agency
FAD	- Flotação por ar dissolvido
FE	- Ferro
H	- Altura de lodo
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LAB- 1	- Leito alternativo com bidim 1
LAB-2	- Leito alternativo com bidim 2
LAB-3	- Leito alternativo com bidim 3
LAG-1	- Leito alternativo com geotecido 1
LAG-2	- Leito alternativo com geotecido 2
LAG-3	- Leito alternativo com geotecido 3
LABEAM	- Laboratório de Engenharia Ambiental Prof ^o . Francisco Borsari Neto
LC-1	- Leito convencional 1
LC-2	- Leito convencional 2
LC-3	- Leito convencional 3
O&G	- Óleos e graxas
PACL	- Cloreto de polialumínio
PROSAB	- Programa em Pesquisa de Saneamento Básico
PPP	- Polipropileno Cinza
PVC	- Policloreto de Vinila
RIPLA	- Rede Institucional de Pesquisa em Lodo de Água
SABESP	- Companhia de Saneamento Básico de São Paulo
SANEPAR	- Companhia de Saneamento do Paraná
SANETEC	- Sistema de Inovação Tecnológica da Sanepar
SEEMA	- Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
S. SED	- Sólidos sedimentáveis
SSF	- Sólidos suspensos fixos
SST	- Sólidos suspensos totais
ST	- Sólidos totais
STF	- Sólidos totais fixos
TAS	- Taxa de aplicação superficial
UASB	- Upflow Anaerobic Sludge Blanket
UEL	- Universidade Estadual de Londrina
UEPG	- Universidade Estadual de Ponta Grossa

UFPR - Universidade Estadual do Paraná
UEM - Universidade Estadual de Maringá
UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná
VMP - Valores máximos permissíveis
VOL - Volume de lodo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.2 RELEVÂNCIA DA PESQUISA	19
1.3 OBJETIVOS.....	20
2. REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1 ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA	21
2.1.1 Estação de tratamento de água convencional.....	21
2.1.2 Estação de tratamento de água com floto-filtração	22
2.2 LODO DE ETA.....	24
2.2.1 A problemática dos lodos de ETAs	24
2.2.2 Contextualização sobre pesquisas de lodo de ETA.....	25
2.2.3 Caracterização do lodo de ETA.....	26
2.2.4 Origem e quantificação do lodo de ETA.....	31
2.2.4.1 Lodo dos decantadores.....	32
2.2.4.2 Lodo de floto-filtração.....	33
2.2.4.3 Água de lavagem dos filtros	33
2.2.4.4 Estimativa da produção de lodo de ETA	34
2.3 MÉTODOS DE DESAGUAMENTO DE LODO DE ETA	35
2.3.1 Condicionamento químico do lodo	37
2.3.2 Adensamento de lodo	38
2.3.3 Desidratação do lodo	38
2.3.3.1 Secagem natural.....	39
2.3.3.1.1 Leitos de secagem convencionais.....	39
2.3.3.1.2 Leitos de secagem modificados	43
2.3.3.1.3 <i>Bag's</i>	50
2.3.3.1.4 Outras modalidades de leito de secagem.....	53
2.3.3.1.5 Lagoas de lodo	54
2.3.3.2 Secagem mecanizada.....	54
2.3.3.2.1 Centrífuga	55
2.3.3.2.2 Outras alternativas de desaguamento mecanizado.....	61
2.4 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL PERTINENTE	63
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	66
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	66
3.2 DESCRIÇÃO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA	67
3.2.1 ETA Iguaçú	67
3.2.2. ETA Iraí.....	69
3.2.3. ETA Passaúna.....	71
3.3. INSTALAÇÕES PILOTO	74
3.3.1 Leitos de secagem.....	74
3.3.2 Ensaio de centrifugação	78
3.4. MÉTODOS.....	80
3.4.1 Leitos de secagem.....	80
3.4.1.1 Cálculo da taxa de aplicação de sólidos nos leitos.....	84
3.4.1.2. Dados climatológicos utilizados na avaliação do desaguamentos do lodo através dos leitos de secagem.....	85
3.4.3 Centrífugas	86
3.5 MATERIAIS E MÉTODOS PARA A AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS	89
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	92
4.1 ESTUDO DO DESAGUAMENTO DO LODO ATRAVÉS DE LEITOS DE SECAGEM....	92
4.1.1 Ciclo de desaguamento 1.....	92
4.1.1.1. Caracterização do lodo utilizado no Ciclo 1.....	92

4.1.1.2 Cálculo da taxa de aplicação de sólidos nos leitos (TAS) para o ciclo 1.....	94
4.1.1.3 Monitoramento dos leitos de secagem convencionais durante o ciclo 1.....	94
4.1.1.3.1 Aspecto, caracterização e volume do drenado.....	94
4.1.1.3.2 Altura, teor de sólidos, aspecto do lodo retido e influência de temperatura e umidade no desaguamento.....	100
4.1.1.4. Leito de secagem alternativo com bidim e geotecido.....	105
4.1.2 Ciclo de desaguamento 2.....	106
4.1.2.1 Caracterização do lodo utilizado no Ciclo 2.....	107
4.1.2.2 Cálculo da taxa de aplicação de sólidos (TAS) para o ciclo 2.....	108
4.1.2.3 Monitoramento dos leitos de secagem convencionais durante o ciclo 2.....	109
4.1.2.3.1 Aspecto, caracterização e volume do drenado.....	109
4.1.2.3.2 Altura, teor de sólidos, aspecto do lodo retido e influência de temperatura e umidade no desaguamento.....	114
4.1.2.4 Monitoramento dos leitos de secagem alternativos com bidim.....	119
4.1.2.4.1 Aspecto, caracterização e volume do drenado.....	119
4.1.2.4.1 Altura, teor de sólidos, aspecto do lodo retido e influência de temperatura e umidade no desaguamento.....	123
4.1.2.5 Monitoramento dos leitos de secagem alternativos com geotecido.....	127
4.1.2.5.1 Aspecto, caracterização e volume do drenado.....	127
4.1.2.5.2 Altura, teor de sólidos, aspecto do lodo retido e influência de temperatura e umidade no desaguamento.....	131
4.1.3 Análise global dos ciclos 1 e 2.....	135
4.1.3.1 Condições climáticas.....	135
4.1.3.2 Lodo retido nos leitos.....	136
4.1.3.3 Volume de lodo aplicado, precipitação e porcentagem drenada.....	137
4.1.3.4 Características do drenado.....	138
4.2 ESTUDO DO DESAGUAMENTO DO LODO ATRAVÉS DE CENTRIFUGAÇÃO.....	140
4.2.1 Monitoramento das centrífugas decanter localizadas na ETA Iraí e Passaúna.....	140
4.2.1.1. ETA Iraí.....	140
4.2.1.1.1. Cálculo da Eficiência.....	158
4.2.1.2. ETA Passaúna.....	158
4.2.2. Centrífuga de laboratório.....	175
4.3.2.1. Caracterização do lodo utilizado nos experimentos e condições operacionais do processo de centrifugação.....	176
5 CONCLUSÕES.....	184
6 RECOMENDAÇÕES.....	189
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	191

1 INTRODUÇÃO

As estações de tratamento de água (ETA) são importantes estruturas dos sistemas sanitários, com o objetivo reduzir as impurezas contidas na água para torná-la potável e possibilitar o consumo pelo homem. Para a transformação da água bruta em potável no tratamento convencional, a mesma passa por unidades de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. Para isso são adicionados produtos químicos como: carvão ativado para adsorção de compostos orgânicos, cal hidratada para correção do pH, polímeros e coagulantes (cloreto férrico, sulfato de alumínio, entre outros).

Esse tratamento gera resíduos mais comumente conhecidos como lodo, que representam, tanto do ponto de vista qualitativo quanto quantitativo, um problema para as instituições que gerenciam tais sistemas. Na maioria das vezes, o lodo tem sido lançado diretamente nos cursos d'água. Entretanto, a constante atualização da legislação ambiental e de recursos hídricos do país, a intensificação da ação fiscalizadora dos órgãos ambientais, a crescente degradação dos corpos receptores, em conjunto, têm conduzido ao aumento de ETAs que incorporam o tratamento destes resíduos, ainda que, atualmente, de forma incipiente. A atenção, conhecimento e discussão das implicações quanto “o que fazer com esses resíduos”, ainda é muito recente, permanecendo, de certa forma, o desafio inicial de se conhecer melhor as características dos resíduos de ETAs e das alternativas de manejo, tratamento e disposição final.

Uma solução seria a disposição em aterros, no entanto o custo de disposição e transporte seriam elevados, em função inicialmente do volume gerado. A redução do volume, através da drenagem da água livre, e a secagem tornam-se soluções viáveis e desejáveis.

A desidratação ou remoção de uma parcela de água do lodo tem por objetivo a redução do volume. A remoção da água livre dos sólidos podem ser através de sistemas naturais (leitos de secagem, lagoas de lodo, *bag's*) e sistemas mecânicos (filtro prensa, prensa desaguadora, centrífuga e filtros a vácuo). Devem ser estudadas alternativas para solucionar o problema do lodo em cada ETA. A tecnologia de tratamento e disposição do lodo deve ser compatível com as condições locais, com a disponibilidade de área, localização, existência de mão-de-obra qualificada e principalmente ser técnica e economicamente viável.

1.1 JUSTIFICATIVA

No Brasil, grande parte das ETAs lançam seus resíduos indiscriminadamente nos corpos d'água. A coibição desta prática está evidenciada através de políticas públicas (Política Nacional do Meio Ambiente e de Recursos Hídricos, Política Nacional de Saneamento Básico e Política Nacional de Resíduos Sólidos), órgãos como a ANA (Agência Nacional de Águas) e leis existentes no Brasil, como por exemplo a Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9605/98). Portanto existe a necessidade de adequação dos sistemas de saneamento quanto à destinação adequada dos resíduos produzidos pelas estações.

A dificuldade para as estações se adequarem e dar a destinação correta aos resíduos inicialmente é o grande volume gerado. Os resíduos de ETAs apresentam teores de umidade superiores a 95%, o objetivo do tratamento destes resíduos inicialmente é a redução do volume, haja visto a necessidade de transporte e destinação sem maiores impactos ao meio ambiente.

O estudo de alternativas de redução do volume de lodo produzido nas ETAs é uma questão complexa e que merece destaque. O desaguamento pode ser realizado mediante uso e desenvolvimento de sistemas naturais ou mecânicos. Os processos naturais são utilizados, particularmente, em ETAs de pequeno e médio porte, onde haja áreas disponíveis e condições climáticas favoráveis, caracterizam-se pela facilidade operacional e baixo custo. Já sistemas mecanizados são indicados para estações maiores e sem disponibilidade de área; são sistemas que apresentam custo maior e exigem mão-de-obra qualificada.

Esta redução de volume por meio de sistemas naturais e mecanizados, diminui custos de transporte para a destinação final e outros custos potenciais referentes ao passivo ambiental gerado pelo lodo de ETA como: processos, multas e autuações de órgãos ambientais, entre outros.

Desta forma, as estações devem adequar-se às exigências dos órgãos ambientais, através de sistemas efetivos de tratamento dos resíduos gerados em suas instalações, evitando possíveis impactos no meio ambiente.

1.2 RELEVÂNCIA DA PESQUISA

Este trabalho de estudo da secagem de lodo de ETA, trata-se de um sub-projeto que integra a Rede Institucional de Pesquisa em Lodo de Água (RIPLA) (ANEXO-1), que tem como objetivo pesquisar alternativas de gerenciamento para o lodo gerado no processo de tratamento de água. Esta rede foi proposta e coordenada pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), sendo fomentada com recursos do Sistema de Inovação Tecnológica da Sanepar (SANETEC).

A RIPLA propõe o estudo do tema considerando sua composição básica, processos de minimização, sistemas de secagem, formas de disposição final, usos potenciais como matéria prima e sua gestão estratégica, de tal forma que se estabeleçam diretrizes gerais para uma eficaz gestão do lodo.

Esta rede é integrada pela SANEPAR, Universidade Estadual de Maringá (UEM), Departamento de Agronomia e Departamento de Hidráulica e Saneamento da UFPR, Universidade Estadual de Londrina (UEL), Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) e pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG).

Na rede, o presente estudo colaborou com o estabelecimento de diretrizes para a eficaz gestão do lodo; contribuiu com o estudo de redução do volume do lodo, criando subsídios para o estudo de outras linhas de pesquisa do grupo, como por exemplo, a disposição do lodo de ETA como resíduo (UEL), como matéria-prima (UNIOESTE e UEPG) e no solo (UFPR-Departamento de Agronomia).

Ao considerar a importância da redução do volume e a necessidade da disposição adequada dos rejeitos gerados em estações de tratamento de água, os resultados obtidos neste trabalho contribuíram para o estudo do desaguamento do lodo em leitos de secagem tradicionais, pouco estudados para o desaguamento de lodo de ETA. Colaboraram também no estudo comparativo do desaguamento de lodo em leitos convencionais/tradicionais e alternativos (com bitem e geotecido); na avaliação da aplicação de diferentes taxas de aplicação (TAS) nos leitos, e principalmente TAS maiores que avaliadas por outros pesquisadores. Para a avaliação da aplicação de geotecidos (material utilizado em *bags*) nos leitos alternativos; na avaliação da influência de condições climáticas críticas no

desaguamento do lodo através dos leitos de secagem e na avaliação da qualidade do clarificado obtido nos leitos, com vistas o lançamento em corpos hídricos.

Para o estudo do desaguamento do lodo em centrifugação, este trabalho tem relevância no que se refere ao monitoramento dos processos de centrifugação nas ETAs Iraí e Passaúna, inexistente em ambas estações. Possibilitou a constatação de possíveis problemas (e suas causas) nos sistemas de desidratação do lodo, nos processos das estações e na avaliação da eficiência das centrífugas no que se refere aos teores de sólidos obtidos na torta de lodo.

Quanto ao estudo do desaguamento do lodo em centrífugas de laboratório, este trabalho possibilitou a avaliação dos teores obtidos na torta de lodo ao submetê-lo a diferentes dosagens e rotações; realizar a otimização da dosagem de polímero para a operação em escala real e avaliar a centrifugação do lodo sem utilização de polímeros.

1.3 OBJETIVOS

Define-se portanto como objetivo geral desta dissertação: Estudar a secagem do lodo de ETA's .

Como objetivos específicos têm-se:

- estudar a secagem natural do lodo em leitos de secagem piloto convencionais;
- estudar a secagem natural do lodo em leitos de secagem piloto alternativos;
- estudar a secagem mecanizada do lodo em centrífugas de bancada, com vistas à otimização de dosagem de polímero aplicado em escala real.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O embasamento teórico deste trabalho abordará temas sobre estações de tratamento de água, lodo de ETA e desaguamento de lodo.

2.1 ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Segundo a NBR 12216 (ABNT, 1992), uma estação de tratamento de água, trata-se de um conjunto de unidades que tem como objetivo, produzir uma água com padrões adequados aos de potabilidade. Estes são estabelecidos pela Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde, e devem ser atendidos para tornar a água própria para o consumo humano.

O grau de tratamento e a tecnologia utilizada são função direta da finalidade de uso dessa água, das características da água captada utilizada no tratamento, do número de pessoas a serem abastecidas, dos recursos disponíveis e das facilidades de operação e manutenção. Atualmente qualquer água pode ser tratada e destinada ao consumo humano, essa possibilidade é ilimitada do ponto de vista técnico, porém custos e riscos envolvidos podem ser elevados caso a qualidade da água bruta seja ruim (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

As tecnologias de tratamento podem ser divididas em dois grupos: as que utilizam a coagulação química e as que não utilizam. O tratamento que não utiliza a coagulação pode ser dividido em filtração rápida e filtração lenta. No Brasil, as maiorias das estações de tratamento de água utilizam coagulação química, também chamadas de convencionais ou de ciclo completo, são compostas de unidades de coagulação, decantação, floculação e filtração.

2.1.1 Estação de tratamento de água convencional

A estação de tratamento de água dita convencional é aquela que é composta por todas as etapas de tratamento como coagulação, floculação, decantação e filtração:

- Coagulação: Libânio (2005) cita que a coagulação consiste na desestabilização das partículas coloidais e suspensas realizadas por ações físicas

e químicas, com duração de poucos segundos, entre o coagulante (geralmente sal de alumínio ou ferro), a água e as impurezas presentes. Desta forma, os coagulantes fazem com que as partículas presentes na água se aglutinem. A coagulação da água ocorre na etapa de mistura rápida, que pode ser hidráulica ou mecanizada. Segundo Ribeiro (2007) os coagulantes mais utilizados no tratamento de água são sais, sulfato ou cloreto, que contenha os íons Al^{+3} e Fe^{+3} .

- Floculação: trata-se da formação de flocos a partir da água coagulada através de leve agitação. Libânio (2005) cita que a floculação consiste num processo unitário que envolve processos físicos, no qual o objetivo é diminuir a quantidade de partículas suspensas e coloidais, através do transporte de partículas desestabilizadas e formação de flocos. Esta etapa ocorre em unidades de mistura lenta, com gradientes menores que os adotados na etapa de coagulação;

- Decantação ou sedimentação: refere-se a etapa onde ocorre a sedimentação dos flocos formados na etapa da floculação. Segundo Arboleda (2000) a sedimentação consiste na separação dos sólidos mais densos da água através de uma determinada velocidade de sedimentação que permite que estes sólidos alcancem o fundo do decantador.

- Filtração: consiste na remoção de partículas suspensas e coloidais e microorganismos presentes na água através da passagem desta em um meio poroso (DI BERNARDO e DANTAS, 2005). É o processo final de remoção de impurezas de uma ETA, e de grande importância para a eficácia da desinfecção (LIBÂNIO, 2005).

- Desinfecção: etapa onde ocorre a eliminação final de microorganismos capazes de transmitir doenças através de agentes desinfetantes. No Brasil é feita usualmente com emprego da cloração nas suas diversas modalidades (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

2.1.2 Estação de tratamento de água com floto-filtração

Segundo Garcia (2007), a floto-filtração é indicada para mananciais de serra que possuem problema com a variação de temperatura, grande quantidade de ar dissolvido, alta concentração de cor e baixa turbidez. Para Rees *et al.* (1979) e Zabel (1982) citado por Garcia (2007), esta tecnologia é indicada quando as águas de

abastecimento apresentam as seguintes características: presença de partículas de baixa densidade e elevada quantidade de algas que possuam a tendência natural de flotar; e águas com cor elevada, que submetidas ao tratamento químico, produzem flocos com baixa velocidade de sedimentação. Garcia (2007) menciona ainda, que a tecnologia de floto-filtração, surgiu para solucionar os problemas de sedimentação de partículas de baixa densidade em decantadores de estações convencionais.

Nas estações de tratamento de água com floto-filtração, a água geralmente é coagulada com um sal de alumínio ou ferro através do mecanismo de varredura. Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), nesse tipo de mecanismo, dependendo do pH e da concentração de alguns tipos de íons da água poderá ocorrer a formação de precipitados do coagulante ($\text{Al}(\text{OH})_3$ ou $\text{Fe}(\text{OH})_3$), que acabam por envolver as partículas coloidais. Esse fenômeno ocorre na etapa de mistura rápida (hidráulica ou mecanizada). A coagulação, a floculação, o tipo de coagulante utilizado interferem significativamente na eficiência da remoção dos sólidos. Recomenda-se a utilização de polímeros para que não ocorra a desagregação do manto de sólidos que se forma no topo da unidade (DI BERNARDO *et al.*, 2002).

Na sequência, a água floculada segue para os flotofiltros (flotação na camada superior dos filtros) e o excesso de ar comprimido dissolvido na água de recirculação se desprende na forma de microbolhas, aderindo quase que instantaneamente aos flocos, e formando aglomerados de ar e partícula. Estes passam a ter densidade menor que o líquido, ocorrendo a ascensão dos mesmos no topo da unidade de flotação, dando origem a uma camada de lodo, o qual é periodicamente removido pelos raspadores (SIMÕES *et al.*, 1999).

As bolhas de ar dissolvidos devem ter tamanho pequeno, entre 20 a 100 μm de diâmetro. Desta forma apresentam maior superfície específica para uma mesma quantidade de ar e necessitam deslocar menor quantidade de água da superfície das partículas de onde vão aderir. Com relação à vazão de recirculação para águas superficiais, esta geralmente encontra-se entre 5% à 15% da vazão total de água a ser flotada. A pressão na câmara de saturação fica entre 200 à 500 Kpa e o tempo de contato é geralmente inferior a 5 minutos. No interior da câmara de saturação podem ser utilizados também materiais de plástico que contenham grande superfície específica, aumentando desta forma a dissolução de ar na água de recirculação (DI BERNARDO *et al.*, 2002).

Pádua, Sales e Freire (2001) relatam que o desempenho dos flotores pode ser avaliado comparando-os com os decantadores de estações de tratamento de água convencionais. Como desvantagens da flotação citam-se: a necessidade de mão-de-obra qualificada; a necessidade de cobertura dessas unidades e o maior consumo de energia elétrica. Como vantagens: são unidades compactas; produção de lodo com maior teor de sólidos; redução do consumo de coagulante; redução do tempo de floculação; redução do volume de água descartada junto com o lodo; facilitam o *air stripping* de substâncias voláteis porventura presentes na água e promovem certo grau de oxidação de algumas substâncias, facilitando a remoção de metais solúveis.

2.2 LODO DE ETA

Segundo Richter (2001) o lodo é basicamente produto da coagulação da água bruta, constituído de água e sólidos suspensos contidos na fonte de água, acrescidos de produtos utilizados no tratamento da água. Possui o teor de matéria seca que varia entre 0,004 a 4%, função direta da qualidade da água bruta e do coagulante utilizado.

As duas fontes mais importantes são os lodos de decantadores (ou flotores) e a água de lavagem dos filtros. Floculadores e tanques de preparo de soluções também produzem lodo por ocasião das lavagens periódicas e em volumes não significativos (GRANDIN, 1992).

2.2.1 A problemática dos lodos de ETAs

Desde muito tempo, lodos de ETA têm sido destinados para os corpos hídricos mais próximos, e geralmente na própria água que a estação processa. Entretanto, sabe-se que este lançamento causa diversos impactos no meio ambiente. Estes por sua vez, são função direta das características físicas, químicas e biológicas do lodo e do corpo receptor. A princípio citam-se: aspectos estéticos decorrentes da elevação da cor e turbidez dos mananciais, o que prejudica a utilização e reduz a penetração de luz, diminuindo a atividade fotossintética e a concentração de oxigênio dissolvido, além de assoreamento e aumento da concentração de metais. O aumento da concentração de

metais causam toxicidade aos organismos aquáticos, e podem aumentar a degradação destes ambientes, (CORNWELL *et al.* 1987; SOUZA FILHO, 1998; RICHTER, 2001 e LIBÂNIO, 2005).

Dentro do contexto dos impactos ambientais que o lançamento *in natura* dos lodos de ETAs causam, têm crescido as restrições com relação aos processos que agridam o meio ambiente, assim como a regulamentação sobre a preservação e recuperação da qualidade do mesmo. Desta forma, têm aumentado o número de ETAs que incorporam o tratamento dos resíduos em seus processos.

2.2.2 Contextualização sobre pesquisas de lodo de ETA

No Brasil o primeiro trabalho publicado foi em 1975 por Almeida, sobre utilização de lodo decantado como auxiliar de tratamento e foi publicado no 6º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Em 1977, Cordeiro apresentou no congresso da ABES, o que já havia sido publicado mundialmente sobre o tema, e em 1981, o mesmo autor apresentou sua dissertação onde discutiu sobre caracterização, remoção de água e possíveis utilizações do lodo. Também Cordeiro e Hespanhol (1981) apresentaram resultados dessa pesquisa no XXI Congresso da ABES (BARROSO, 2007).

Em 1987 a Companhia de Saneamento Básico de São Paulo (SABESP) contratou um grupo de estudos na busca de soluções para os lodos das ETAs da Região Metropolitana de São Paulo. O objetivo era buscar alternativas para recuperação de águas de lavagem, tratamento e disposição dos resíduos das ETAs. Foram propostas a utilização de centrífugas, filtro-prensa, filtros de esteiras e lagoas de lodo. Entretanto nenhuma das soluções foi implantada de forma adequada (BARROSO, 2007).

Em 1992, Grandin estudou a remoção de água de lodos com a utilização de filtros-prensas, e, em 1993, Cordeiro apresentou resultados sobre o problema dos lodos gerados em decantadores de ETAs (BARROSO, 2007). A partir da década de 1990 ocorreu um aumento com relação à pesquisa sobre o tema de lodo de ETA. Vale ressaltar, um importante aspecto com relação às mudanças na legislação, avaliação do potencial tóxico, quantificação e caracterização dos resíduos, técnicas de remoção de água e lançamento desses resíduos em rede de coleta de esgoto e em estação de tratamento de esgoto (BARROSO, 2007).

2.2.3 Caracterização do lodo de ETA

As características dos lodos dependem da qualidade da água bruta, do tipo e da dosagem dos produtos químicos utilizados nas estações. No Brasil o manancial geralmente utilizado é o rio, este então, pode apresentar variações sazonais significativas em termos de qualidade da água bruta (REALI *et al.*, 1999).

Os resíduos gerados em ETAs, caracterizam-se por apresentarem grande teor de umidade, maior do que 95%, estando na forma de fluido. Um dos objetivos ao tratar este resíduo é a redução do seu volume para que o mesmo possa ser disposto de forma adequada, diminuindo custos de transporte, disposição final e riscos de poluição (REALI *et al.*, 1999). A Tabela 1 mostra alguns componentes presentes na água bruta e produtos químicos utilizados no processo de tratamento, e a forma que estes aparecem no lodo:

TABELA 1- COMPONENTES DO LODO, PROVENIÊNCIA E FORMAS DE APARÊNCIA

Componentes:	Proveniente de:	Aparece no resíduo como:	Presença de sólidos:
Sólidos dissolvidos	Água bruta	Sólidos dissolvidos	Somente precipitados
Sólidos suspensos	Água bruta	Silte – sem mudança	Sim
Matéria orgânica	Água bruta	Provavelmente sem mudança	Sim
Sais de alumínio	Coagulação química	Hidróxido de alumínio	Sim
Sais de ferro	Coagulação química	Hidróxido de ferro	Sim
Polímeros	Tratamento químico	Sem mudança	Sim
Cal	Tratamento químico e correção de pH	Ou carbonato de cálcio ou, se for usado solução de cal, somente impurezas	Sim
Carvão ativado em pó	Controle de sabor e odor	Carvão ativado em pó	Sim
Cloro, ozônio	Desinfecção	Em solução	Não

FONTE: DOE (1990)

Grandin *et al.* (1993) citam que os resíduos presentes no lodo são orgânicos e inorgânicos provenientes da água bruta, tais como algas, bactérias, vírus, partículas orgânicas em suspensão, colóides, areia, argila, siltes, além de compostos de cálcio, magnésio, ferro, manganês, etc. Jesus *et al.* (2004) relatam que outros metais pesados podem fazer parte dos sedimentos em águas fluviais devido à poluentes arrastados pelo deflúvio superficial urbano ou mesmo por despejos de efluentes industriais nos mananciais que alimentam as estações de tratamento.

Segundo Andreoli *et al.* (2001) as partículas presentes na água a ser tratada são basicamente colóides que conferem à mesma cor e turbidez. Os colóides têm tamanho que variam de 10^{-6} mm a 1 mm. Essa característica dificulta a remoção da água livre dos lodos.

Outro fator que influencia nas características do lodo gerado nas ETAs, é a maneira como os sólidos gerados são removidos do decantador. Os decantadores de limpeza manual acumulam o lodo por longos períodos, chegando há meses na maioria dos casos. A limpeza manual resulta em produção de lodo em batelada. Já os decantadores providos de removedores mecanizados de lodo realizam a operação diariamente (ou em períodos menores). Ao comparar os lodos gerados, no primeiro caso, o teor de sólidos do lodo é maior e o volume total produzido é menor. Em contraposição, no segundo caso, com limpeza mecanizada, o teor de sólidos é menor e, portanto, maior volume total produzido (REALI *et al.*, 1999).

Quanto ao aspecto do lodo, em geral, ETAs que utilizam sulfato de alumínio como coagulante produzem lodo de coloração marrom, com viscosidade e consistências que lembram chocolate líquido (REALI *et al.*, 1999).

Andreoli *et al.* (2001) cita que o lodo de ETA geralmente, apresenta um baixo conteúdo de sólidos, da ordem de 3.000 a 15.000 mg/L. Os sólidos suspensos representam de 75% a 90% dos sólidos totais, enquanto os sólidos voláteis totais representam de 20% a 35%. O lodo é prontamente sedimentável, seu pH varia de 5 a 7, sendo insolúvel na faixa natural de pH da água. O nível de DBO_5 geralmente é da ordem de 30 a 100 mg/L. Uma alta DQO correspondente, de 500 a 10.000 mg/L, mostra que, embora o lodo seja pouco biodegradável, ele é prontamente oxidável.

Weber e Torres (2007) caracterizaram quantitativa e qualitativamente o lodo de dez estações de tratamento de água do Paraná (Tabela 2 e 3). O lodo foi coletado proporcionalmente em decantadores e filtros e procedeu-se a análise dos seguintes parâmetros: pH, sólidos sedimentáveis (S. Sed.), alumínio (Al), ferro (Fe), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), óleos e graxas (O&G) e toxicidade (bactéria luminescente *Vibrio fischeri*, microcrustáceo *Daphnia magna* e algas *Scenedesmus subspicatus*).

Através da pesquisa, os autores concluíram que para os parâmetros de pH, óleos e graxas, DBO e DQO, que estes encontram-se de acordo com os limites estabelecidos pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Sólidos sedimentáveis e Ferro apresentaram valores acima dos estabelecidos e

praticamente todos os parâmetros de toxicidade exigiram alguma taxa de diluição, caracterizando-se como um fator limitante para o lançamento bruto do lodo no corpo d'água.

TABELA 2-RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO DE LODO DE ALGUMAS ETAS DO ESTADO DO PARANÁ

ETA	Coagulante	Desidratação	pH	Sol. Sed. (ml/L)	Alumínio (mg/L)	Ferro (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Óleos e Graxas (mg/L)
CONAMA 357/05	-	-	5,0 a 9,0	1,0	-	15,00	60,0*	150,0*	M:20,0 V.A:50,0
Iguaçu	PAC/Sulfato Líquido	Não	6,7	220,0	204,05	89,72	17,0	51,0	< 5
Saí-Guaçu	PAC	Sim	6,1	400,0	166,071	20,62	< 5	< 5	< 5
Guarapuava	Sulfato Líquido	Não	6,3	260,0	155,95	76,08	< 5	< 5	< 5
Pitangui	PAC/Sulfato Líquido	não Recirculação	6,7	180,0	103,67	15,28	< 5	29,0	< 5
Tibagi	Cloreto Férrico	não/Lagoa	7,2	100,0	45,50	153,00	10,0	270,0	-
Medianeira	Sulfato de alumínio Granulado	Não	7,6	42,0	30,55	60,49	25,0	107,0	2,4**
União da vitória	Sulfato Líquido	Não	6,4	210	233,40	157,70	27,9	76,0	< 0,5
São Mateus	PAC	não	-	-	290,90	104,50	< 5	< 5	< 5
Maringá	Sulfato Líquido	não	6,6	-	62,72	42,81	36	74	0,9
Cascavel	PAC	não	7,6	43	149,70	112,70	140	167	10,9

LEGENDA: * LIMITES ESTABELECIDOS PELA LICENÇA DE OPERAÇÃO, ** ÓLEO VEGETAIS, M - ÓLEOS MINERAIS, V.A - ÓLEOS VEGETAIS E ANIMAIS.

FONTE: WEBER e TORRES (2007)

TABELA 3 - RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO DA TOXICIDADE DO LODO DE ALGUMAS ETAS DO PARANÁ

ETA	Toxicidade Bactéria Luminescente <i>Vibrio Ficheri</i> FTbl	Toxicidade Microcrustáceo <i>Daphnia Magna</i> FTd	Toxicidade Algas <i>Scenedesmus Subspicatus</i> Fta
Iguaçu	8	2	16
Saí-Guaçu	4	1	> 32
Guarapuava	8	2	32
Pitangui	16	2	> 32
Tibagi	8	2	4
Medianeira	2	1	> 64
União da vitória	2	> 8	> 64
São Mateus	2	1	> 64

FONTE: WEBER E TORRES (2007)

A Tabela 3 apresenta um resumo de alguns parâmetros registrados na bibliografia segundo Cordeiro e Campos (1999):

TABELA 4 - PARÂMETROS REGISTRADOS DE LODOS DE ETA

Autor/ano	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	pH	ST (mg/L)	SV (%)	SS (%)
Neubauer (1968)	30-150	500-15000	7-7,6	1100-16000	20-30	-
Sutherland (1969)	100-232	669-1100	7	4300-14000	25	80
Bugg (1970)	380	1162-15800	6,5	4380-28580	20	-
Albrecht (1972)	30-100	500-10000	5-7	3000-15000	20	75
Culp (1974)	40-150	340-5000	7	-	-	-
Nilsen (1974)	100	2300	-	10000	30	-
Cordeiro (1981)	320	5150	6,5	81575	20,7	-
Cetesb (1990)	173-449	1776-3487	6-7,4	6300-21972	15	-
Cordeiro (1993)	-	5600	6,4	30275	26,3	-
Patrizze (1998)	-	-	5,55	6112	19	-

FONTE: CORDEIRO e CAMPOS (1999)

Conforme Reali *et al.* (1999), Richter (2001), Andreoli *et al.* (2001), Jesus *et al.* (2004), o lodo é composto de água e sólidos; dentro deste contexto, a água contida no lodo está presente sob diferentes formas, as quais são função direta do grau de dificuldade de separar estas fases e da tecnologia a ser utilizada no desaguamento.

Vesilind (1994) e Vesilind e Hsu (1997) caracterizaram estas diferentes frações (Figura 1) como: a) Água livre → corresponde a água não associada por partículas sólidas em suspensão, pode ser removida facilmente por gravidade; b) Água intersticial → está adsorvida nos interstícios dos flocos, sendo que uma parte dela está presa no interior do floco. Pode ser liberada se a estrutura do floco for destruída, sendo removida por força mecânica ou pelo uso do floculante; c) Água vicinal → constituída da fração associada às partículas sólidas através de moléculas de água ligadas fisicamente, essa associação ocorre por meio de pontes de hidrogênio. A água vicinal só pode ser removida por condicionamento químico, através do mecanismo de diminuição da área superficial total de partículas sólidas a que ela pode se ligar; d) Água de hidratação → encontra-se quimicamente ligada as partículas sólidas e somente pode ser removida pelo aumento da energia térmica.

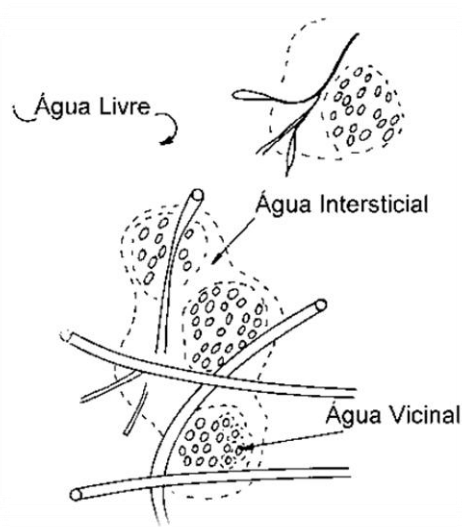


FIGURA 1 - DISTRIBUIÇÃO DAS DIFERENTES FRAÇÕES DE ÁGUA NO FLOCULO DO LODO
 FONTE: VESILIND (1994)

Segundo Reali (1999) as diferentes quantidades presentes de cada fração da água, determinam as características de retenção de água dos resíduos.

Outro parâmetro que está relacionado com o grau de remoção da quantidade de água presente no lodo é a resistência específica à filtração (m/kg), quanto maior este parâmetro mais difícil é a remoção. Os lodos de decantadores geralmente apresentam uma maior resistência do que os lodos oriundos das lavagens dos filtros (REALI, 1999).

Reali (1999) cita também a densidade úmida, a qual é função inversa do teor de umidade do lodo. Para lodos com concentrações menores que 50% em massa a densidade úmida pode ser calculada pela Equação (1) (MCTIGUE *et al.*, 1990):

$$\text{densidade do lodo} = \frac{100}{\frac{\text{teor de sólidos totais (\%)}}{\text{densidade dos sólidos}} + \frac{100 - \text{teor de sólidos totais (\%)}}{\text{densidade da água}}} \quad (1)$$

A densidade pode ser calculada através dessa equação ou assumida como 2500 kg/m³ para lodos que utilizam sais de ferro ou alumínio como coagulante (MCTIGUE *et al.*, 1990).

2.2.4 Origem e quantificação do lodo de ETA

Os resíduos do processo de tratamento da água são gerados nos filtros e decantadores. Ocasionalmente em flocladores e tanques de preparo de soluções, devido lavagens periódicas, são gerados resíduos em volumes não significativos. Estes são mais conhecidos como borra e geralmente não são submetidos ao mesmo tratamento do lodo. A Figura 2 ilustra os principais pontos de geração de lodo em estações de tratamento convencionais.

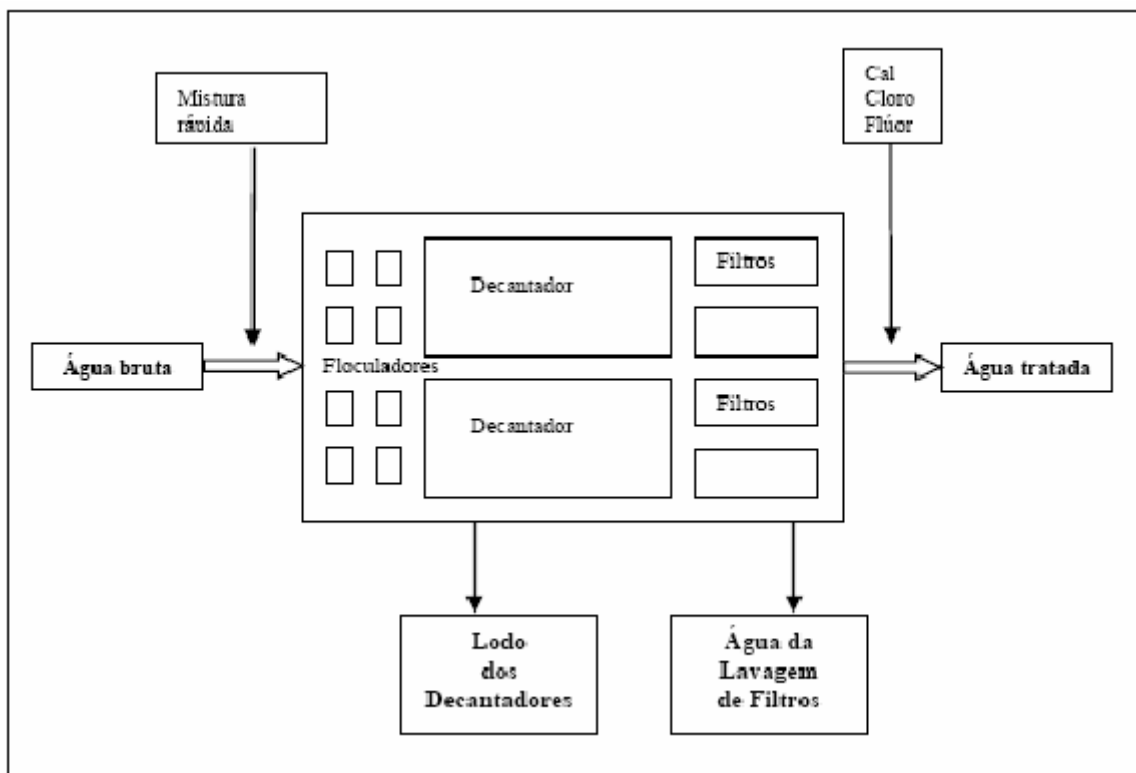


FIGURA 2 – DIAGRAMA DE ETAS CONVENCIONAIS COM A APRESENTAÇÃO DOS PONTOS DE GERAÇÃO DE LODO
 FONTE: RIBEIRO (2007)

Segundo o IBGE (2000) no Brasil são produzidos 41.10^6 m³/dia de água tratada. Do volume total tratado, 1 a 4 % correspondem aos resíduos, ou seja, 613.037 m³/dia de lodo. A maior quantidade de resíduos é proveniente da lavagem dos filtros e, em termos de massa de sólidos, as maiores quantidades são geradas nos decantadores.

2.2.4.1 Lodo dos decantadores

A vazão de lodo gerado nos decantadores, varia de acordo com o sistema de remoção de lodo. Segundo Grandin (1992) a limpeza manual resulta em resíduos mais concentrados que os obtidos pela remoção mecanizada, representando uma parcela muito pequena, cerca de 0,06 a 0,25% do volume de água tratada. Já em decantadores com raspadores mecanizados de lodo a vazão média chega à cerca de 10% da vazão de água tratada.

Sundefeld Jr. (2007) cita que o lodo dos decantadores é produzido devido a acumulação do produto da coagulação e da floculação pela separação dos sólidos do líquido. Em decantadores convencionais, o processo de remoção do lodo pode ser feito periodicamente ou de forma contínua. Quando não é utilizada a forma contínua, a periodicidade gira em torno de 15 dias à 3 meses, sendo então feita a remoção em forma de bateladas. Esta situação dificulta o gerenciamento dos resíduos. No caso de remoção contínua, que se dá mecânica ou hidráulica, é possível obter um maior controle do sistema de tratamento do resíduo, e evita-se a ocorrência de condições anaeróbicas no lodo que ficaria depositado no fundo do decantador.

As características dos lodos gerados nos decantadores com sistemas de remoção em bateladas e de forma contínua são bastante distintas. Lodos descarregados continuamente, apresentam teores de sólidos variando temporalmente da ordem de 0,1 à 2,5% (SUNDEFELD Jr, 2007). Os removidos em bateladas, podem alcançar até 5% de teor de sólidos (REALI, 1999). Os lodos gerados nos decantadores de uma ETA que utiliza sais metálicos (alumínio e ferro) contêm, essencialmente, as substâncias em suspensão na água bruta, como siltes, argilas e substâncias orgânicas, os hidróxidos metálicos, outros precipitados provenientes da coagulação e outros aditivos usados no tratamento tais como polieletrólitos, cal e carvão ativado. Assim como a variação da água bruta devido a sazonalidade, o lodo apresenta um aumento da matéria orgânica e decréscimo do conteúdo mineral no período chuvoso e o inverso na estiagem.

2.2.4.2 Lodo de floto-filtração

O lodo proveniente da floto-filtração já se apresenta espessado, com teor de sólidos na ordem de 3 a 6%, o que dispensa o adensamento para desidratação. Como na floto-filtração a quantidade de coagulante é menor (o tamanho dos flocos são menores e menos densos do que os exigidos pela decantação convencional), conseqüentemente existe uma menor geração de lodo (CAMPOS, REALI e DANIEL, 1999). Pádua, Sales e Freire (2001) afirmam ainda que a tecnologia de floto-filtração possibilita a redução do volume de água descartada junto com o lodo, em relação à porcentagem da vazão total tratada na ETA.

A retirada do lodo acumulado no topo do flotador é realizada de forma contínua ou intermitente, através de raspadores superficiais mecanizados ou por inundação. A remoção por inundação trata-se do aumento do nível de água no interior da unidade de flotação, através do fechamento da canalização de saída da mesma, até que ocorra o extravasamento da água superficial juntamente com o lodo para o interior de canaletas de coleta. Este método não requer equipamentos especiais e minimiza os efeitos da raspagem do lodo sobre a qualidade da água tratada, entretanto implica num maior gasto de água (acima de 2% da vazão afluyente) e o lodo removido apresenta baixa concentração de sólidos (menos de 0,2%). Quanto à remoção de lodo através de raspadores mecanizados, os mais utilizados são os raspadores para a extensão total ou parcial do flotador, e os raspadores de borda. Estes últimos se operados de forma contínua fazem com que a quebra de flocos seja reduzida durante a remoção do lodo e também apresentam menor quantidade de peças móveis que o primeiro (PÁDUA, SALES e FREIRE, 2001).

2.2.4.3 Água de lavagem dos filtros

A lavagem dos filtros é geralmente realizada em intervalos de 12 a 24 horas com altas taxas (fluxo de água) e em curto espaço de tempo, cerca de 4 a 6 minutos. A água de lavagem apresenta turbidez da ordem de 200 uT e concentração de sólidos totais que varia de 0,01 a 0,1%. A concentração de sólidos em suspensão na água de lavagem de filtros varia bastante durante tal procedimento: é

relativamente baixa no início da operação, aumenta depois de 2 a 3 minutos e atinge um valor máximo, em seguida, diminui gradativamente até o fim da operação de lavagem (REALI *et al.*, 1999).

Os resíduos das lavagens dos filtros apresentam concentrações não muito elevadas de sólidos em suspensão totais (SS), geralmente entre 200 e 500 mg/L que variam com o tempo de lavagem dos filtros e representam uma parcela considerável do volume de efluentes líquidos produzidos na ETA (entre 2 a 5% do total da água tratada em uma ETA) (REALI *et al.*, 1999).

Em muitas ETAs, a água de lavagem de filtro tem sido retornada ao início da estação para ser processada novamente. Para isso, emprega-se um tanque de equalização para que a água consumida na lavagem possa retornar ao início da ETA numa taxa menor que 10% da vazão de água bruta (ASADA, 2007). Existem preocupações sobre a recirculação também de microrganismos, agravamento de problemas de gosto e odor, aumento de sub-produtos da desinfecção e outras questões, fazendo com que se reduza o número de ETAs que recirculam diretamente a água da lavagem de filtros para o início da estação (ASCE, AWWA e EPA, 1996) .

No que se refere à caracterização do lodo oriundo dos filtros, a matéria sólida das águas de lavagem é formada por flocos remanescentes da decantação, podendo conter hidróxidos de alumínio e ferro, óxidos de ferro manganês e magnésio, carbonatos de cálcio e ferro, sílica e partícula finas de argila, além disso, matéria orgânica pode estar presente na forma de algas, plânctons, entre outros (SUNDEFELD Jr, 2007)

2.2.4.4 Estimativa da produção de lodo de ETA

Existem diversas formas de se realizar a quantificação do lodo gerado no tratamento de água convencional (ASADA, 2007). Entre elas: a determinação da produção de lodo estimada *in loco* pelo monitoramento dos seus diversos processos e operações unitárias, durante um determinado intervalo de tempo (pelo menos 1 ano) ou por meio de dados de ETAs que possuam características similares; e através de modelos matemáticos empíricos, os quais são desenvolvidos baseando-se nas características da água bruta e na quantidade de coagulante utilizado. As

equações mais difundidas são as modeladas por Cornwell et al (1987). Tais equações foram adaptadas por Ferreira Filho e Alem Sobrinho (1998), assumindo que os residuais de alumínio e ferro sejam desprezíveis na água tratada:

$$PL = k_1 \cdot q \cdot (4,89 \cdot DAI + SS + CAP + OA) \cdot 10^{-3} \quad (2)$$

$$PL = k_1 \cdot q \cdot (2,88 \cdot DFe + SS + CAP + OA) \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

Onde: PL= produção de lodo seco em g/hab/dia, q=coeficiente de consumo *per-capita* em L/hab/dia, k1 =coeficiente da hora de maior consumo, DAI = dosagem de sais de alumínio, expresso como Al em mg/L, DFe = dosagem de sais de ferro, expresso como Fe em mg/L, SS = concentração de sólidos em suspensão totais na água bruta em mg/L, CAP = concentração de carvão ativado em pó em mg/L e OA = outros aditivos em mg/L (sílica ativada, polímeros, entre outros).

Com relação às equações adaptadas, os coeficientes 4,89 e 2,88 presentes foram obtidos partindo-se do pressuposto de que todo o alumínio ou ferro adicionado na água bruta precipita-se como hidróxido metálico e que a cada molécula de $Fe(OH)_3$ ou $Al(OH)_3$ é incorporado cerca de três a quatro moléculas de água.

2.3 MÉTODOS DE DESAGUAMENTO DE LODO DE ETA

Existem diferentes soluções técnicas para o tratamento e disposição do lodo de ETA como: condicionamento, adensamento e desidratação, aterro especial; utilização em solos; compostagem; utilização em pavimentação; fabricação de cimentos; fabricação de cerâmicas; lançamento em sistemas de esgotos entre outras. Muitas destas apresentam altos custos de transporte e de ampliação de instalações. A Figura 3 apresenta um fluxograma típico do desaguamento.

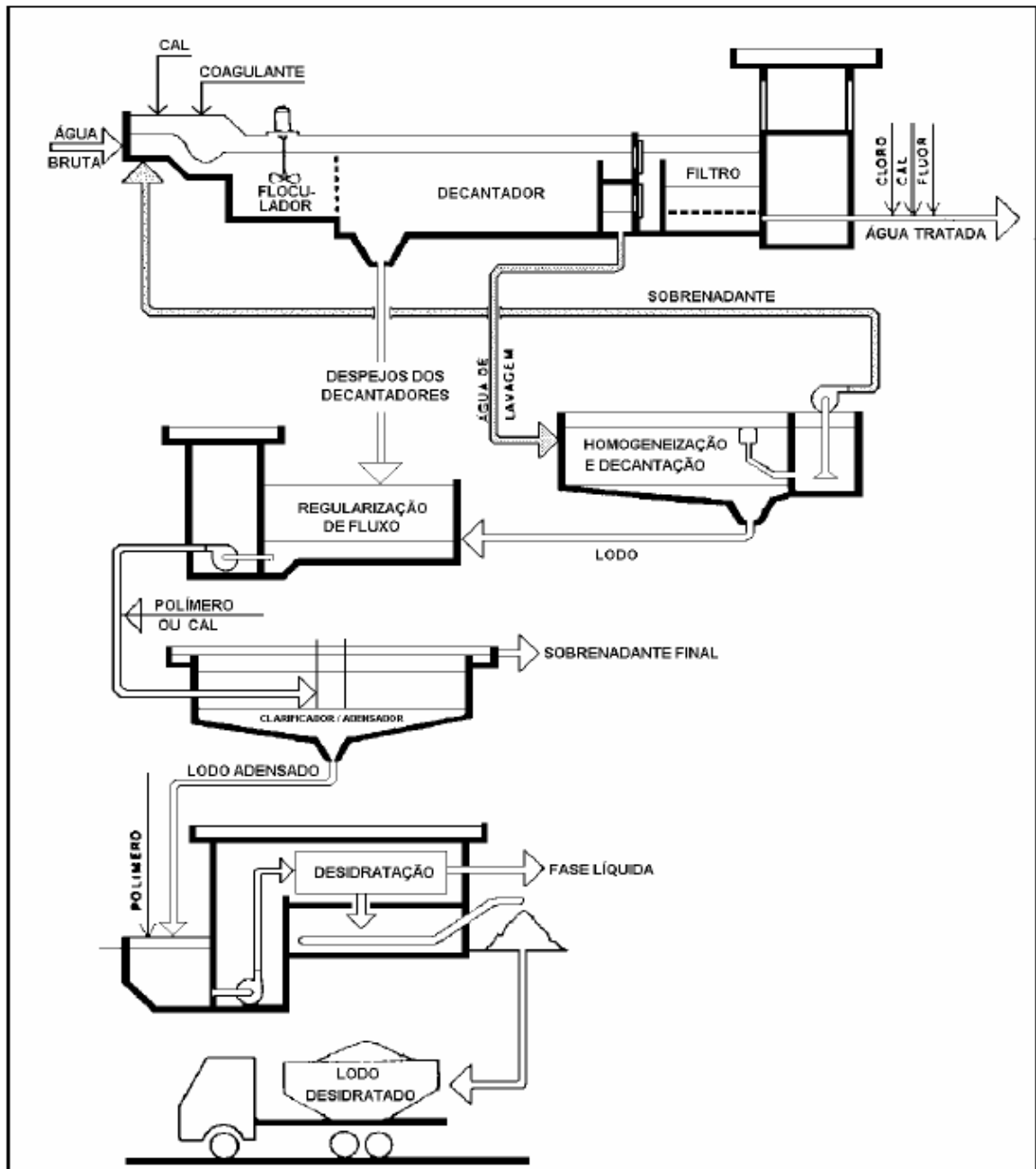


FIGURA 3 - FLUXOGRAMA TÍPICO DE UM SISTEMA DE DESAGUAMENTO DOS DESPEJOS LÍQUIDOS GERADOS EM ETAS

FONTE: SABESP (1987) citado por RIBEIRO (2007)

A maior parte das ETAs do Brasil não possui qualquer sistema de tratamento de lodos. Para atender às necessidades de disposição de lodos e exigências legais cabíveis, cada caso deve ser analisado em particular, devendo as prestadoras de serviços de saneamento incluir, no plano de gerenciamento de resíduos, investimentos que contemplem a implantação de sistemas adequados de tratamento e disposição.

2.3.1 Condicionamento químico do lodo

O condicionamento químico do lodo visa melhorar a desidratabilidade do mesmo e pode ser realizada com diferentes produtos, dependendo do objetivo que se deseja atingir. Exemplos de produtos utilizados são: sais de alumínio ou ferro, cal, polímeros entre outros (LIBÂNIO, 2005).

A desidratabilidade do lodo depende da sua resistência específica à filtração. Quanto menor a resistência específica, mais fácil é a desidratação, desta forma o condicionamento reduz a resistência específica do lodo (DI BERNARDO *et al.*, 2002).

Segundo Guimarães (2007) os polímeros são do tipo naturais (amidos) ou sintéticos, e são classificados: a) Conforme a sua carga elétrica em solução aquosa, podendo ser catiônicos, aniônicos ou não-iônicos; b) De acordo com a sua densidade de carga elétrica, podendo ser baixa, média ou alta e; c) Conforme seu peso molecular, o qual pode ser baixo, médio, alto, muito alto.

No condicionamento químico, os polímeros interagem apenas com a superfície externa dos flocos, sem alterar sua estrutura interna. Ou seja, o condicionamento não interfere na água vicinal e de hidratação, bem como no potencial de desidratação do lodo, no que se refere ao teor de sólidos possível de se obter na torta desidratada (GUIMARÃES, 2007).

Os polímeros aderem às superfícies das partículas, causando a dessorção da água superficial ligada quimicamente a ela, a neutralização da carga e a aglomeração de pequenas partículas, facilitando a desidratação (DI BERNARDO *et al.*, 2002).

O tipo de polímero a ser empregado é função direta do pH. Os polímeros catiônicos são mais eficientes em valores de pH abaixo de 7,0 e os não-iônicos e iônicos funcionam em pH entre 6,5 e 8,5, com pH acima de 8,5 o polímero recomendado seria o aniônico. Para melhorar a eficiência da utilização dos polímeros, emprega-se cal antes da adição dos mesmos (DI BERNARDO *et al.*, 2002). Os polímeros utilizados com mais sucesso na desidratação de lodos são os aniônicos de baixo peso molecular.

2.3.2 Adensamento de lodo

O adensamento é comumente, a primeira operação visando a redução do volume de lodo, antes da desidratação. É uma das operações unitárias mais importantes do processo de tratamento, pois dela dependem as operações posteriores.

Richter (2001) cita que o adensamento pode ser caracterizado como a produção de um lodo mais concentrado que comumente pode ser obtido através da adição de polímeros, na qual o objetivo é a maior remoção de água. Geralmente a concentração de sólidos obtida através do adensamento são valores inferiores a 3%.

Segundo ASCE, AWWA, EPA (1996) o adensamento dos lodos gerados nas ETAs pode ser feito por gravidade, flotação com ar dissolvido ou adensadores mecânicos por tela.

2.3.3 Desidratação do lodo

A desidratação ou remoção de uma parcela de água do lodo tem por objetivo a redução do volume. Segundo Richter (2001) aplicam-se métodos de separação sólido-líquido para remover a água do lodo e diminuir o seu volume, são eles: filtração e separação gravitacional.

A filtração trata-se de uma operação unitária onde a separação sólido-líquido ocorre por meio do fluxo da suspensão, através de um meio ou membrana porosa. Nesse método a fase líquida passa pelo meio ou pela membrana e os sólidos ficam retidos. Já na separação gravitacional os sólidos são submetidos a um campo de força (gravitacional, centrífugo), e desta forma são removidos pela diferença de densidade em relação ao fluido. A sedimentação ou decantação refere-se a separação da água pela gravidade, onde sólidos mais densos que a água sedimentam. Já na centrifugação ocorre uma sedimentação forçada através da força centrífuga. A flotação é o processo reverso da sedimentação, onde as partículas sobem até a superfície devido a sua menor densidade em relação ao fluido.

A remoção da água livre e nos interstícios dos sólidos podem ser através de sistemas naturais: leitos de secagem, lagoas de lodo, *bag's*, entre outros; e sistemas mecânicos: como por exemplo o filtro prensa, prensa desaguadora, centrífuga e

filtros a vácuo. A definição do tipo de sistema a ser utilizado, depende de vários fatores: área necessária para implantação, condições climáticas, custo do equipamento, entre outros. Os processos naturais são utilizados, particularmente, em ETAs de pequeno e médio porte, onde haja áreas disponíveis e condições climáticas favoráveis (LIBÂNIO, 2005).

2.3.3.1 Secagem natural

Nos sistemas naturais de desidratação, a remoção de água é realizada através da evaporação natural, drenagem por gravidade ou drenagem induzida. Os sistemas naturais de desaguamento de lodo mais difundidos são as lagoas e os leitos de secagem. Tais sistemas são indicados geralmente para pequenas estações, geralmente com capacidade até 200 L/s. Os dispositivos de secagem natural apresentam como vantagem a facilidade de operação e como desvantagens, a necessidade de áreas maiores, dependência de condições climáticas e difícil remoção do lodo (LIBÂNIO, 2005).

Barroso (2007) relata que no Brasil a utilização dos sistemas naturais são viáveis devido apresentarem condições como disponibilidade de área, clima favorável, municípios com orçamentos baixos e dificuldade de mão-de-obra especializada.

2.3.3.1.1 Leitos de secagem convencionais

A tecnologia de leitos de secagem é utilizada desde o século XX para a remoção de água de rejeitos de diversos tipos de tratamento de águas residuárias e de abastecimento (BARROSO, 2007). Segundo a WPCF (1983) citado por SAMUDIO (1993), durante os anos 60 e 70, os leitos convencionais eram pouco utilizados por estarem sujeitos à fatores climáticos, entretanto devido ao alto custo de implantação, operação e manutenção dos equipamentos mecânicos para desidratação, os sistemas naturais passaram a ganhar maior atenção dos pesquisadores e engenheiros.

Com relação à evolução da tecnologia dos leitos de secagem, Reali (1999) cita os leitos de secagem a vácuo, leitos de secagem de tela em cunha, leitos

tradicionais e leitos pavimentados. Vandermeiden e Cornwell (1998) *citado por* (BARROSO, 2007) citam os leitos solares, os quais são utilizados no sul e sudoeste dos EUA, em virtude das características climáticas favoráveis a evaporação de parte da água livre no respectivo local.

Os leitos de secagem convencionais utilizados para a desidratação de lodo de ETA são similares aos leitos utilizados para a remoção de água de lodo de esgoto. Estes leitos podem ser dimensionados de acordo com a norma NB 570/1990 (ABNT, 1990), norma que regulamenta os projetos de leito de secagem.

Os mecanismos de desidratação que atuam nos leitos de secagem são a decantação, percolação (drenagem) e evaporação, sendo que durante as primeiras 72 horas, a drenagem é a responsável pela eliminação da maior parte da água (água livre), após esse período, o lodo adquire uma consistência pastosa e a desidratação ocorre devido à evaporação superficial (ANDREOLI, 2001).

- **Operação e composição**

Quanto à operação de um leito de secagem ocorre em dois ciclos, de enchimento e de secagem. O ciclo de enchimento geralmente dura de 15 à 30 dias e o de secagem dura três semanas ou mais, dependendo das condições climáticas e da concentração de sólidos desejada (REALI, 2001).

Os leitos convencionais são tanques rasos, com duas ou três camadas de areia com granulometrias diferentes e cerca de 30 cm de espessura. O sistema completo é composto por camada suporte, meio filtrante e sistema de drenagem conforme a ilustra a Figura 4.

A camada suporte tem por objetivo manter a espessura uniforme do lodo, facilitar a remoção manual e evitar a formação de buracos pela movimentação de funcionários sobre o leito. Possui espessura de 0,3 m, é composto por areia com granulometrias variando de 0,3 a 0,5 mm e apresenta coeficiente de não uniformidade menor que 5,0 (REALI, 1999).

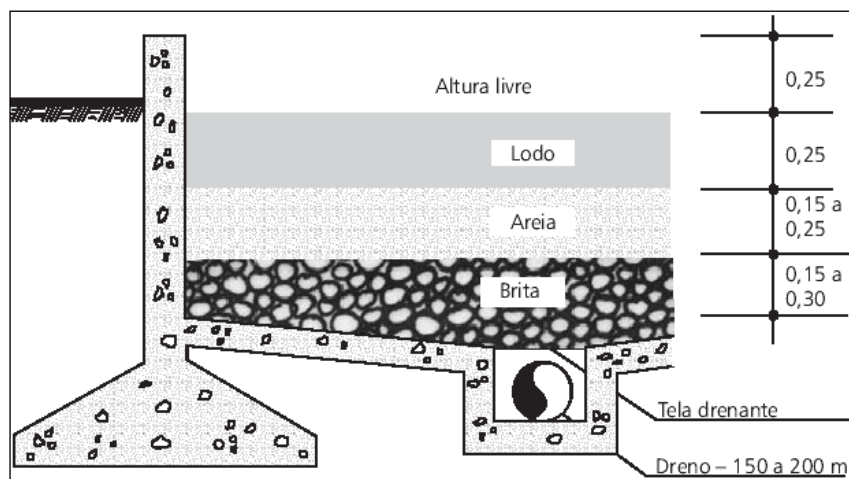


FIGURA 4 - CONSTITUIÇÃO DO LEITO DE SECAGEM CONVENCIONAL
FONTE: REALI (1999)

O meio filtrante é composto por britas graduadas de 1/8" a 1/4", com 0,15 a 0,3 m de espessura. O sistema drenante é constituído por tubos perfurados com 150 ou 200 mm de diâmetro. O lodo é espalhado em camadas de 20 a 30 cm e a próxima camada deve ser lançada somente após a secagem total do lodo. Em geral para lodos adensados com teor de sólidos suspensos totais de 1,5% a 3,0% se obtêm lodo desaguado com teor de sólidos suspensos totais de 15% a 20%. (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Aisse (2000) cita que leitos de secagem em escala real utilizados pela Sanepar reservam uma altura de 50 cm para a disposição do lodo. As principais vantagens e desvantagens relativas à utilização do sistema natural de leito de secagem estão listadas na Tabela 5:

TABELA 5 – DESAGUAMENTO DO LODO: VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE LEITOS DE SECAGEM

Vantagens	Desvantagens
Baixo custo de capital, quando há disponibilidade de terreno	Falta de critérios de projetos racionais para análise econômica correta
Facilidade operacional, dispensando operadores especializados e atenção constante	Necessidade de grandes áreas de terrenos
Baixo consumo de energia	Necessidade de se estabilizar o lodo antes de sua aplicação
Possibilidade de desidratar lodos com características diversas	Grande impacto dos fatores climáticos sobre o projeto
Baixo ou nenhum consumo de produtos químicos	Prejuízo estético para a população vizinha
Alto teor de sólidos na torta seca	Demanda de mão-de-obra intensiva para remoção do lodo seco

FONTE: WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION - WPCF (1983) citado por SAMUDIO (1993)

- **Desempenho e aplicações**

O desempenho de um leito de secagem pode ser afetado por diversos fatores, entre eles: características físico-químicas do material a ser desidratado, espessura da camada aplicada, teor de sólidos, tipo de lodo a ser desidratado, condicionamento do lodo, condições climáticas do meio, características e condições do meio de drenagem, entre outros (REALI, 1999).

Lopes *et al.* (2005) avaliou o desaguamento de lodo de ETA em leitos de secagem convencionais. O lodo proveniente dos decantadores convencionais da ETA Bolonha (Pará) foram dispostos em 2 leitos de secagem convencionais (1 coberto e 1 descoberto) de 1,0 m². A pesquisa foi realizada em duas etapas com duração de 21 dias, sendo na 1^a e 2^a etapas utilizadas lâminas de lodo de 30 cm e 60 cm, respectivamente. Os parâmetros para o monitoramento foram: teor de umidade, teor de sólidos totais fixos e voláteis, carga de sólidos suspensos totais, sólidos sedimentáveis, pH, alcalinidade, massa específica, alumínio, ferro e coliformes totais. Os resultados obtidos no final das duas etapas mostram que o teor de sólidos totais no lodo variou de 17,1 % a 19,3 % nos leitos cobertos e de 28,3 % a 22,4 % nos leitos descobertos.

Machado *et al.* (2006) comparou a desidratação de lodo de ETA em leitos de secagem convencionais e modificados. A pesquisa foi desenvolvida em 3 etapas, utilizando dois leitos pilotos, feitos em tanques de fibra de vidro de 5000 litros, onde variou-se a carga de lodo (30 cm, 60 cm e 90 cm) aplicada sobre os leitos e observou-se o tempo de drenagem da água infiltrada e a espessura final do lodo seco. Foram analisadas também amostras do lodo afluyente, da água infiltrada e do sobrenadante. Através dos resultados percebe-se a alta eficiência dos leitos de secagem na remoção dos diferentes parâmetros analisados, independente do tipo de leito utilizado, Porém, se tratando da qualidade e quantidade do líquido drenado, esta foi ligeiramente superior no leito modificado. Outros parâmetros como DQO, fosfatos, nitrogênio e sólidos apresentaram reduções, mostrando a eficiência dos leitos. Foram encontradas baixas concentrações de metais no líquido drenado nos dois leitos, sendo permitido o lançamento em corpos receptores.

2.3.3.1.2 Leitos de secagem modificados

Os Leitos de secagem modificados ou leitos de drenagem, surgiram a partir do princípio de que o fator fundamental para a remoção da água livre é o tempo de drenagem. Dentro deste contexto Cordeiro (1993, 2000, 2001) estudou outras possibilidades da estrutura tradicional do leito de secagem (Figura 5).

]

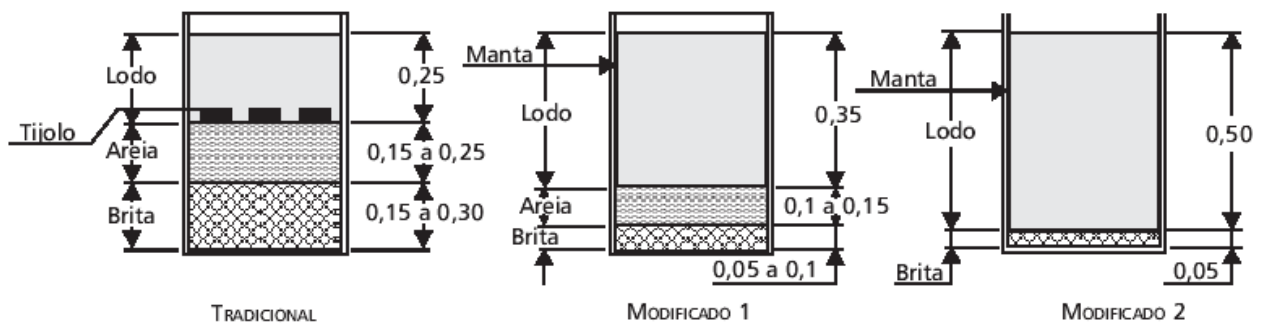


FIGURA 5 - MODIFICAÇÃO DOS LEITOS DE SECAGEM TRADICIONAIS DE PESQUISAS DE CORDEIRO
FONTE: CORDEIRO (2001)

O autor realizou mais de uma modificação, sendo que na primeira (modificado 1) foi colocada a manta geotêxtil (não-tecido) sobre a camada filtrante do leito, ainda utilizando areia grossa e fina como meio filtrante, em espessuras de 10 e 5 cm respectivamente. Nesta primeira modificação os resultados evidenciaram que a remoção de água livre foi maior e que nem a areia nem a espessura da camada filtrante eram decisivas na remoção de água livre. Na seguinte modificação (modificado 2) nas pesquisas do PROSAB 2, tema IV, a areia do leito foi removida, ficando apenas a camada de brita 1, com 5 cm de espessura sobreposta pela manta geotêxtil. Nesta segunda modificação a remoção da água livre foi ainda mais efetiva, pois se diminuiu o tempo de drenagem de água livre.

Além de diminuir o tempo de drenagem, o clarificado apresentou também melhoria na sua qualidade. Esta melhoria no tempo de drenagem fez com que o leito de secagem recebesse a denominação de leito de drenagem.

- **Geotêxteis utilizados nos leitos modificados**

Com relação às mantas utilizadas para a modificação dos leitos, o que diferencia um geotêxtil tecido de um não-tecido é a estrutura da manta, a qual é determinada pela técnica utilizada no processo de combinação das fibras durante a fabricação. Um geotêxtil tecido é fabricado pelo processo de tecelagem, e o arranjo estrutural dos fios é ordenado, havendo um entrelaçamento dos mesmos em duas direções, em geral, ortogonais num ângulo de 90°, ao longo da manta. Já os não-tecidos são obtidos pela deposição das fibras de modo aleatório, sem que se possa distinguir direções preferenciais. Este processo é realizado sobre uma esteira rolante, de modo que a espessura final da manta depende da velocidade da esteira. Ao sair desta, a manta segue para outra esteira onde passa por um determinado processo de ligação das fibras, que pode ser mecânico, químico ou térmico (FREITAS, 2003).

Por apresentar uma estrutura mais complexa, os não-tecidos quando utilizados como filtros atuam como um meio tridimensional e não atuam como uma simples interface, de modo que a espessura passa a ser um parâmetro importante. Um não-tecido mais fino é utilizado quando se deseja uma situação com uma alta permeabilidade, e o de maior espessura é utilizado principalmente quando deseja-se reter o solo (FREITAS, 2003).

Cordeiro (2001) realizou estudos relacionados as especificações das mantas utilizados no leito de drenagem, analisou mantas de densidade desde 150 g/m² até 600 g/m², sendo que a manta geotextil que apresentou os melhores resultados foi a de densidade de 600g/m².

- **Aplicações e desempenho**

Achon e Cordeiro (2003) realizaram estudos baseados nas modificações de Cordeiro (2001) com objetivo de aplicar este sistema em escalas maiores (Figura 6). O trabalho foi realizado na ETA Rio Claro (SP), comparou-se o antigo sistema, lagoas de lodo, com os leitos de drenagem. Nos sistemas de lagoas de lodo, a redução de volume do lodo ocorre através da perda de água intersticial e não da água livre como nos leitos de drenagem. Na lagoa de lodo, é realizada a retirada constante da água sobrenadante através de um cano composto por vários pedaços

de tubo de PVC que são retirados conforme o lodo sedimenta; a água então decantada entra neste cano e é encaminhada até o corpo hídrico. Neste sistema a evaporação não exerce quase nenhuma influência.

Nesta pesquisa os autores trabalharam com alturas de lodo de 40, 30 e 20 cm nos leitos, as reduções de volume obtidas no 9º dia foram de 75, 80 e 85%. Quanto à qualidade do drenado, as amostras coletadas no primeiro dia de monitoramento apresentaram resultados de 81 uC para cor; 2,71 UNT para turbidez, pH entre 7 e 8 e sólidos totais de 60 à 180 mg/L. Com relação ao drenado da lagoa de lodo, este apresentou qualidade ligeiramente mais baixa e quanto à secagem do lodo gira em torno de 2 meses.

Os autores comprovaram o desempenho e aplicabilidade dos Leitos de Drenagem, que são superiores em vários aspectos, a outros sistemas naturais de redução de volume de lodo em ETAs.



FIGURA 6 - LEITO DE DRENAGEM UTILIZADO POR ACHON E CORDEIRO (2003)
FONTE: ACHON E CORDEIRO (2003)

Fontana (2004) construiu um leito de drenagem em escala real na ETA Cardoso (SP), com área de 60 m² e altura de 0,50 m. A manta utilizada era do tipo não-tecido, fornecida pela Maccaferri, com densidade de 600g/m², conforme recomenda Cordeiro (2001) nas pesquisas do PROSAB. A altura de lodo disposta nos leitos foi de 40 cm e 50 cm e a drenagem da água livre ocorreu em 36 horas. Em geral, os estudos obtiveram como resultados, elevado desempenho no desaguamento com redução de 98 % do volume de resíduos. A torta de lodo final apresentou condição para ser retirada, transportada e disposta; e o drenado foi encaminhado ao sedimentador para reúso. O sistema foi projetado para um período de utilização inferior a 30 dias.

Achon, Barroso e Cordeiro (2005) avaliaram o desempenho de Leitões de Drenagem (Figura 7) para o desaguamento de lodos de ETAs de ciclo completo que empregam diferentes coagulantes (sulfato de alumínio e cloreto de polialumínio) e a influência das variáveis climatológicas: precipitação, evaporação, ventilação, temperatura, umidade do ar e insolação. Os pesquisadores comprovaram o desempenho do leito de drenagem para desaguamento, secagem e redução de volume de lodo de ETA, de forma natural, sem consumo de energia ou adição de produtos químicos. Com relação à drenagem da água livre para lodo de PaCl foi de 1 hora e para o de sulfato de alumínio 7 horas. Aos sete dias, foram obtidas reduções da ordem de 87 % e 83 % em volume para os lodos de PaCl e sulfato de alumínio respectivamente. A porcentagem de sólidos totais ao final de sete dias foi de aproximadamente 28% para o lodo de PaCl e 31% para o sulfato de alumínio. Com relação às variáveis climáticas, a precipitação teve influência pontual ou momentânea, sem comprometer o desaguamento. A evaporação, ventilação, temperatura e principalmente a umidade relativa do ar, foram proporcionais às variações do teor de sólidos totais e conseqüente redução de volume, entretanto a insolação não pode ser considerada um fator determinante para secagem.



FIGURA 7 - PROTÓTIPO DESENVOLVIDO POR CORDEIRO (2001)
FONTE: ACHON, BARROSO E CORDEIRO (2008)

Barroso (2007) pesquisou sobre a influência das micro e macro propriedades do lodo de ETA, através de sistemas de desaguamento utilizando sistemas de drenagem. Os ensaios foram realizados com amostras de lodos de sulfato de alumínio e de cloreto de polialumínio (PaCl), foram monitoradas também as variáveis climáticas. Reduções de volume na ordem de 80% e 90 % foram obtidas

para os lodos de PaCl e sulfato de alumínio e teor de sólidos final de 30 à 90 %. O TAS utilizado pelo pesquisador variou de 0,04 à 7,35 kg/m², o tempo de drenagem máximo da água livre foi de 8 horas para lodos de sulfato de alumínio e uma hora para o lodo de PaCl.

Barroso (2007) estudou também a influência de variáveis climáticas (precipitação, umidade relativa do ar, insolação, evaporação, vento e temperatura) na fase de secagem do lodo. Com relação a influência da precipitação, esta não se incorporou a massa de lodo, mas promoveu a elevação da umidade do ar que por sua vez afetou a secagem do lodo e mostrou-se determinante na secagem do lodo. Com relação à evaporação, o autor considera como uma variável utilizada para indicar de forma indireta o fluxo de umidade perdida no lodo. Com relação ao vento, a curva de variação diária assemelhou-se a curva de evaporação, que também acompanhou a curva de variação do teor de sólidos das amostras de lodo desaguado em sua pesquisa.

Achon, Barroso e Cordeiro (2008) avaliaram o desempenho do desaguamento de 2 diferentes lodos em Leitos de Drenagem. As amostras eram provenientes de estações de ciclo completo as quais utilizavam sulfato de alumínio e cloreto de polialumínio (PaCl), como coagulantes. Foram realizados ensaios preliminares e a caracterização das amostras de lodo, após foram aplicados 25 L de cada lodo nos protótipos dos leitos de drenagem e simultaneamente foram monitoradas as variáveis operacionais e de controle do piloto. Como resultados os Leitos de Drenagem mostraram-se alternativas eficientes para desaguamento e redução de volume do lodo de forma natural. Na primeira semana foram detectadas reduções de 87 % em volume para os lodos de PaCl e 83 % para o lodo de sulfato de alumínio e teor de sólidos totais de 28% e 31% respectivamente.

A Figura 8 mostra a variação da vazão de drenagem de água livre para os lodos de PaCl e sulfato de alumínio durante as primeiras 5 horas. Percebe-se através da Figura que o tempo de drenagem para o lodo de PaCl é bem mais rápida que para o de sulfato de alumínio.

Na Figura 9 é possível observar a influência da precipitação na concentração de sólidos totais durante a fase de drenagem. Percebe-se que após a ocorrência da precipitação, houve um aumento na vazão de drenagem, ou seja, a água da chuva não se incorporou a massa de lodo e drenou mais rapidamente.

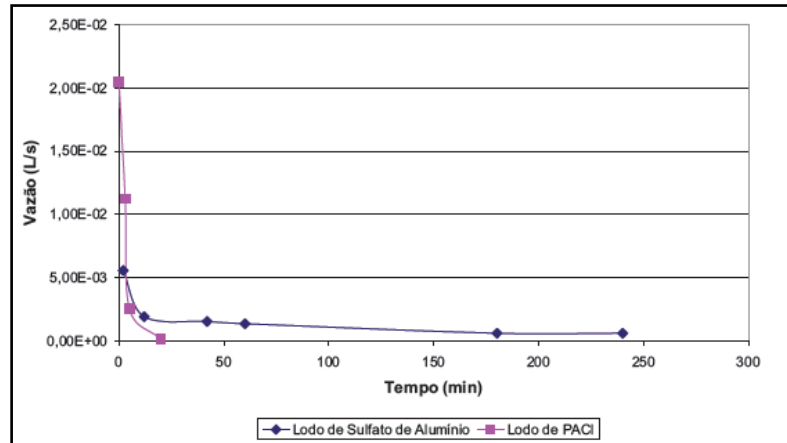


FIGURA 8 - VARIAÇÃO DA VAZÃO DE DRENAGEM DA ÁGUA LIVRE (EM L/S) PARA OS LODOS DE SULFATO DE ALUMÍNIO E PACl DURANTE AS PRIMEIRAS 5 HORAS DURANTE A PESQUISA DE ACHON, BARROSO E CORDEIRO
 FONTE: ACHON, BARROSO E CORDEIRO (2008)

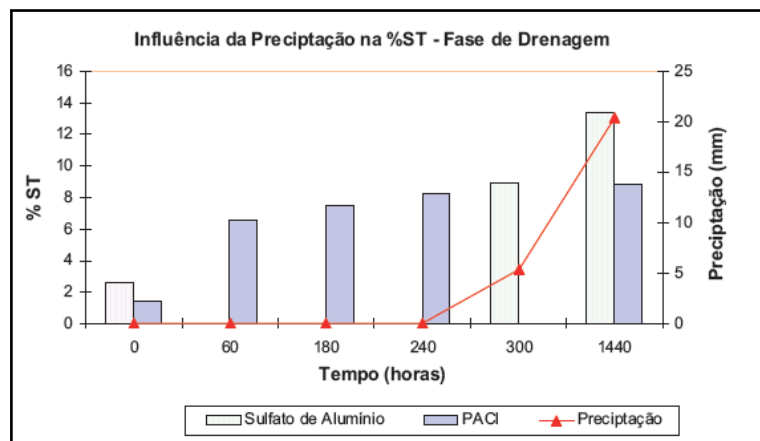


FIGURA 9 - INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NA VAZÃO DE DRENAGEM DA ÁGUA LIVRE (EM L/S) PARA OS LODOS DE SULFATO DE ALUMÍNIO E PACl DURANTE 24 HORAS
 FONTE: ACHON, BARROSO E CORDEIRO (2008)

As Figuras 10 e 11 ilustram o aspecto dos lodos de PaCl e sulfato de alumínio, após 24 horas e após 7 dias. Nota-se uma grande diferença nas quantidades de água, entre os dois lodos, em um curto período de tempo. A porcentagem de sólidos totais obtida após 24 horas foi de 9% para o PaCl e 13% para o sulfato de alumínio. Aos 7 dias de aplicação nota-se a considerável redução do volume para os dois tipos de lodos. A porcentagem de sólidos totais obtida em sete dias foi de 28% para o PaCl e 31% para o sulfato de alumínio.

A Tabela 6 apresenta as características físico-químicas da água drenada nos dois protótipos, através dos baixos valores de cor e turbidez percebe-se a possível reutilização da água drenada para os dois tipos de lodos.



FIGURA 10 - LEITOS DE DRENAGEM APÓS 1 DIA DE APLICAÇÃO DOS LODOS
 FONTE: ACHON, BARROSO E CORDEIRO (2008)



FIGURA 11 - LEITOS DE DRENAGEM APÓS 7 DIAS DE APLICAÇÃO DOS LODOS
 FONTE: ACHON, BARROSO E CORDEIRO (2008)

TABELA 6 – LEITOS DE DRENAGEM: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA DRENADA NOS DOIS PROTÓTIPOS

Tempo (min)	Cor		Turbidez		Ph	
	Sulfato de Alumínio	PaCl	Sulfato de alumínio	PaCl	Sulfato de alumínio	PaCl
0	984	118	135	29,3	6,4	6,6
5	608	3	69	1,8	6,3	6,3
60	57	4	4,8	1,1	7	6,8

FONTE: ACHON, BARROSO E CORDEIRO (2008)

Silva e Silva (2008) em pesquisa, utilizaram um piloto retangular construído em alvenaria, com duas células, preenchidas com brita nº. 3 e recobertas com mantas geotêxteis de 100 g/m² e 200 g/m². Os leitos foram carregados com 30 cm de lodo e o efluente drenado foi coletado através de uma caixa de fibra de vidro com capacidade de 500 L. Os sistema apresentou uma eficiência média de remoção de 98% de ST, 96,5% de DBO, e 99% de DQO e 99% de coliforme fecais de 99%.

Cordeiro (2001) propõe que em escala real o leito de drenagem seja constituído de uma laje de fundo em concreto magro com inclinação de 2% a 3% e as paredes laterais sejam de alvenaria com 60 cm de altura. Sobre a laje o autor sugere que se aplique uma camada suporte de brita e sobre ela a manta geotêxtil. O drenado pode ser coletado através de tubulações de PVC e posteriormente encaminhado para recipientes coletores.

Alguns fatores importantes que devem ser considerados são (CORDEIRO, 2001): definição da área de implantação; transporte do lodo até os leitos de secagem; custos de projeto, operação e manutenção; modo de operação do sistema (retirada do lodo das mantas e limpeza das mesmas).

As mantas podem ser lavadas com hidrojateamento, por meio de máquinas domésticas e depois retornadas para o leito. Fontana (2004) realizou ensaios com leitos de drenagem e utilizou cinco vezes a mesma manta, demonstrou que não havia necessidade de troca, pois o material apresentou baixa colmatação.

Quanto ao drenado pode ser previsto o reúso e recirculação, fator que viabiliza uma alternativa sustentável do ponto de vista técnico, econômico e ambiental. Os resíduos podem ser destinados adequadamente em um aterro ou incorporados como agregados para a fabricação de elementos na construção civil (FONTANA, 2004).

2.3.3.1.3 *Bag's*

Também denominados de geotubes (Figura 12) são bastante utilizados na Europa e Estados Unidos. O sistema consiste do acondicionamento do lodo em containers ou bolsas fabricadas de material geotêxtil. O tecido apresenta pequenos poros que permitem a drenagem da água e a retenção dos sólidos. Sua utilização ocorre com o enchimento dos *bag's* e a desidratação através da drenagem, e mesmo após a drenagem, a secagem continua levando em consideração que o tecido permite a passagem do vapor de água (LIBÂNIO, 2005).



FIGURA 12 - EXEMPLOS DE GEOTUBES OU BAG'S
FONTE: PIEPER (2006) E GIORDANI & MISTURINI (2009)

O desaguamento através de tubos de geotêxtil permite reduzir o teor de umidade do material a ser desidratado e também pode reter contaminantes eventualmente presentes, mostrando, em alguns casos, um melhor desempenho em relação a técnicas convencionais (CASTRO, 2005).

Segundo Martins e Vidal (2006) a utilização de tubos e bolsas de geotêxteis começou durante os anos 70, e a priori foi empregada com propósito estrutural em obras costeiras. Em 1980, os *bag's* ou tubos passaram a ser utilizados também para o desaguamento, drenagem de escoamento superficial, controle de erosão e contenção de materiais contaminados ou não.

Giordani & Misturini (2009) citam que a tecnologia de *bag's* têm sido amplamente utilizada internacionalmente para o deságüe de lodo de ETA e Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), bem como de sedimentos contaminados de forma geral, e recentemente vem sendo utilizada no Brasil como alternativa para o deságüe dos lodos do saneamento.

- **Tecido e confecção**

Os materiais utilizados para produzir os *bag's*, bem como os utilizados nos leito de secagem modificados são filtros sintéticos, permeáveis e flexíveis. O material é produzido a partir de fibras sintéticas e caracterizam-se como sendo produtos manufaturados, a partir de diferentes polímeros e de diversas formas de fabricação. Ou seja, para a constituição das mantas geotêxteis, são acrescentados aditivos para melhorar as propriedades do produto final ou facilitar processos e operações de transformação, podendo exercer papel de lubrificantes, estabilizantes e plastificantes (FREITAS, 2003).

Os polímeros mais utilizados na fabricação de geotêxteis são os do grupo de termoplásticos, capaz de sofrer amolecimento ou endurecimento, sob ação da variação de temperatura, sem que haja comprometimento do material. Nesse grupo destacam-se o polietileno, poliamida (nylon), o poliéster e o polipropileno. Desta forma, as propriedades dos geotêxteis dependem das propriedades gerais dos polímeros usados e do método de fabricação. A Tabela 7 apresenta a comparação geral entre propriedades gerais dos polímeros.

TABELA 7 - COMPARAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES GERAIS DAS PRINCIPAIS FAMÍLIAS DE POLÍMEROS

PROPRIEDADES:	Polímero			
	Poliéster	Poliamida	Polipropileno	Poliétileno
Resistência	A	M	B	B
Módulo de deformação	A	M	B	B
Deformação na ruptura	M	M	A	A
Fluência	B	M	A	A
Peso específico	A	M	B	B
Custo	A	M	B	B
RESISTÊNCIA A:				
Raio U.V. estabilizado	A	M	A	A
Raio U.V. não estabilizado	A	M	M	B
Alcalis	B	A	A	A
Fungos, vermes, insetos	M	M	M	A
Óleos	M	M	B	B
Detergentes	A	A	A	A

LEGENDA: A = ALTO (A), M = MÉDIO (A), B = BAIXO (A).
 FONTE: FREITAS (2003)

• Torta de filtração

Quando um material lodoso é submetido a um processo de filtração, através de um geotextido, no início ocorre o escape de partículas sólidas juntamente com o drenado, que após um período se torna mais limpo. Isto ocorre devido à colmatação física ou biológica que ocorre no geotextil chamada de “*Filter Cake*” ou torta de filtração, que aumenta filtração e diminui a permeabilidade. A torta de filtração (Figura 13) é uma película que se forma na interface do geotêxtil com o material que está sendo desaguado. Esta película dificulta a passagem do fluido que está no interior do tubo através do geotêxtil (Leshchinsky,1992 e Gaffney *et al.*,1999).

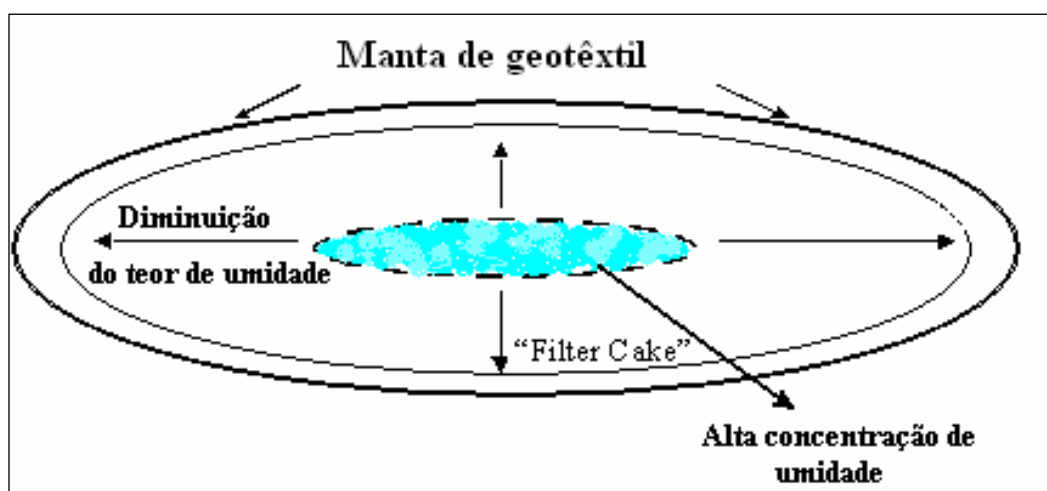


FIGURA 13 - FORMAÇÃO DO TORTA DE FILTRAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DA UMIDADE
 FONTE: CASTRO (2005)

A formação da torta de filtração dificulta a saída do drenado e retém um alto teor de umidade no interior dos tubos de geotêxtil, isso ocorre devido ao fato de que no início a concentração de SST é alta e diminui significativamente quando se forma a torta (CASTRO, 2005). Essa concentração do teor de umidade no centro pode exigir a necessidade da abertura dos tubos para que através de evaporação ocorra a diminuição do teor de umidade.

Ainda se tratando da colmatação, vale ressaltar da importância de se utilizar aditivos (polímeros, floculantes), estas substâncias formam agregados com o material a ser desaguado. Desta forma aumentam a eficiência do desaguamento e também diminuem o risco de colmatação do geotêxtil por partículas finas (comumente encontradas em materiais lodosos).

2.3.3.1.4 Outras modalidades de leito de secagem

Segundo Samudio (1993) tratam-se de outras modalidades de leito de secagem, com o objetivo de diminuir o tempo de secagem em leitos convencionais. Podem-se citar os leitos de secagem pavimentados, leitos de secagem com tela em cunha e leitos de secagem auxiliados com vácuo.

Os leitos de secagem pavimentados possuem a característica de revestimento impermeável, construído em concreto magro, asfalto, ou argila compactada, que são apoiados sobre uma base de areia ou brita. Um espaço é deixado entre o revestimento e a parede para a drenagem do clarificado.

Nos leitos com tela em cunha, o lodo é alimentado lateralmente sobre um sistema de drenagem relativamente aberto, que produz uma taxa de drenagem razoável e um filtrado limpo. O sistema consiste de um tanque retangular raso e impermeável, que tem fundo falso, formado por um septo de tela em cunha com ranhuras de 0,3 mm. O fundo falso é vedado com calafetagem e uma válvula de descarga controla a taxa de drenagem.

Com relação aos leitos de secagem auxiliados com vácuo, estes são formados por: laje de concreto no fundo, camada de brita, membrana filtrante apoiada sobre a brita, paredes retentoras e divisórias, sistema de tubulações e comportas de alimentação, bombas de vácuo e de remoção do filtrado, sistema de

dosagem de polieletrólitos e fontes de água limpa. Quando a superfície filtrante é coberta pelo lodo, o vácuo é acionado.

2.3.3.1.5 Lagoas de lodo

As lagoas de lodo são os sistemas mais antigos utilizados para o tratamento de lodo de ETA, podem ser utilizadas para armazenamento, adensamento, desaguamento, ou secagem, e em alguns casos destinada para a disposição final de resíduos sólidos (DI BERNARDO *et al.*, 2002).

Segundo Libânio (2005) as lagoas de secagem podem ser de dois tipos: naturais ou artificiais. A desidratação ocorre por drenagem e principalmente por evaporação. As lagoas de lodo são 3 à 4 vezes mais profundas (de 1,20 à 1,80m) que os leitos de secagem, pois no dimensionamento considera-se um período de carga de um ano. Desta forma, o número de cargas e o tempo de secagem é maior, e em consequência o número de limpezas por ano é menor (RICHTER, 2001).

O bom desempenho das lagoas depende do clima, a precipitação atmosférica e as baixas temperaturas atrapalham a desidratação (SAMUDIO, 1993). Em regiões com alta incidência solar não se verifica efluente da lagoa, mesmo após 10 anos de funcionamento. Isto se deve ao fato de que a quantidade de líquido evaporado supera o volume diário de lodo disposto na lagoa (DI BERNARDO *et al.*, 2002).

2.3.3.2 Secagem mecanizada

Alternativamente aos sistemas naturais de desaguamento de lodo de ETA têm-se os sistemas mecânicos. Estes geralmente são indicados para estações com menor disponibilidade de área e que se tem o objetivo de atingir uma maior concentração de sólidos na torta (LIBÂNIO, 2005).

As tecnologias mecânicas para o desaguamento utilizam a combinação de dois princípios: a sedimentação em campo de força centrífuga ou gravitacional e a filtração (LIBÂNIO, 2005). A separação por sedimentação, ocorre quando os sólidos são mais densos que o líquido e a filtração quando os sólidos são grandes o suficiente para serem retidos num meio ou superfície filtrante (RICHTER, 2001).

Usualmente se utilizam polímeros para aumentar a eficiência do desaguamento, de modo que se aumente o peso e o tamanho dos sólidos presentes no resíduo (LIBÂNIO, 2005; RICHTER, 2001). Os polieletrólitos com carga moderada geralmente são melhores que aqueles altamente carregados ou não iônicos (RICHTER, 2001).

Entre os processos mecânicos podem ser mencionados: centrífugas, filtros a vácuo, filtros prensa de placas, filtros prensas de esteiras, entre outros. A seleção de qualquer método é função direta da quantidade, do tipo e teor de sólidos no lodo produzido e a forma de disposição final

2.3.3.2.1 Centrífuga

A desidratação de lodos por meio de centrífugas ocorre através de um processo no quais são aplicadas forças centrífugas ao lodo, para acelerar a separação das fases líquidas e sólidas. A separação da fase sólida e líquida é realizada através de duas operações distintas, a clarificação e a compactação. Durante a clarificação, a fase líquida dos sólidos é removida e na compactação, a água capilar e a intersticial são retiradas da massa do lodo (WPCF, 1983 *citado por* SAMUDIO, 1993).

A centrífuga tem sido adotada em muitas ETAs, geralmente o lodo adensado (ou flotado), é conduzido para um tanque de armazenamento, o qual contém um misturador submersível ou um agitador do tipo turbina, deste tanque o lodo é bombeado através de bombas de deslocamento positivo para a câmara da centrífuga, onde recebe uma solução de polímero na tubulação de recalque. Em geral, a quantidade de polímero utilizada varia entre 2 e 5 g/kg de SST quando as centrífugas funcionam entre 10 e 16 horas por dia (DI BERNARDO *et al.*, 2002).

Entre os diversos tipos de centrífugas Reali (1999) cita as centrífugas que possuem o tambor perfurado e as que não possuem o tambor perfurado. As que não possuem o tambor perfurado podem ser classificadas como: centrífugas de disco com eixo vertical; centrífugas de tambor de eixo vertical e centrífugas decantadoras de eixo horizontal. A diferença entre as centrífugas é o método com que os sólidos são coletados e descarregados do tambor.

- **Centrífugas decantadoras**

Para o tratamento de lodo de ETA as centrífugas mais utilizadas são as centrífugas decantadoras de eixo horizontal, também chamadas de decanters centrífugos. São compostas por um tambor cilíndrico de eixo horizontal com uma secção cônica convergente em uma extremidade, que gira em torno do seu eixo de 3000 à 4000 rpm. Existe também a presença de um transportador parafuso no interior do tambor, este gira a uma velocidade diferente do tambor, raspando o lodo centrifugado para fora da centrífuga (RICHTER, 2001).

Nos decanters centrífugos o lodo é alimentado através de um tubo concêntrico perto da secção cônica da centrífuga. O ponto de alimentação mais próximo do cone aumenta o tempo de detenção do líquido na câmara de separação favorecendo a clarificação do líquido e prejudicando a desidratação do lodo. E no ponto de alimentação mais afastado do cone ocorre o favorecimento da desidratação. A partir do tubo de alimentação o lodo passa para a câmara de separação, onde a força centrífuga faz com que a superfície líquida se torne uma anel junto a parede do tambor girante. Os sólidos depositados na parede são transportados pela rosca sem fim para a secção cônica sendo removidos na câmara de separação, a partir de onde são conduzidos para caçambas. O líquido clarificado é drenado para outra extremidade, sendo coletado na parte inferior do equipamento. Durante o transporte do lodo pela secção cônica até a sua descarga, o líquido continua a ser gradativamente drenado, aumentando a concentração de sólidos na torta final do lodo (RICHTER, 2001).

Segundo Richter (2001) um fator importante a ser considerado nas centrífugas é a velocidade diferencial, também conhecida como velocidade relativa, se caracteriza como a velocidade entre a rosca sem fim e o tambor rotativo e tem valores variando entre 2 à 20 rpm. A eficiência na separação sólido-líquido é função dessa velocidade, sendo que velocidades mais baixas produzem uma torta mais seca, conseqüentemente acumulando mais sólidos no cone; e velocidades mais altas tendem a produzir turbulência e prejudicam a clarificação do efluente líquido.

As capacidades hidráulicas dos decantadores centrífugos são fixadas geralmente em função do diâmetro do tambor conforme a Tabela 8 (RICHTER, 2001).

Vale ressaltar que a capacidade efetiva das centrífugas depende das características do lodo a ser desaguado e da concentração desejada na torta e do clarificado; essa capacidade efetiva geralmente encontra-se entre 40 à 70% da capacidade hidráulica (LIBÂNIO, 2002).

TABELA 8 - CAPACIDADE HIDRÁULICA DE CENTRÍFUGAS

Diâmetro do tambor (mm)	Vazão (m ³ /h)
300-350	5-12
400-500	12-30
500-700	25-40
900-1000	50-100

FONTE: RICHTER (2001)

A Figura 14 apresenta uma centrífuga da Pieralisi:

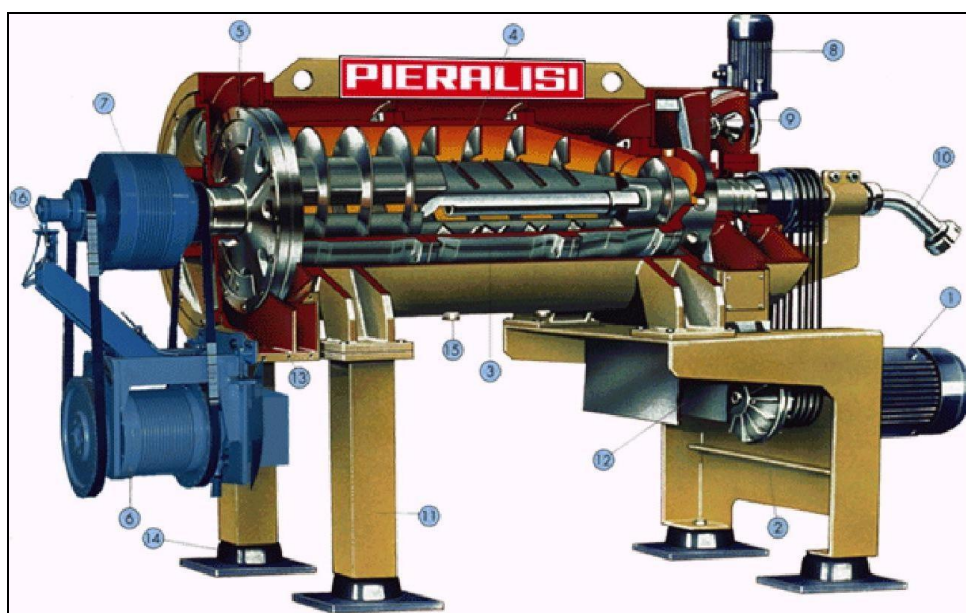


FIGURA 14 - DECANter CENTRÍFUGO MODELO FP600 DA PIERALISI

LEGENDA: 1 - Motor principal; 2 - Acoplamento hidráulico; 3 - Tambor; 4 - Rosca; 5 - Cabeçotes de descarga de líquidos; 6 - Transmissão por polias; 7 - Redutor tipo planetário; 8 - Motor do raspador de sólidos; 9 - Câmara do raspador de sólidos; 10 - Tubo de alimentação ajustável; 11 - Suportes; 12 - Descarga de sólidos; 13 - Descarga de líquidos; 14 - Amortecedores de vibração; 15 - Drenos para limpeza; 16 - Dispositivo de lavagem do produto desidratado.

FONTE: PIERALISI (2009b)

- **Fator G***

As centrífugas utilizam o mesmo princípio básico da sedimentação, com o diferencial que aceleram o processo. No caso da sedimentação é a força da gravidade que implica na sedimentação e na centrifugação é a aceleração radial,

entretanto a força centrífuga gerada é na ordem de 500 à 4000 vezes superior a força gravitacional (RICHTER, 2001).

Reali *et al.* (1999) demonstram o fator G^* como:

$$G^* = \frac{a_c}{g} = (2\pi f)^2 \frac{r}{g} = 4,024 f^2 r \quad (4)$$

Onde r é o raio de giro da centrífuga em m (no caso de centrífugas de laboratório, medido a partir do centro do equipamento até a região onde estarão depositadas as cubetas contendo amostras de lodo); f a frequência de rotações aplicadas na centrífuga em “rotações por segundo” (rps) e g a aceleração da gravidade.

Aumentando a velocidade de rotação é possível se obter uma maior concentração final de sólidos na torta e um clarificado de melhor qualidade, porém o custo com a energia aumenta e os equipamentos passam a ter tamanhos relativamente maiores, aumentando o custo e inviabilizando maiores rotações.

- **Utilização e desempenho**

A utilização de centrífugas para o desaguamento de lodo começou a ser utilizada em 1969 nos EUA. Alguns trabalhos foram publicados na época relatando a centrifugação de lodo de ETA, porém os resultados não eram conclusivos e nem satisfatórios, os pesquisadores apresentaram valores de teor de sólidos na torta de 6 à 18%, os quais não eram viáveis considerando os aspectos econômicos (REALI, 1999).

Já na década de 70 e 80, passaram a ser realizadas pesquisas utilizando polímeros, onde passaram a obter valores de 16 à 28% de teor de sólidos e até 35% quando se tinha uma água bruta com elevada turbidez. Nas duas últimas décadas, as pesquisas passaram a ser realizadas com centrífugas decantadoras de eixo horizontal (REALI, 1999).

Barbosa (1997) estudou uma centrífuga em escala real com lodo oriundo de adensamento da água de lavagem dos filtros. A estação utilizava sulfato de alumínio com coagulante, e era efetuada a adição de polímeros no adensamento (aniônico de baixa carga na concentração de 2 e 11 mg/L) e na desidratação (aniônico de alta carga na concentração de 2 g/kg de sólidos secos). Saindo dos adensadores, o lodo

apresentava concentração de 2,5 à 3% e na centrífuga foram obtidos resultados satisfatórios de 25 à 30%. Vale ressaltar que a água bruta apresentava baixa concentração de matéria orgânica.

Schofield (1997) cita que o lodo centrifugado proveniente de estações com FAD não atinge valores de 17%. O autor cita que o motivo pode ser a possibilidade de lodos flotados reterem parte das microbolhas da flotação, o que gera uma estrutura difícil de estabilizar e dificulta a desidratação. Outro fator também é a influência da presença de algas na água bruta, o que aumenta a concentração de matéria orgânica no lodo e dificulta a desidratação.

Patrizzi (1998) estudou a centrifugação de lodo de uma ETA de ciclo completo de São Carlos, que utiliza sulfato de alumínio como coagulante. Foi obtido a dosagem ótima de polímero catiônico de 3,6 g/kg SST, e o valor de G^* que apresentou a maior concentração de sólidos foi o máximo investigado ($G^* = 1861$) e o melhor tempo foi o de 60 minutos.

Realí (1999) durante pesquisas do PROSAB 1, avaliou a otimização da dosagem de polímero catiônico de alto peso molecular, utilizado na centrifugação de lodo proveniente de uma ETA que utilizava sulfato de alumínio como coagulante. A amostra de lodo bruto apresentou um teor de sólidos de 0,6% antes da centrifugação, com espessamento por flotação apresentou concentração 6% de SST após a aplicação de 4,5 g de polímero/kg de SST. Após espessamento por flotação, foram realizados ensaios de bancada com centrífuga de tubos, variando a dosagem do polímero (0,9 à 5,3 kg de polímero catiônico/kg de SST), rotações da centrífuga (1500 rpm = G^* de 465, 2250 rpm = G^* de 1047 e 300 rpm = G^* de 1861) e tempo de centrifugação (100 minutos com intervalos de 10 em 10).

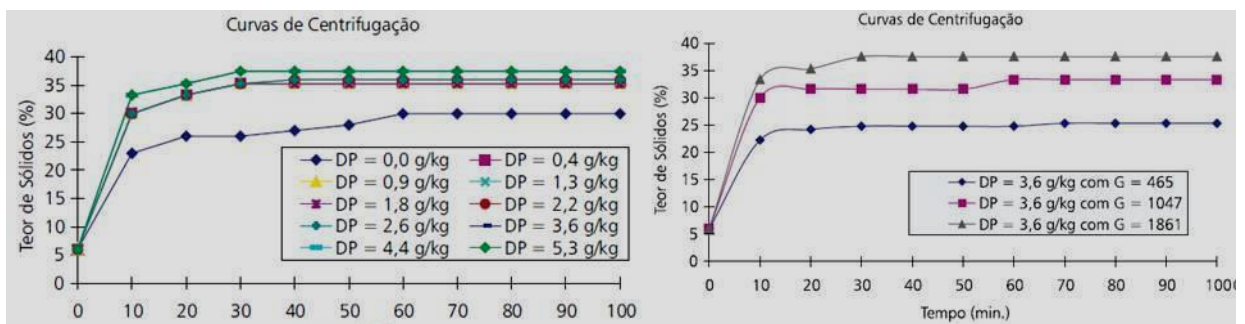


FIGURA 15 - CURVAS DE CENTRIFUGAÇÃO OBTIDAS POR REALI EM PESQUISA DE OTIMIZAÇÃO DE DOSAGEM DE POLÍMERO

a) Curvas de Centrifugação associadas a diferentes valores de dosagens do polímero catiônico referentes a ensaio realizado com rotação de 3000 rpm ($G^*=1861$)

b) Curvas de Centrifugação obtidas em ensaios com diferentes rotações, com dosagem de polímero catiônico de 3,6 g/kg de SST (dosagem ótima)

FONTE: REALI (1999)

A Figura 15 (a) demonstra as variações de dosagens de polímero relacionadas a maior rotação do ensaio, ou seja, 3000 rpm ($G^* = 1861$). Após 60 minutos de ensaio, com as dosagens entre 0,4 a 2,6 g de polímero/kg de SST foi possível obter um teor de sólidos na torta entre 35,3 e 36,0 %, já as dosagens entre 3,6 a 5,3 g/kg de SST forneceram teores de sólido iguais a 37,5%. Apesar de ser possível a seleção da melhor concentração de polímero, a dosagem ótima não ficou tão clara nessa rotação.

Na Figura 15 (b) são apresentadas apenas as curvas referentes à dosagem ótima de polímero (3,6 g/kg de SST) associadas a diferentes rotações. Percebe-se que o teor de sólidos na torta foi crescente com o aumento da rotação na centrífuga. Após 60 minutos de ensaio, para valores de G^* de 465 (1500 rpm), 1047 (2250 rpm) e 1861 (3000 rpm), obteve-se teores de sólido na torta de 25,0 %, 33,3 % e 37,5 %, respectivamente.

A metodologia proposta constitui-se uma ferramenta útil e prática para otimização da dosagem de polímero. As curvas de centrifugação, permitiram a otimização do condicionamento químico do lodo, o estudo da influência do tempo de centrifugação e da intensidade da rotação.

Os melhores resultados obtidos foram com as dosagens de 3,6 kg de polímero catiônico/kg de SST, o autor recomenda a utilização de rotações de $G^* = 500$ até $G^* = 1000$ para este tipo de ensaio (considerando as características do lodo analisado). Com relação à concentração de SST na torta, esta aumentava progressivamente com o aumento da rotação da centrífuga e com relação ao tempo de centrifugação, o melhor considerado para este tipo de ensaio foi o de 60 minutos.

Wu *et al.* (2003) analisaram a influência de G^* na desidratabilidade do lodo em um centrífuga de alta velocidade, através da avaliação da umidade residual das tortas desidratadas. Os valores de umidade das tortas de lodos condicionados com polímeros diminuíram continuamente com valores crescentes de G^* . Os pesquisadores avaliaram também lodos não condicionados e perceberam que estes diminuíam com G inicial até o valor de 6244, a partir do qual não se alteravam expressivamente. Concluíram que os polímeros possibilitam a formação de flocos mais resistentes para suportar a força elevada da centrifugação. E que no caso de lodos não condicionados, os flocos tendem a quebrar e deformar e conseqüentemente retém mais umidade.

Portela *et al.* (2003) caracterizaram o lodo centrifugado da Estação de Tratamento de Água Passaúna (Curitiba-PR). A amostra de lodo apresentou umidade média de 87% e pH de 6,7 e pela análise de perda ao fogo verificou que as amostras ficaram em torno de 50%. Os elementos encontrados em maior quantidade pelas análises químicas e de raio X, foram o alumínio com 20,80%, sílica com 12,75% e ferro com 7,58%.

2.3.3.2.2 Outras alternativas de desaguamento mecanizado

- **Filtro prensa de placas**

Caracteriza-se por utilizar a filtração por pressão para a desidratação do lodo. O equipamento é composto de placas permeáveis ao líquido, e o desaguamento realiza-se em etapas. Primeiramente, os espaços entre as placas são preenchidos com o lodo, na maioria das vezes pré-condicionado com polímeros. Através de pressões diferenciais (crescentes) o lodo é forçado sobre o meio filtrante fazendo com que a água seja removida. Terminado o processo, as placas são abertas e os resíduos que foram retidos em seu interior são removidos (FONTANA, 2004; LIBÂNIO, 2005).

Segundo Richter (2001) o filtro prensa é utilizado para desidratação de lodo que apresenta partículas finas e possibilita a obtenção de uma torta de 40 à 50% de sólidos em lodos de cal, com uma taxa de captura de até 98%. Possui limitações de aplicação de cinza e cal, necessidade de elevação de pH a 11,5, a troca do meio filtrante é demorada e possui alto custo operacional e de energia.

- **Filtro prensa de esteiras**

Também denominadas de prensa desaguadora, filtro-esteira, filtro prensa de correia, *belt filter press* ou *somente belt press* possui como princípio a filtração por compressão. Este equipamento funciona de forma contínua e faz passar o lodo entre duas correias porosas móveis e tensionadas. Após o condicionamento químico do lodo, parte da água livre é drenada na esteira superior do equipamento pela ação da gravidade. Em seguida, o resíduo é comprimido entre as elas da prensa, elevando a concentração dos sólidos para 15 à 20%.

A eficiência da prensa desaguadora depende das características do lodo aplicado, do adequado condicionamento, do tempo de prensagem, da aplicação aplicada pelas telas e de seu tipo de abertura de malha. Lodos provenientes do abrandamento com cal desidratam mais facilmente, podendo-se obter uma torta de 50 à 60% de sólidos secos, lodos gelatinosos como os de sulfato de alumínio apresentam menor desidratabilidade, não atingindo uma torta com mais de 20%, a não ser que a água bruta apresente alta turbidez e produza flocos com partículas minerais em suspensão em quantidade suficiente, nesse caso a torta pode atingir teores de 40 à 50% de sólidos secos (RICHTER, 2001).

Di Bernardo et al. (2002) relata que para que o desaguamento no filtro prensa de esteiras seja satisfatório, é necessário que a concentração de SST do afluente seja superior a 2%. Cita também que a massa aplicada por metro de largura de esteira varia de 80 à 120 kg, resultando num lodo desaguado com concentração entre 15 a 20%.

Apresenta como limitações que sua eficiência é muito sensível as características da suspensão e as correias podem se deteriorar rapidamente na presença de material abrasivo; em contra partida apresenta custo baixo comparando-se com outros equipamento de desidratação

- **Filtros a vácuo**

O filtro a vácuo é um equipamento composto por um tambor em posição horizontal, suspenso e imerso a $\frac{1}{4}$ das superfícies externas em um recipiente contendo o lodo. A operação ocorre através do movimento lento do tambor (de 1/8 a 1 rpm), e pressões negativas e positivas são aplicadas alternadamente, durante cada volta. Deste modo permite-se que os sólidos se depositem sobre a superfície e a água seja drenada através do lodo, sendo recolhida através da superfície filtrante (FONTANA, 2004).

Richter (2001) cita também que este tipo de filtro não funciona bem com lodos leves, como no caso do lodo de sulfato de alumínio, mesmo com a aplicação de polímeros. O lodo não é retido pelo tecido do filtro e os poros da tela são obstruídos muito rapidamente, por isso é pouco utilizado para a desidratação de lodos de ETA. Necessitando de condicionamento químico é mais indicado para desidratar sedimento finos granulares, podendo obter uma torta de até 35 à 40% de

sólidos e taxa de captura entre 88 a 95%. É o método menos eficaz de filtração, apresenta elevado consumo de energia e tem custo relativamente mais alto quando comparado com os outros métodos de desidratação (RICHTER, 2001).

2.4 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL PERTINENTE

Faz-se necessária análise criteriosa da questão dos lodos de ETAs, diante dos aspectos legais vigentes, levando em conta que as características desses rejeitos ainda são pouco conhecidas e difundidas. Não existe legislação específica para resíduos gerados em ETA e tão pouco este resíduo é citado nas legislações.

Segundo a NBR 10004, os rejeitos dos decantadores são definidos como resíduos sólidos e, portanto, devem estar sujeitos a todas as regulamentações especificadas por essa norma. Porém as águas oriundas das lavagens dos filtros são consideradas resíduos líquidos, pois a concentração de sólidos destas variam entre 50 e 500 mg/L (DI BERNARDO, 1999 e BARROSO, 2002).

A Lei dos Crimes Ambientais de 12 de fevereiro de 1998 no Capítulo V, Seção III, artigo 54 relata que trata-se de crime ambiental: “Causar poluição de qualquer natureza que resultem ou possam resultar danos à saúde humana, ou que provoque a morte de animais ou a destruição significativa da flora”. No parágrafo 2º, inciso V, diz que se o crime: ocorrer por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos, a pena prevista é de reclusão de um a cinco anos.

A resolução nº 357 de 2005 do CONAMA estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, entre outras disposições. Desta forma pode-se avaliar as condições do drenado do lodo desaguado, comparar com as respectivas resoluções e verificar a viabilidade do lançamento em corpos de água é permitido.

Ainda, a resolução 001 de 2007 da SEMA que dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. No artigo 7º está descrito que os resíduos gerados nas ETE's e nas ETA's (lodo) poderão ser destinadas a aterros localizados nas áreas das estações e gerenciados pelas operadoras de saneamento, obedecendo critérios e requisitos estabelecidos pelo IAP. No artigo 9º desta resolução são estabelecidos padrões de lançamento e de automonitoramento

para empreendimentos de saneamento através dos parâmetros DBO, DQO, óleos e graxas e nitrogênio amoniacal.

TABELA 9 - COMPARAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS CONAMA DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES COM LODOS DE DECANTADORES DE ALGUMAS ETAS

Parâmetro	CONAMA 357/2005	Di Bernardo <i>et al.</i> (1999)	Cordeiro (1993)	Cordeiro (2000)	Barroso (2002)	Fontana (2004)
pH	5 – 9	7.9	6,4	7,35	6,8	6,3
Sólidos sedimentáveis (mL/L)	1,0	-	710	-	-	-
Sólidos totais (mg/L)	-	-	-	15330	-	22200
Óleos e graxas (mg/L)	50	-	-	-	-	-
DQO (mg/L)	150 **	640	5600	5450	-	7.500
Alumínio (mg/L)	-	-	3965	30	553	1.700
Cádmio (mg/L)	0,2	0,05	0,14	0,27	ND	0,12
Chumbo (mg/L)	0,5	0,88	2,32	1,06	10	2,66
Cobre (mg/L)	1,0	1,05	1,47	0,91	32	1,39
Cromo total (mg/L)	2,0	0,42	3,82	-	-	-
Ferro solúvel (mg/L)	15,0	940 *	3382*	4200*	69999*	4200*
Manganês (mg/L) solúvel	1,0	-	-	30(2)	-	30
Mercúrio (mg/L)	0,01	-	-	-	-	-
Níquel (mg/L)	2,0	1,06	2,70	-	-	-
Zinco (mg/L)	5,0	1,7	2,13	48,53	49	48,53

LEGENDA: - NÃO DETERMINADO; * FERRO TOTAL; ** PADRÃO MÉDIO ESTIPULADO PELO IAP PARA LANÇAMENTO DE DETERMINADOS EFLUENTES
 FONTE: ADAPTADO DE BRASIL(2005); DI BERNARDO *et al.* (1999); CORDEIRO (1993) (2000); BARROSO (2002); FONTANA (2004).

A Tabela 9 apresenta caracterizações de lodos estudados por diversos autores e a comparação deste com a resolução nº 357 de 2005 do CONAMA. A Observa-se que sólidos sedimentáveis, DQO e alguns metais extrapolam os valores permissíveis para lançamento especificados pela resolução, portanto existe a necessidade de tratamento destes resíduos, evitando impactos ambientais no meio ambiente.

O lançamento dos resíduos de ETA nos corpos hídricos pode introduzir toxicidade dos organismos aquáticos e deteriorar a qualidade das águas e sedimentos destes ambientes, pois além de conter metais, apresentam altas concentrações de sólidos, DQO. Podem formar de bancos de lodo, assoreamento, alterações de cor, além de distúrbios na composição química e biológica do corpo receptor (CORDEIRO, 1993).

Neste contexto, levando em consideração o impacto dos lançamentos de lodos em corpos hídricos e o disposto na Lei de Crimes Ambientais e nas legislações referentes a resíduos sólidos e efluentes, reporta-se à importância de tratar adequadamente os resíduos produzidos nas ETAs (CORDEIRO, 1993).

Ressaltando que os responsáveis pelos serviços de saneamento são enquadrados na Lei de Crimes Ambientais (poluidor-pagador) e podem responder criminalmente pelo lançamento desses rejeitos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo descrevem-se os materiais e métodos empregados nesta dissertação para atingir o objetivo de estudar a secagem do lodo.

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para atingir o objetivo do trabalho de analisar a secagem do lodo de ETA de forma natural (leitos convencionais e alternativos) e mecanizada (centrífugas) foram utilizados leitos de secagem piloto na ETA Iguaçu, centrífuga de laboratório no Laboratório de Engenharia Ambiental Prof^o. Francisco Borsari Neto (LABEAM); e centrífugas do tipo *decanter* na ETA Iraí e Passaúna. A utilização destas últimas foram previamente acordadas com a SANEPAR pelo fato de serem as únicas estações da região com desaguamento do lodo através de centrifugação.

Para caracterizar o lodo utilizado na pesquisa e avaliar a eficiência da secagem do lodo, natural e mecanizada, e do líquido drenado nos leitos e centrífugas foram avaliados os parâmetros: pH, condutividade, turbidez, cor, série de sólidos, sólidos sedimentáveis, demanda química de oxigênio, metais (alumínio, conforme tipo de coagulante utilizado na ETA) e óleos e graxas do drenado e do lodo da ETA. Quanto aos metais, sabe-se da presença de outros no lodo, porém, optou-se por realizar análise somente do alumínio, por estar presente em maior quantidade e ser considerado como crítico, no que se refere à toxicidade. As análises foram realizadas no LABEAM, laboratório das ETA's e Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos (CEPPA). Foram observadas as metodologias descritas no *Standard Methods for the Examination of Water And Wastewater* (APHA, 1998).

Dados climatológicos diários como temperatura (máxima, mínima), precipitação e umidade relativa da cidade de Curitiba durante o período de monitoramento foram obtidos através do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e utilizados para uma melhor avaliação do processo de secagem do lodo (ANEXO 2).

3.2 DESCRIÇÃO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

3.2.1 ETA Iguaçu

A ETA Iguaçu (Figura 16) foi construída no ano de 1968, utiliza o sistema de tratamento convencional e possui vazão de 3500 L/s. É composta de mistura rápida do tipo hidráulica, mistura lenta (floculação) em câmara única mecanizada, decantador convencional, filtração rápida (leito constituído de carvão e areia) e cloração. A ETA foi ampliada no ano de 1975 mantendo o mesmo sistema, com exceção para a decantação, na qual foi utilizado o decantador de placas. A ETA possui cinco câmaras de floculação, três decantadores convencionais e quatro de alta taxa e doze filtros (MAGALHÃES¹, 2009).

Conforme Magalhães¹ (2009), atualmente o Sistema Iguaçu já não utiliza as águas do rio Iguaçu, totalmente poluídas na Região Metropolitana de Curitiba, mas recebe água do Rio Pequeno e da represa do Iraí, atendendo 197.451 ligações prediais de água e abastecendo 798.246 habitantes.



FIGURA 16 - ETA IGUAÇU
FONTE: SANEPAR (2009)

Na ETA Iguaçu não se tem controle da quantidade de lodo gerado, pois o mesmo é destinado diretamente ao rio. Entretanto, no início de 2010 iniciaram as obras de construção da estação de tratamento de lodo que será composta de desaguamento mecânico através de prensa parafuso.

¹ MAGALHÃES, O. J. **Informações sobre a ETA Iguaçu**. 21/11/2008.

A remoção do lodo dos decantadores (Figura 17) da ETA Iguaçu, tanto os convencionais como os de alta taxa ocorre de forma mecanizada. Os raspadores mecanizados levam em torno de 45 minutos para fazer a remoção do lodo e são realizadas 5 descargas diárias, a partir das 23 horas, com duração de 1,5 minutos cada descarga (MAGALHÃES¹, 2009).



FIGURA 17-DECANTADOR E RASPADORES MECANIZADOS DA ETA IGUAÇU -
FONTE: A AUTORA

A Figura 18 apresenta o fluxograma básico da estação:

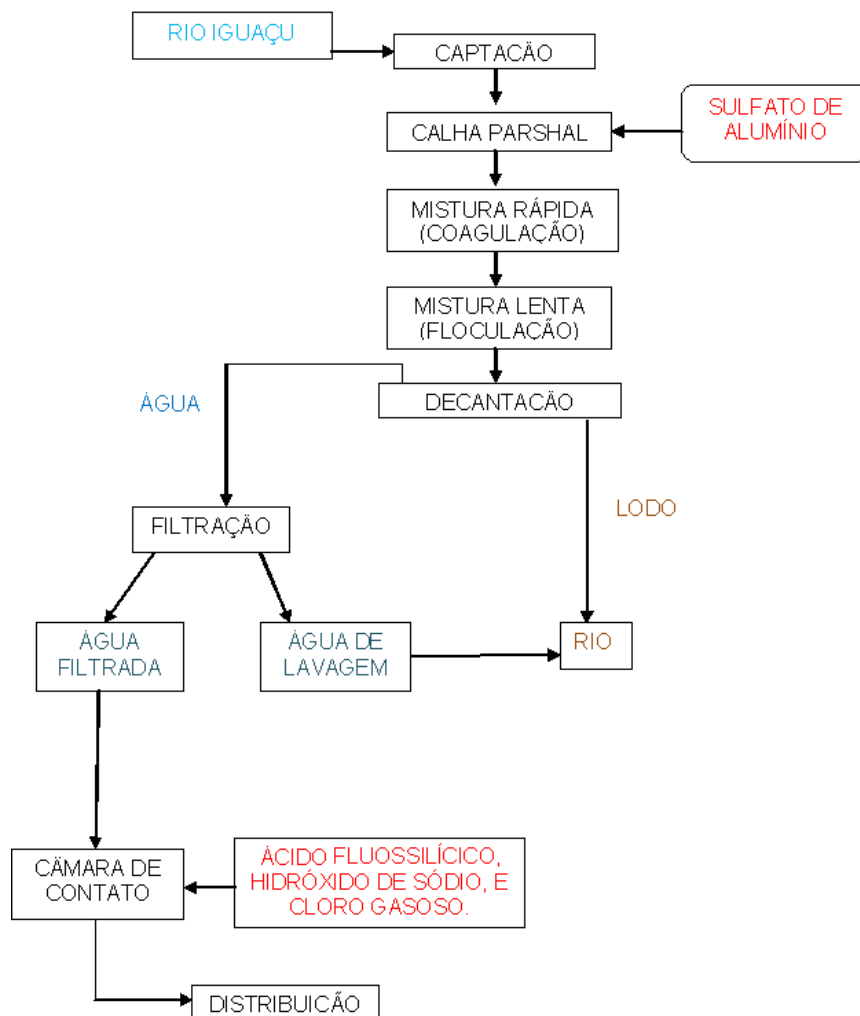


FIGURA 18-FLUXOGRAMA DA ETA IGUAÇU
FONTE: A AUTORA

3.2.2. ETA Iraí

A ETA Iraí (Figura 19) é a maior do Estado do Paraná, sua capacidade de produção é de 3200 L/s, operando atualmente com vazão de 2600 L/s, em 4 módulos de 800 L/s e atendendo mais de 1 milhão de habitantes em Curitiba e Região Metropolitana (ARAÚJO E SOARES², 2009).



FIGURA 19 - ETA IRAÍ
FONTE: SANEPAR (2009)

Entrando em operação no ano de 2002, a ETA recebe água da Represa do Iraí, que possui área de 14,2 km² e capacidade para armazenamento de até 58 bilhões de litros de água. Contribuem para a formação da barragem os rios: Cercado, Timbu, Curralinho e Canguiri, além de águas dos rios Iraí, Iraízinho e Piraquara (ARAÚJO E SOARES², 2009).

Conforme ARAÚJO E SOARES² (2009), a estação é moderna e automatizada, possui processo de tratamento por floto-filtração, que se caracteriza pela maior remoção de turbidez e da cor, amenizando o problema de florescimento de algas que ocorre na represa do Iraí, além disso a flotação reduz em até 25% o consumo de coagulante.

A água a ser tratada (coletada no rio Iraí) passa por um sistema de gradeamento para a remoção de sólidos grosseiros antes de ser bombeada para a estação. O processo de tratamento inicia-se com a adição de dióxido de cloro como agente pré-oxidante (ARAÚJO E SOARES², 2009).

² ARAUJO, A. N. & SOARES, E. **Informações sobre a ETA Iraí.** 12/12/2008.

A água passa então pelo processo de coagulação com adição de sulfato de alumínio (em média 30 ppm) e polímero catiônico (dosado na concentração de 30 ppm, utilizado devido a floração de algas); após a água segue para floculação que é do tipo mecanizada e ocorre em três células, para então seguir para a floto-filtração (ARAÚJO E SOARES², 2009).

Na floto-filtração, a água filtrada segue para uma câmara de contato, a água de lavagem para um tanque, de onde será bombeada para o início do processo e o lodo segue para o desaguamento. O lodo flotado é raspado mecanicamente da superfície de hora em hora, e é transportado para um tanque através de uma “rosca sem fim”. A água da floto-filtração segue para a câmara de contato (ARAÚJO E SOARES², 2009).

Conforme ARAÚJO E SOARES² (2009), 80% do lodo floto-filtrado segue para adensamento em centrífugas (duas de fabricação da Peralisi, modelo FP600M) e o restante está sendo disposto em uma lagoa. Para obter um melhor desempenho na centrifugação é realizada a adição de polímero na concentração de 0,2%. O polímero utilizado é do tipo aniônico, marca Flonex®, modelo 9001, fornecido pela empresa SNF do Brasil. Trata-se de um floculante orgânico, sintético, granular, de alto peso molecular, produzido a base de poliacrilamida. A adição de polímero é feita de forma automatizada através da preparadora de polímero Prominent. O equipamento é composto de 3 células, sendo que a primeira promove a mistura do polímero com a água, a segunda a abertura das cadeias dos polímeros e a terceira reserva o polímero já preparado para ser dosado no lodo. O clarificado das centrífugas segue para o reservatório junto com as águas de lavagem de onde será bombeado para o início da estação.

Após todo o processo a água tratada recebe na câmara de contato a adição de ácido fluossilícico, dióxido de cloro, hidróxido de cálcio e ortopolifosfato (impede a formação de água vermelha ou preta e inscrustrações nas redes de ferro). A partir da câmara, a mesma é conduzida para reservatórios, de onde por gravidade ou recalque é distribuída para a população (ARAÚJO E SOARES², 2009).

ARAÚJO E SOARES² (2009) citam que atualmente a ETA Iraí produz em média 600 m³ (4 caçambas por dia de 5 m³) de lodo por mês, gastam-se 150 kg de polímero por mês e a torta de lodo é destinada para recuperação de áreas degradadas. Numa área vizinha a ETA Iraí encontram-se cavas decorrentes da exploração de areia para a construção civil; neste local está sendo depositado o lodo centrifugado

da estação sob autorização do órgão ambiental competente. Abaixo se encontra o fluxograma básico da estação (Figura 20):

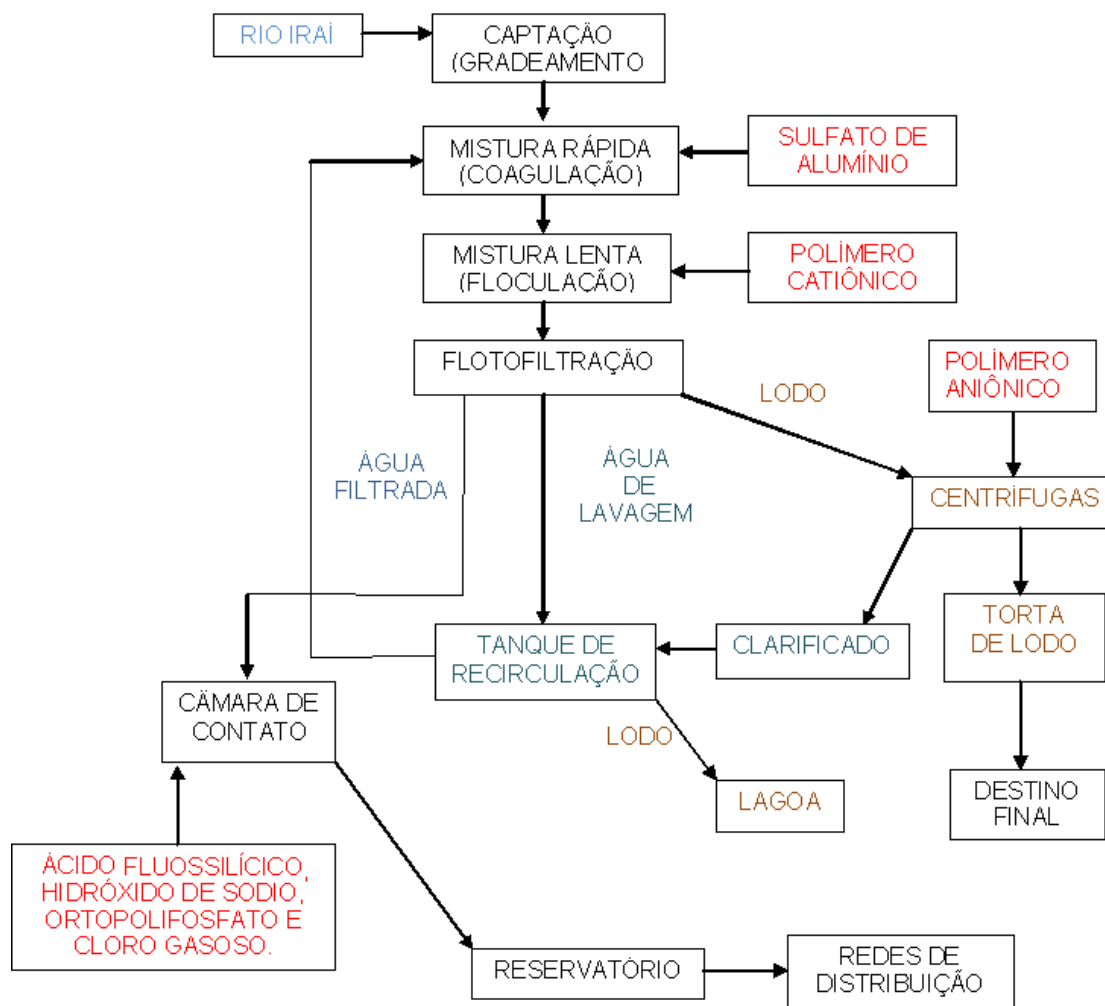


FIGURA 20 - FLUXOGRAMA DA ETA IRAÍ
FONTE: A AUTORA

3.2.3. ETA Passaúna

A estação de tratamento de água Passaúna (Figura 21) foi inaugurada no ano de 1985 e está localizada a oeste da região metropolitana da cidade de Curitiba. A água é captada na bacia do Passaúna com área inundada de 8,5 km², 20 metros de altura e volume total de 66,2x10⁶m³, permitindo a sedimentação das suspensões na água bruta afluyente (KLEINA³, 2009).

³ KLEINA, R. Informações sobre a ETA Passaúna. 12/12/2009.



FIGURA 21 - ETA PASSAÚNA
FONTE: SANEPAR (2009)

A ETA Passaúna com capacidade para tratar uma vazão de 2400 L/s, possui 4 módulos, sendo cada um com calha parshal para coagulação e medição de vazão, um floculador hidráulico (18 células do tipo chicanas de fluxo vertical), quatro decantadores (alta taxa) e seis filtros (dupla camada) (KLEINA³, 2009).

Após a captação é adicionada à água cloreto de polialumínio (dosagem média de 10 ppm) passando pela coagulação com agitação rápida e posteriormente pela floculação com agitação lenta. Em seguida a água segue para o decantador, onde as partículas sedimentam e a água clarificada passa para a filtração. Após filtrada a água segue para a câmara de contato com a adição de flúor e fosfato para em seguida ser distribuída para a população (KLEINA³, 2009).

A lavagem dos filtros é realizada uma vez por dia em cada filtro durante uma hora, a água de lavagem (24 unidades) é recolhida em um reservatório de 300 m³ e retorna ao processo na fase inicial de tratamento. O reservatório serve para equalizar a vazão de água de lavagem e neste existe um agitador submersível para manter o lodo em suspensão (KLEINA³, 2009).

Nos decantadores de alta taxa e de fluxo vertical são realizados descartes de lodo para evitar a concentração dos mesmos nas placas. Este lodo descartado é acumulado em um reservatório de 500 m³. Nos decantadores, os sólidos decantados retidos no fundo seguem para um adensador através de uma bomba de deslocamento positivo. O clarificado da etapa de adensamento é descartado no reservatório de água de lavagem. Vale ressaltar que quanto a descarga de lodo,

usualmente são realizadas a descarga do lodo de 2 decantadores por dia, ocasionalmente 3, dependendo da necessidade da estação. O processo de raspagem mecanizada do lodo do decantador dura em torno de 40 minutos e a descarga propriamente dita até 2 minutos (KLEINA³, 2009).

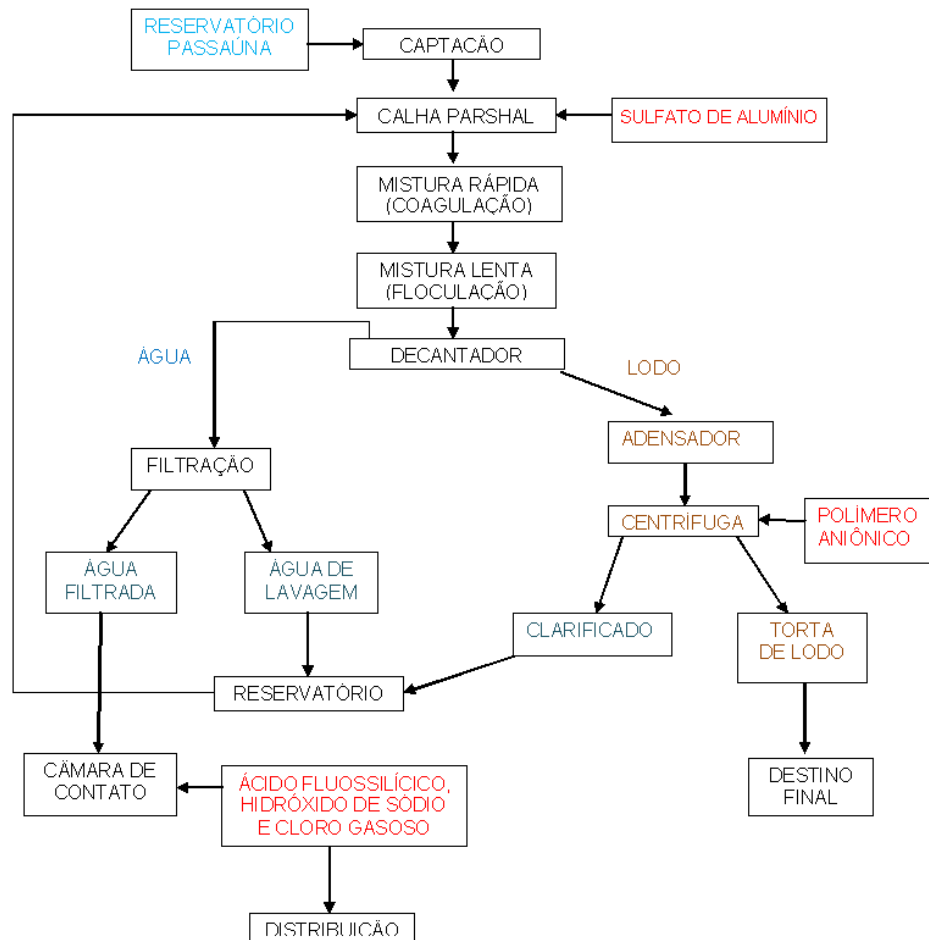


FIGURA 22 - FLUXOGRAMA DA ETA PASSAÚNA
FONTE: ADAPTADO DE HOPPEN (2004)

Conforme KLEINA³ (2009), lodo adensado segue posteriormente para uma centrífuga (FP 600-2RS de fabricação da Peralisi) do tipo decanter, na qual ocorre a aplicação de polímero aniônico Flonex® numa concentração de 0,25% para melhorar sua eficiência. Essa adição de polímero ocorre através de um equipamento de marca Prominent, o qual é composto de três câmaras, na primeira ocorre a mistura do polímero com a água, na segunda ocorre a abertura da cadeia e a terceira consiste num reservatório para a dosagem no lodo adensado. A fração líquida (clarificado) é descartada no reservatório juntamente com a água de lavagem

e o clarificado do adensamento e retorna ao processo. A fração mais seca (lodo) é encaminhada para caçambas para a destinação adequada.

Atualmente se produz na ETA Passaúna 250 m³ de lodo por mês, gastam-se de 120 à 150 kg de polímero por mês e a torta de lodo é coletada por uma empreiteira e destinada para um aterro sanitário (KLEINA³, 2009). Na Figura 22 encontra-se o fluxograma básico da estação:

3.3. INSTALAÇÕES PILOTO

3.3.1 Leitos de secagem

Para avaliar a secagem do lodo em leitos foram construídos 3 leitos de secagem piloto convencionais (identificados pela cor verde), 3 leitos de secagem piloto alternativos com geotêxtil não-tecido bidim (vermelhos) e 3 leitos de secagem piloto alternativos com geotecido (amarelos) na ETA Iguaçu, e foram utilizados durante o primeiro ciclo de monitoramento (Figura 23) . Já para o segundo ciclo de monitoramento, os leitos alternativos foram substituídos por outros de diferente concepção, porém com o mesmo material de recheio (Figura 24).



FIGURA 23 - LEITOS CONVENCIONAIS E ALTERNATIVOS UTILIZADOS NO CICLO 1
FONTE: A AUTORA



FIGURA 24 - LEITOS ALTERNATIVOS UTILIZADOS NO CICLO 2
FONTE: A AUTORA

Os pilotos foram construídos em frente aos decantadores convencionais da ETA para facilitar a coleta do lodo.

Os leitos tubulares tratam-se de 9 pilotos construídos com tubos de concreto com diâmetro de 40 cm, dispostos verticalmente, com altura variando de 1,0 (leitos alternativos) a 2,0 m (leitos convencionais). Todos foram impermeabilizados com concreto no fundo, com certa declividade para facilitar a drenagem do percolado e abertos no topo. Em frente a cada tubo foi escavado, no solo, um pequeno poço, com 40 cm de diâmetro e profundidade de 65 cm, onde foi disposto uma bombona para recolher o líquido drenado no interior dos tubos, durante o desenvolvimento da pesquisa. O líquido escoava através de um tubo de Policloreto de Vinila (PVC) de 50mm de diâmetro, o qual, acoplado a uma mangueira flexível, conduzia o drenado para a bombona de 20 litros.

A Tabela 10 mostra exemplos de alguns autores que utilizaram sistemas tubulares para execução de ensaios de desaguamento de lodo.

TABELA 10 - UTILIZAÇÃO DE LEITOS TUBULARES POR OUTROS PESQUISADORES PARA DESAGUAMENTO DE LODO

Autor	Material	Diâmetro do piloto	Altura	Material de enchimento	Nº de unidade
Samudio (1993)	Tubo de concreto armado e aço carbono	50 cm	1,6 m	NB-570/1990	6 de concreto e 3 de aço
Aisse <i>et al.</i> (1997)	Tubo de PVC	30 cm	1,20 m	NBR-12209/1992	2
Machado <i>et al.</i> (2006)	Tanques de fibra de vidro	167 cm (diâmetro inferior) e 212 cm (diâmetro superior)	2,0 m	NBR-12209/1992; Cordeiro (1993)	2

FONTE: A AUTORA

Os leitos alternativos na configuração tronco piramidal (utilizados somente no segundo ciclo) foram construídos e adaptados a partir da metodologia proposta por Cordeiro (2001) (Figura 33); também utilizada por Achon e Cordeiro (2003); Fontana (2004); Achon, Barroso e Cordeiro (2005; 2008) e Barroso (2007).

Os 4 leitos alternativos utilizados no segundo ciclo foram construídos nas mesmas dimensões propostas por Cordeiro (2001) (Figura 25), com algumas adaptações quanto ao material construtivo, que no caso de Cordeiro (2001) tratava-se de chapa galvanizada e para esta pesquisa foi utilizado o prolipropileno cinza (PP).

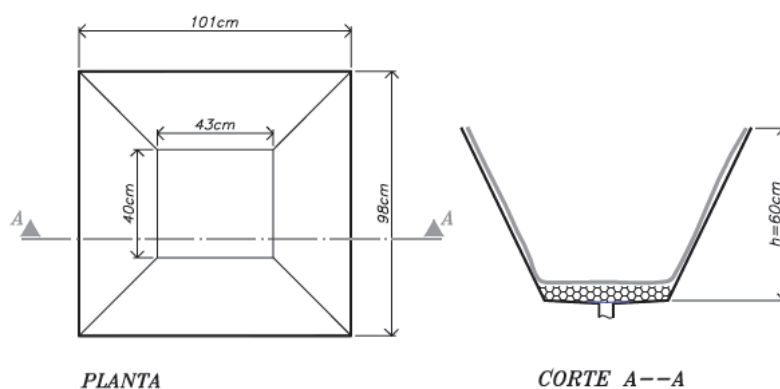


FIGURA 25 - LEITOS DE DRENAGEM PROPOSTOS POR CORDEIRO
 FONTE: ACHON, BARROSO E CORDEIRO (2008)

Os leitos foram apoiados sobre uma estrutura de PP de 1,0 m e o drenado era conduzido através de uma tubulação de PVC de diâmetro de 50 mm localizada no fundo dos leitos, a qual conduzia o clarificado até bombonas de 25 L apoiadas sobre o chão (Figura 24).

Para o primeiro ciclo foram construídos 3 leitos para cada modalidade para que fosse possível avaliar diferentes cargas de lodo, sendo: 39,7 litros ou 35 cm de altura de lodo no tubo correspondente a menor carga; 56,7 L ou 50 cm para a carga média e 73,7 L ou 65 cm para a maior carga. A menor altura está próxima a altura média citada por Achon e Cordeiro (2003) e Fontana (2004); já altura média refere-se a utilizada em leitos de secagem de lodo de ETE pela Sanepar. A altura máxima refere-se a limitações dos leitos utilizados e tratam-se valores não citados em literaturas.

Para o segundo ciclo das pesquisas, foram avaliados apenas volumes mínimos e médios analisados durante o primeiro ciclo, já que os 6 leitos alternativos utilizados no 1º ciclo foram substituídos por apenas 4 no 2º ciclo. Para o cálculo da altura de lodo aplicado nos leitos e da taxa de aplicação de sólidos - TAS para os leitos alternativos utilizados no 2º ciclo foi utilizada a área de fundo do leito ($40 \times 43 \text{ cm} = 0,172 \text{ m}^2$) conforme Barroso (2007). Os volumes aplicados nos leitos do segundo ciclo foram os mesmos, porém a altura ficou um pouco abaixo dos valores do primeiro ciclo, sendo 27 cm para o volume de 40L e 38 cm para o volume de 57L.

Os leitos construídos nos tubos de concreto de 40 cm de diâmetro e os tronco-piramidais fabricados com PP foram todos preenchidos com 5 cm de brita número 1 sobreposta pelo tecido, baseados na especificação citada por Cordeiro

(2001), o qual estudou outras possibilidades de estrutura para a secagem do lodo, colocando bidim (geotêxtil não tecido) sobre a camada filtrante do leito.

Neste trabalho avaliou-se também o desaguamento do lodo através dos leitos de drenagem adaptando a metodologia proposta por Cordeiro (2001), ou seja, foi realizada a substituição do bidim por um geotecido de polipropileno, material geralmente utilizado na constituição de *bag's* (também utilizados para desaguamento de lodos). Ambos tecidos utilizados na pesquisa foram fornecidos pela Fiberweb Bidim Indústria e Comércio de não-tecidos Ltda e Propex do Brasil Ltda, fabricantes do Bidim RT 31® e geotecido TEC14000® respectivamente.

A Tabela 11 caracteriza os dois diferentes tipos de materiais utilizados no desaguamento do lodo.

TABELA 11-CARACTERÍSTICAS DOS TECIDOS UTILIZADOS NOS LEITOS ALTERNATIVOS

Parâmetros	Bidim	Geotecido
Modelo	RT31®	TEC14000®
Material	Poliéster	Polipropileno
Gramatura	600g/m ²	133 g/m ²
Espessura	4,5 mm	0,48 mm
Abertura aparente	0,06 à 0,13 mm	0,49 mm
Permissividade	0,9s ⁻¹	0,42s ⁻¹
Fluxo d'água	30 L/s/m ²	-
Custo por m ²	R\$10,00	R\$5,00

FONTE: BIDIM (2009) e PROPEX (2009)

O Bidim RT31® de 600 g/m² foi escolhido devido ao fato que, entre outras gramaturas de tecido, foi o que apresentou melhores resultados de drenagem em estudos realizados por Cordeiro (2001) e Fontana (2004). Já o geossintético TEC14000® foi utilizado pelo fato de que se trata de um tecido indicado para filtração em sistemas sujeitos à colmatação química e biológica (utilizado em *bag's*) e por ainda não ter sido avaliada sua aplicação em leitos de secagem.

Para os leitos convencionais (Figura 26) foi utilizada a mesma concepção de secagem do lodo de ETEs, conforme estabelece a norma NBR 12209/92. O material de enchimento e a espessura do leito observaram as especificações da norma e parâmetros da SANEPAR.

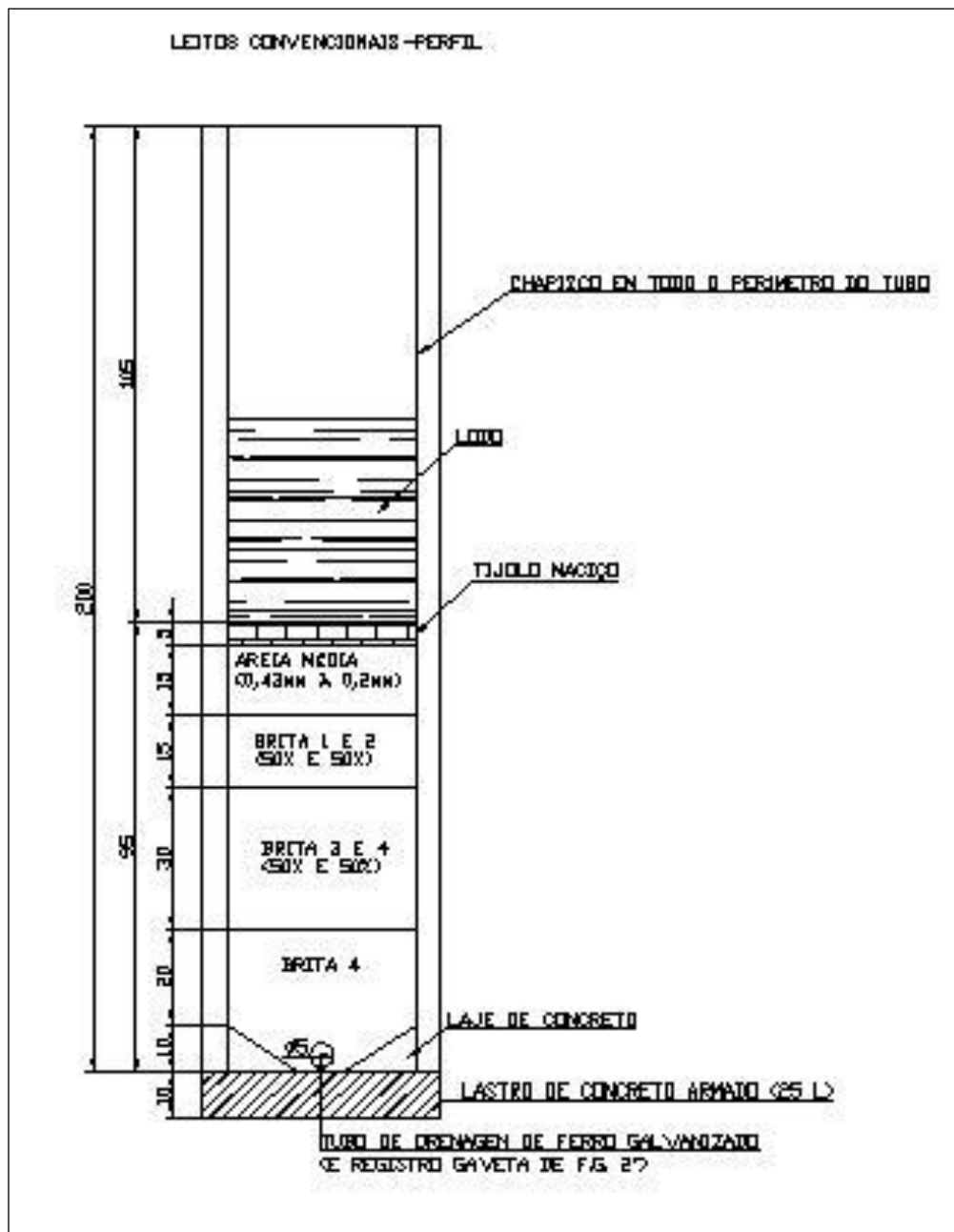


FIGURA 26- DESENHO ESQUEMÁTICO DOS LEITOS CONVENCIONAIS
FONTE: A AUTORA

3.3.2 Ensaios de centrifugação

- Centrífugas em escala real – centrífugas decanter

Para a avaliação do desaguamento do lodo em centrífugas em escala real foram utilizadas centrífugas localizadas na ETA Iraí e Passaúna (Figura 27). As características destas centrífugas encontram-se descritas na Tabela 12.



FIGURA 27 - CENTRÍFUGAS DAS ETAS IRAÍ E PASSAÚNA
 FONTE: PIERALISI (2009a)

TABELA 12 - CARACTERÍSTICAS E CONDIÇÕES OPERACIONAIS DAS CENTRÍFUGAS DECANTER MONITORADAS NA ETA IGUAÇU E PASSAÚNA

Parâmetro/Centrífuga	ETA Iraí (Q = 2600L/s)	ETA Passaúna (Q = 1840 L/s)
Modelo	FP 600/M (2 unidades)	FP2RS/M
Vazão média de lodo	6,9 L/s	-
Potência motor	11 Kw	15 Kw
Rotação máxima do motor	4100 rpm	4100 rpm
Diâmetro do tambor	353 mm	353 mm
Capacidade nominal	19000 L/hora	22000 L/hora
Capacidade típica	4000 L/h	10.000 L/hora
Máximo aporte de sólidos secos	200 à 250 kg/hora de sólidos secos	200 à 250 kg/hora de sólidos secos
Volume do clarificado no decanter	19,8L	59,3L
Tempo de residência	18 à 21 s	18 à 21 s
Tipo de polímero	Aniônico (Praestrol)	Aniônico (Praestrol)
Dosagem de polímero	0,2% (automático)	0,2% (automático)

FONTE: (KLEINA³, 2009); ARAÚJO E SOARES² (2009); PIERALISI (2009b)

- Centrífuga de bancada

Para o estudo do desagamento do lodo através da centrifugação foram experimentadas e variadas, em centrífuga de laboratório (bancada), as condições operacionais (aproximadas) impostas em equipamento em escala real (centrífugas decanter). O objetivo do estudo em escala de bancada foi otimizar as dosagens de polímero aplicadas na centrifugação do lodo na ETA Iraí. Optou-se realizar a otimização da dosagem de polímero somente na ETA Iraí, pelo fato de que na ETA Passaúna não se tem o controle da vazão de lodo e dosagem de polímero, parâmetros essenciais para realização do ensaio.

Quanto ao polímero utilizado durante os ensaios, optou-se por utilizar apenas o Flonex®, modelo 9001, aniônico e de alto peso molecular, pois na estação

foram testados diversos outros tipos de polímeros, mas o Flonex® apresentou bons resultados e menor custo. A avaliação da centrifugação com polímeros catiônicos e não-iônicos demonstrou-se inviável na ETA Iraí, pois conforme gestores das estações, o custo é relativamente mais alto e a eficiência foi similar durante os testes. Além do que, na etapa de floculação utiliza-se polímero catiônico (carga positiva) como auxiliar no processo, logo é viável a utilização de um polímero aniônico (carga negativa).

A centrífuga de laboratório ou de bancada utilizada na pesquisa foi a Fanem Excelsa, modelo 205 N, trata-se de uma centrífuga de tubos com capacidade para 16 provetas (disponível para uso apenas 4 tubos), cuja rotação varia de 1970 rpm até 4500 rpm, variando entre: 2300, 2700, 3100, 3500 e 4000. Esta centrífuga encontra-se no LABEAM da UFPR. O controle da rotação da centrífuga foi realizado através de um tacômetro.

Para a mistura adequada da solução de polímero com o lodo foi utilizado o Jarrest Nova Ética, modelo 218-6 LDBE, dotado de regulagem da rotação do misturador e tempo.

3.4. MÉTODOS

3.4.1 Leitões de secagem

Os leitões foram monitorados durante 2 ciclos de desaguamento, para distintas alturas de lodo. A Tabela 13 apresenta as denominações e siglas utilizadas para os leitões de secagem, o material de preenchimento utilizado em cada leito, os ciclos em que os leitões foram avaliados e as alturas e volumes de lodo aplicado nos leitões.

TABELA 13 - ESPECIFICAÇÕES DOS LEITOS DE SECAGEM

Leito	Sigla	Material de preenchimento	Ciclo avaliado	Altura e volume de lodo aplicado		Vol (L)
				H (cm) 1º ciclo	H (cm) 2º ciclo	
Leito alternativo com bidim-1	LAB-1	10 cm de brita e bidim	1 e 2	35	27	40
Leito alternativo com bidim-2	LAB-2	10 cm de brita e bidim	1 e 2	50	38	57
Leito alternativo com bidim-3	LAB-3	10 cm de brita e bidim	1	65	-	-
Leito alternativo com geotecido-1	LAG-1	10 cm de brita e geotecido	1 e 2	35	27	40
Leito alternativo com geotecido-2	LAG-2	10 cm de brita e geotecido	1 e 2	50	38	57
Leito alternativo com geotecido-3	LAG-3	10 cm de brita e geotecido	1	65	-	-
Leito convencional-1	LC-1	20 cm de brita 4; 30 cm de brita 3 e 4; 15 cm de brita 1 e 2; 15 cm de areia média; 5 cm de tijolo maciço.	1 e 2	35	35	40
Leito convencional-2	LC-2	20 cm de brita 4; 30 cm de brita 3 e 4; 15 cm de brita 1 e 2; 15 cm de areia média; 5 cm de tijolo maciço	1 e 2	50	50	57
Leito convencional – 3	LC-3	20 cm de brita 4; 30 cm de brita 3 e 4; 15 cm de brita 1 e 2; 15 cm de areia média; 5 cm de tijolo maciço		65	65	74

FONTE: A AUTORA

Desta forma, foram avaliadas a evolução da altura e a concentração de sólidos do lodo sobre o leito, o volume e as características do drenado, num período de até 30 dias (ciclo). Este monitoramento foi realizado de acordo com as Tabelas 14 e 15.

TABELA 14 - DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES REALIZADAS EM CAMPO: COLETA DE AMOSTRAS E MONITORAMENTO PARA O 1º CICLO

Leitos	1h30 min 3h	18h 2ºd 4ºd 10ºd	1ºd 7ºd	15ºd 21ºd	30º d
LC-1	X	1,2,3	1,2,3	1	1,2
LC-2	X	1,2,3	1,2,3	1	1,2
LC-3	X	1,2,3	1,2,3,4	1	1,2
LAB-1	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1	1,2
LAB-2	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1	1,2
LAB-3	1,2,3	1,2,3	1,2,3,4	1	1,2
LAG-1	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1	1,2
LAG-2	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1	1,2
LAG-3	1,2,3	1,2,3	1,2,3,4	1	1,2

LEGENDA:

- (1) Determinação de altura do lodo e volume do lodo;
- (2) Lodo retido: todos os leitos, análise de sólidos totais apenas;
- (3) Drenado: sólidos totais, sólidos suspensos totais, pH, condutividade, turbidez, cor;
- (4) Drenado: DQO, Al, O&G (apenas os de maior carga)

Obs.: Para a caracterização do lodo foram analisados os parâmetros DQO, Al, O&G, série de sólidos completa, pH, condutividade, cor e turbidez. A amostra foi coletada no 1º dia do ciclo, antes de realizar a carga de lodo nos leitos;

FONTE: A AUTORA

TABELA 15 - DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES REALIZADAS EM CAMPO: COLETA DE AMOSTRAS E MONITORAMENTO PARA O 2º CICLO

Leitos	0,5h 3h	1 h	18h 2ºd 4ºd	1ºd 7ºd	10º d 15ºd 21ºd 30ºd
LC-1	X	X	1,2,3	1,2,3	1,2,3
LC-2	X	X	1,2,3	1,2,3	1,2,3
LC-3	X	X	1,2,3	1,2,3,4	1,2,3
LAB-1	1,2,3	1, 3	1,2,3	1,2,3	1,2,3
LAB-2	1,2,3	1, 3	1,2,3	1,2,3,4	1,2,3
LAG-1	1,2,3	1, 3	1,2,3	1,2,3	1,2,3
LAG-2	1,2,3	1, 3	1,2,3	1,2,3,4	1,2,3

LEGENDA:

- (1) Determinação de altura do lodo e volume do lodo;
- (2) Lodo retido: todos os leitos, análise de sólidos totais apenas;
- (3) Drenado: sólidos totais, sólidos suspensos totais, pH, condutividade, turbidez, cor;
- (4) Drenado: DQO, Al, O&G (apenas os de maior carga)

Obs.: Para a caracterização do lodo foram analisados os parâmetros DQO, Al, O&G, série de sólidos completa, pH, condutividade, cor e turbidez. A amostra foi coletada no 1º dia do ciclo, antes de realizar a carga de lodo nos leitos;

FONTE: A AUTORA

O lodo utilizado nas pesquisas foi proveniente somente dos decantadores, pois conforme Asada (2007), o lodo dos filtros, devido as suas características, tem sido retornados ao início do processo do tratamento da água. Após a descarga do lodo dos decantadores (Figura 28), o mesmo era conduzido para um tanque de 750 L (Figura 29) onde era homogeneizado e em seguida disposto nos leitos pilotos.



FIGURA 28 - ETA IGUAÇU: DESCARGA DE LODO DOS DECANTADORES
FONTE: A AUTORA



FIGURA 29 - TANQUE PARA HOMEGEINIZAÇÃO DO LODO
FONTE: A AUTORA

Após a aplicação do lodo nos pilotos foram coletadas amostras do drenado obtido e do lodo retido nos leitos, conforme esquematizado nas Tabelas 14 e 15. Vale destacar que para os leitos convencionais, as coletas foram realizadas a partir da 18^a hora, pois esperava-se que a drenagem do percolado ocorresse num tempo relativamente maior.

A metodologia para a coleta das amostras encontra-se descrita no item 3.5 (3.5 Material e métodos para avaliação dos parâmetros). Para coleta do lodo retido foram utilizados frascos de polietileno de 80 ml, as amostras eram retiradas por meio de colheres, em pequenas quantidades, de vários pontos do leito, abrangendo assim toda área de secagem. Para a coleta do drenado, conduzia-se a fração líquida armazenada nas bombonas para os frascos de 1 L de polietileno, de 1 L de borossilicato de âmbar e recipientes de 80 ml de polietileno.

Após serem coletadas, as amostras do drenado foram caracterizadas através dos parâmetros pH, condutividade, turbidez, cor, sólidos totais e sólidos suspensos totais. Já as amostras do lodo retido foram caracterizadas pelo teor de sólidos (sólidos totais).

Os ensaios de DQO, Al (na ETA utiliza-se sulfato de alumínio como coagulante, desta forma optou-se por avaliar apenas o alumínio) e óleos e graxas do drenado foram realizados nas amostras coletadas no 1^o e 7^o dia, nos leitos de maior

carga. Encerrou-se a amostragem de tais parâmetros no 7º dia pelo fato de que a diminuição da vazão de drenagem inviabilizava o volume mínimo necessário de amostra para a realização das análises, após este período.

Concomitantemente foi realizado o monitoramento da evolução da altura do lodo e do volume acumulado do drenado nas bombonas. Para a medição do volume de drenado acumulado nas bombonas foram utilizadas provetas de polipropileno graduadas. Mensuravam-se os volumes acumulados de drenado, anotavam-se os resultados e em seguida o material era transferido para os recipientes de coleta. No monitoramento da evolução da altura do lodo no leito foi utilizada uma trena métrica. A altura mensurada correspondia a superfície livre de lodo, ou seja, verificava-se a distância da borda do leito até o lodo retido. A superfície livre aumentava na medida em que a espessura do lodo diminuía devido a secagem. Optou-se por apresentar os resultados das superfícies livres nos leitos e não da espessura do lodo retido.

Após a secagem dos lodos, as mantas de bidim e geotecido foram retiradas, e realizada a limpeza da manta de forma superficial e com auxílio de uma mangueira. Estudos realizados por Fontana (2004) demonstraram que a manta em seu trabalho foi utilizada por cinco vezes, e que a mesma neste tipo de ensaio não demonstrou necessidade de troca, pois apresentaram baixa colmatção.

Já com relação aos leitos convencionais, o lodo foi retirado e em seguida foi realizada a limpeza entre os interstícios dos tijolos para o próximo ciclo. O lodo só foi retirado após 30 dias devido ao tempo que se leva para completar o ciclo. É necessário tempo para a descarga do lodo e preparação do leito, tempo para percolação, para evaporação até que se atinja a concentração de sólidos desejados e tempo de remoção dos sólidos secos, conforme estudos realizados por Van Haandel e Lettinga (1994).

3.4.1.1 Cálculo da taxa de aplicação de sólidos nos leitos

Para auxiliar a caracterização do lodo aplicado nos leitos, durante os dois ciclos estudados, e quantificar os sólidos aplicados nos leitos foi realizado o cálculo da taxa de aplicação de sólidos - TAS (kg/m^2). A TAS refere-se a quantidade de sólidos em kg aplicados em 1 m^2 de área de leito. Para este cálculo foi considerado

o diâmetro de 40 cm para os leitos tubulares e a área de fundo de 40 cm x 43 cm dos leitos tronco-piramidais para o cálculo da área; e o teor de sólidos totais do lodo da ETA Iguaçu utilizado no ciclo 1 e 2. A TAS foi calculada através da seguinte fórmula:

$$TAS = \frac{\text{massa de sólidos (kg)}}{\text{área do leito (m}^2\text{)}} \quad (5)$$

A massa de sólidos foi calculada multiplicando o volume de lodo aplicado nos leitos pelo teor de sólidos do mesmo lodo:

$$\text{massa de sólidos} = \text{Volume (L)} \times \text{Teor de sólidos do lodo} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \quad (6)$$

Vale ressaltar que a única norma que especifica o limite máximo de descarga de lodo em um leito de secagem é a NBR 12209/1992, sendo este valor de 15kg/m². Porém este valor refere-se a lodos de estações de tratamento de esgoto, servindo apenas como um parâmetro de comparação, já que não existem normas que estipulem este limite para lodos de estações de tratamento de água.

3.4.1.2. Dados climatológicos utilizados na avaliação do desaguamentos do lodo através dos leitos de secagem

Para uma melhor avaliação do desaguamento do lodo em leitos de secagem foi estudada também a influência de variáveis climatológicas: temperatura (máxima, mínima e média), umidade e precipitação durante os dois ciclos. As variáveis de controle do ensaio foram: volume acumulado do drenado, evolução da superfície livre de lodo nos leitos e teor de sólidos do lodo retido.

Os dados climatológicos foram obtidos pelo site do INMET, referem-se a dados colhidos de uma estação convencional. Uma estação convencional conforme o site do INMET é aquela composta de vários sensores isolados que registram continuamente os parâmetros meteorológicos, que são lidos e anotados por um observador a cada intervalo e este os envia a um centro coletor por um meio de comunicação qualquer.

A estação, localizada na região central de Curitiba, foi aberta em 01 de janeiro de 1911, está numa altitude de 923,5 m, latitude de -25.43° e longitude -49.27° . Nesta estação a temperatura máxima é colhida às 00 UTC (menos 3 horas do horário do Meridiano de Greenwich), temperatura mínima às 12 UTC do dia, a precipitação é acumulada nas últimas 24h e colhida às 12 UTC. A estação está localizada a aproximadamente 7 km da ETA Iguaçu, que por sua vez tem como coordenadas latitude de $-25^{\circ}28'41''$ e longitude de $49^{\circ}12'17''$.

3.4.3 Centrífugas

- Monitoramento de centrífugas em escala real – ETA Passaúna e Iraí

Para o estudo da centrifugação em escala real, através das centrífugas decanter, foram realizadas 13 visitas a ETA Iraí e 11 na ETA Passaúna. Na primeira visita de ambas as estações não foram realizadas coletas, apenas foram levantadas informações sobre as estações, como por exemplo: fluxograma, condições operacionais das ETAs, do desaguamento do lodo, vazões, insumos utilizados e consumo, história, abastecimento, entre outras informações pertinentes. A partir da segunda visita procederam-se as coletas nas duas estações, sendo na ETA Iraí realizada a coleta do lodo flotado, centrifugado e clarificado; e na ETA Passaúna do lodo decantado, adensado, centrifugado e clarificado.

Após a coleta das amostras, foram realizadas análises de DQO, alumínio, óleos e graxas, série de sólidos, pH, condutividade, cor e turbidez para o clarificado das centrífugas; e para as outras amostras foram realizadas medidas de sólidos totais, fixos e voláteis.

Para avaliar a eficiência do desaguamento (R) no monitoramento das centrífugas decanter (ETA Iraí e Passaúna) utilizou-se a equação de CORNWELL (1990):

$$R = C_k (C_f - C_c) / C_f (C_k - C_c) \times 100\% \quad (7)$$

Onde: C_k = Concentração de sólidos na torta (%); C_f = Concentração de sólidos no lodo afluente à centrífuga (%); C_c = Concentração de sólidos no líquido efluente da centrífuga.

- Ensaio de centrifugação em escala de bancada

Para a avaliação da centrifugação em escala de bancada, foram utilizadas amostras do lodo flotado da ETA Iraí, ainda sem condicionamento. Também foi cedido pela estação o polímero para a realização dos ensaios, Flonex 9001[®], fabricado pela SNF do Brasil Ltda.

Assim foram monitorados nas centrifugas de laboratório (Figura 30), variando entre as rotações de 1970 rpm ($G^*=347$), 3110 rpm ($G^*=865$), 3550 rpm ($G^*=1127$) e 4020 rpm ($G^*=1445$); entre o tempo de ensaio de centrifugação (05, 10, 20, 30, 45 e 60 minutos) e a concentração de polímeros (0,0 à 8,0 g de polímero/kg de SST), observando o citado por Reali et al. (1999), visando obter uma melhor avaliação da otimização da dosagem do polímero.

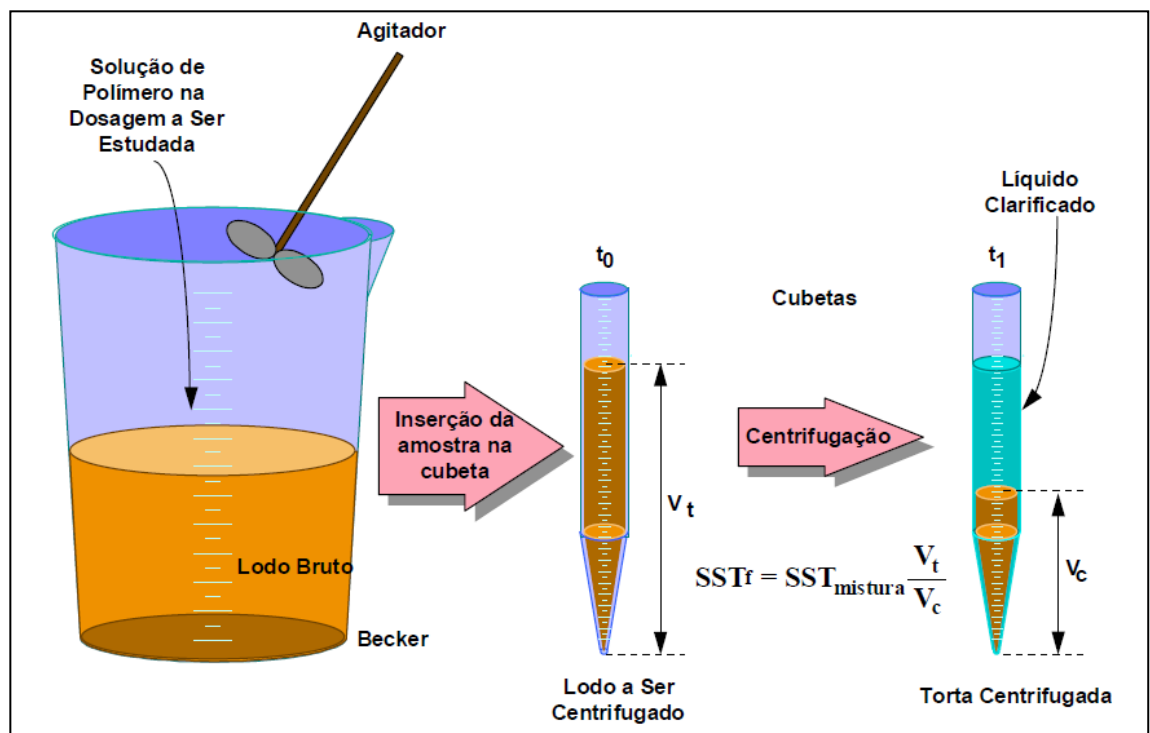


FIGURA 30 - ENSAIO DE CENTRIFUGAÇÃO EM LABORATÓRIO
 FONTE: REALI (1999)

Para a aplicação desta metodologia foram consideradas as seguintes hipóteses: 1) O volume interno do frasco de centrifugação contendo a amostra de lodo foi considerado um sistema fechado e elimina-se a possibilidade de perda de massa durante o ensaio; 2) Todos os sólidos em suspensão presentes no lodo estarão contidos na torta final gerada durante a centrifugação, sendo desprezível a

concentração de sólidos suspensos remanescentes no clarificado após a centrifugação.

Logo, é válida a expressão:

$$SST_{\text{final}} = \frac{M_{\text{t final}}}{V_c} \quad (8)$$

Onde: SST_{final} = concentração de sólidos suspensos totais finais na torta (mg/l);

$M_{\text{t final}}$ = massa total de sólidos suspensos presentes na torta resultante após centrifugação (mg); V_c = volume resultante de torta após centrifugação (ml).

Como o sistema é considerado fechado, obtém-se:

$$SST_{\text{final}} = SST_{\text{inicial}} \frac{V_t}{V_c} \quad (9)$$

Para a realização do ensaio foram realizados os seguintes procedimentos:

- Determinação da concentração dos Sólidos Suspensos Totais, presentes na amostra de lodo da ETA Iraí;
- Preparação da solução do polímero com concentração de 0,1 %;
- Dosagem de volumes iguais de amostras de lodo e dosagem de diferentes volumes da solução de polímero (compatíveis com as dosagens a serem investigadas) (Figura 31);



FIGURA 31- DOSAGEM DE POLÍMERO NO ENSAIO DE CENTRIFUGAÇÃO
FONTE: A AUTORA

d) Com auxílio do Jarrest, utilizando rotação de 500 rpm e tempo de 10 segundos (condições indicadas para uma mistura rápida pela NBR 12.216/92), foi promovido a mistura do polímero com o lodo;

e) Cálculo das novas concentrações de SST em cada becker, tendo em vista a diluição ocasionada pela adição da solução de polímero na amostra de lodo. Ou seja:

$$SST_{\text{mistura}} = SST_{\text{lodo}} \frac{V_{\text{inicial_lodo}}}{V_{\text{inicial_lodo}} + V_{\text{solução de polímero}}} \quad (10)$$

f) Transferência dos volumes iguais das misturas lodo-polímero de cada becker (numerado) para as respectivas cubetas (com a mesma numeração dos becker), colocando-as no interior da centrífuga;

g) Imposição das rotações de ensaio na centrífuga de laboratório (1970 rpm, 3110 rpm, 3550 rpm e 4020 rpm), com leituras do volume ocupado pela fase sólida realizadas nos intervalos de tempo de: 05, 10, 20, 30, 45 e 60 minutos.

h) Após o período de centrifugação, foram efetuadas leituras do volume ocupado pela fase sólida no interior de cada cubeta, e calculadas as concentrações finais de SST referentes a cada dosagem estudada utilizando a expressão 10;

i) Para cada rotação investigada, foram construídas “Curvas de Centrifugação”; sendo uma curva para cada dosagem estudada, plotando-se os valores de teor de sólidos na torta e o respectivo tempo de centrifugação;

j) Foram realizadas comparações entre os diversos valores de SST obtidos e posteriormente foi avaliada a dosagem que forneceu uma maior remoção da água contida no lodo.

3.5 MATERIAIS E MÉTODOS PARA A AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS

Na Tabela 16 são apresentados os parâmetros, métodos, equipamentos, referência e laboratórios utilizados para a avaliação do desempenho do desaguamento do lodo, bem como para a caracterização do lodo utilizado nas pesquisas.

Com relação à forma de coleta, preservação das amostras e metodologia de análises seguiu-se a norma ABNT NBR 9898/1987 e o *Standard Methods* (1998). Para análise dos parâmetros: cor, turbidez, pH, condutividade e série de sólidos foram utilizados frascos de polietileno devidamente limpos e desinfetados para a coleta, sendo abertos somente no momento da coleta e enxaguados antes com o próprio drenado a ser coletado; com exceção da amostragem de lodo em fase pastosa, a quais somente se analisavam os sólidos totais e esta tratativa era inviável. Geralmente as análises eram realizadas imediatamente após a coleta, todavia quando não eram possíveis os ensaios imediatos, as amostras eram conservadas em geladeira, refrigeradas numa temperatura média de 4°C e analisadas no dia seguinte.

TABELA 16 - MATERIAIS E MÉTODOS PARA A AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS

Parâmetro	Método**	Equipamento	Bibliografia	Laboratório
Cor verdadeira	Colorimétrico	DR/890 Hach Colorimeter	SM*** (2120/ 2-1)	LABEAM
Turbidez	Nefelométrico	Portátil Hach 2100 P	SM (2130/ 2-8)	LABEAM
Condutividade	Potenciométrico	WTW Cond 315i Handylab LF1	SM (2510/ 2-44)	LABEAM
pH	Potenciométrico	Qualxtron QX1500 Plus	SM (4500 H +/- 4-86)	LABEAM
Série de sólidos	Gravimétrico	-	SM (2540/ 2-54)	<u>LABEAM</u>
DQO	Refluxo Aberto	-	SM (5220/ 5-14)	CEPPA
O&G	Extração por solvente em Soxhlet	-	SM (5520/ 5-34)	CEPPA
Alumínio *	Espectrofotometria de absorção atômica	-	SM (3111-D/ 3-20)	CEPPA

NOTA: * FORMA DE ATAQUE, ÁCIDO FLUORÍDRICO

** FORMA DE COLETA, PRESERVAÇÃO DE AMOSTRA E METODOLOGIA DE ANÁLISE BASEADA NA NORMA ABNT NBR 9898/1987 E *STANDARD METHODS* (1998)

*** SM: *STANDARD METHODS* (1998)

FONTE: A AUTORA

Com relação às análises de DQO, óleos e graxas e alumínio, os frascos eram retirados no laboratório do CEPPA já prontos (limpos e esterilizados) para realizar a coleta, sendo frascos de polietileno para amostras dos parâmetros DQO e alumínio e frascos de borossilicato âmbar para a amostra de análise de óleos e graxas. Não foi utilizado nenhum conservante por recomendação do CEPPA, pois as amostras eram coletadas e imediatamente deixadas no laboratório, entretanto a

precaução de abrir os frascos somente no momento da coleta e enxaguá-los antes com o próprio drenado a ser coletado foi realizado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente capítulo são descritos os resultados do estudo do desaguamento do lodo através dos métodos naturais (leitos de secagem convencionais e alternativos) durante dois ciclos e; método mecanizado, através de monitoramento de centrífugas decanter e ensaios de centrifugação em escala de bancada.

4.1 ESTUDO DO DESAGUAMENTO DO LODO ATRAVÉS DE LEITOS DE SECAGEM

4.1.1 Ciclo de desaguamento 1

O ciclo 1 iniciou-se no dia 14 de setembro de 2009 com a carga nos nove leitos, 3 convencionais, 3 alternativos com bidim e 3 alternativos com geotecido. Os pilotos receberam o volume de lodo de acordo com as alturas pré-determinadas, sendo: Leito 1- 35 cm de altura de preenchimento e 40 L de lodo, Leito 2 - 50 cm de altura de preenchimento e 57 L de lodo, e Leito 3 - 65 cm de altura de preenchimento e 74 L de lodo

Após a carga, os leitos foram monitorados conforme descrição apresentada no capítulo 3 durante o período de 30 dias (ciclo 1). Sendo assim, houve o encerramento do ciclo no dia 14 de outubro de 2009.

4.1.1.1. Caracterização do lodo utilizado no Ciclo 1

A Tabela 17 apresenta a caracterização do lodo da ETA Iguaçu, utilizado durante o ciclo1. São demonstradas duas caracterizações, pelo fato de que no dia 30 de junho foi planejado o início do primeiro ciclo e realizada a carga nos pilotos. Porém durante o monitoramento, foram verificados problemas construtivos em vários pilotos e optou-se por cessar o ciclo para eventuais alterações nos leitos. Os problemas encontrados foram: vazamento do lodo pelos tubos de concreto (pequenos vazamentos pelos poros do tubo), vazamento do lodo entre o lastro de concreto e os tubos de PVC para drenagem do percolado e vazamento do lodo entre

o tecido e os tubos (para leitos alternativos). Após as alterações necessárias iniciou-se o ciclo 1.

TABELA 17 - CARACTERIZAÇÃO DO LODO UTILIZADO NO CICLO 1

DATA/Parâmetro	Unidade	CONAMA 357/2005 e SEMA nº 001/2007	30/6/2009 *	14/9/2009
pH		5,0 à 9,0 (CPL)	6,8	7,3
Cor	(mg/L de PtCo)	75 (CPR)	143	137
Turbidez	(UNT)	100 (CPR)	3235	5210
Condutividade	(µS/cm)	-	238	250
S. Sed.	mL/L	1 (CPL)	996	998
ST	mg/L	-	8810	8381
STF	mg/L	-	5262	4958
SST	mg/L	-	X	7760
SSV	mg/L	-	X	3680
SSF	mg/L	-	X	4080
DQO	mg/L	228 (SPL)	4220	3426
O&G	mg/L	M:20 e VA:50 (CPL)	84,0	8,3
Metal (Al)	mg/L	0,1 (CPR)	501,9	450,0

LEGENDA: CPL - PADRÃO DE LANÇAMENTO DO CONAMA; CPR - PADRÃO DE RIO CLASSE 2 PELO CONAMA; M – ÓLEOS MINERAIS E VA - ÓLEOS VEGETAIS E ANIMAIS; SPL - PADRÃO DE LANÇAMENTO SEMA.

NOTA: * LODO CARACTERIZADO PORÉM NÃO UTILIZADO NO PRIMEIRO CICLO

(X): ANÁLISE NÃO REALIZADA

FONTE: A AUTORA

Verifica-se que os valores da maioria dos parâmetros foram similares para as duas caracterizações, com exceção de valores de O&G e turbidez, os quais apresentaram grande disparidade. Os SST representaram aproximadamente 92% dos ST, o pH encontra-se na faixa de neutralidade e valores de DQO relativamente altos.

Os resultados encontrados estão dentro dos valores citados em literatura (Andreolli *et al.*, 2001; Cordeiro e Campos, 1999; Weber e Torres, 2007). Com relação à matéria orgânica, geralmente encontram-se valores na literatura de 20 à 35% de representabilidade de STV do total de sólidos (ANDREOLLI *et al.*, 2001). Para o lodo da ETA Iguaçu, este valor ficou acima de 40%, demonstrando um maior percentual de matéria orgânica comparado aos valores citados por Andreolli *et al.* (2001).

4.1.1.2 Cálculo da taxa de aplicação de sólidos nos leitos (TAS) para o ciclo 1

Outra forma de caracterização do lodo utilizado no ciclo 1 foi o cálculo do TAS (kg/m^2), ou seja, a taxa de aplicação de sólidos nos leitos. Para este cálculo foi considerado a área de fundo dos leitos (diâmetro = 40 cm) e o teor de sólidos totais do lodo da ETA Iguaçu utilizado no ciclo 1. A Tabela 18x apresenta as taxas calculadas para cada altura de leito analisada:

TABELA 18 - CÁLCULO DAS TAXAS DE APLICAÇÃO DE SÓLIDOS NOS LEITOS

Leitos	(I) Vol.(L)	(II) ST (mg/L)	(III = I x II) massa (mg)	(IV = III / A) TAS (kg/m^2)
Altura 1 - 30cm	40	8381	335222	2,96
Altura 2 - 50 cm	57	8381	477691	4,21
Altura 3 - 65 cm	74	8381	620160	5,47

FONTE: A AUTORA

Comparando as TASs obtidas, com a taxa de 15 kg/m^2 , especificada pela NBR 12209/1992 como o limite máximo de descarga de lodo em um leito de secagem, verifica-se que estas se encontram abaixo do limite. As baixas taxas obtidas são justificadas pelo fato de que o lodo de ETA é bem mais diluído do que um lodo de esgoto. Lopes *et al.* (2005), aplicaram em leitos de secagem convencionais com camada filtrante semelhante TASs de 0,4 e 0,6 kg de SST/m^2 , ou seja, bem abaixo das taxas aplicadas no ciclo 1.

4.1.1.3 Monitoramento dos leitos de secagem convencionais durante o ciclo 1

O estudo do desaguamento do lodo através dos LCs durante o ciclo 1 foi realizado através do aspecto, caracterização e volume do drenado; e dos sólidos retidos nos leitos.

4.1.1.3.1 Aspecto, caracterização e volume do drenado

a) Aspecto

A Figura 32 ilustra a aparência dos drenados obtidos nos 3 leitos de secagem convencionais durante o monitoramento do ciclo 1.

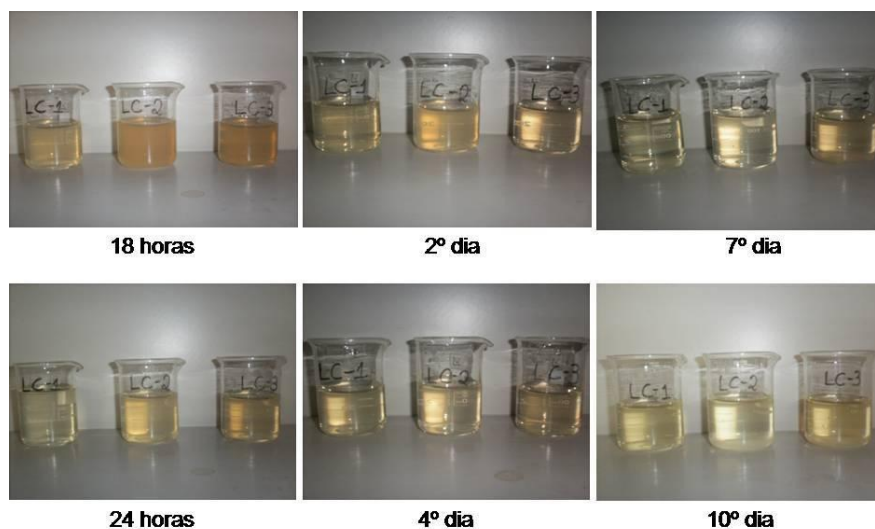


FIGURA 32 - APARÊNCIA DO DRENADO OBTIDO NOS LC – CICLO 1
 FONTE: A AUTORA

A Figura 32 permite observar, que o drenado obtido nas primeiras 18 horas apresentou coloração mais escura se comparada aos demais dias. Pode ser explicado devido à formação da torta de lodo sobre o material filtrante do leito, a qual melhora a qualidade do clarificado. Leshchinsky (1992) e Gaffney *et al.* (1999) citam que materiais lodosos quando submetidos à processos de filtração com geotecidos, implicam no escape de sólidos durante o início do processo, o qual cessa rapidamente após a formação da torta de lodo. O mesmo pode acontecer com os leitos convencionais, pois em campo verificou-se a sedimentação de sólidos sobre a camada filtrante que deu origem a torta de lodo.

b) Caracterização

A Tabela 19, 20 e 21 mostram os resultados da caracterização do drenado obtido nos três leitos convencionais para o ciclo 1.

O valores de pH aumentaram ao comparar com os valores de caracterização. Esse aumento pode ser explicado pela possível presença de carbonatos na brita e na areia que compõem o leito filtrante dos pilotos; com a carga nos leitos os carbonatos podem ter sidos arrastados e influenciaram no pH do drenado.

TABELA 19 - CARACTERIZAÇÃO DO DRENADO OBTIDO NO LC-1 – CICLO 1

parâmetro/data e hora	pH	cond. (μ S/cm)	Cor (mg/L de PtCo)	turbidez (UNT)	SST (mg/L)	ST (mg/L)
Caracterização	7,3	250	137	5210	7760	8381
15/9 18 hrs	9,7	301	134	38,4	33	474
15/9 24 hrs	9,5	307	18	10,3	27	222
16/9 2º dia	9,5	204	93	25,7	13	258
18/9 4º dia	9,3	361	43	15,2	8	894
21/9 7º dia	8,5	590	64	14,4	24	889
24/9 10º dia	9,1	391	115	33,8	44	793

NOTA: OCORRÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO NO DIA 19, 20, 21, 23, 24.
FONTE: A AUTORA

TABELA 20 - CARACTERIZAÇÃO DO DRENADO OBTIDO NO LC-2 – CICLO 1

parâmetro/data e hora	pH	cond. (μ S/cm)	Cor (mg/L de PtCo)	turbidez (UNT)	SST (mg/L)	ST (mg/L)
Caracterização	7,3	250	137	5210	7760	8381
15/9 18 hrs	9,1	284	319	90,8	107	489
15/9 24 hrs	8,9	301	104	10,2	47	125
16/9 2º dia	8,9	209	62	55,1	12	232
18/9 4º dia	9,0	384	76	25,6	20	349
21/9 7º dia	8,4	390	31	25,6	16	433
24/9 10º dia	8,8	449	86	11,9	36	445

OBS: OCORRÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO NO DIA 19, 20, 21, 23, 24.
FONTE: A AUTORA

TABELA 21 - CARACTERIZAÇÃO DO DRENADO OBTIDO NO LC-3 – CICLO 1

parâmetro/data e hora	Ph	cond. (μ S/cm)	Cor (mg/L de PtCo)	turbidez (UNT)	SST (mg/L)	ST (mg/L)
Caracterização	7,3	250	137	5210	7760	8381
15/9 18 hrs	9,0	289	247	9,0	20	1078
15/9 24 hrs	8,9	300	135	25,7	27	794
16/9 2º dia	8,7	285	87	22,7	12	993
18/9 4º dia	8,8	357	84	19,2	10	898
21/9 7º dia	8,1	390	75	19,4	18	838
24/9 10º dia	8,8	445	135	11,3	16	808

OBS: OCORRÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO NO DIA 19, 20, 21, 23, 24.
FONTE: O AUTOR

Quanto à condutividade, os valores ficaram entre 209 e 445 μ S/cm para o drenado dos 3 leitos. Maiores valores de condutividade são explicados pelo acréscimo do pH que faz com que sais se precipitem e aumentem a condução de corrente elétrica. A cor não apresentou valores decrescentes, porém, durante a

análise da cor percebeu-se que o equipamento de medição apresentou grande variação de valores de leitura para uma mesma amostra.

Verificou-se que o equipamento encontrava-se devidamente calibrado e ao entrar em contato com o fabricante, o mesmo informou que a variação da leitura pode ocorrer devido à movimentação dos sólidos na amostra, a qual implica em diferentes leituras. Ainda foi informado que a faixa de leitura de cor do equipamento é entre 25 e 550 mg/L de PtCo, leituras com valores menores que 25 mg/L de PtCo (obtidas durante a pesquisa), devem ser consideradas apenas como cor menor que 25 mg/L de PtCo. Portanto em todos os resultados de cores apresentados neste capítulo com valores menores que 25 mg/L de PtCo, leia-se: < 25 mg/L de PtCo.

Os valores de SST e turbidez apresentaram variações semelhantes para o drenado dos 3 leitos. Ainda com relação aos ST e SST, percebe-se que a maioria ficou retida nos leitos. O aumento de ST pode ser explicado pela ocorrência de precipitação que aumenta a vazão de drenagem e a concentração de ST no drenado. Entretanto, no dia 18/09 não houve registro de precipitação e mesmo assim o teor de sólidos aumentou. Isto pode ser explicado pelo fato de que a estação meteorológica onde foram obtidos os dados climáticos está localizada à 7 km da estação, e pode ter ocorrido precipitação na ETA Iguaçu e não ter ocorrido na estação meteorológica no dia 18/09.

O drenado que apresentou melhor qualidade foi o obtido no LC-1, entretanto, os resultados das Tabelas permitem observar que o lançamento dos drenados dos 3 leitos diretamente no corpo receptor é inviável, pois os parâmetros extrapolam os limites estabelecidos pela legislação.

A Tabela 22 apresenta os valores de DQO, Alumínio e O&G analisados no 1º e 7º dia do primeiro ciclo para o leito de maior carga.

TABELA 22 - VALORES DE DQO, AL E O&G PARA O DRENADO DO LC-3

LC-3			
Dia/parâmetro	DQO (mg/L)	Al (mg/L)	O & G (mg/L)
Caracterização	3426	450	8,3
1º	79,92	1,92	12,1
7º	119,52	1	X

OBS.: (X) SEM AMOSTRA SUFICIENTE PARA A ANÁLISE
 FONTE: A AUTORA

Optou-se por analisar estes parâmetros apenas no leito de maior carga ao considerar que este seria o caso mais crítico, conforme apresentado no capítulo 3.

Cabe comentar que apesar de realizado análise de um metal apenas, sabe-se da presença de outros no drenado, como ferro e manganês, conforme trabalho realizado por Machado (2006). Entretanto, devido as estações da Sanepar utilizarem o sulfato de alumínio como coagulante, optou-se por analisar apenas o íon alumínio, por ser considerado como crítico quanto sua toxicidade e apresentar em maior quantidade, neste caso, se comparado à outros metais.

Quanto à DQO, percebe-se que houve uma remoção satisfatória, com decréscimo de 3426 mg/L para 79,92 mg/L e 119,52 mg/L para o 1º e 7º dia respectivamente. Atribui-se o aumento da DQO no 7º dia, ao desprendimento do biofilme formado nas britas e areia devido às forças cisalhantes. O leito também removeu grande quantidade de alumínio, pois o lodo *in natura* apresentou um teor de 450 mg/L de alumínio, sendo reduzido para 1 mg/L no 7º dia. Somente os valores de O&G, que apesar de estarem dentro dos parâmetros de lançamento de efluentes estabelecidos pela Resolução 357/2005, apresentaram acréscimo ao comparar com o lodo utilizado no primeiro ciclo. O aumento pode ser atribuído a erro analítico ou interferência do recipiente de acúmulo do drenado, o qual era feito de PVC, material não indicado para armazenagem de amostras, as quais serão submetidas a análise de O&G.

Machado (2006) comparou leitos de secagem convencionais e modificados em pesquisa. Entretanto os leitos convencionais e modificados utilizados em sua pesquisa não seguiram metodologia adotada no presente estudo: NBR 12209/96 e Cordeiro (1993, 2001). O leito convencional utilizado em pesquisa realizada por Machado (2006) era composto de 15 cm de brita nº 01, 15 cm de areia grossa, 15 cm de areia média e tijolos maciços. Não foram encontradas referências bibliográficas de avaliações de desaguamento de lodo de ETA em leitos convencionais conforme metodologia especificada pela NBR 12209/96. Para parâmetros de DQO e Al, Machado (2006) encontrou para o drenado obtido em sua pesquisa (altura de lodo de 30 cm) resultados de 107 mg/L e 0,255 mg/L para 6 dias de monitoramento.

Ao comparar os resultados das análises de DQO, O&G e alumínio do drenado do LC-3 verificou-se também a inviabilidade do lançamento devido à DQO. A resolução nº 001 de 2007 da SEMA estabelece o limite de 225 mg/L para o lançamento de efluentes de empreendimentos de saneamento. O mais adequado, conforme cita Fontana (2004) seria a recirculação deste resíduo ao início do

processo de tratamento de água, assim como o realizado com a água de lavagem dos filtros em grande parte das estações (ASADA, 2007).

c) Volume do drenado

A Figura 33 apresenta o volume de drenado recolhido nos recipientes de armazenamento e o volume de precipitação durante o monitoramento dos 3 LC no ciclo 1:

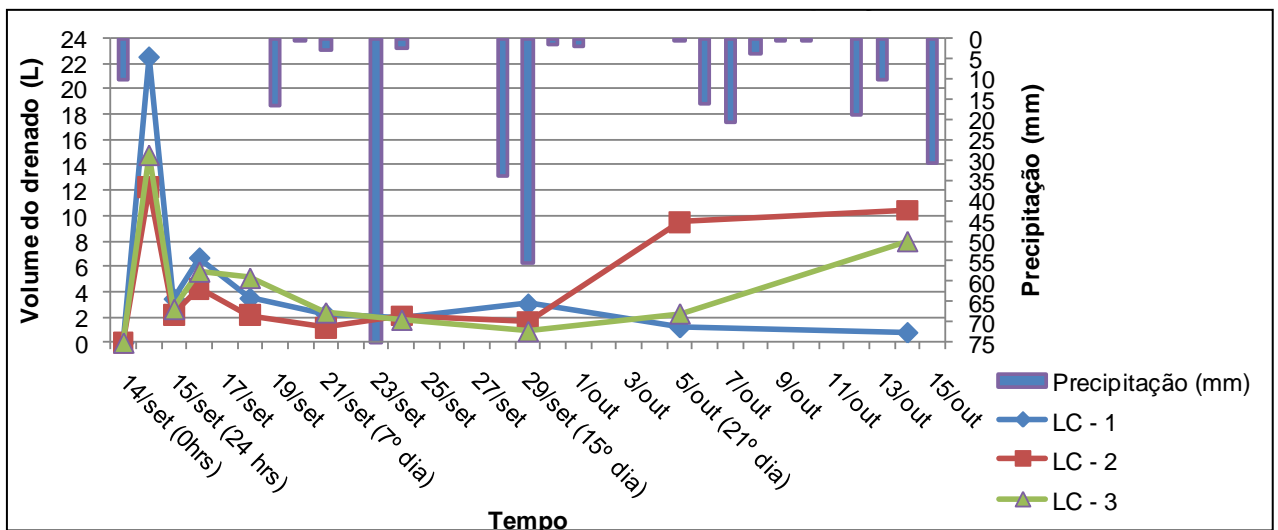


FIGURA 33 – VOLUME DE DRENADO DO LC E PRECIPITAÇÃO - CICLO 1
 FONTE: A AUTORA

Durante os 30 dias de estudos, em 20 verificaram-se altos índices pluviométricos, chegando até 74,9 mm no dia 23 de setembro (9º dia de ciclo). Fato atípico ocorrido no ano de 2009, pois o ciclo iniciou-se no inverno, o qual se caracteriza como uma estação “seca”. O inverno de 2009, segundo informações do Simepar foi o que apresentou valores pluviométricos mais altos comparado aos últimos anos.

Percebe-se na Figura 33 que a vazão de drenagem foi relativamente maior no início do ciclo, com decréscimo progressivo, e aumento a partir do 15º dia devido a ocorrência de precipitação. Observa-se a ocorrência de chuva e conseqüente resposta no acúmulo do volume do drenado. Concluindo que a precipitação não se incorporou na massa de sólidos do lodo retido, pois na ocorrência de precipitação houve um aumento na vazão de drenagem. A água da chuva foi eliminada

juntamente com o clarificado com o decorrer do ciclo, conforme citam os pesquisadores Achon, Barroso e Cordeiro (2005, 2008).

4.1.1.3.2 Altura, teor de sólidos, aspecto do lodo retido e influência de temperatura e umidade no desaguamento

a) Evolução da altura livre da borda nos leitos

A Figura 34 apresenta a evolução da superfície livre dentro dos leitos devido ao rebaixamento da altura do lodo retido nos 3 leitos convencionais e ocorrência de precipitação durante o ciclo 1:

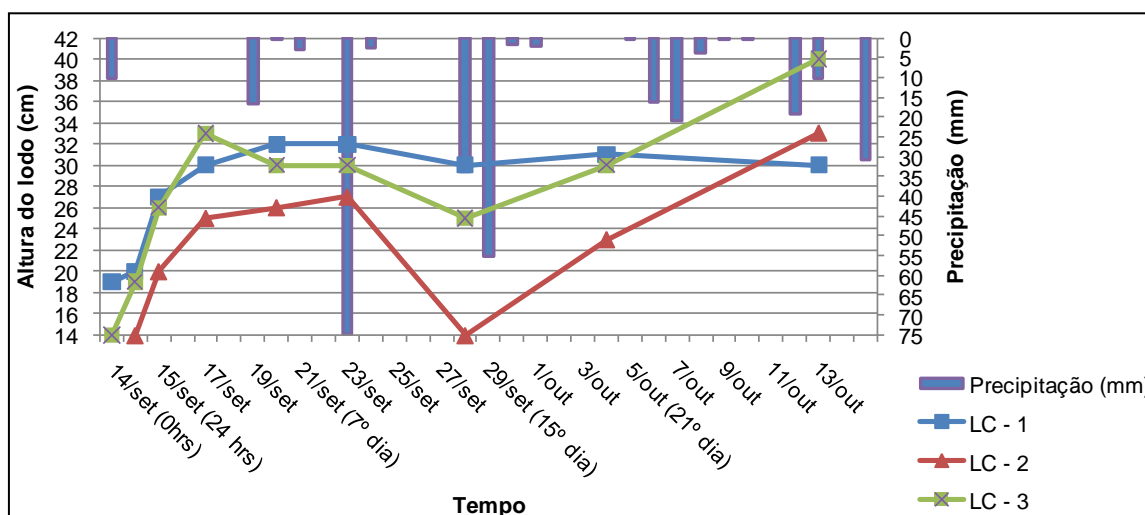


FIGURA 34 - EVOLUÇÃO DA ALTURA LIVRE DA BORDA E PRECIPITAÇÃO - CICLO 1
 FONTE: A AUTORA

Com relação à evolução da altura nos leitos devido ao rebaixamento do lodo, estas foram mensuradas dentro dos leitos na superfície livre dos leitos, sendo assim, a partida foi considerada como 0 cm. Considerando que ainda não havia rebaixamento da altura do lodo, após, este valor foi aumentando em consequência da diminuição da altura do lodo dentro dos leitos. Para o ciclo 1, iniciou-se a medição da evolução da altura do lodo nos LCs às 18 horas de ciclo, optou-se por não iniciar o gráfico em 0 cm para facilitar a visualização da evolução da altura de lodo no gráfico.

Observa-se o aumento da altura no leito, com exceção do 2º dia para o LC e 15º dia para os 3 leitos, em que houve um decréscimo da altura devido precipitação.

Devido ao fato de não ter ocorrido a abertura da massa de lodo, conseqüência da ocorrência de precipitação durante todo o ciclo, a água da chuva acumulou nos leitos e aumentou a altura da massa de lodo. A partir do 21º dia houve novamente aumento da superfície livre de lodo nos leitos e diminuição da altura do lodo, pois maior parte da água livre já havia sido drenada e o volume de chuva diminuiu.

b) Teor de sólidos do lodo retido nos leitos

A Figura 35 apresenta a evolução do teor de sólidos para os 3 leitos convencionais durante o ciclo 1:

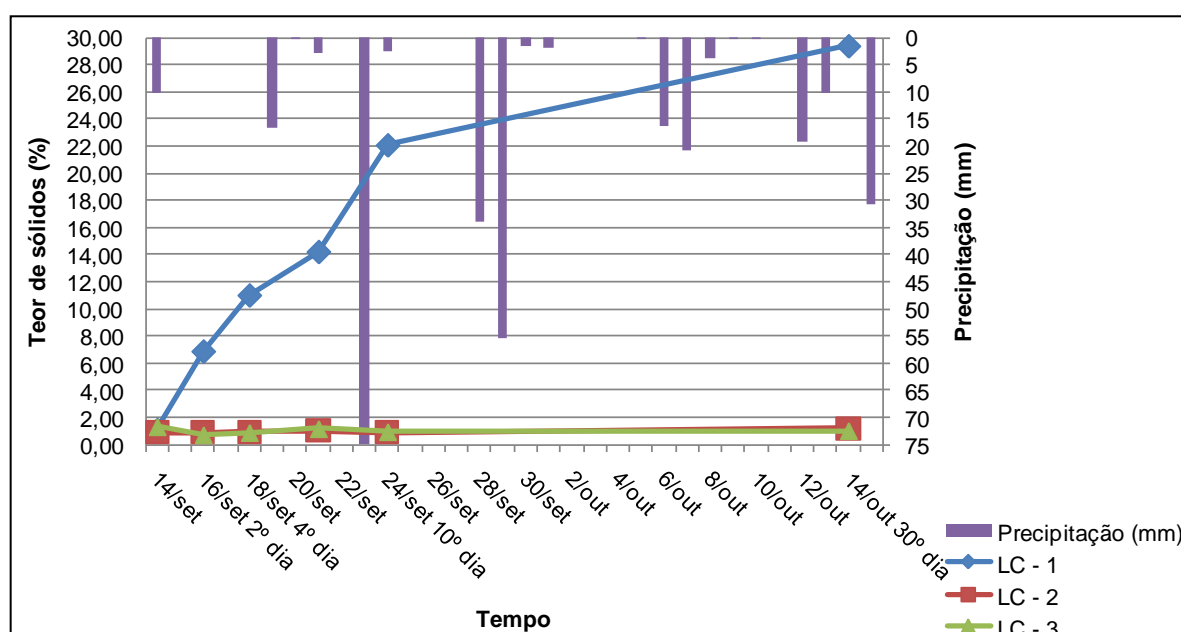


FIGURA 35 - VARIAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS NOS LC E PRECIPITAÇÃO – CICLO 1
 FONTE: A AUTORA

A Figura 35 permite observar que apenas LC-1 apresentou teor de sólidos satisfatório ao final do ciclo. Para LC-2 e LC-3 o teor de sólidos finais não chegaram à 3000 mg/L, ou seja, a 3%. A concentração de 29%, obtida no LC-1 aos 30 dias de ciclo, é considerada ótima, pois a maioria dos sistemas mecanizados não atingem tais níveis. Ressalta-se ainda que durante os 30 dias do ciclo de pesquisa, em 20 ocorreram precipitação, o que aumentou a umidade do ar e prejudicou a secagem.

Quanto aos outros leitos, os baixos teores de sólidos totais finais podem ser explicados pelas maiores de TASs aplicadas, pelas limitações do piloto, como a pouca exposição do lodo a atmosfera, e conseqüente diminuição da influência da

insolação, ventos e evaporação. E ainda pela influência das condições climáticas do inverno atípico do ano de 2009 (altos índices pluviométricos). Houve ocorrência de precipitação desde o início do ciclo, portanto, não foi possível a drenagem da água livre do lodo e conseqüente abertura da massa do lodo. A água da chuva, apesar de drenar junto com a água livre no decorrer do ciclo, se acumulou nos leitos e prejudicou a secagem, o que fez com os teores de sólidos do LC-2 e LC-3 não ultrapassassem 3000 mg/L. Em pesquisa, Fontana (2004) relata que a ocorrência de precipitação antes da “abertura” da massa de lodo é potencialmente mais prejudicial à secagem do lodo.

Ao analisar a estrutura dos sólidos presentes nos lodos, verifica-se que é complexa e composta por partículas pequenas, que dificultam a remoção da água livre, em função dos vazios presentes. Nos leitos, pode ocorrer a rápida sedimentação das partículas do lodo, que passam a ocupar estes vazios. Desta maneira, ocorre a formação de uma camada no leito (torta de filtro) que diminui a passagem da água livre pelo leito filtrante. Outro aspecto que explicaria as baixas concentrações de ST do LC-1 e LC-3.

c) Aspecto do lodo retido nos leitos

A Figura 36, que ilustra o aspecto do lodo nos leitos, permite observar a grande quantidade de água livre ainda presente na massa de lodo do LC-2 e LC-3, e a conseqüente inexistência de abertura da massa do lodo. Essa abertura da massa de lodo não ocorreu devido à grande intensidade de chuva verificada durante o ciclo

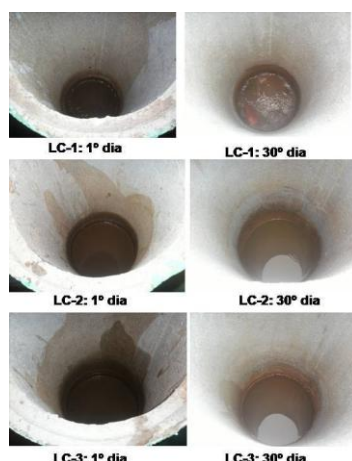


FIGURA 36 ASPECTO DO LODO NOS LC NO 1º E 30º DIA - CICLO 1
FONTE: A AUTORA

d) Influência da umidade e temperatura do ar no teor de sólidos do lodo retido

As Figuras 37 e 38 mostram os resultados da influência das demais variáveis climáticas estudadas, umidade e a temperatura do ar, na variação do teor de sólidos do lodo retido nos leitos convencionais durante o ciclo 1:

Com relação à umidade, os dados climáticos (ANEXO 2) mostram os altos níveis durante o ciclo, decorrentes dos altos índices pluviométricos. A média encontrada durante o ciclo 1 foi de 81% e a máxima de 98%.

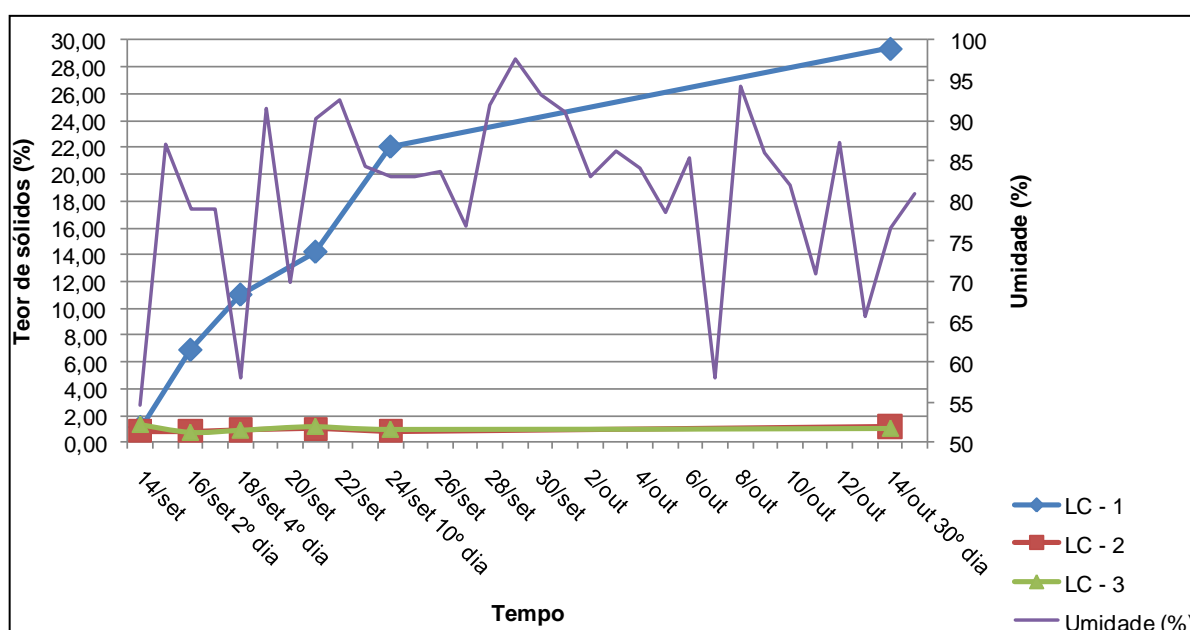


FIGURA 37 - TEOR DE SÓLIDOS RETIDO NOS 3 LC E UMIDADE DO AR - CICLO 1
 FONTE: A AUTORA

Os altos níveis de umidade encontrados durante o ciclo 1, conseqüentes da grande intensidade de precipitação, prejudicaram a secagem do lodo. Pois esta variável é determinante na secagem, sendo fundamental no equilíbrio da relação de pressão de vapor d'água, entre a massa de lodo e a atmosfera.

Verifica-se através dos ST do LC-1, que na diminuição da umidade houve um acréscimo nos teores de sólidos. Esta influência não ficou perceptível nos LC-2 e LC-3, pois os mesmos não chegaram a atingir 3% de concentração de ST devido aos fatores já explicados anteriormente

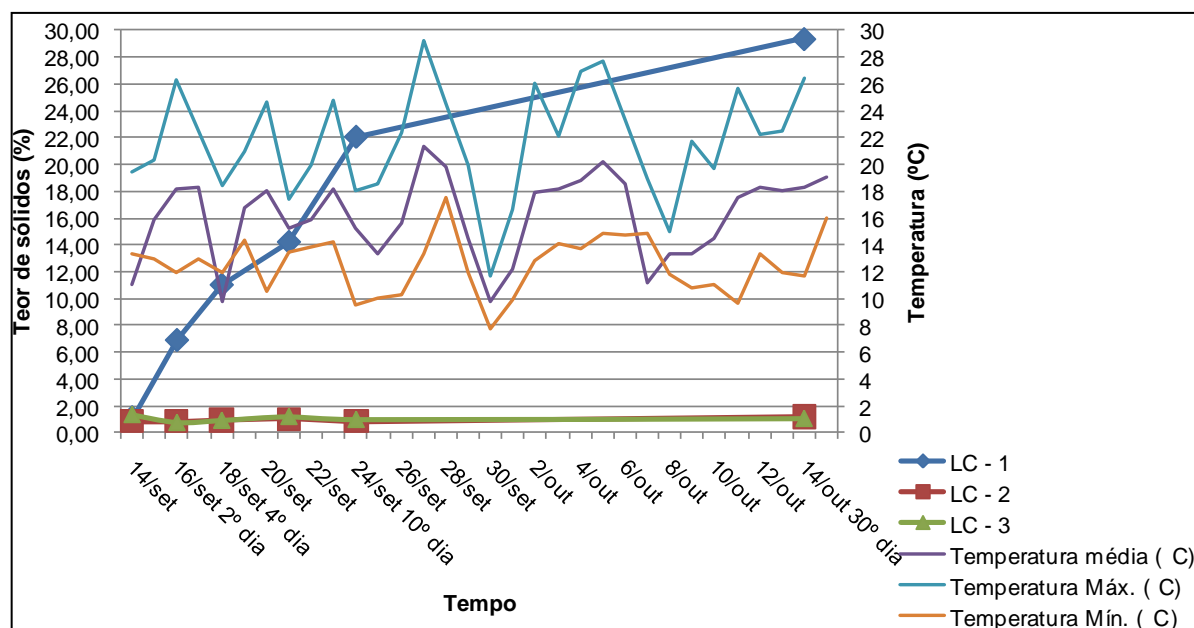


FIGURA 38 - TEOR DE SÓLIDOS RETIDOS NOS 3 LC E TEMPERATURA- CICLO 1
 FONTE: A AUTORA

Com relação à temperatura durante o ciclo estudado, a mesma variou entre 9,8 °C até 29,2 °C, com predominância de temperaturas mais baixas na maioria dos ciclos. A temperatura média encontrada no ciclo foi de 16,2°C com desvio padrão de 3,1°C, conforme ANEXO 2. A temperatura tem fundamental influência na secagem do lodo, pois a mesma é de grande importância nos mecanismos de fluxo de massa de umidade e transmissão de energia para o lodo retido nos leitos.

A predominância de temperaturas mais baixas prejudicou a secagem do lodo durante o ciclo 1. Achon, Barroso e Cordeiro (2005) avaliaram o desaguamento em leitos modificados, considerando a variável temperatura, e concluíram que a mesma é proporcional à variação do teor de sólidos do lodo retido. Entretanto foram verificadas temperaturas entre 20°C e 25°C, ou seja, relativamente maiores do que as encontradas no presente estudo. Também, na pesquisa de Achon, Barroso e Cordeiro (2005), o volume de precipitação foi menor e houve abertura da massa de lodo.

Portanto, apesar da temperatura ter influência na secagem do lodo, esta não ficou perceptível neste gráfico, devido predominância de temperaturas baixas, grande volume de chuva e ausência da abertura da massa de lodo, principalmente nos leitos de maiores cargas (LC-2 e LC-3).

4.1.1.4. Leito de secagem alternativo com bidim e geotecido

Com relação aos leitos alternativos com bidim e geotecido, estes também foram monitorados durante o ciclo 1 conforme descrito no capítulo 3, porém os mesmos apresentaram diversos problemas construtivos e operacionais. Desta forma, optou-se por não apresentar e discutir os resultados obtidos neste capítulo pela baixa eficiência apresentada por todos os pilotos, entretanto os mesmos são apresentados nas Tabelas em anexo (ANEXO-3).

Após a primeira tentativa de carga nos pilotos (dia 30 de junho de 2009), quando foi verificado vazamento do lodo e optou-se pelo encerramento do ciclo, foram realizadas todas as alterações necessárias nos leitos, como a impermeabilização de todos os tubos, impermeabilização entre o lastro de concreto e os tubos de drenagem e no espaço entre os tubos e os tecidos.

Quanto aos leitos alternativos, o maior problema encontrado foi a impermeabilização entre o tecido (bidim e geotecido) e os tubos de concreto. Foram testados diversos tipos de colas e materiais vedantes para evitar o vazamento do lodo para as bombonas de coleta do drenado, porém em todos os casos houve vazamento de lodo, comprometendo a qualidade do clarificado. Optou-se então por realizar a impermeabilização entre os tecidos e os tubos com cimento, após a secagem do mesmo, foram realizados testes com água e verificou-se que o vazamento havia cessado. Desta forma procedeu-se os ensaios, e os leitos receberam uma nova carga no dia 14 de setembro de 2009. Vale ressaltar que para a nova carga, os leitos convencionais foram limpos manualmente, retirando com cuidado o lodo residual dos interstícios dos tijolos da camada filtrante.

Durante o Ciclo 1 percebeu-se que as diversas tentativas de impermeabilização, entre o tecido e o tubo, ocasionaram a colmatação dos tecidos. E já no 1º dia de ciclo foi verificado novamente o vazamento de lodo em todos os leitos com geotecido, e no leito com bidim de altura média (LAB-2, 50cm), foi verificado também, borbulhamento no LAG-2 ao se colocar o lodo e baixa qualidade do clarificado dos leitos LAG-2, LAG-3 e LAB-2 durante todo o ciclo. Apesar da qualidade do clarificado do LAB-1, LAB-3 e LAG-1 apresentarem melhorias no decorrer do ciclo, a vazão de drenagem da água livre foi extremamente baixa devido a colmatação.

Foi verificado em campo, a presença de quase toda a água livre até o 30º dia do ciclo 1, esperava-se a drenagem de toda a água livre na primeira semana do ciclo, conforme demonstrado por outros pesquisadores: Cordeiro (1993, 2000, 2001); Achon e Cordeiro (2003); Fontana (2004); Achon, Barroso e Cordeiro (2005); Barroso (2007); Achon, Barroso e Cordeiro (2008).

Optou-se então por descartar os pilotos alternativos utilizados no ciclo 1 e utilizar a configuração de leitos tronco-pirâmides durante o ciclo 2, conforme metodologia utilizada por Cordeiro (1993, 2000, 2001); Achon e Cordeiro (2003); Fontana (2004); Achon, Barroso e Cordeiro (2005); Barroso (2007); Achon, Barroso e Cordeiro (2008). Com a nova configuração, eliminou-se a necessidade de impermeabilização, haja visto que os pilotos de tubo de concreto pelo diâmetro pequeno (40 cm) não permitem a colocação dos tecidos sem que sejam realizadas emendas (que também causam vazamentos).

No início da RIPLA constatou-se através da Sanepar que na estação de tratamento de água da cidade de Salto de Lontra havia um leito alternativo com bidim em escala real que não estava sendo mais utilizado devido colmatação. Um dos objetivos iniciais desta pesquisa também seria avaliar o leito de secagem de Salto do Lontra, estudando causas da colmatação e aplicação de diferentes TASs. Devido a distância da cidade de Salto do Lontra, custos com deslocamentos e dificuldade para realizar as análises e avaliação do leito, esta parte do estudo tornou-se inviável.

4.1.2 Ciclo de desaguamento 2

O ciclo 2 iniciou-se no dia 19 de maio de 2010 com a carga nos 7 leitos, 3 convencionais (tubulares), 2 alternativos com bidim e 3 alternativos com geotecido,; (ambos alternativos com leitos tronco-pirâmides). Os pilotos receberam o volume de lodo de acordo com os volumes pré-determinados no ciclo 1, ou seja, 40, 54 e 70 L, este último apenas para o leito convencional.

Após a carga, os leitos foram monitorados conforme apresentado no capítulo 3, durante o período de 30 dias (1 ciclo). Sendo assim, houve o encerramento do ciclo 2 no dia 19 de junho de 2010.

4.1.2.1 Caracterização do lodo utilizado no Ciclo 2

A Tabela 23 apresenta a caracterização do lodo *in natura* da ETA Iguaçu utilizado durante o ciclo 2. Percebe-se que os valores apresentados pelos parâmetros analisados, foram similares a caracterização do lodo utilizado durante o ciclo 1. O pH encontrado (6,6) está dentro das faixas citadas por Cordeiro e Campos (1999); Weber e Torres (2007); Achon, Barroso e Cordeiro (2008) e Portela *et al.* (2003).

TABELA 23 - CARACTERIZAÇÃO DO LODO UTILIZADO NO CICLO 2

DATA/Parâmetro	Unidade	CONAMA 357/2005 e SEMA nº 001	19/05/2010
pH		5,0 à 9,0 (CPL)	6,6
Cor	(mg/L de PtCo)	75 (CPR)	157
Turbidez	(UNT)	100 (CPR)	6670
Condutividade	(μ S/cm)	-	208
S. Sed.	mL/L	1 (CPL)	985
ST	mg/L	-	8984
STF	mg/L	-	6124
SST	mg/L	-	8676
SSV	mg/L	-	3680
SSF	mg/L	-	5616
DQO	mg/L	228 (SPL)	2974
Óleos e graxas	mg/L	M:20 e VA:50 (CPL)	9,33
Metal (Al)	mg/L	0,1 (CPR)	236,6

LEGENDA: CPL - PADRÃO DE LANÇAMENTO DO CONAMA; CPR - PADRÃO DE RIO CLASSE 2 PELO CONAMA; M - ÓLEOS MINERAIS E VA - ÓLEOS VEGETAIS E ANIMAIS; SPL - PADRÃO DE LANÇAMENTO SEMA
 FONTE: A AUTORA

Com relação aos sólidos sedimentáveis, ao comparar com os resultados obtidos por Weber e Torres (2007) que caracterizaram diversos lodos de ETAs, (inclusive o da ETA Iguaçu), e encontraram valores de 43 até 400 mL/L, verifica-se que o valor obtido no presente estudo está bem acima dos citados pelos autores. Porém, as amostras caracterizadas por Weber e Torres (2007) eram compostas de lodo de decantador e água de lavagem de filtro, fator que explica o valor baixo obtido pelos autores.

Sundefeld Junior (2007) cita que lodos de decantadores convencionais variam entre 0,1 até 2,5% e Andreoli *et al.* (2001) entre 0,3 e 1,5%; para este lodo foi

encontrado o teor de 0,89%. Quanto à porcentagem orgânica dos ST, ou seja, foi obtido o valor de 31% para STV, sendo portanto, maior parte do lodo de origem mineral. Andreoli *et al.* (2001) citam que os STV representam de 20 à 35% dos ST, já Cordeiro e Campos (1999) ao listar valores citados por diversos autores, citam entre 15 à 30%. Quanto ao SST, estes representaram aproximadamente 96% dos ST, Andreoli *et al.* (2001) citam entre 75 e 90%.

Quanto ao parâmetro DQO, o resultado obtido foi de 2974 mg/L. Andreoli *et al.* (2001) citam entre 500 e 10000 mg/L; Cordeiro e Campos (1999) entre 340 e 16000 mg/L e Weber e Torres (2007) para o lodo da ETA Iguaçu (decantador+água de lavagem dos filtros), 51 mg/L.

Para o parâmetro O&G durante a caracterização, o resultado obtido foi de 9,33 mg/L; Di Bernardo *et al.* (1999) citam 940 mg/L; Cordeiro (1993, 2000) entre 5460 e 5600 mg/L e Fontana (2004) cita 7500 mg/L. Para alumínio são encontrados em literatura valores entre 30 e 1700 mg/L (Cordeiro, 1993; Cordeiro, 2000; Barroso, 2002; Fontana, 2004), nesta pesquisa o valor obtido para a caracterização do lodo foi de 236,6 mg/L.

Comparando os resultados de todos os parâmetros com os limites estabelecidos em legislação (CONAMA nº 357/2005 e SEMA nº 001/2001), verifica-se a inviabilidade de lançamento do lodo em corpos receptores e a necessidade de se realizar um tratamento. Vale ressaltar que atualmente a ETA Iguaçu lança o lodo diretamente no rio, entretanto, iniciou-se na unidade Iguaçu, a construção de uma estação de tratamento de lodo, a ser composta por uma prensa-parafuso (a primeira adquirida pela Sanepar).

4.1.2.2 Cálculo da taxa de aplicação de sólidos (TAS) para o ciclo 2

A Tabela 24 apresenta as TAS para cada carga de volume de lodo estudada:

TABELA 24 - CÁLCULO DAS TAXAS DE APLICAÇÃO DE SÓLIDOS NOS LEITOS – CICLO 2

Leitos	I Vol.(L)	II ST (mg/L)	III = I x II massa (mg)	IV = III / A TAS (kg/m ²)
Convencionais (Leitos tubulares - área de 0,11 m ²)	40	8984	359360	3,17
	57	8984	512088	4,52
	74	8984	664816	5,86
Alternativos (Leitos tronco- piramidais - área de 0,17 m ²)	40	8984	359360	2,24
	57	8984	512088	3,2

FONTE: A AUTORA

Assim como no ciclo 1, as taxas do ciclo 2 encontram-se bem abaixo da taxa especificada pela NBR 12209/1992 (15kg/m²), pois o lodo de ETA apresenta maior quantidade de água que o lodo de esgoto.

4.1.2.3 Monitoramento dos leitos de secagem convencionais durante o ciclo 2

4.1.2.3.1 Aspecto, caracterização e volume do drenado

a) Aspecto

A Figura 39 permite observar que o drenado obtido nas primeiras 18 horas, assim como no ciclo 1, apresentou coloração mais escura se comparada aos demais dias. Também explicado devido à formação da torta de filtro, a qual melhora a qualidade do clarificado (LESHCHINSKY, 1992 e GAFFNEY *et al.*, 1999).

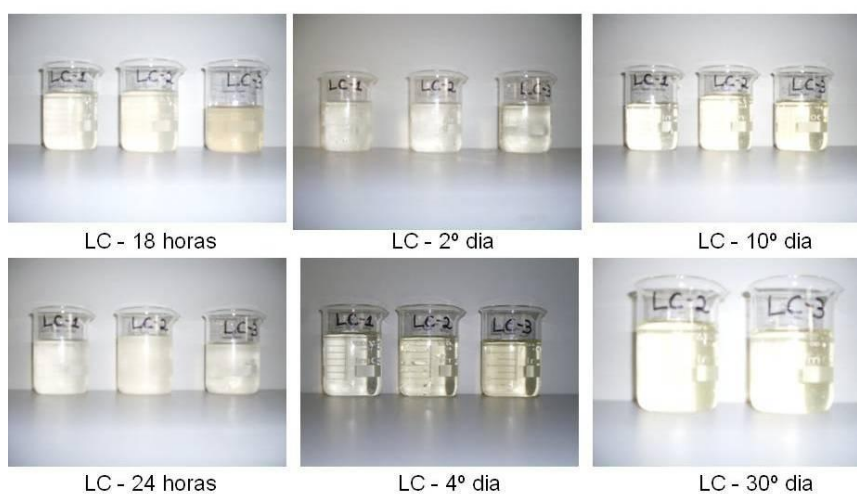


FIGURA 39 - APARÊNCIA DO DRENADO OBTIDO NOS LC – CICLO 2

FONTE: A AUTORA

A partir do 10º dia, encerrou-se a fase de drenagem de água livre do LC-1, passando a secagem do lodo a ser somente por evaporação, por este fato que no 30º dia são apresentados apenas 2 béckers (LC-2 e LC-3).

b) Caracterização

A Tabela 25, 26 e 27 mostram os resultados da caracterização do drenado obtido nos três leitos convencionais:

TABELA 25 - CARACTERIZAÇÃO DO DRENADO OBTIDO NO LC-1 – CICLO 2

Data	parâmetro/hora	pH	cond. (μ S/cm)	Cor (mg/L de PtCo)	turbidez (UNT)	SST (mg/L)	ST (mg/L)
19/mai	Caracterização	6,6	208	157	6670	8676	8984
20/mai	18 horas	8,4	336	68	34	76	336
20/mai	1º dia	8,2	308	85	11	28	32
21/mai	2º dia	8,6	321	49	10	12	132
24/mai	4º dia	8,4	365	24	4	4	532
27/mai	7º dia	8,2	356	57	5	4	416
31/mai	10º dia	-	-	-	-	-	-
4/jun	15º dia	-	-	-	-	-	-
11/jun	21º dia	-	-	-	-	-	-
19/jun	30º dia	-	-	-	-	-	-

OBS.: (-) SEM AMOSTRA PARA ANÁLISE

FONTE: A AUTORA

TABELA 26 - CARACTERIZAÇÃO DO DRENADO OBTIDO NO LC-2 – CICLO 2

Data	parâmetro/hora	pH	cond. (μ S/cm)	Cor (mg/L de PtCo)	turbidez (UNT)	SST (mg/L)	ST (mg/L)
19/mai	Caracterização	6,6	208	157	6670	8676	8984
20/mai	18 horas	9,2	280	96	42	4	172
20/mai	1º dia	9,5	337	115	2	136	148
21/mai	2º dia	9,2	378	44	7	4	12
24/mai	4º dia	8,7	426	50	9	28	924
27/mai	7º dia	8,6	435	93	6	48	880
31/mai	10º dia	8	426	80	4	12	340
4/jun	15º dia	7,5	402	47	4	28	328
11/jun	21º dia	11	361	80	3	32	412
19/jun	30º dia	8,1	229	58	5	28	276

FONTE: A AUTORA

TABELA 27 - CARACTERIZAÇÃO DO DRENADO OBTIDO NO LC-3 – CICLO 2

Data	parâmetro/hora	pH	cond. (μ S/cm)	Cor (mg/L de PtCo)	turbidez (UNT)	SST (mg/L)	ST (mg/L)
19/mai	Caracterização	6,6	208	157	6670	8676	8984
20/mai	18 horas	9,7	290	95	68	152	520
20/mai	1º dia	9,2	336	96	18	100	108
21/mai	2º dia	9,5	354	59	4	4	56
24/mai	4º dia	9,1	400	97	4	68	1708
27/mai	7º dia	9,1	407	88	5	68	1056
31/mai	10º dia	8,8	408	91	4	24	244
4/jun	15º dia	8,3	380	90	3	56	164
11/jun	21º dia	8,5	274	142	11	80	396
19/jun	30º dia	8,3	242	81	4	40	300

FONTE: A AUTORA

No leito convencional 1 a partir do 10º dia não havia mais drenagem, desta forma não foi possível avaliar os parâmetros; diferente do leito convencional 2 e 3, em que houve drenagem até o 30º dia de ciclo. Este fato pode ser explicado pelas maiores TASs aplicadas no LC-2 e LC-3.

Pode ser observado que os valores de pH aumentaram consideravelmente ao compará-los com o lodo *in natura*, que apresentava valores próximo a neutralidade. Explicado pela possível presença de carbonatos na brita e na areia que compõem o leito filtrante dos pilotos (já citado anteriormente). Machado (2006) ao comparar drenados de leitos convencionais e alternativos (ambos com camada filtrante diferente da adotada nesta pesquisa) com altura de 30 cm e 60 cm encontrou pH de 6,1 e 8,1 (para respectivas alturas).

Quanto à condutividade, os resultados mensurados ficaram entre a faixa de 280 e 435 μ S/cm. Na maior parte dos dados houve aumento dos valores ao comparar-se com o lodo utilizado. Este fato pode ser explicado pela possível presença de carbonatos oriundos da brita e areia, e sulfatos provenientes do coagulante utilizado, os quais implicaram no acréscimo dos valores de condutividade.

Os parâmetros cor, ST e SST não apresentaram decréscimo durante o tempo; porém verificou-se, que na ocorrência de precipitação, os teores de sólidos aumentavam. Percebe-se a baixa quantidade de sólidos no drenado, pois grande parte dos sólidos ficaram retidos nos leitos. Machado (2006) obteve como resultado para um drenado de leito convencional 437 mg/L e 290 mg/L para alturas de 30 e 60 cm respectivamente.

Quanto à turbidez, foram encontrados valores mais altos no início do monitoramento, percebe-se tal fato pelo aspecto do drenado apresentado na Figura 42. Com ocorrência de precipitação, verificou-se maior arraste de sólidos no drenado e aumento na turbidez.

Dos parâmetros relacionados nas Tabelas 25 à 27, há limite de lançamento estabelecido por legislação somente para pH e verifica-se que alguns valores extrapolam o limite de 5 à 9 estabelecido pela resolução CONAMA nº 357 de 2005. Com relação aos outros parâmetros verifica-se que muitos apresentam teores altos, o que limita o lançamento direto em corpos receptores.

Quanto à DQO, percebe-se que houve grande remoção, com decréscimo de 2974 mg/L para 64,3 mg/L e 235,5 mg/L para o 1º e 7º dia respectivamente. Atribui-se o aumento da DQO no 7º dia ao desprendimento do biofilme formado nas britas e areia pelas forças cisalhantes. Machado (2006) obteve o valor de 107 mg/L e 18 mg/L para um drenado de um leito convencional com altura de lodo de 30 e 60 cm respectivamente.

A Tabela 28 apresenta os resultados das análises de DQO, alumínio e óleos e graxas do drenado obtido no LC-3.

TABELA 28 - VALORES DE DQO, AL E O&G PARA O DRENADO DO LC-3 - CICLO 2

LC-3			
Dia/parâmetro	DQO (mg/L)	Al (mg/L)	O & G (mg/L)
Caracterização	2974	236,6	9,33
1º	64,3	< 1,0	1,3
7º	235,5	<1,0	7,8

FONTE: A AUTORA

O leito também removeu grande quantidade de alumínio, pois o lodo *in natura* apresentou um teor de 236,6 mg/L de alumínio, sendo reduzido para menos de 1 mg/L no 1º e 7º dia. Machado (2006) obteve o valor de 0,2 mg/L e 0,4 mg/L para um drenado de um leito convencional com altura de lodo de 30 e 60 cm respectivamente, ou seja, um pouco acima do obtido nesta pesquisa.

Quanto ao parâmetro O&G, houve remoção para o drenado do 1º dia e aumento para o 7º dia. Este fato pode ser explicado por um possível arraste no sistema, o que explica o aumento de DQO e consequentemente de O&G.

Somente DQO encontra-se acima dos limites permissíveis pela legislação (limite de 225 mg/L estabelecido pela SEMA nº 001), o que já inviabiliza o

lançamento do drenado no corpo receptor. Uma alternativa para este drenado seria a recirculação para o início da do tratamento da água na estação, assim como o realizado com a água de lavagem por muitas estações conforme citado por Assada (2007).

Não foram encontrados trabalhos com avaliação de desaguamento de lodo de ETA em leitos convencionais conforme camada filtrante estabelecida na NBR 12209/1996. O trabalho de Machado (2006), como já citado anteriormente, não segue metodologia da NBR citada.

d) Volume do drenado

A Figura 40 apresenta o volume do drenado recolhido nas bombonas e o volume de precipitação durante o monitoramento dos 3 LC durante o ciclo 2:

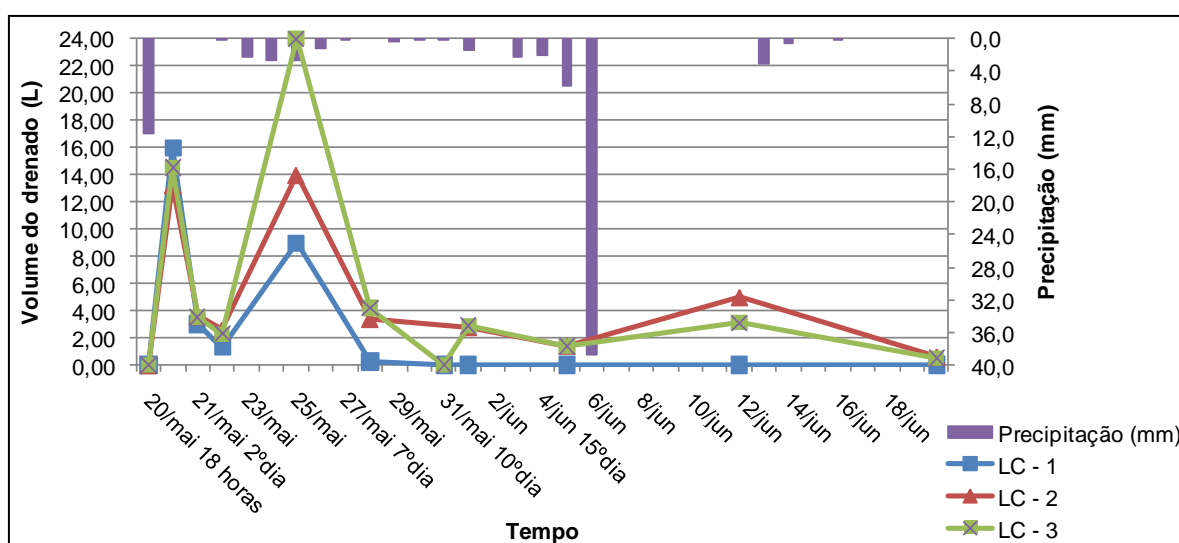


FIGURA 40 - VOLUME DO DRENADO NOS 3 LC - CICLO 2
 FONTE: A AUTORA

Ao comparar a vazão de drenagem do ciclo 1 com ciclo 2, percebe-se que neste ciclo foi mais eficiente. O volume do drenado foi maior no início do ciclo, estabilizou até o 15º dia e aumentou a partir do dia 05 de junho devido precipitação (38,8 mm). O LC-1 a partir do 7º dia não apresentou volume de drenado, pois a partir deste momento, toda a água livre deste leito já havia escoado, portanto, a chuva não se aderiu aos sólidos, drenou de forma mais rápida, de tal forma que se torna imperceptível na vazão de drenagem.

Através da Figura 40, percebe-se a ocorrência de precipitação e conseqüente resposta no acúmulo do volume do drenado. Constata-se que a precipitação não se incorporou na massa de sólidos retidos, ou seja, foi eliminada juntamente com a água livre do lodo, conforme pesquisas realizadas por Achon, Barroso e Cordeiro (2005, 2008).

4.1.2.3.2 Altura, teor de sólidos, aspecto do lodo retido e influência de temperatura e umidade no desaguamento

a) Evolução da altura livre da borda nos leitos

A Figura 41 apresenta a evolução da altura livre da borda retido nos 3 leitos convencionais e a ocorrência de precipitação durante o ciclo 2:

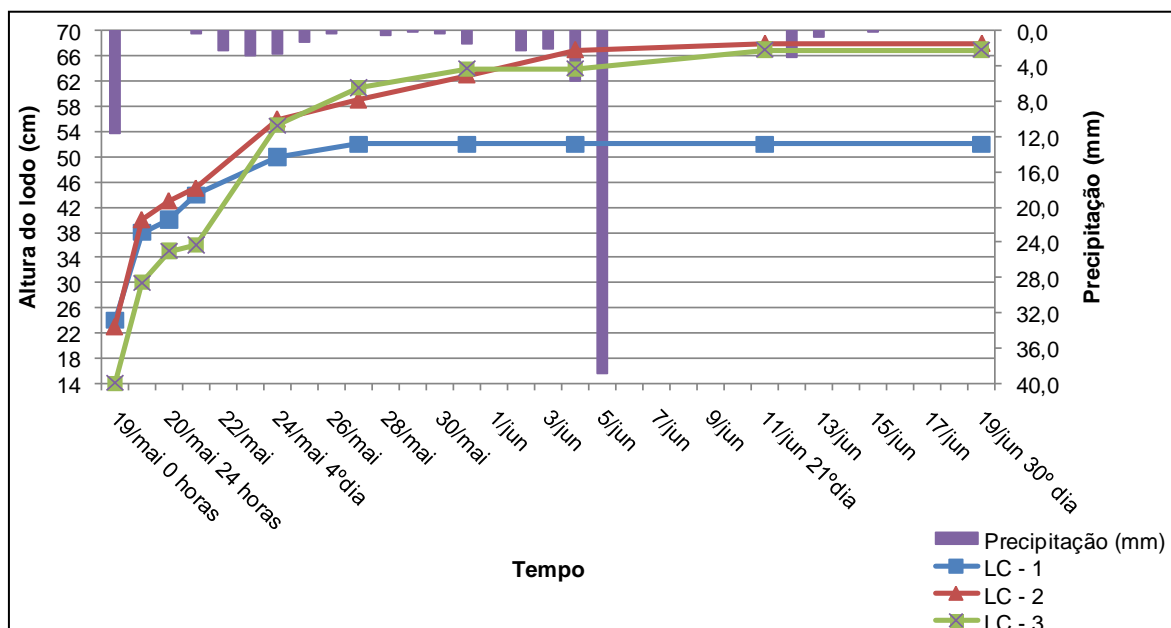


FIGURA 41 - EVOLUÇÃO DA ALTURA LIVRE DA BORDA NOS LC -CICLO 2
FONTE: A AUTORA

A evolução da altura no leito foi medida dentro dos leitos na superfície livre do lodo, sendo assim, com o rebaixamento da altura do lodo, aumentava-se a altura livre no leito. Observa-se o aumento da altura livre nos leitos de forma constante, houve um pequeno decréscimo na curva no início do ciclo para os 3 leitos e no 15º para o LC-3 (maior carga) devido ocorrência de precipitação, explicado pela presença de grande quantidade de água livre dos leitos, fazendo com que a água da

chuva se acumulasse e drenasse com o passar do tempo juntamente com a água livre presente no lodo. A partir do 7º dia, não houve evolução da altura para o LC-1, pois toda a água livre já havia drenado, ocorrendo secagem do lodo somente por evaporação. A precipitação de 38 mm no dia 05 de junho não afetou a altura de lodo de forma significativa porque grande parte da água livre do lodo já havia drenado. É possível observar uma estabilização na evolução da altura a partir do 7º dia para o LC-1 e a partir do 15º dia para LC-2 e LC-3.

Logo, a precipitação pouco influenciou na altura do leito. Entretanto, esta implica no aumento dos níveis de umidade do ar, os quais, por sua vez prejudicam a secagem do lodo através da diminuição do fluxo de umidade da massa de lodo para atmosfera (FONTANA, 2004). Comparando a influência da precipitação do segundo ciclo com o primeiro constata-se que para o primeiro ciclo devido ao grande volume de chuva desde o início do ciclo não foi possível a drenagem da água livre e consequente abertura da massa de lodo, o que fez com que a água da chuva se acumulasse nos leitos. Portanto no primeiro ciclo houve forte influência da precipitação, já para o segundo ciclo, onde o volume de chuva foi menor e foi possível a drenagem da água livre, a precipitação pouco influenciou.

b) Teor de sólidos do lodo retido

A Figura 42 apresenta os teores de sólidos dos lodos retidos e o volume de chuva durante o ciclo 2 para os 3 LC durante o ciclo 2:

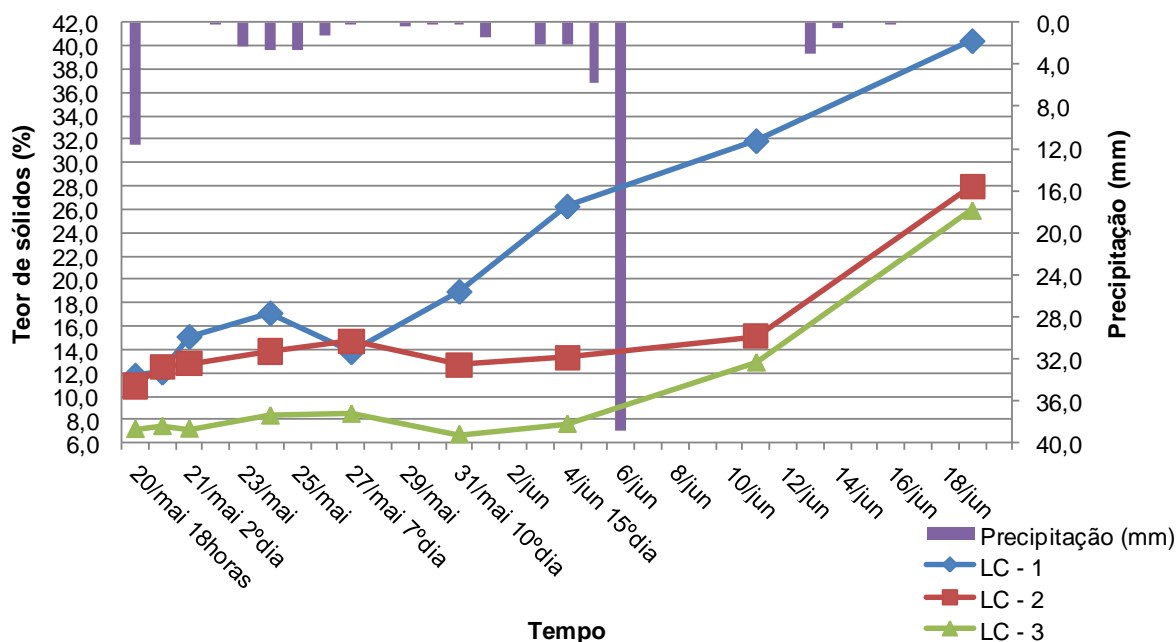


FIGURA 42 - VARIAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS NOS LC E PRECIPITAÇÃO - CICLO 2
 FONTE: A AUTORA

Ao comparar os resultados dos teores de sólidos obtidos nos LC do ciclo 1 com o ciclo 2, verifica-se que neste ciclo a secagem do lodo ocorreu de forma superior, pois as condições climáticas foram mais favoráveis, e os leitos tubulares foram cortados para que apresentassem maior susceptibilidade a ventilação e radiação solar. Cada leito possuía 1 m de superfície livre, foram cortados 50 cm do LC-1 (altura de lodo de 30 cm), 30 cm do LC-2 (50 cm de lodo) e 30 cm do LC-3 (65 cm de lodo).

Pela Figura 42 observa-se que o aumento dos teores de sólidos no lodo foi constante, com exceção do 7º dia, em que houve um declínio dos ST em todos os leitos. Porém, não se verifica precipitação significativa para justificar o decréscimo do ST, o que pode ter acontecido, assim como verificado no ciclo 1, é a ocorrência de precipitação na ETA Iguaçu e ausência na estação meteorológica (localizada a 7 km da estação).

A torta de lodo atingiu aos 30 dias de ciclo, teores de sólidos finais de 40, 27 e 25% para LC-1, LC-2 e LC-3 respectivamente, ou seja, teores superiores aos obtidos no ciclo 1 e nas tortas de lodo obtidas através do desaguamento mecânico do lodo da ETA Iraí e Passaúna.

Lopes *et al.*(2005) comparou o desaguamento de lodo de ETA em leitos convencionais (cobertos e descobertos) com camada filtrante semelhante a aplicada

no presente estudo, e avaliou alturas de lodo de 30 e 60 cm. Para os leitos descobertos foram obtidos teores de 28 e 22% para lâminas de 30 e 60 cm, respectivamente. Para os leitos descobertos menores teores foram encontrados (17 e 19%), porém os autores citam que no início do monitoramento estes apresentaram teores mais altos. O trabalho de Machado (2006), que utilizou camada filtrante diferente da metodologia adotada no presente estudo, não apresenta teores de sólidos totais finais da torta, apenas do clarificado.

c) Aspecto do lodo retido nos leitos

A Figura 43 apresenta o aspecto do lodo retido nos leitos de secagem convencionais no 1º, 15º e 30º dia do ciclo. Percebe-se a secagem satisfatória do lodo nos LC e ausência de água livre no 30º dia. Diferente da situação verificada no ciclo 1, pois ao final do ciclo grande quantidade de água livre estava presente nos leitos com maiores TASs aplicadas.

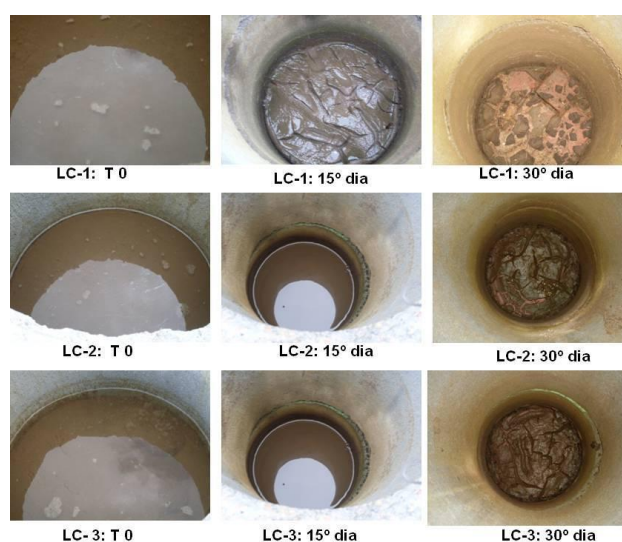


FIGURA 43 ASPECTO DO LODO RETIDO NOS LC – CICLO 2
FONTE: A AUTORA

d) Influência da umidade e temperatura do ar no teor de sólidos do lodo retido

As Figuras 44 e 45 mostram os resultados da influência das demais variáveis climáticas estudadas, umidade e a temperatura, na variação do teor de sólidos do lodo retido nos leitos convencionais durante o ciclo 2:

Com relação à umidade, a mediana encontrada durante o ciclo 2 foi de 86%, apresentando valores entre 59 e 98% (conforme anexo 02). Valores considerados altos, os quais prejudicaram a secagem. Menores valores de umidade poderiam favorecer a secagem e proporcionar maiores teores de sólidos, conforme estudos realizados por Barroso (2007) para leitos alternativos com bidim. Barroso (2007) cita que a umidade é determinante na evolução e velocidade da secagem e fundamental na relação de pressão de vapor da água do sistema lodo-ar.

A temperatura durante o ciclo 2 variou entre 3,9 °C até 25,3 °C, com mediana de 14,3°; os valores do ciclo 2 foram menores que no ciclo 1, porém os teores de sólidos foram maiores, pois o volume acumulado de precipitação foi menor (302 mm para o ciclo 1 e 75 mm para o ciclo 2). Pode ter ocorrido maior influência de radiação solar e vento dentro do leito devido aos cortes realizados nos pilotos, e maior drenagem de água livre, o que favoreceu a secagem do lodo nos leitos.

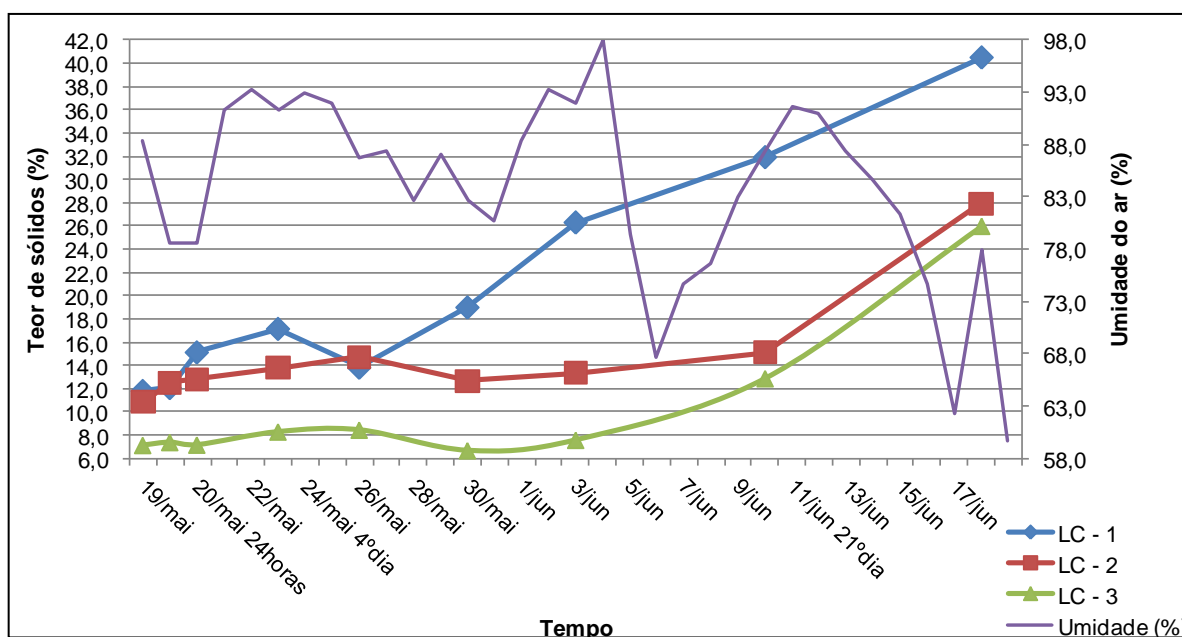


FIGURA 44 - INFLUÊNCIA DA UMIDADE NO TEOR DE SÓLIDOS RETIDO NOS LC - CICLO 2
 FONTE: A AUTORA

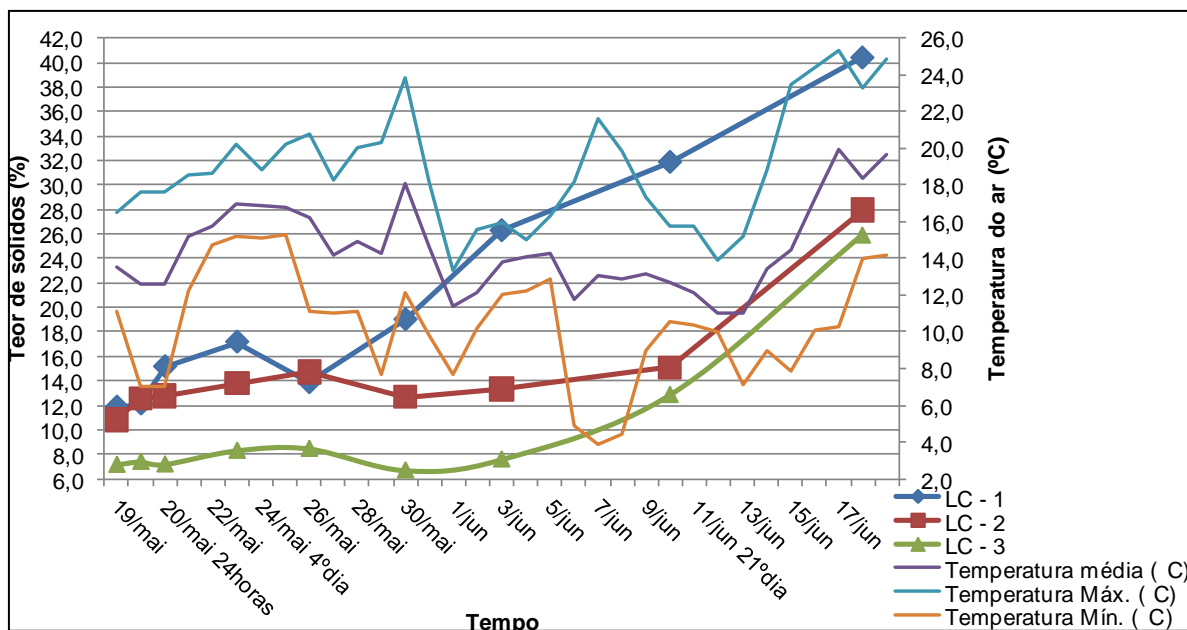


FIGURA 45 – VARIAÇÃO DE TEMPERATURA E TEOR DE SÓLIDOS DO LODO NOS LC - CICLO 2
 FONTE: A AUTORA

4.1.2.4 Monitoramento dos leitos de secagem alternativos com bidim

4.1.2.4.1 Aspecto, caracterização e volume do drenado

a) Aspecto

A Figura 46 mostra a aparência dos drenados obtidos nos 2 leitos de secagem alternativos com bidim.

É possível observar que assim como nos drenados dos LCs, as primeiras amostras apresentaram maior turbidez, após houve decréscimo, com aumento no 10º dia devido à precipitação. Houve drenagem de água livre até o último dia como se pode observar. Trabalhos realizados por Cordeiro (1993, 2000, 2001); Achon e Cordeiro (2003); Fontana (2004); Achon, Barroso e Cordeiro (2005); Barroso (2007); Achon, Barroso e Cordeiro (2008) citam o tempo máximo de 7 dias para total drenagem da água livre para leitos modificados (mesma metodologia aplicada), em alguns casos, algumas horas.

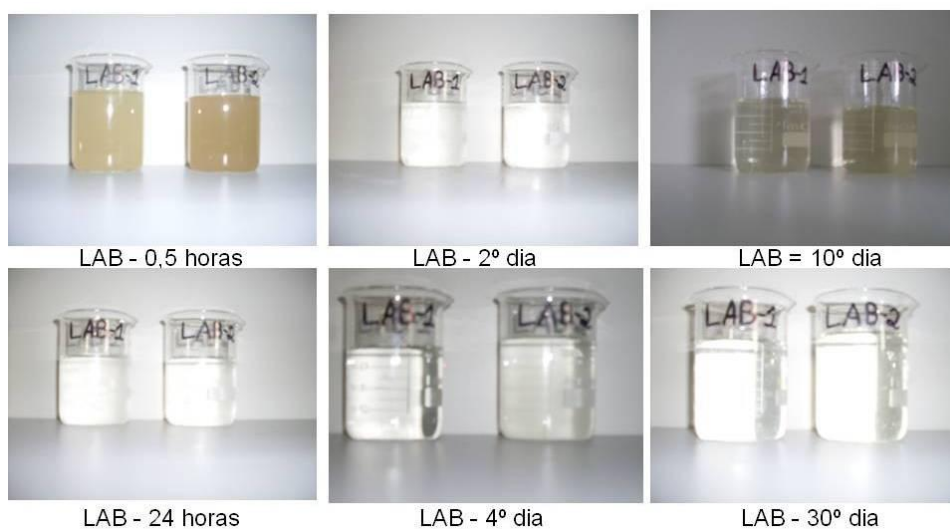


FIGURA 46 - APARÊNCIA DO DRENADO OBTIDO NOS LABS – CICLO 2
 FONTE: A AUTORA

Através de pesquisas realizadas por Fontana (2004) e Achon, Barroso e Cordeiro (2005) e Barroso (2007), que também avaliaram a influência de variáveis climáticas, verificam-se que as condições climáticas durante a avaliação destes pesquisadores eram bem mais favoráveis e as cargas aplicadas menores que 30 L (para leitões com as mesmas configurações e dimensões).

b) Caracterização

A Tabela 29, 30 e 31 mostram os resultados da caracterização do drenado obtido nos dois leitões alternativos com bidim durante o ciclo 2:

TABELA 29 - CARACTERIZAÇÃO DO DRENADO OBTIDO NO LAB-1 – CICLO 2

Data	parâmetro/hora	pH	cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Cor (mg/L de PtCo)	turbidez (UNT)	SST (mg/L)	ST (mg/L)
19/mai	Caracterização	6,6	208	157	6670	8676	8984
19/mai	0,5 hora	7,3	189	69	808	552	1016
19/mai	1 hora	6,9	157	0	17	8	360
19/mai	3 horas	7,6	162	0	6	4	432
20/mai	18 horas	7,7	159	40	4	52	432
20/mai	1º dia	7,9	159	35	3	4	68
21/mai	2º dia	7,8	185	33	2	4	8
24/mai	4º dia	7,7	146	0	1	32	72
27/mai	7º dia	8,0	154	49	7	40	792
31/mai	10º dia	8,1	176	77	16	60	108
4/jun	15º dia	7,5	127	7	13	56	68
11/jun	21º dia	10,6	86	2	6	48	72
19/jun	30º dia	7,9	104	8	2	28	60

FONTE: A AUTORA

As Tabelas permitem observar o aumento dos valores de pH ao compará-los com o lodo *in natura*, apresentando valores até 10,5. Pesquisa realizada por Fontana (2004) confirma o aumento nos valores de pH com o tempo.

TABELA 30 - CARACTERIZAÇÃO DO DRENADO OBTIDO NO LAB-2 – CICLO 2

Data	parâmetro/hora	pH	cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Cor (mg/L de PtCo)	turbidez (UNT)	SST (mg/L)	ST (mg/L)
19/mai	Caracterização	6,6	208	157	6670	8676	8984
19/mai	0,5 hora	7,4	179	38	385	276	836
19/mai	1 hora	6,5	159	0	12	404	512
19/mai	3 horas	7,4	156	0	7	8	444
20/mai	18 horas	7,3	157	33	3	16	388
20/mai	1º dia	7,8	150	30	4	4	420
21/mai	2º dia	7,7	175	31	4	4	8
24/mai	4º dia	8,1	229	0	2	280	284
27/mai	7º dia	8,0	150	58	12	36	1460
31/mai	10º dia	7,8	165	109	18	4	124
4/jun	15º dia	7,4	120	27	6	100	160
11/jun	21º dia	10,5	45	3	4	16	92
19/jun	30º dia	7,7	111	10	3	32	80

FONTE: A AUTORA

Quanto à condutividade, os resultados mensurados ficaram entre valores de 45 e 229 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e apresentaram valores semelhantes para os dois drenados. Cor e turbidez apresentaram valores maiores nas primeiras coletas, com decréscimo com o tempo e aumento na ocorrência de precipitação. Verifica-se diminuição dos parâmetros de cor e turbidez ao compará-los com o lodo utilizado. Achon, Barroso e Cordeiro (2005) encontraram valores de turbidez entre 4,9 e 135 UNT para drenado de leitos modificados.

Os parâmetros ST e SST na ocorrência de precipitação também aumentaram, a mesma consideração foi feita por Barroso (2007). Verifica-se a baixa quantidade de sólidos no drenado, pois grande parte dos sólidos ficou retida nos leitos. Barroso (2007) obteve em estudo de desaguamento de lodo de sulfato de alumínio em leitos de drenagem, teores entre 145 e 333 mg/L.

A Tabela 31 apresenta os resultados das análises de DQO, alumínio e óleos e graxas do drenado obtido no LAB-2. Todos os parâmetros apresentaram remoção satisfatória. Assim como nos outros drenados, houve aumento de DQO e O&G na análise da amostra do 7º dia. Atribui-se o aumento da DQO e O&G à possibilidade de ocorrer o desprendimento do biofilme formado nas britas e areia.

TABELA 31 - VALORES DE DQO, AL E O&G PARA O DRENADO DO LAB-2 - CICLO 2

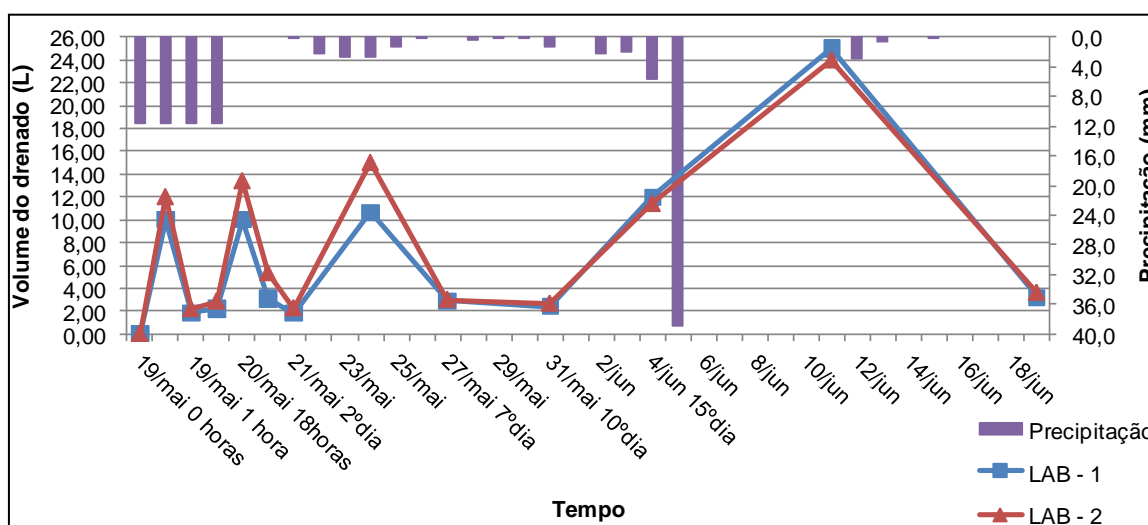
LC-3			
Dia/parâmetro	DQO (mg/L)	Al (mg/L)	O & G (mg/L)
Caracterização	2974	236,6	9,33
1º	48,2	<1,0	5,2
7º	147,7	1,0	11,2

FONTE: A AUTORA

Silva e Silva (2008) ao avaliar a qualidade de drenados obtidos em leitos modificados com mantas de 200 e 300 g/m², encontraram valores de DQO entre 27 e 36 mg/L.

c) Volume do drenado

A Figura 47 apresenta o volume do drenado recolhido nas bombonas e o volume de precipitação durante o monitoramento do e leitos alternativos no ciclo 2:

FIGURA 47 – VOLUME DO DRENADO NOS 3 LC – CICLO 2
FONTE: A AUTORA

A Figura 47 permite observar que a vazão de drenagem foi semelhante para os dois leitos, e que o volume de drenado foi mensurado até o último dia do ciclo. Em meados de junho percebe-se o aumento do volume devido ocorrência de precipitação. Porém, esta influência é pontual ou momentânea, haja visto que a água da chuva drena juntamente com a água livre do lodo, pois não se incorpora a

massa de sólidos, fato confirmado pelo aumento da vazão de drenagem após a precipitação.

Achon, Barroso e Cordeiro (2005) estudaram o desaguamento de um lodo de sulfato de alumínio (ETA convencional), em leito com as mesmas dimensões e a mesma manta, com carga de 24 L de lodo e verificaram a total drenagem da água livre em 6 horas, com condições climáticas favoráveis (baixo índices pluviométricos, baixos teores de umidade e alta incidência de raios solares).

4.1.2.4.1 Altura, teor de sólidos, aspecto do lodo retido e influência de temperatura e umidade no desaguamento

a) Evolução da altura livre da borda nos leitos

A Figura 48 apresenta a evolução da altura do lodo retido nos 2 leitos alternativos com bidim e ocorrência de precipitação durante o ciclo 2:

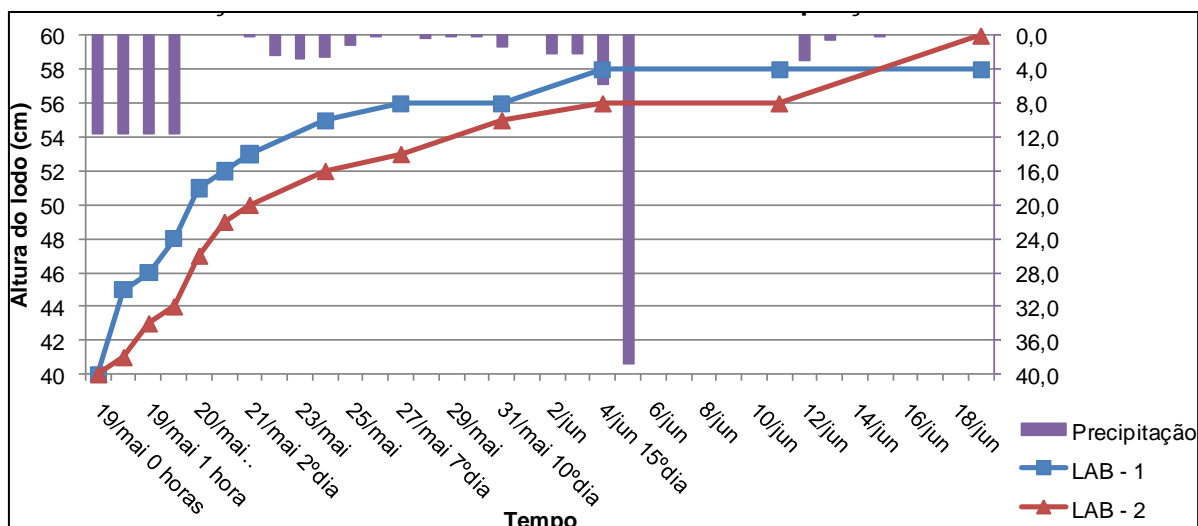


FIGURA 48 - EVOLUÇÃO DA ALTURA LIVRE DA BORDA NOS LC -CICLO 2
 FONTE: A AUTORA

A Figura 48 permite observar o aumento da altura livre nos leitos de forma constante, com alguns pontos de decaimento devido ocorrência de precipitação, explicado pelo fato de que ainda havia grande quantidade de água livre dos leitos, o que fazia com que a água da chuva drenasse com o passar do tempo juntamente com a água livre presente no lodo. Assim como nos leitos convencionais, não foi

verificado precipitação significativa que implicasse na redução dos teores de sólidos do lodo. Como já citado anteriormente, pode ter ocorrido precipitação na ETA Iguaçu e esta, não ter sido registrada na estação meteorológica onde os dados foram coletados.

b) Teor de sólidos do lodo retido

A Figura 49 mostra os teores de sólidos dos lodos retidos e o volume de chuva durante o ciclo 2 para os 2 LABs:

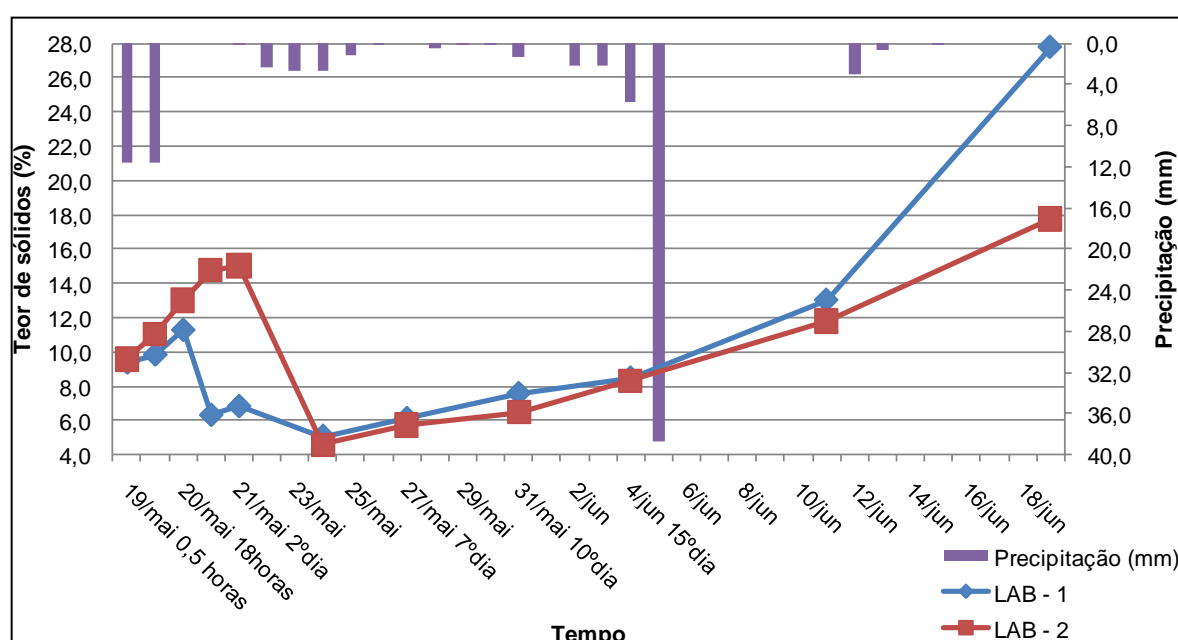


FIGURA 49 - VARIACÃO DO TEOR DE SÓLIDOS NOS LAB E PRECIPITAÇÃO - CICLO 2
 FONTE: A AUTORA

A Figura 49 mostra os resultados dos teores de sólidos do lodo retido e precipitação durante os 30 dias de ciclo monitorado. É possível observar que para as duas curvas após o aumento dos teores de sólidos, houve um decréscimo devido à precipitação. Fontana (2004) relata que a ocorrência de precipitação no primeiro dia de secagem, antes da “abertura” da massa de lodo e potencialmente mais prejudicial a secagem do lodo. No início de junho ocorreu uma precipitação com um maior volume (38mm), entretanto não houve resposta significativa nos teores de sólidos, pois grande parte da água livre já havia drenado e a água da chuva não se incorporou a massa de sólidos.

Para o leito de menor carga (40 L) foi possível atingir um teor de 27% e para o leito de maior carga (57 L) aproximadamente 18% no 30º dia de ciclo, resultados bem abaixo dos citados por Cordeiro e seus orientados. Os resultados encontrados nesta pesquisas foram verificados em trabalhos de Achon, Barroso e Cordeiro (2005); Barroso (2007) e Fontana (2004) em 24 horas para cargas menores. Silva e Silva (2008) encontraram um teor de 20% de sólidos em 20 dias de monitoramento.

c) Aspecto do lodo retido nos leitos

A Figura 50 refere-se ao aspecto do lodo retido nos leitos de secagem alternativos no 1º, 15º e 30º dia do ciclo. É possível observar a diferença da quantidade de água livre na massa de lodo com o passar do tempo.

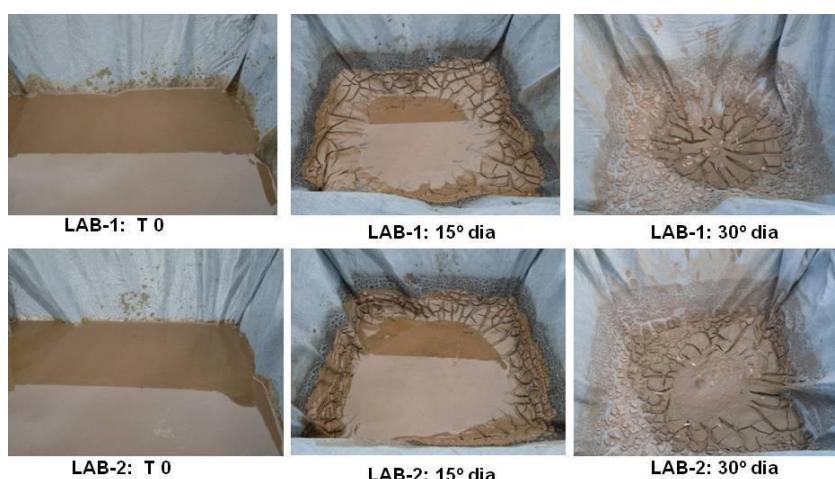


FIGURA 50 - ASPECTO DO LODO RETIDO NOS LAB – CICLO 2
 FONTE: A AUTORA

d) Influência da umidade e temperatura do ar no teor de sólidos do lodo retido

As Figuras 51 e 52 mostram os resultados da influência das demais variáveis climáticas estudadas, umidade e a temperatura, na variação do teor de sólidos do lodo retido nos leitos alternativos com bidim durante o ciclo 2.

A Figura 51 mostra que a umidade apresenta influência na secagem do lodo, haja visto que os teores de sólidos são inversamente proporcionais aos teores de umidade. A secagem do lodo foi prejudicada pelos altos níveis de umidade

verificados durante o monitoramento, pois é fundamental no equilíbrio da relação de pressão de vapor d'água do sistema lodo-ar (Barroso, 2007).

Para temperatura, houve variação entre 3,9°C até 25,3 °C (mediana de 14,3°), com predominância de temperaturas baixas. No início e final do ciclo, as curvas mostram que a variação foi proporcional a de ST. A temperatura pode ser considerada, fundamental nos mecanismos de fluxo de massa de umidade e transmissão de energia para a massa de lodo e mostrou-se potencialmente favorável à secagem. Barroso (2007) afirma através de resultados obtidos em sua pesquisa que o aumento dos ST é proporcional ao aumento da temperatura.

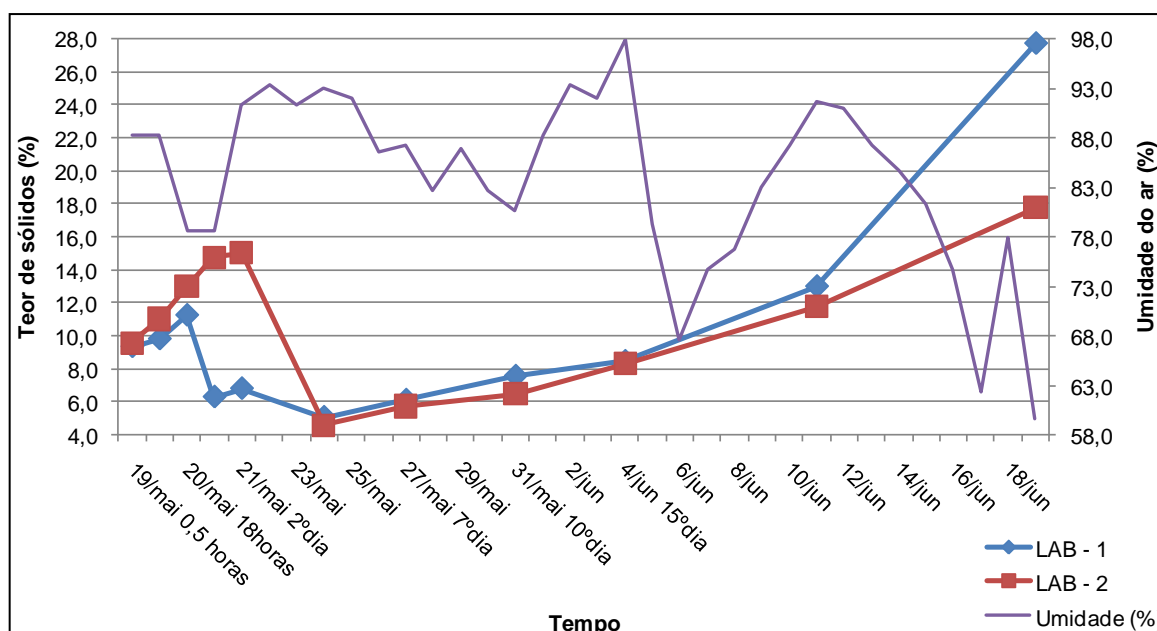


FIGURA 51 - UMIDADE E TEOR DE SÓLIDOS RETIDO NOS LAB - CICLO 2
 FONTE: A AUTORA

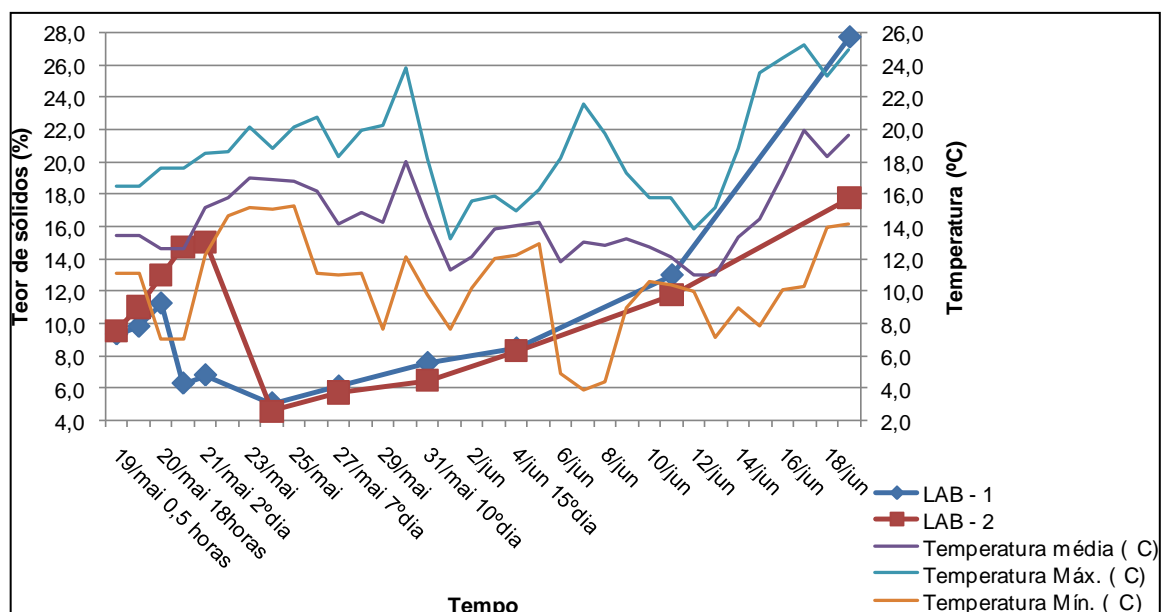


FIGURA 52 - TEMPERATURA E TEOR DE SÓLIDOS RETIDO NOS LAB - CICLO 2
 FONTE: A AUTORA

4.1.2.5 Monitoramento dos leitos de secagem alternativos com geotecido

4.1.2.5.1 Aspecto, caracterização e volume do drenado

a) Aspecto

A Figura 53 apresenta a aparência dos drenados obtidos nos 2 leitos de secagem alternativos com geotecido durante o ciclo 2.

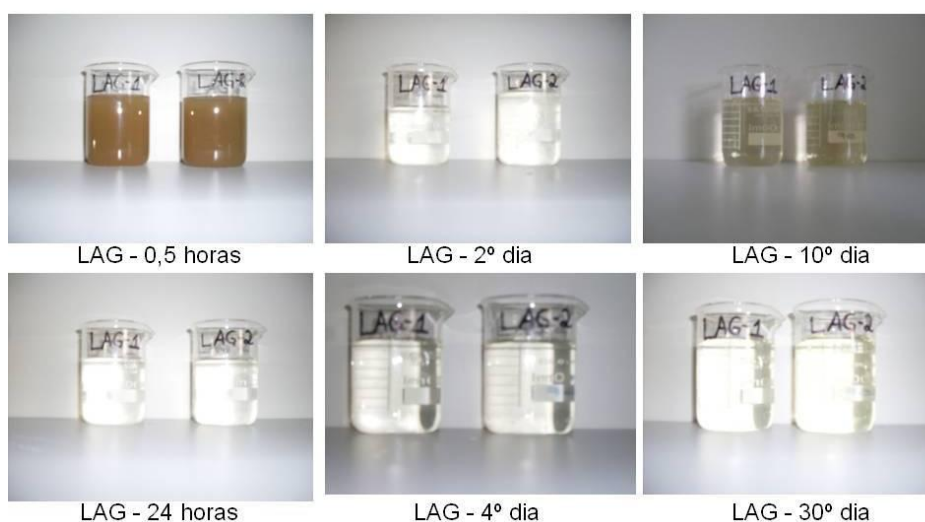


FIGURA 53 - APARÊNCIA DO DRENADO OBTIDO NOS LAG – CICLO 2
 FONTE: A AUTOR

É possível observar que o drenado obtido nas primeiras coletas, assim como para todos os outros leitos, apresentou maior turbidez se comparado as demais coletas. Explicado pela formação da torta de filtro, a qual melhora a qualidade do clarificado. Nesta modalidade de leitos, para ambas cargas analisadas, conforme descrição no capítulo 3, houve drenagem de água livre até o último dia de ciclo analisado.

b) Caracterização

A Tabela 32 e 33 mostram os resultados da caracterização do drenado obtido nos 2 leitos alternativos com geotecido durante o ciclo 2:

TABELA 32 - CARACTERIZAÇÃO DO DRENADO OBTIDO NO LAG-1 – CICLO 2

Data	parâmetro/hora	pH	cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Cor (mg/L de PtCo)	turbidez (UNT)	SST (mg/L)	ST (mg/L)
19/mai	Caracterização	6,6	208	157	6670	8676	8984
19/mai	0,5 hora	7,4	207	102	833	988	1572
19/mai	1 hora	7,9	208	10	27,8	4	608
19/mai	3 horas	7,6	203	21	13,7	4	400
20/mai	18 horas	7,8	213	35	6,9	4	488
20/mai	1º dia	8,9	225	57	4,9	20	60
21/mai	2º dia	8,6	269	74	4,4	16	20
24/mai	4º dia	7,5	252	18	2,9	4	40
27/mai	7º dia	8,2	262	63	2,8	8	776
31/mai	10º dia	8,3	299	74	3,6	28	252
4/jun	15º dia	7,2	207	27	4,7	60	148
11/jun	21º dia	11	63,5	2	8,5	108	144
19/jun	30º dia	8,7	195	10	2,5	28	160

FONTE: A AUTORA

TABELA 33 - CARACTERIZAÇÃO DO DRENADO OBTIDO NO LAG-2 – CICLO 2

Data	parâmetro/hora	pH	cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Cor (mg/L de PtCo)	turbidez (UNT)	SST (mg/L)	ST (mg/L)
19/mai	Caracterização	6,6	208	157	6670	8676	8984
19/mai	0,5 hora	7,4	220	145	1780	264	300
19/mai	1 hora	7,8	205	30	33,9	4	92
19/mai	3 horas	7,6	210	46	12,1	4	68
20/mai	18 horas	7,8	210	25	7,93	4	88
20/mai	1º dia	8,3	217	48	4,78	76	88
21/mai	2º dia	8,2	262	52	4,92	20	284
24/mai	4º dia	7,7	236	48	3,5	4	8
27/mai	7º dia	8,3	248	35	3,62	84	936
31/mai	10º dia	8,4	316	91	5,99	8	20
4/jun	15º dia	7,3	195	31	4,8	88	172
11/jun	21º dia	10,8	57,8	3	9,5	152	160
19/jun	30º dia	8,4	192	20	3,3	20	224

FONTE: A AUTORA

As Tabelas mostram, que os valores de pH aumentaram ao compará-los com o lodo *in natura*, assim como para todos os outros drenados. Explicado por uma possível presença de carbonatos na brita e na areia que compõem o leito filtrante dos pilotos.

Quanto à condutividade, os resultados mensurados ficaram entre valores de 57 e 316 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os resultados das medidas de condutividade para estes leitos utilizando o geotecido foram maiores dos que nos LAB.

Para turbidez e sólidos, foram encontrados valores mais altos no início do monitoramento, com decréscimo no decorrer do ciclo, percebe-se tal fato pelo aspecto do drenado apresentado na Figura 53. Com ocorrência de precipitação, verificou-se maior arraste de sólidos no drenado e aumento na turbidez.

A Tabela 34 apresenta os resultados das análises de DQO, alumínio e óleos e graxas do drenado obtido no LAG-2.

TABELA 34 - VALORES DE DQO, AL E O&G PARA O DRENADO DO LAG-2 - CICLO 2

LAG-2			
Dia/parâmetro	DQO (mg/L)	Al (mg/L)	O & G (mg/L)
Caracterização	2974	236,6	9,33
1º	60,3	<1,0	1,2
7º	163,6	<1,0	4,3

FONTE: A AUTORA

Quanto à DQO, percebe-se que houve uma remoção satisfatória, com decréscimo de 2974 mg/L para 60,3 mg/L e 163,6 mg/L para o 1º e 7º dia, respectivamente. Assim como na análise dos outros drenados, DQO e O&G tiveram comportamento semelhante, com decaimento no 1º dia de coleta e aumentando no 7º dia. Atribui-se o aumento da DQO à possibilidade de ocorrer o desprendimento do biofilme formado nas britas e areia; e O&G ao material do recipiente onde era armazenado o drenado (PVC). O leito também removeu grande quantidade de alumínio, pois o lodo *in natura* apresentou um teor de 236,6 mg/L de alumínio, com redução para menos de 1 mg/L no 1º e 7º dia. Ao comparar os resultados do LAG com o LAB, verifica-se que o LAG demonstrou ser menos eficiente na remoção dos parâmetros analisados. Fato que pode ser explicado pela tipologia do tecido, conforme citado em metodologia, ele apresenta espessura e gramatura menor que o do tecido bidim, implicando numa passagem maior de sólidos e contaminantes para o clarificado.

Não foram encontrados outros trabalhos com avaliação de desaguamento de lodo de ETA em leitos modificados utilizando geotêxteis, mesmo material utilizado em *bag's*. Conforme fabricante do tecido (Propex do Brasil), o geossintético TEC14000® trata-se de um tecido indicado para filtração em sistemas sujeitos à colmatação química e biológica.

Ao avaliar de forma geral a qualidade do clarificado obtido, a fim de verificar possibilidade de lançamento do efluente em corpos hídricos, percebe-se que alguns parâmetros extrapolam a legislação (SEMA nº 001 e CONAMA nº 357/2005), o que inviabiliza o lançamento. Conforme recomendações de Fontana (2004), uma solução seria o retorno deste material ao início do processo, assim como é realizado para água de lavagem de filtro em muitas estações.

c) Volume do drenado

A Figura 54 apresenta o volume do drenado recolhido nas bombonas e o volume de precipitação durante o monitoramento dos leitos alternativos com geotêxtil durante o ciclo 2:

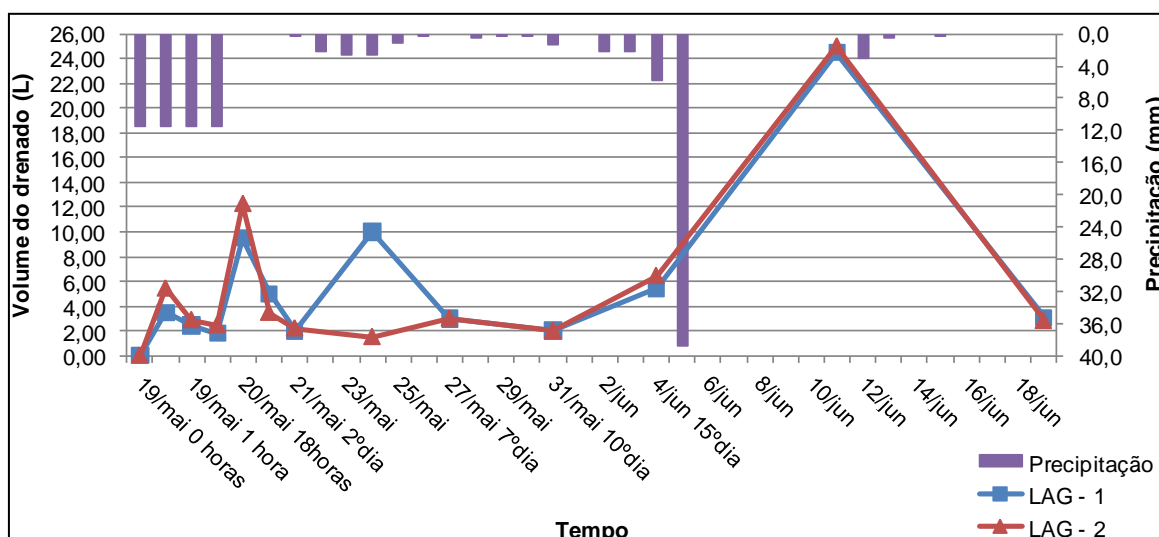


FIGURA 54 – VOLUME DO DRENADO NOS 2 LAG – CICLO 2
 FONTE: A AUTORA

Para os LAG, assim como para os LAB, houve drenagem de água livre até o último dia de ciclo monitorado. Em alguns pontos, a drenagem do leito de maior

carga foi maior que para o leito de menor carga. Os picos apresentados na Figura 57 são resposta à ocorrência de precipitação.

Ao comparar os volumes drenados dos LAG com os LAB, constata-se a vazão de drenagem do leito com geotecido foi menor, entretanto devido às características que este tecido apresenta como: permissividade e abertura maior; gramatura e espessura menor; se comparado ao bidim (conforme apresentado no capítulo 3), esperava-se uma drenagem mais eficiente. Constatou-se em campo, que houve colmatação muito rápida do tecido, o que dificultou a drenagem da água livre e secagem do lodo. Ressalta-se que segundo o fabricante (Propex do Brasil), este tecido é indicado para sistemas sujeitos à colmatação. O geotecido apresenta abertura aparente maior que o do não-tecido bidim (0,06mm para bidim e 0,49 para geotecido), o que fez com que as pequenas partículas do lodo ocupassem esses espaços vazios e colmatassem o tecido.

4.1.2.5.2 Altura, teor de sólidos, aspecto do lodo retido e influência de temperatura e umidade no desaguamento

a) Evolução da altura de borda livre nos leitos

A Figura 55 apresenta a evolução da altura de borda livre nos 2 leitos alternativos com geotecido e a ocorrência de precipitação durante o ciclo 2:

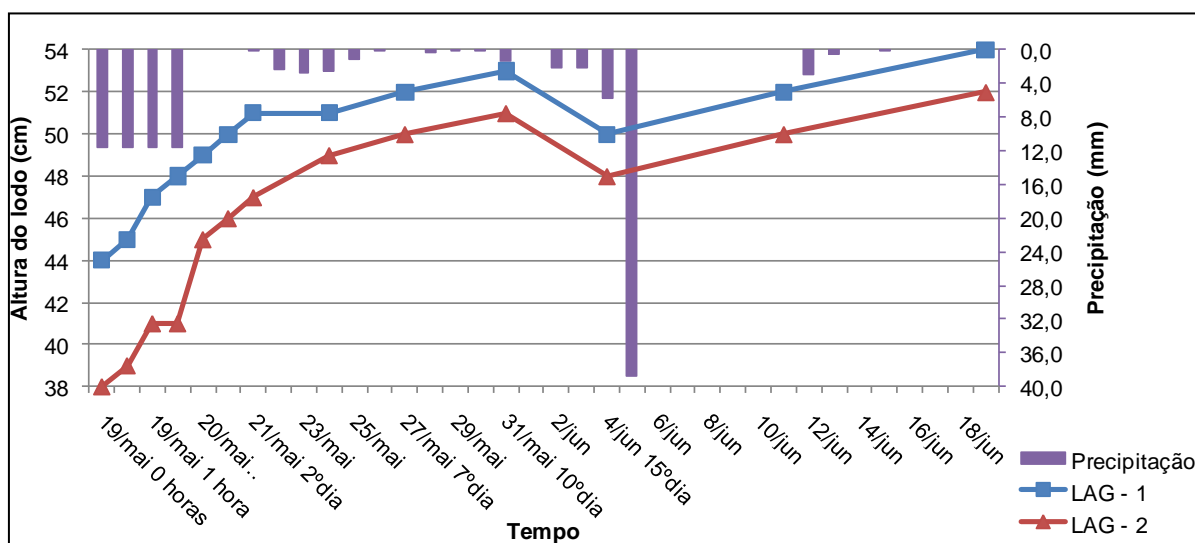


FIGURA 55 - EVOLUÇÃO DA ALTURA DE BORDA LIVRE NOS LAG - CICLO 2
 FONTE: A AUTORA

Observa-se o aumento da altura livre nos leitos com presença de alguns pontos de decréscimo devido ocorrência de precipitação. O aumento da altura livre nos leitos foi lenta e baixa devido à colmatação dos tecidos já no início do ciclo.

Leshchinsky (1992) e Gaffney et al. (1999) citam que em sistemas tubulares (*bag's*), os quais utilizam tecidos similares, é verificado a formação de uma película na interface do geotêxtil com o material que está sendo desaguado, que dificulta a passagem do fluido que está no interior. Uma solução seria a utilização de polímeros, que segundo Giordani e Misturini, em sistemas tubulares, aumentam a eficiência do desaguamento e também diminuem o risco de colmatação do geotêxtil. Uma recomendação seria avaliar o desaguamento de lodo em leitos utilizando condicionamento químico com vistas a minimizar os problemas de colmatação verificados nos LAG.

b) Teor de sólidos do lodo retido nos leitos

A Figura 56 mostra os teores de sólidos dos lodos retidos e intensidade de chuva durante o ciclo 2 para os 2 LAG:

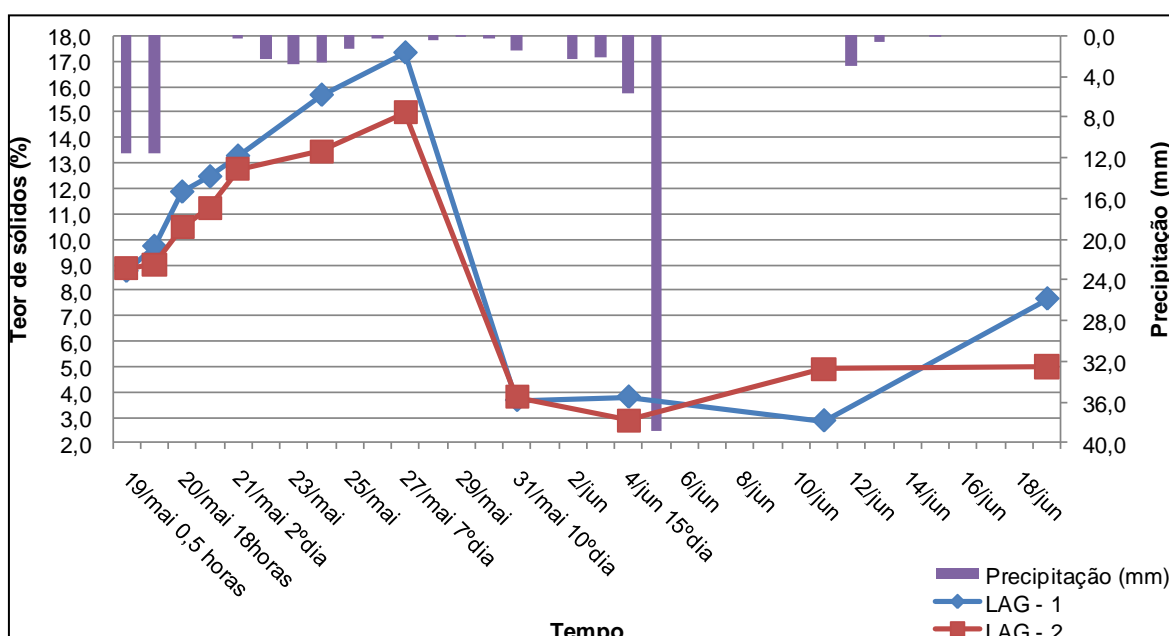


FIGURA 56 - VARIAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS NOS LAG E PRECIPITAÇÃO - CICLO 2
 FONTE: A AUTORA

A Figura permite observar no início do ciclo, o lodo retido atingiu concentrações de 15 e 17% e após, devido ocorrência de precipitação e colmatação,

houve decaimento significativo dos teores. Fontana (2004) relata que a ocorrência de precipitação antes da “abertura” da massa de lodo é prejudicial à secagem do lodo. Ao final do ciclo, não houve aumento dos teores de sólidos do lodo retido, pois a colmatção constatada em campo implicou no acúmulo da água de chuva nos leitos e prejudicou o desaguamento do lodo. Foram atingidas concentrações finais de apenas 5% e 7% para LAG 1 e LAG 2.

c) Aspecto do lodo retido nos leitos

A Figura 57 refere-se ao aspecto do lodo retido nos leitos de secagem alternativos com geotecido no 1º, 15º e 30º dia do ciclo. É possível observar a grande quantidade água livre presente nos leitos no último dia de ciclo.

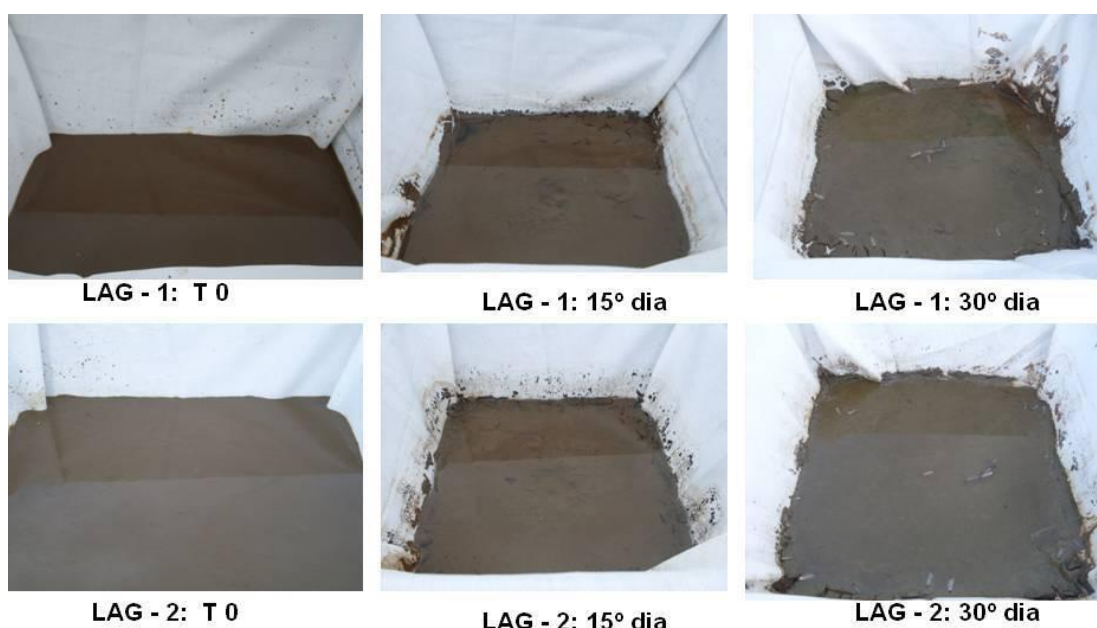


FIGURA 57 - ASPECTO DO LODO RETIDO NOS LAG - CICLO 2
 FONTE: A AUTORA

d) Influência da umidade e temperatura do ar no teor de sólidos do lodo retido

As demais Figuras (58 e 59) dos LAG no ciclo 2, apresentam os resultados da influência da umidade e a temperatura na variação do teor de sólidos do lodo retido.

Apesar da colmatção dos geotécidos e conseqüente acúmulo de precipitação nos leitos, constata-se através das Figuras 61 e 62 que com diminuição

dos níveis de umidade (considerados como altos durante todo o ciclo) e aumento de temperatura, houve um pequeno acréscimo nos teores de sólidos da torta de lodo. Este aumento não foi significativo a ponto de considerar o desaguamento através dos leitos com geotecido satisfatórios.

Convém salientar que o desempenho dos LAGs no início do ciclo foi satisfatório, atingindo teores de sólidos de 17%.

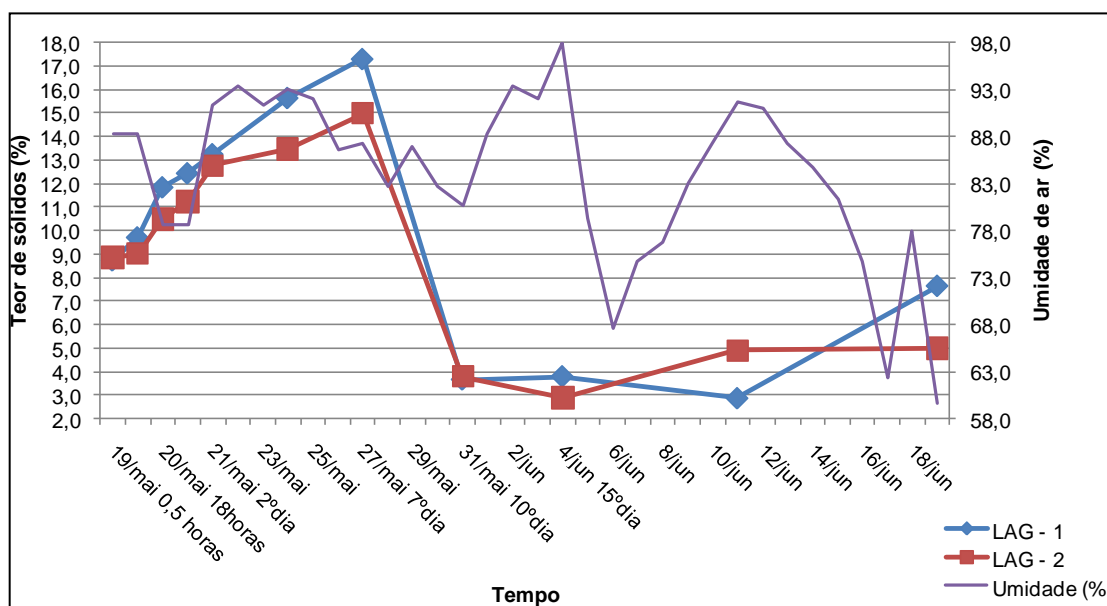


FIGURA 58 - INFLUÊNCIA DA UMIDADE NO TEOR DE SÓLIDOS RETIDO NOS LC - CICLO 2
 FONTE: A AUTORA

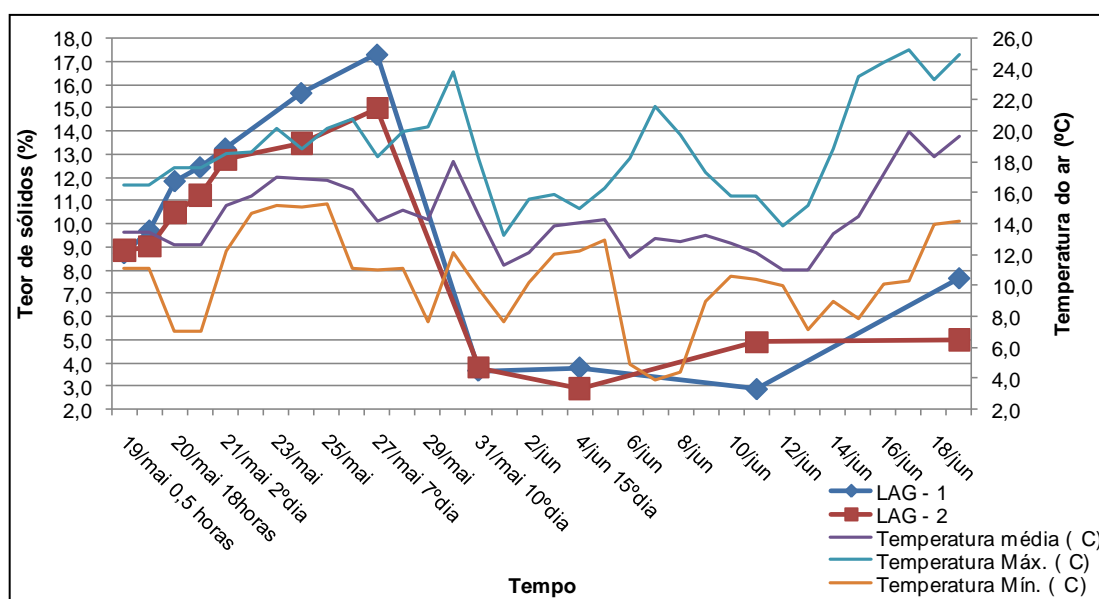


FIGURA 59 - TEMPERATURA E TEOR DE SÓLIDOS RETIDO NOS LAG - CICLO 2
 FONTE: A AUTORA

4.1.3 Análise global dos ciclos 1 e 2

As Tabelas 35 à 42 apresentam uma análise global dos resultados obtidos no desaguamento do lodo através dos leitos de secagem no ciclo 1 e 2.

4.1.3.1 Condições climáticas

As tabelas 35 e 36 mostram as condições climáticas dos ciclos 1 e 2. O conjunto de dados está apresentado de forma resumida através da estatística descritiva.

A Tabela 35 permite observar as condições climáticas no período de 14 de setembro à 14 de outubro de 2009, ou seja, durante o monitoramento do ciclo 1. Constata-se a predominância de temperaturas mais baixas, altos índices de umidade e grande volume de chuva. O ciclo iniciou-se no inverno e foi encerrado na primavera, portanto, temperaturas mais baixas já eram esperadas, porém o grande volume de chuva foi atípico durante o período (302 mm).

TABELA 35 - RESUMO DOS DADOS CLIMÁTICOS DO CICLO 1 - 14/09/09 À 14/10/09

Estatística Descritiva/ Variável Climática	Temperatura Média (C°)	Temperatura Máxima (C°)	Temperatura Mínima (C°)	Chuva (mm)	Umidade (%)
Média	16,2	21,7	12,5	9,4	81,5
Mediana	17,2	21,7	12,9	0,3	83,3
Desvio Padrão	3,1	4,1	2,1	17,5	10,8
Valor Máximo	21,3	29,2	17,5	74,9	97,7
Valor Mínimo	9,8	11,7	7,7	0,0	54,7
				Total de chuva no ciclo em mm	302,2

FONTE: A AUTORA

TABELA 36 - RESUMO DOS DADOS CLIMÁTICOS DO CICLO 2 - 19/05/10 À 19/06/10 -

Estatística Descritiva/ Variável Climática	Temperatura Média (C°)	Temperatura Máxima (C°)	Temperatura Mínima (C°)	Chuva (mm)	Umidade (%)
Média	14,8	19,1	10,6	2,3	83,3
Mediana	14,3	18,6	10,6	0,1	86,7
Desvio Padrão	2,6	3,4	3,2	6,9	9,6
Valor Máximo	20,8	25,3	17,1	38,8	98,0
Valor Mínimo	11,0	13,3	3,9	0,0	59,7
				Total de chuva no ciclo em mm	75,4

FONTE: A AUTORA

Na Tabela 36 são apresentados os dados climáticos referentes ao período de 19 de maio à 19 de junho de 2010, ou seja, o ciclo 2 de monitoramento. O ciclo ocorreu durante o inverno, com exceção do dia 19 à 21 de maio (a estação ainda era o outono). Este ciclo apresentou temperaturas mais baixas se comparadas ao ciclo 1, umidade bem próxima e precipitação relativamente menor. O volume acumulado de chuva verificado durante o ciclo foi de 75,4 mm e para o ciclo 1, 302 mm.

4.1.3.2 Lodo retido nos leitos

A Tabela 37 e 38 permitem observar os teores de sólidos obtidos durante os ciclos e o rebaixamento total do lodo ao final destes.

Como já discutido, para o ciclo 1, apenas o LC-1 atingiu teores satisfatórios, superiores aos obtidos em processos mecanizados. Os demais leitos, devido maior carga, foram prejudicados pelo volume de chuva durante o ciclo (302,2 mm), pois drenaram uma baixa quantidade de água livre e com isto acumularam a água chuva, a qual ocorreu desde o início do ciclo.

Fontana (2004) cita que a ocorrência de precipitação é extremamente prejudicial à secagem do lodo, quando esta ocorre antes da drenagem da água livre. Tal fato foi confirmado através dos resultados discutidos nesta pesquisa. Quanto ao rebaixamento, o LC-3, por apresentar a maior altura de lodo, foi o que apresentou menores valores.

Foram obtidos ao final do ciclo teores de 29% para LC-1 e 1% para LC-2 e LC-3. Quanto ao rebaixamento de lodo, houve um decréscimo de 11 cm dos 35 aplicados no LC-1, e 21cm e 26 cm para LC-2 e LC-3 respectivamente.

TABELA 37 - RESUMOS DOS TEORES DE SÓLIDOS E REBAIXAMENTO DO LODO DOS LC - CICLO 1 -

Leito	Altura de lodo	Volume de Lodo	Teor de sólidos (%)				Rebaixamento do lodo (cm)
			18 horas	7º dia	10º dia	30º dia	
LC-1	35	40	1,11	14,21	22,07	29,37	11,0
LC-2	50	57	0,88	1,03	0,87	1,18	21,0
LC-3	65	74	1,31	1,16	0,94	1,02	26,0

FONTE: A AUTORA

TABELA 38 - RESUMOS DOS TEORES DE SÓLIDOS E REBAIXAMENTO DO LODO-CICLO 2

Leito	Altura de lodo	Volume de Lodo	Teor de sólidos (%)				Rebaixamento do lodo (cm)
			18 horas	7º dia	15º dia	30º dia	
LC-1 ⁽¹⁾	35	40	11,8	13,8	26,3	40,4	28,0
LC-2 ⁽¹⁾	50	57	10,8	14,7	13,3	27,9	45,0
LC-3 ⁽¹⁾	65	74	7,1	8,5	7,6	25,9	53,0
LAB-1 ⁽²⁾	27	40	11,3	6,1	8,5	27,8	18,0
LAB-2 ⁽²⁾	38	57	13,0	5,7	8,3	17,8	20,0
LAG-1 ⁽²⁾	27	40	11,9	17,3	3,8 ⁽³⁾	7,7 ⁽³⁾	10,0
LAG-2 ⁽²⁾	38	57	10,5	15,0	2,9 ⁽³⁾	5,0 ⁽³⁾	14,0

LEGENDA: (1) SEGUNDA UTILIZAÇÃO DOS LEITOS, (2) PRIMEIRA UTILIZAÇÃO DOS LEITOS, (3) VERIFICADO COLMATAÇÃO.

FONTE: A AUTORA

A Tabela 38 mostra os resumos dos teores de sólidos obtidos no material retido e a evolução de altura que o lodo sofreu durante o ciclo 2 de monitoramento. Constatou-se que os leitos convencionais apresentaram torta de lodo ao final do ciclo com ST mais satisfatórios que os apresentados nos leitos alternativos, com exceção do LAB-1, que apresentou concentração superior ao LC-3. Com relação aos LAGs, verificou-se em campo, a ocorrência de colmatação dos tecidos a partir da metade do ciclo. Quanto ao rebaixamento do lodo, os leitos com geotecido apresentaram evolução de altura inferior que os demais devido à colmatação.

4.1.3.3 Volume de lodo aplicado, precipitação e porcentagem drenada

A Tabela 39 permite observar o grande volume de chuva que os leitos receberam (aproximadamente 38L) durante o primeiro ciclo. Do volume total, o qual os leitos foram submetidos, 58%, 48% e 39% foi drenado dos LC-1, LC-2 e LC-3, respectivamente.

TABELA 39 – VOLUMES DE LODO, PRECIPITAÇÃO, DRENADO E VOLUME RETIDO NO LEITO – CICLO 1

Leito	Volume de lodo aplicado –VL	Volume de chuva no leito-VP	Total (VL+VP)	Volume total drenado (30º dia)	Volume no leito (30º dia)	Porcentagem drenada
LC-1	40,0	37,9	77,9	45,4	32,5	58,3
LC-2	57,0	37,9	94,9	45,6	49,3	48,0
LC-3	74,0	37,9	111,9	43,5	68,4	38,9

FONTE: A AUTORA

TABELA 40 - VOLUMES DE LODO, PRECIPITAÇÃO, DRENADO E VOLUME RETIDO NO LEITO – CICLO 2

Leito	Volume de lodo aplicado -VL	Volume de chuva no leito-VP	Total (VL+VP)	Volume total drenado (30º dia)	Volume no leito (30º dia)	Porcentagem drenada
LC-1	40,0	9,4	49,4	29,6	19,9	59,9
LC-2	57,0	9,4	66,4	46,7	19,7	70,3
LC-3	74,0	9,4	83,4	56,4	27,0	67,6
LAB-1	40,0	74,6	114,6	85,1	29,5	74,2
LAB-2	57,0	74,6	131,6	97,7	33,9	74,2
LAG-1	40,0	74,6	114,6	72,4	42,3	63,1
LAG-2	57,0	74,6	131,6	69,4	62,2	52,7

FONTES: A AUTORA

A Tabela 40 apresenta o volume de lodo aplicado, precipitação e porcentagem drenada durante o ciclo 2. Fica evidente a diferença de susceptibilidade à precipitação dos leitos alternativos devido à área de influência. Enquanto os leitos tubulares (LC 1, LC-2 e LC-3) acumularam apenas 9,5 L de chuva (estes no ciclo 1 acumularam 38 L), os leitos tronco-piramidais acumularam 74,6 L. Conclui-se que os LABs apresentaram drenagem satisfatória, superior aos LCs, o que dificultou a secagem do lodo, portanto, foi o volume de chuva acumulado nos leitos (que foi relativamente maior).

4.1.3.4 Características do drenado

A Tabela 38 permite observar as características do drenado obtido referente a amostra coletada no 7º dia do ciclo 1 de monitoramento. O drenado apresenta boa qualidade, ou seja, o leito apresenta remoção satisfatória de sólidos e contaminantes, sendo estes retidos na camada filtrante do leito. Para esta amostra, apenas alumínio ultrapassa os limites de um rio classe 2, portanto, deverá ser verificado viabilidade de lançamento através de parâmetros como vazão do rio e capacidade de autodepuração do mesmo. Quanto à condutividade, os valores podem ser considerados como altos, segundo a Cetesb, valores acima de 100 µS/cm indicam ambientes impactados. Vale ressaltar que em outras coletas, os resultados obtidos ultrapassam os níveis permitidos pela legislação, o que inviabiliza o lançamento direto deste efluente no corpo receptor.

O mais adequado, conforme cita Fontana (2004), seria a recirculação deste efluente ao início do processo de tratamento de água, assim como o realizado com a água de lavagem dos filtros em grande parte das estações (ASADA, 2007) e também como realizado nas ETA Iraí e Passaúna com o clarificado da centrífuga..

TABELA 41 – CARACTERÍSTICAS DO DRENADO OBTIDO NOS LC REFERENTE À AMOSTRA COLETADA NO 7º DIA - CICLO 1

Amostra/ Parâmetro	Ph	cond. (μ S/cm)	cor (mg/L de PtCo)	turbidez (UNT)	ST (mg/L)	DQO (mg/L)	Al (mg/L)	O & G (mg/L)
Legislação	5,0 à 9,0 (CPL)	x	75 (CPR)	100 (CPR)	X	228 (SPL)	0,1 (CPR)	M:20 e VA:50 (CPL)
Lodo bruto	7,3	250	137	5210	8381	3426	450	8,3
LC-1	8,5	590	64	14,4	889	-	-	-
LC-2	8,4	390	31	25,6	433	-	-	-
LC-3	8,1	390	75	19,4	838	119,52	1	12,1*

LEGENDA: CPL - PADRÃO DE LANÇAMENTO DO CONAMA; CPR - PADRÃO DE RIO CLASSE 2 PELO CONAMA; M – ÓLEOS MINERAIS E VA - ÓLEOS VEGETAIS E ANIMAIS; SPL - PADRÃO DE LANÇAMENTO SEMA. * DADO REFERENTE À AMOSTRA COLETADA NO 1º DIA.

FONTE: A AUTORA

TABELA 42 - - CARACTERÍSTICAS DO DRENADO OBTIDO NOS LEITOS REFERENTE À AMOSTRA COLETADA NO 7º DIA - CICLO 2

Amostra/ Parâmetro c	pH	cond. (μ S/cm)	cor (mg/L de PtCo)	turbidez (UNT)	ST (mg/L)	DQO (mg/L)	Al (mg/L)	O & G (mg/L)
Legislação	5,0 à 9,0 (CPL)	x	75 (CPR)	100 (CPR)	X	228 (SPL)	M:20 e VA:50 (CPL)	0,1 (CPR)
Lodo Bruto	6,6	208	157	6670	8984	2974	236,6	9,33
LC-1	8,2	356	57	5	1216	-	-	-
LC-2	8,6	435	93	6	880	-	-	-
LC-3	9,1	407	88	5	1056	235,5	<1,0	7,8
LAB-1	8,0	154	49	7	792	-	-	-
LAB-2	8,0	150	58	12	1460	147,7	1	11,2
LAG-1	8,2	262	63	2,8	776	-	-	-
LAG-2	8,3	248	35	3,62	936	163,6	<1,0	4,3

LEGENDA: CPL - PADRÃO DE LANÇAMENTO DO CONAMA; CPR - PADRÃO DE RIO CLASSE 2 PELO CONAMA; M – ÓLEOS MINERAIS E VA - ÓLEOS VEGETAIS E ANIMAIS; SPL - PADRÃO DE LANÇAMENTO SEMA.

FONTE: A AUTORA

As características dos drenados obtidos nos leitos de secagem pilotos durante o ciclo 2, referentes às amostras coletadas no 7º dia, estão descritas na Tabela 42. Os Leitos que apresentaram drenados com maior qualidade foram os LABs, seguidos dos LAGs e LCs. Entretanto, devido aos resultados encontrados nas

análises, verifica-se que a prática de lançamento do efluente diretamente no corpo receptor é inviável para todos os leitos. Muitos parâmetros extrapolam os limites permissíveis estabelecidos em legislação (Resoluções nº 357/2005 do CONAMA e nº 001/2007 da SEMA). Os leitos alternativos demonstraram ser mais eficientes na filtração do lodo e qualidade do clarificado ao comparar com os leitos convencionais.

4.2 ESTUDO DO DESAGUAMENTO DO LODO ATRAVÉS DE CENTRIFUGAÇÃO

4.2.1 Monitoramento das centrífugas decanter localizadas na ETA Iraí e Passaúna

Os resultados discutidos à seguir, referem-se ao monitoramento realizado nas centrífugas decanter localizadas na ETA Iraí e Passaúna. São discutidas as características das amostras do lodo flotado, torta de lodo (ou lodo centrifugado) e drenado da ETA Iraí; e as características das amostras do lodo decantado ou sedimentado, adensado, centrifugado e clarificado da ETA Iraí.

Este monitoramento é de muita importância, para avaliar a eficiência do sistema de centrifugação do lodo nestas estações, pois em nenhuma delas, realiza-se o controle da qualidade do processo de desaguamento e, portanto não existem registros das características das amostras coletadas nas estações.

4.2.1.1. ETA Iraí

A Figura 60 ilustra o aspecto do clarificado obtido nas centrífugas, do lodo flotado e do lodo centrifugado.



FIGURA 60 - ASPECTO DO LODO CLARIFICADO, FLOTADO E CENTRIFUGADO DA ETA IRAÍ-
COLETA DO DIA 10/08
FONTE: A AUTORA

O lodo desta estação apresenta uma coloração marrom, parecida com chocolate, pelo fato de que nesta ETA utiliza-se o sulfato de alumínio como coagulante conforme citado por Reali *et al.* (1999).

- Vazão de lodo e vazão de polímero

A Tabela 43 e a Figura 61 indicam a vazão de lodo e de polímero afluyente à centrífuga. Através da Tabela 43 verifica-se que a vazão de lodo ficou entre 4,1 e 8,2 L/s. Com exceção dos dias 09 de dezembro e 08 de março onde somente uma centrífuga encontrava-se em operação, todas as outras vazões referem-se a ambas centrífugas em funcionamento.

Conforme dados operacionais da Peralisi(2009b) ,fabricante dos equipamentos de desaguamento mecânico, a capacidade nominal e típica dos decanter centrífugos modelos FP/600M são 16.000 e 4.000 L/h. Recomenda-se utilizar a centrífuga em sua capacidade típica, pois esta (16.000L/h) geralmente é utilizada em condições ótimas de operação. Todas as vazões durante o monitoramento apresentaram valores acima da capacidade típica, entretanto não atingiram a capacidade nominal.

Conforme Araújo & Soares (2008) as centrífugas estão funcionando em seu limite, e parte do lodo (aproximadamente 20%) está sendo destinado a uma lagoa localizada junto à estação, pois as centrífugas não são suficientes para desaguar todo o lodo gerado pela estação.

TABELA 43 - VAZÃO DE LODO E DE POLÍMERO DAS CENTRÍFUGAS DECANter LOCALIZADAS NA ETA IRAÍ

Parâmetro/	Q_lodo	Q_lodo	Q_P1	Q_P2
Data	L/s	L/h	L/h	L/h
25/mar/09	7,5	27036,0	132,0	131,5
10/ago/09	4,4	15696,0	119,0	120,0
2/set/09	4,1	14652,0	109,3	110,9
7/out/09	6,7	24120,0	202,1	201,9
13/out/09	8,2	29520,0	213,5	230,1
13/nov/09	6,4	23148,0	133,2	134,8
25/nov/09	8,1	29016,0	194,3	154,5
2/dez/09	7,1	25488,0	175,9	167,8
7/dez/09	6,9	24660,0	146,1	148,4
9/dez/09	5,9	21312,0	161,3	x
14/dez/09	7,7	27792,0	185,6	195,3
15/dez/09	6,9	24696,0	164,4	157,2
8/fev/10	7,7	27756,0	232,0	231,0
25/fev/10	7,8	28080,0	262,3	313,9
8/mar/10	4,2	15228,0	372,0	x
Média	6,6	23880,0	186,9	176,7
Mediana	6,9	24696,0	175,9	157,2
Desvio Padrão	1,4	5029,6	66,8	56,8
Mínimo	4,1	14652,0	109,3	110,9
Máximo	8,2	29520,0	372,0	313,9

Obs:1) Medição realizada de forma automática através do medidor eletromagnético Danfoss MAGFLOO; 2) Vazão de lodo mensurada antes da entrada nas centrífugas, para obter a vazão para cada unidade dividir o valor para cada uma das centrífugas; 4) P1 refere-se a vazão de polímero para a primeira centrífuga 1 e P2 para a segunda centrífuga.

FONTE: A AUTORA

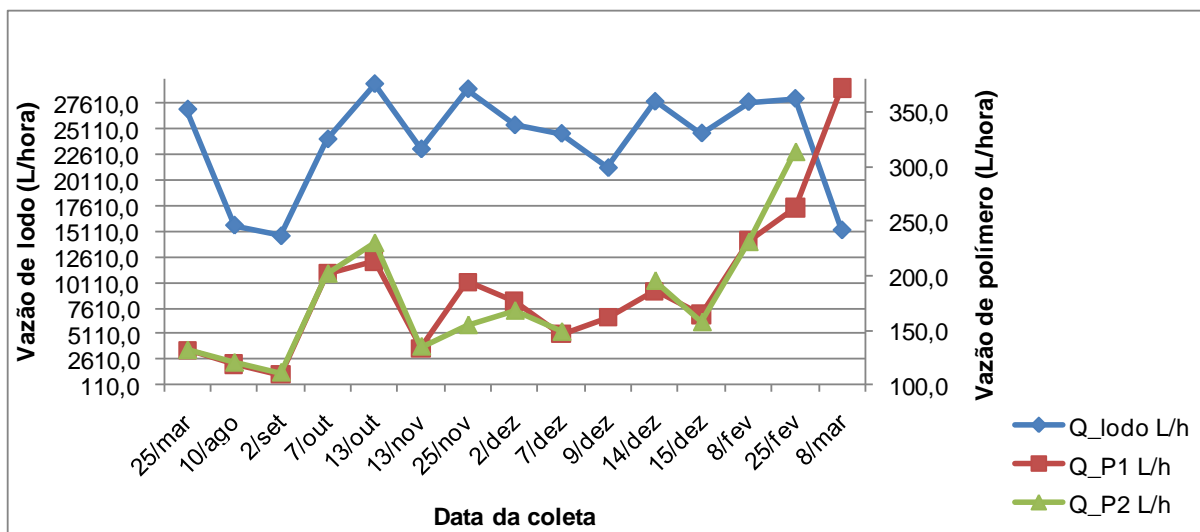


FIGURA 61 - VAZÃO DE LODO E DE POLÍMERO DAS CENTRÍFUGAS DECANTER DA ETA IRAÍ

FONTES: A AUTORA

Quanto à vazão de polímero, esta varia com a vazão do lodo, a dosagem ocorre de forma automatizada e depende principalmente da qualidade do clarificado. Segundo Guimarães (2007) o condicionamento químico tem como objetivo melhorar a qualidade do clarificado, e interage apenas com a superfície externa dos flocos, sem alterar sua estrutura interna. Ele não interfere na água vicinal e nem da de hidratação; bem como no potencial de desidratação do lodo, no que se refere ao teor de sólidos possível de se obter na torta desidratada.

- Lodo flotado

A Tabela 44 apresenta os resultados da caracterização do lodo flotado da ETA Iraí.

TABELA 44 - CARACTERIZAÇÃO DO LODO FLOTADO DA ETA IRAÍ - IF ATRAVÉS DOS PARÂMETROS: pH, COR, CONDUTIVIDADE, TURBIDEZ E SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS. -

Parâmetro/ Data	pH (IF)	cor (IF) mg/L de PtCo	cond. (IF) µS/cm	turb. (IF) UNT	s. sed. (IF) mL/L
7/out/09	6,3	10	135	2920	490
13/out/09	5,8	24	151	2070	450
13/nov/09	6,2	550	480	518	501
25/nov/09	6,0	550	136	4160	850
2/dez/09	6,5	92	155	1680	810
7/dez/09	6,2	28	104	3850	998
9/dez/09	6,0	11	199	3680	990
14/dez/09	6,0	8	112	2830	800
15/dez/09	6,1	8	127	4480	985
8/fev/10	8,7	57	174	3470	898
25/fev/10	7,0	60	179	6730	980
8/mar/10	7,7	100	116	4980	800
Média	6,5	125	172,4	3447,3	796,0
Mediana	6,2	43	143,7	3575,0	830,0
Desvio Padrão	0,8	201	101,0	1628,6	204,9
Mínimo	5,8	8	104,4	518,0	450,0
Máximo	8,7	550	480,0	6730,0	998,0
CONAMA 357/2005	5 à 9	Não tem	Não tem	Não tem	1 mL/L
Padrão rio classe II	6,0 à 9,0	75	Não tem	100	Não tem

FONTE: A AUTORA

Quanto aos valores de pH, foram encontrados valores desde 5,8 até 8,7; com mediana de 6,2. O valor de pH do lodo flotado está associado às características da água bruta e quantidade de insumos utilizados, estes fatores explicam a grande variação do parâmetro durante o monitoramento. Comparando os resultados encontrados, com os padrões de lançamento estipulados pelo CONAMA, com objetivo de verificar a possibilidade de destinação do resíduo como um efluente em um corpo d'água, verifica-se a inviabilidade desta prática devido extrapolação de alguns parâmetros.

Para o parâmetro cor verdadeira, foram encontrados valores desde 8 até 550 mg/L de PtCo, estes valores, do mesmo modo que o pH são dependentes da qualidade da água bruta afluyente à ETA e insumos utilizados durante o tratamento. A grande variação dos valores de cores (desvio padrão = 205,5) das amostras de lodo flotado, é explicada pela intermitência durante a raspagem do lodo para posterior desaguamento nas centrífugas. A legislação nº357/2005 do CONAMA não estipula limites de cor para o lançamento, na resolução é encontrado apenas o padrão de 75mg/L de PtCo para um rio de classe II (classe do corpo hídrico onde é realizada a captação). Com exceção das coletas de novembro (550mg/L de PtCo) e a primeira de dezembro (98mg/L de PtCo) todos os outros resultados das análises de cor encontram-se dentro dos padrões estipulados para rio classe II.

Para condutividade, durante o monitoramento foram encontrados valores entre 104 $\mu\text{S}/\text{cm}$ até 480 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com mediana de 143 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Não existem na resolução do CONAMA, padrões de lançamento e nem de condições para o parâmetro de condutividade, entretanto, ao comparar os resultados obtidos durante o monitoramento com o limite estabelecido para um ambiente impactado conforme a CETESB (2010), verifica-se que todos os valores encontram-se acima de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, limitando o lançamento deste resíduo quanto à este parâmetro. Os altos valores de condutividade são explicados pela grande quantidade de sais utilizados durante o tratamento da água.

A turbidez (grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar uma amostra) está associada aos sólidos em suspensão presentes do lodo flotado, logo sua variação é proporcional a este parâmetro. Os valores de turbidez do lodo flotado são função do grau de turbidez da água bruta e conseqüente necessidade de insumos químicos. Os resultados obtidos durante o monitoramento foram entre 518 e 6730 UNT, com mediana de 3575 UNT. A resolução CONAMA não estipula limites de lançamento para o parâmetro turbidez, porém, o padrão de um rio classe II é de 100 UNT, portanto, durante todas as coletas, os valores encontrados estiveram acima do padrão estipulado e, logo, o lançamento no corpo receptor torna-se inviável.

Para o parâmetro sólidos sedimentáveis, foram encontrados valores desde 480 até 998 mL/L, com mediana de 830 mL/L. Weber e Torres (2007) caracterizaram o lodo de diversas ETAs localizadas no estado do Paraná e encontraram valores desde 42mL/L até 400mL/L; Cordeiro (1993) cita 710 mL/L para o lodo utilizado em

sua pesquisa. Para o lodo monitorado, os valores encontram-se acima dos citados em literatura; e ao comparar com o padrão de lançamento do CONAMA, verifica-se que em todas as coletas os teores de sólidos sedimentáveis encontram-se acima do limite de lançamento de 1mL/L.

TABELA 45 - ANÁLISES DE DQO, O&G E Al DO LODO FLOTADO DA ETA IRAÍ

Parâmetro	*Lodo Flotado	Limite de lançamento
DQO (mg/L)	2635	¹ 225
O&G (mg/L)	11	² M: 20 e VA: 50
Al (mg/L)	458,3	³ 0,1

LEGENDA: ¹ Limite de lançamento estipulado pela resolução SEMA 001 para empreendimentos de saneamento ; ² Padrão de lançamento CONAMA nº 357/2005 de 20,0 mg/L (óleos minerais - M) e 50,0 mg/L (óleos vegetais e animais- VA); ³ Padrão de alumínio de 0,1 mg/L para um rio classe II CONAMA nº357/2005; * Amostras coletadas do dia 07 de outubro.

FONTE: A AUTORA

Para os parâmetros de DQO, O&G e alumínio (Tabela 45), foi realizada apenas uma coleta com os objetivos de: caracterizar o lodo afluente à centrífuga, avaliar a remoção destes na centrifugação e verificar a possibilidade de lançamento do lodo (como realizado em muitas estações) e do clarificado dentro dos padrões permissíveis pela legislação. Optou-se por realizar apenas uma coleta, pelo fato de que o objetivo geral deste trabalho é estudar o desaguamento do lodo.

Percebe-se através da Tabela 45 que somente o parâmetro O&G encontra-se dentro do limite de lançamento (11mg/L), para DQO e Al os valores estão acima da legislação e limite de lançamento estipulado pela resolução nº 001 da SEMA. Andreolli *et al.* (2001) citam que a faixa de DQO para lodos de ETAs encontra-se entre 500 à 10.000 mg/L; Cordeiro e Campos (1999) listaram valores encontrados por 9 autores, entre 340 à 13800 mg/L; Weber e Torres (2007) em estudo, avaliaram diversos lodos de ETAs do Paraná e caracterizaram as amostras com valores entre 5 e 270 mg/L (para amostras compostas de lodo de decantador + água de lavagem de filtros).

Para óleos e graxas Weber e Torres (2007) encontraram valores entre 0,5 e 10,9 mg/L e para alumínio 30,55 à 290,9 mg/L, ou seja, os valores da pesquisa encontram-se acima dos obtidos pelos autores. Vale ressaltar que nesta caracterização, os autores não realizaram coletas na ETA Iraí para a caracterização do lodo, somente na ETA Iguaçu.

A Figura 62 e a Tabela 46 apresentam os teores de sólidos das amostras de lodo flotado durante o monitoramento das centrífugas decanter da ETA Iraí.

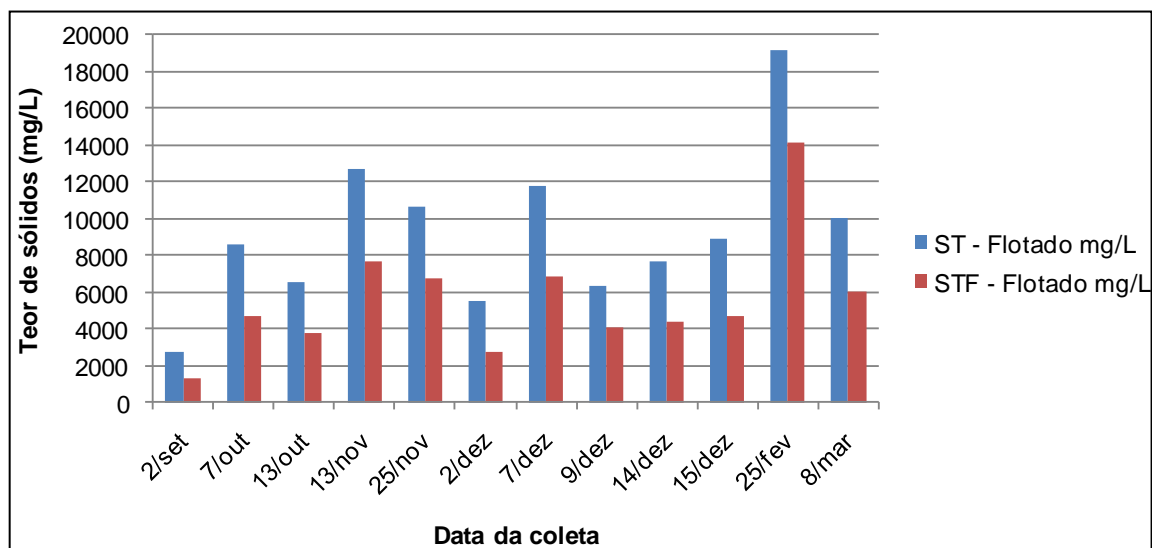


FIGURA 62 - TEORES DE SÓLIDOS DO LODO FLOTADO DA ETA IRAÍ
FONTE: A AUTORA

Através da Figura 62 e Tabela 46 percebe-se que as concentrações de sólidos totais para as coletas realizadas durante o monitoramento ficaram entre 0,1% até 1,9%. Segundo Campos, Reali e Daniel (1999) o lodo de floto-filtração geralmente apresenta concentração de 3 à 6%; comparando esta faixa com a apresentada pela ETA Iraí percebe-se a baixa eficiência do sistema de flotação.

TABELA 46 -TEORES DE SÓLIDOS DO LODO FLOTADO DURANTE O MONITORAMENTO DA ETA IRAÍ -

Parâmetro/ Data	ST -Flotado mg/L	ST - Flotado (%)	STF - Flotado mg/L	Flotado STF/ST (%)
2/set/09	2714	0,27	1323	48,75
7/out/09	8591	0,86	4675	54,42
13/out/09	6512	0,65	3741	57,45
13/nov/09	12732	1,27	7704	60,51
25/nov/09	10668	1,07	6756	63,33
2/dez/09	5540	0,55	2708	48,88
7/dez/09	11796	1,18	6848	58,05
9/dez/09	6312	0,63	4096	64,89
14/dez/09	7636	0,76	4424	57,94
15/dez/09	8872	0,89	4716	53,16
25/fev/10	19160	1,92	14096	73,57
8/mar/10	10076	1,01	6040	59,94
Média	9217	0,92	5594	58,41
Mediana	8731	0,87	4696	57,99
Desvio Padrão	4214	0,42	3235	6,95
Mínimo	2714	0,27	1323	48,75
Máximo	19160	1,92	14096	73,57

FONTE: A AUTORA

A baixa concentração de sólidos no lodo flotado da ETA Iraí, é explicada pelo fato do sistema de flotação estar operando em seu limite, fazendo com que durante a raspagem de lodo seja arrastada também água flotada, diluindo o lodo e consequentemente a concentração de sólidos totais da entrada da centrífuga.

Com relação à matéria orgânica presente no lodo flotado, com exceção da coleta do dia 02 de setembro (em STV é maior que STF), no geral os teores de STF ficaram acima dos STV durante as coletas. Os teores de STF apresentaram valores desde 48% até 73% (apresentando a mediana de 58%), ou seja, de 27% até 52% de STV. Cordeiro e Campos (1999) listaram valores de STV para lodos de ETAs obtidos por 10 autores, e em geral a concentração encontrada foi de 15% até 30%. Comparando os dados de literatura com os obtidos durante o monitoramento fica evidente que o lodo da ETA Iraí apresenta um teor maior de matéria orgânica do que os lodos de ETAs em geral.

A maior quantidade de matéria orgânica no lodo é explicada pelo fato de que a água afluyente à estação é oriunda da represa do Iraí, a qual apresenta grande

susceptibilidade à eutrofização. Conforme Araújo e Soares (2008)⁴a morfometria apresentada pela represa do Iraí, como por exemplo, a baixa profundidade e grande tempo de residência da água (8 à 13 meses); a ocupação agrícola e industrial e consequente entrada de nutrientes; tem refletido na quantidade de algas presentes na água. É justamente por este fator que na ETA Iraí foi optado pelo sistema de flotação para o tratamento da água. Para Rees *et al.* (1979) e Zabel (1982) citado por Garcia (2007), esta tecnologia é indicada quando as águas de abastecimento apresentam as seguintes características: presença de partículas de baixa densidade e elevada quantidade de algas que possuam a tendência natural de flotar e águas com cor elevada, as quais submetidas ao tratamento químico, produzem flocos com baixa velocidade de sedimentação.

Com relação aos resultados de SST e SSF apresentados na Tabela 47 e Figura 63, os teores de matéria orgânica foram similares aos apresentados pelos teores de sólidos totais do lodo flotado, ou seja, os valores de ST/STF foram proporcionais aos teores de SST/SSF. Os teores de STF apresentaram valores desde 40% até 61% (apresentando a mediana de 56%), ou seja, de 39% até 60% de STV. Como já esperado, assim como nos teores de ST/STF do lodo flotado da ETA Iraí, os valores de SST/SSF apresentaram um teor de matéria orgânica maior do que os lodos de ETAs em geral.

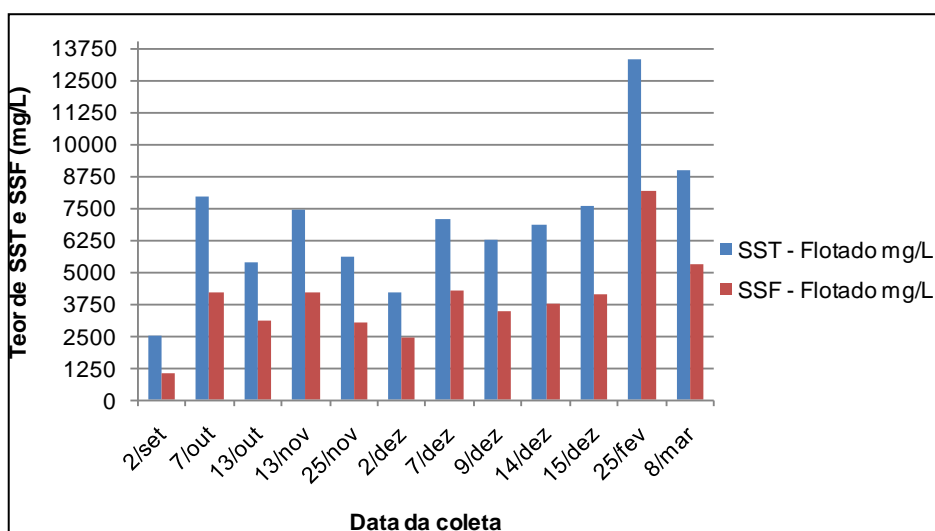
Com relação à proporção de SST dos ST, Andreolli *et al.* (2001) citam que os sólidos suspensos totais são aproximadamente 75% à 90% dos sólidos totais; Cordeiro e Campos (1999) citam valores de 75% à 85%. Os resultados obtido neste monitoramento estão entre 52% e 99%, porém a mediana foi de 83%, valor bem próximo aos teores citados pelos autores.

⁴ARAÚJO, A. N. & SOARES, E. **Informações sobre a ETA Iraí.** 12/12/2008.

TABELA 47 - SST E SSF DO LODO FLOTADO DA ETA IRAÍ

Parâmetro/ Data	SST – Flotado mg/L	SSF - Flotado mg/L	Flotado SSF/SST (%)	Flotado SST/ST (%)
2/set/09	2540	1015	39,96	93,60
7/out/09	7975	4180	52,41	92,83
13/out/09	5368	3120	58,12	82,44
13/nov/09	7412	4216	56,88	58,22
25/nov/09	5624	3072	54,62	52,72
2/dez/09	4200	2436	58,00	75,81
7/dez/09	7060	4276	60,57	59,85
9/dez/09	6256	3476	55,56	99,11
14/dez/09	6868	3764	54,80	89,94
15/dez/09	7572	4116	54,36	85,35
25/fev/10	13320	8216	61,68	69,52
8/mar/10	8988	5308	59,06	89,20
Média	6931,9	3932,9	55,5	79,0
Mediana	6964,0	3940,0	56,2	83,9
Desvio Padrão	2665,4	1730,0	5,6	15,6
Mínimo	2540,0	1015,0	40,0	52,7
Máximo	13320,0	8216,0	61,7	99,1

FONTE: A AUTORA

FIGURA 63 - SST E SSF DO LODO FLOTADO DA ETA IRAÍ
FONTE: A AUTORA

- Lodo centrifugado

TABELA 48 - TEORES DE ST E STF DO LODO CENTRIFUGADO DA ETA IRAÍ

Parâmetro/ Data	ST - Centrifugado mg/L	ST - Centrifugado (%)	STF- Centrifugado mg/L	Centrifugado STF/ST (%)
2/set/09	81967	8,20	40088	48,91
7/out/09	127865	12,79	69368	54,25
13/out/09	145117	14,51	79548	54,82
13/nov/09	176419	17,64	91714	51,99
25/nov/09	176380	17,64	113612	64,41
2/dez/09	139700	13,97	79384	56,82
7/dez/09	134647	13,46	77667	57,68
9/dez/09	150565	15,06	84758	56,29
14/dez/09	147916	14,79	80423	54,37
15/dez/09	142268	14,23	79272	55,72
25/fev/10	184746	18,47	108981	58,99
8/mar/10	199016	19,90	114276	57,42
Média	150550	15,06	84924	55,97
Mediana	146517	14,65	79985	56,01
Desvio Padrão	30967	3,10	20728	3,80
Mínimo	81967	8,20	40088	48,91
Máximo	199016	19,90	114276	64,41

FONTE: A AUTORA

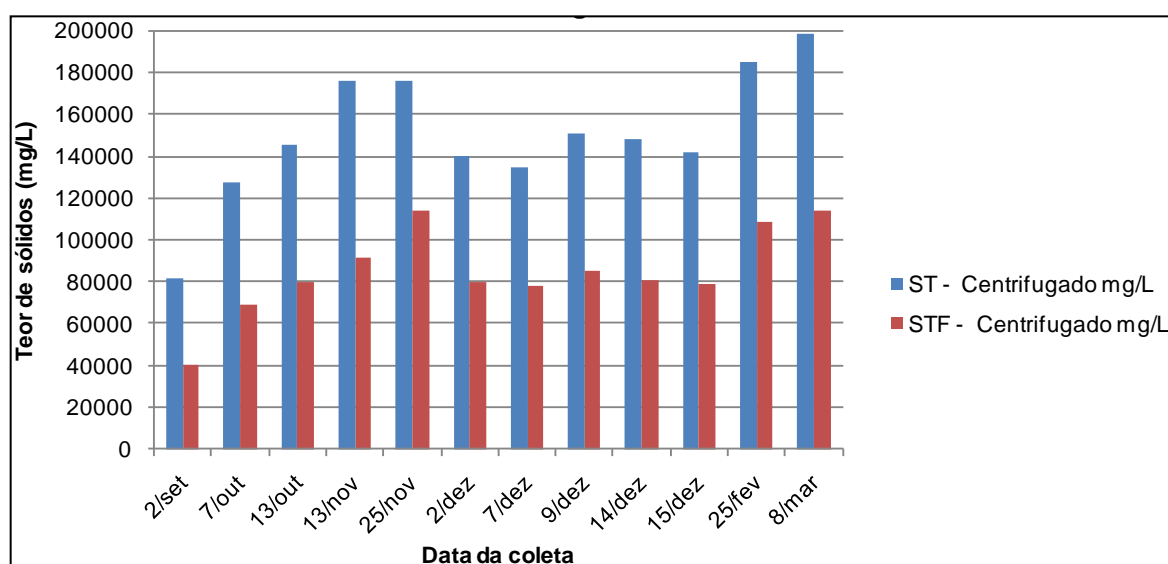


FIGURA 64 - TEORES DE ST E STF DO LODO CENTRIFUGADO DA ETA IRAÍ

FONTE: A AUTORA-

A Tabela 48 e Figura 64 mostram os resultados das análises de ST e STF do lodo centrifugado da ETA Iraí. Para os valores de ST foram obtidos valores entre 8,2% e 20%, com mediana de 14%. Barbosa (1997) em pesquisa encontrou valores

de 25% à 30% para a torta de lodo, tratava-se de um lodo de uma estação que utilizava sulfato de alumínio com coagulante, e onde era efetuada a adição de polímeros no adensamento e na desidratação (aniônico de baixa e alta carga). Nesta pesquisa o lodo apresentava concentração de 2,5 à 3% e a água bruta apresentava baixa concentração de matéria orgânica.

Schofield (1997) cita que o lodo centrifugado proveniente de estações com FAD não atingi valores de 17%. O autor cita que o motivo pode ser a possibilidade de lodos flotados reterem parte das microbolhas da flotação, o que gera uma estrutura difícil de estabilizar e dificulta a desidratação. Outro fator também é a influência da presença de algas na água bruta, o que aumenta a concentração de matéria orgânica no lodo.

Pode-se atribuir a baixa eficiência da centrifugação na ETA Iraí aos fatores citados por Schofield (1997), pois na ETA Iraí utiliza-se o sistema de flotação e a água bruta apresenta grande quantidade de algas, o que aumenta o teor de matéria orgânica e dificulta a desidratabilidade do lodo.

Guimarães (2008) cita que a origem do problema da baixa eficiência obtida na centrifugação de lodos com caráter mais orgânico estaria na natureza dos lodos, uma vez que a presença de algas pode alterar a estrutura dos flocos dos lodos formados, reduzindo sua desidratabilidade.

Os teores de STF/ST foram de 48% à 64%, Guimarães (2008) obteve uma proporção de 47% em sua pesquisa para um lodo similar (levemente orgânico e obtido por processo de flotação).

- Clarificado

A Tabela 49 apresenta a caracterização do clarificado obtido através da centrifugação do lodo flotado na ETA Iraí. A amostra foi caracterizada pelos parâmetros: pH, cor, condutividade, turbidez e sólidos sedimentáveis; além da série de sólidos, DQO, O&G e alumínio.

Quanto ao pH, foram encontrados valores desde 6,1 até 8,2; com mediana de 7,1. Existe uma alteração do pH do clarificado ao comparar com o lodo flotado, pois o processo de tratamento de água e insumos utilizados fazem com que esta variação ocorra. Comparando os resultados encontrados com o padrão de lançamento estipulado pelo CONAMA, verifica-se a possibilidade de lançamento do

clarificado como um efluente, pois todos os valores encontram-se dentro do limite permissível pela legislação.

TABELA 49 - CARACTERIZAÇÃO DO CLARIFICADO OBTIDOS NA CENTRÍFUGAS DA ETA IRAÍ ATRAVÉS DOS PARÂMETROS: PH, COR, CONDUTIVIDADE, TURBIDEZ E SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS.

Parâmetro/ Data	pH (IC)	cor (IC) mg/L de PtCo	cond. (IC) µS/cm	turb. (IC) UNT	s. sed. (IC) mL/L
7/out/09	6,8	4	177,3	103	20
13/out/09	6,4	16	154,4	90	3
13/nov/09	6,4	7	178	107	150
25/nov/09	7,1	49	176,4	246	100
2/dez/09	6,5	6	145,8	150	60
7/dez/09	6,1	18	114,5	347	200
9/dez/09	7,1	6	200	14,2	1
14/dez/09	7,5	4	158,3	159	60
15/dez/09	7,1	4	164,3	220	7
8/fev/10	8,2	31	177,4	48,5	2
25/fev/10	7,9	20	166,8	76,1	5
8/mar/10	8,0	25	160	27,2	7,5
Média	7,1	16	164,4	132,3	51,3
Mediana	7,1	12	165,6	105,0	13,8
Desvio Padrão	0,7	14	21,2	98,3	66,5
Mínimo	6,1	4	114,5	14,2	1,0
Máximo	8,2	49	200,0	347,0	200,0
CONAMA 357/2005	5 à 9	Não tem	Não tem	Não tem	1 mL/L
Padrão rio classe II	6,0 à 9,0	75	Não tem	100	Não tem

FONTE: A AUTORA

Para o parâmetro cor verdadeira, foram encontrados valores desde 4 até 49 mg/L de PtCo; apresentando mediana de 12 mg/L de PtCo. Comparando as cores obtidas no clarificado com as do lodo flotado durante o monitoramento percebe-se que há uma remoção satisfatória da cor durante a centrifugação. A resolução nº357/2005 do CONAMA não estipula limites de cor para o lançamento, em termos de padrão de qualidade é especificado apenas o padrão de 75mg/L de PtCo para um rio de classe II (classe do corpo hídrico onde é realizada a captação). Todos os resultados das análises de cor para o clarificado, com exceção da última coleta encontram-se dentro dos padrões estipulados para rio classe II.

Para a condutividade, durante o monitoramento durante o monitoramento foram encontrados valores entre 114,5 µS/cm até 200 µS/cm, com mediana de 165,6

$\mu\text{S/cm}$. Não existe grande variação dos valores de condutividade entre lodo flotado e clarificado, entretanto, alguns aumentam no clarificado; isto se deve ao fato que durante a centrifugação é realizada a adição de polímero; que faz com que a condutividade aumente. Conforme o valor estipulado pela CETESB (2010) para ambientes impactados ($100 \mu\text{S/cm}$), verifica-se que todos os valores encontram-se acima, limitando o lançamento do clarificado no corpo hídrico.

Com relação à turbidez, foram obtidos durante o monitoramento valores entre 14,2 e 347 UNT, com mediana de 105,5 UNT. Ao comparar os resultados, com um rio de padrão classe II, apenas 2 coletas não permitem o lançamento do clarificado no rio. Percebe-se uma eficiente remoção da turbidez durante o processo de centrifugação, este fato pode ser atribuído a utilização do polímero para o condicionamento do lodo, que apesar de não influenciar no teor de sólidos da torta, melhora significativamente a qualidade do clarificado, conforme citado por Guimarães (2007).

Para os sólidos sedimentáveis foram encontrados valores desde 1,0 até 200 mL/L, com mediana de 13,8 mL/L. Houve efetiva diminuição no teor de sólidos sedimentáveis do clarificado ao comparar com o lodo flotado. Apenas a coleta do dia 09 de dezembro, encontra-se dentro do limite de lançamento estipulado pela resolução do CONAMA, quanto aos outros, todos extrapolam a legislação, o que inviabiliza o lançamento e implica na necessidade de tratamento, ou recirculação (como já praticado pela estação).

TABELA 50 - VALORES DE DQO, O&G E AL DO CLARIFICADO DA CENTRÍFUGA – ETA IRAÍ

Parâmetro	*Lodo Flotado	*Clarificado da centrífuga	Limite de lançamento
DQO (mg/L)	2635	116	¹ 225
O&G (mg/L)	11	6,2	² M: 20 e VA: 50
Al (mg/L)	458,3	6,9	³ 0,1

LEGENDA: ¹ Limite de lançamento estipulado pela resolução SEMA nº 001 para empreendimentos de lançamento ; ² Padrão de lançamento CONAMA nº 357/2005 de 20,0 mg/L (óleos minerais - M) e 50,0 mg/L (óleos vegetais e animais- VA); ³ Padrão de alumínio de 0,1 mg/L para um rio classe II CONAMA nº357/200; * Amostras coletadas do dia 07 de outubro.

FONTE: A AUTORA

Para os parâmetros de DQO, O&G e alumínio, assim como para o lodo flotado, foram realizadas apenas uma coleta com os mesmos objetivos (caracterizar o lodo afluente à centrífuga, avaliar a remoção destes na centrifugação e verificar a possibilidade de lançamento do clarificado dentro dos padrões permissíveis pela

legislação). Percebe-se através da Tabela 50, que somente o parâmetro alumínio extrapola a legislação (padrão de rio classe 2), os outros se encontram dentro do limite de lançamento estipulado pela resolução nº 001 da SEMA e CONAMA nº 357/2005.

TABELA 51 - TEORES DE ST E STF DO CLARIFICADO OBTIDOS NAS CENTRÍFUGAS - ETA IRAÍ

Parâmetro/ Data	ST - Clarificado mg/L	ST - Clarificado (%)	STF - Clarificado mg/L	Clarificado STF/ST (%)
2/set/09	210	0,02	59	27,91
7/out/09	407	0,04	36	8,75
13/out/09	420	0,04	320	76,23
13/nov/09	848	0,08	804	94,81
25/nov/09	448	0,04	248	55,36
2/dez/09	520	0,05	340	65,38
7/dez/09	740	0,07	444	60,00
9/dez/09	160	0,02	20	12,50
14/dez/09	312	0,03	232	74,36
15/dez/09	304	0,03	32	10,53
25/fev/10	668	0,07	628	94,01
8/mar/10	440	0,04	90	20,45
Média	456	0,05	271	50,02
Mediana	430	0,04	240	57,68
Desvio Padrão	209	0,02	253	32,50
Mínimo	160	0,02	20	8,75
Máximo	848	0,08	804	94,81

FONTE: A AUTORA

Através da Tabela 51 e a Figura 65 percebeu-se que os teores de sólidos para o lodo clarificado durante o período de monitoramento foi entre 160 e 848 mg/L, apresentando mediana de 430 mg/L. Através do gráfico nota-se a grande variação dos ST (desvio padrão de 209 mg/L), essa variação foi explicada pelo próprio processo de centrifugação, que, dependendo das condições faz com que os teores de sólidos se elevem ou diminuam. Por exemplo, no aumento da dosagem de polímero, há uma diminuição nos teores de sólidos.

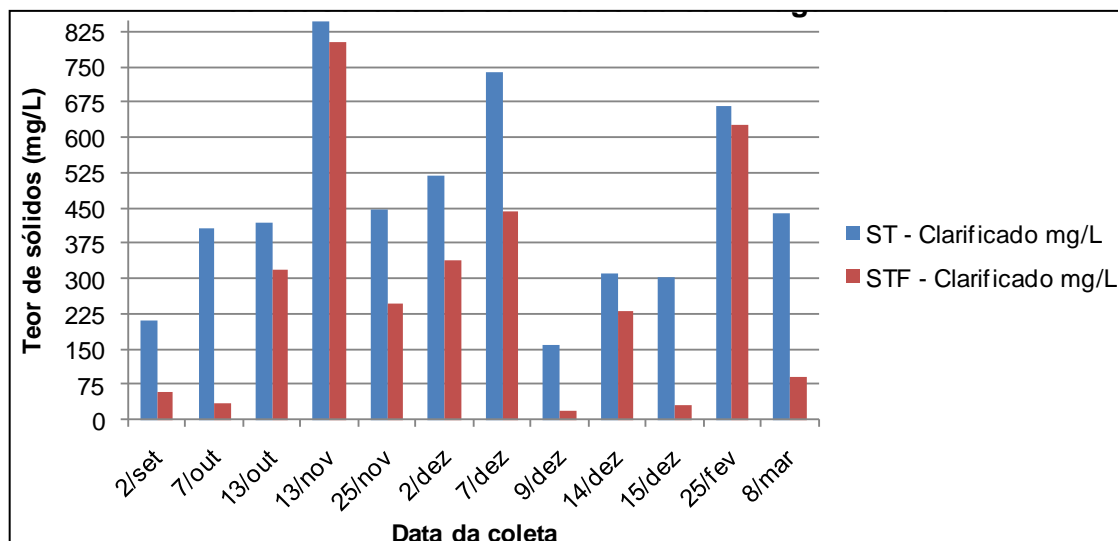


FIGURA 65- TEORES DE ST E STF DO CLARIFICADO OBTIDO ATRAVÉS DA CENTRIFUGAÇÃO NA ETA IRAÍ
 FONTE: A AUTORA

Com relação aos teores de matéria orgânica, a mediana da relação STF/ST foi de aproximadamente 58%. Em cinco das doze coletas os teores de STV foram maiores que os STF. Não foram encontradas referências com relação ao monitoramento de clarificados de centrífugas em estações que utilizam o processo de floto-filtração, na prática, o que geralmente ocorre é a recirculação deste efluente para o início do processo de tratamento.

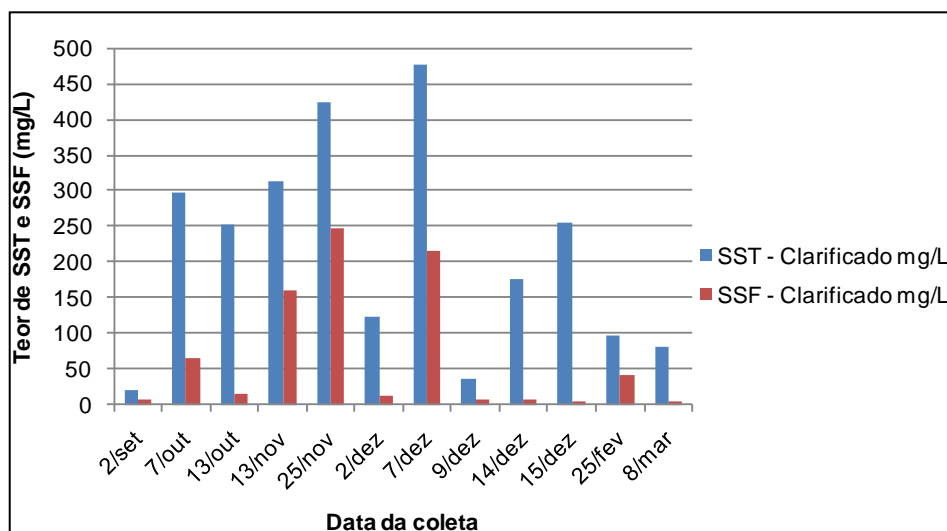
Com relação aos teores de SST e SSF do clarificado obtido através da centrifugação na ETA Iraí, percebe-se através da Tabela 52 e Figura 66, a grande variação durante o período de monitoramento. Os teores de SS dependem da qualidade da água bruta, da quantidade de insumos utilizados no tratamento e principalmente da eficiência do processo de centrifugação, bem como a dosagem de polímero. A dosagem do condicionante geralmente ocorre de forma automática, porém na prática, verificou-se na estação, que dependendo do aspecto do clarificado, a dosagem de polímero era elevada manualmente, o que faz com que os teores de sólidos no clarificado diminuam.

Quanto aos teores de SST, estes ficaram na faixa de 20 à 476 mg/L, com mediana de 214 mg/L. Para os teores de SSF os resultados foram de 4 até 248 mg/L, com mediana de 14 mg/L. A mediana para a relação de SSF/SST foi de 22%, ou seja, mais de 70% de matéria orgânica; valores acima dos teores encontrados nas outras amostras (clarificado e flotado).

TABELA 52 - TEORES DE SST E SSF DO CLARIFICADO OBTIDO NAS CENTRÍFUGAS - ETA IRAÍ

Parâmetro/ Data	SST - Clarificado mg/L	SSF - Clarificado mg/L	Clarificado SSF/SST (%)	Clarificado SST/ST (%)
2/set/09	20	8	40,00	9,52
7/out/09	296	64	21,62	72,77
13/out/09	252	16	6,35	60,03
13/nov/09	312	160	51,28	36,79
25/nov/09	424	248	58,49	94,64
2/dez/09	124	12	9,68	23,85
7/dez/09	476	216	45,38	64,32
9/dez/09	36	8	22,22	22,50
14/dez/09	176	8	4,55	56,41
15/dez/09	256	4	1,56	84,21
25/fev/10	96	40	41,67	14,37
8/mar/10	80	4	5,00	18,18
Média	212,3	65,7	25,6	46,5
Mediana	214,0	14,0	21,9	46,6
Desvio Padrão	148,6	89,6	20,7	29,3
Mínimo	20,0	4,0	1,6	9,5
Máximo	476,0	248,0	58,5	94,6

FONTE: A AUTORA

FIGURA 66 - TEORES DE SST E SSF DO CLARIFICADO OBTIDO ATRAVÉS DA CENTRIFUGAÇÃO NA ETA IRAÍ
FONTE: A AUTORA

4.2.1.1.1. Cálculo da Eficiência

A Figura 67 apresenta os valores de eficiência do processo de centrifugação obtidos através da equação de Cornwell (1990) (equação 7, Capítulo 3):

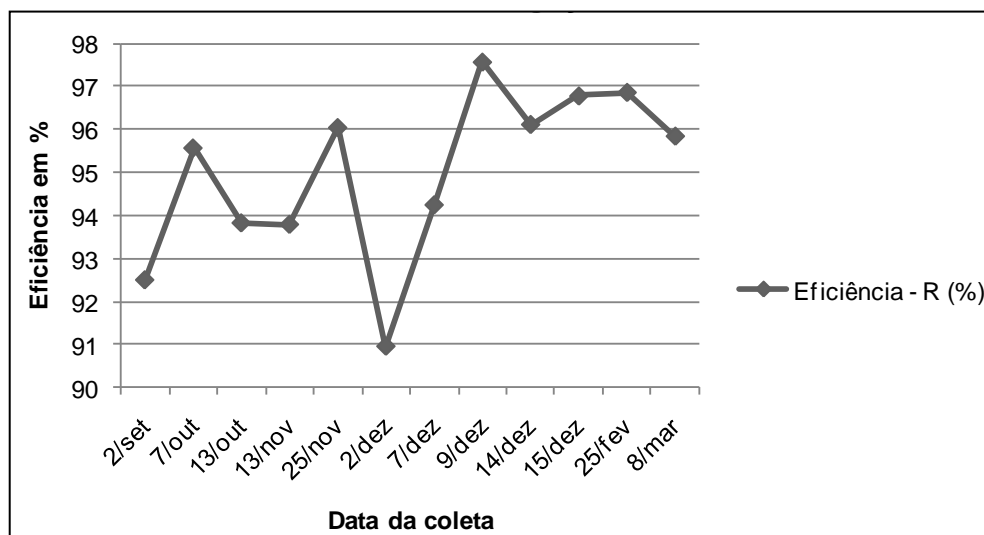


FIGURA 67 - EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE CENTRIFUGAÇÃO NA ETA IRAÍ DURANTE O MONITORAMENTO
 FONTE: A AUTORA

A Figura permite observar, que a eficiência da centrifugação ficou acima de 90%, com mediana de 96%. Os valores de eficiência apresentados no gráfico podem ser considerados como bons, pois através dos resultados discutidos anteriormente verifica-se que a mediana das concentrações de ST da torta de lodo foi de 14,6%. Levando em consideração que o lodo centrifugado proveniente de estações com FAD não atingi valores de 17% (SCHOFIELD, 1997) e que o lodo afluente à centrífuga (lodo flotado) apresenta baixas concentrações de sólidos (0,1 à 1,9%), conclui-se que a eficiência do processo de centrifugação é satisfatória.

4.2.1.2. ETA Passaúna

A Figura 68 ilustra o aspecto do lodo clarificado, sedimentado, adensado e centrifugado da ETA Passaúna:



FIGURA 68 - LODOS, ADENSADO E CENTRIFUGADO DA ETA PASSAÚNA
FONTE: A AUTORA

- Lodo sedimentado

A Tabela 53 apresentam os resultados das análises de pH, cor, condutividade, turbidez e sólidos sedimentáveis das amostras de lodo sedimentado coletadas na ETA Passaúna.

TABELA 53- CARACTERIZAÇÃO DO LODO SEDIMENTADO DA ETA PASSAÚNA ATRAVÉS DOS PARÂMETROS: pH, COR, CONDUTIVIDADE, TURBIDEZ E SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS.

Parâmetro/Data	pH - S	cor - S mg/L de PtCo	cond - S µS/cm	turb. - S UNT	s. sed. - S mL/L
7/out/09	5,0	6	651	1240	420
13/out/09	6,4	6	230	896	430
13/nov/09	7,2	11	281	850	590
25/nov/09	7,1	28	220	365	250
2/dez/09	7,2	12	263	2290	230
7/dez/09	7,1	34	214	900	300
9/dez/09	6,6	85	295	1750	760
14/dez/09	7,0	31	214	796	650
15/dez/09	6,9	22	238	719	800
Média	6,7	26,1	289,6	1089,6	492,2
Mediana	7,0	22,0	238,0	896,0	430,0
Desvio Padrão	0,7	24,5	138,7	589,4	216,3
Mínimo	5,0	6,0	214,0	365,0	230,0
Máximo	7,2	85,0	651,0	2290,0	800,0
CONAMA 357/2005 *	5 à 9	Não tem	Não tem	Não tem	1 mL/L
Padrão rio classe II	6,0 à 9,0	75	Não tem	100	Não tem

FONTE: A AUTORA

Quanto ao parâmetro pH, foram encontrados valores desde 5,0 até 7,2 com mediana de 7,0. O pH do lodo é função direta da qualidade da água bruta afluenta à ETA, e da quantidade de insumos adicionados durante o tratamento de água. Percebe-se que todos os valores encontram-se dentro do limites de lançamento da resolução do CONAMA. Cor apresentou valores entre 6 e 85 mg/L de PtCo , com mediana de 22 mg/L de PtCo; ao comparar os resultados obtidos, com o padrão de cor para um rio Classe II, verifica-se que apenas a coleta do dia 09 de dezembro ultrapassou o padrão de 75 mg/L de PtCo. A condutividade apresentou valores entre 214 e 651 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com mediana de 238 $\mu\text{S}/\text{cm}$, todos acima de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que conforme CETESB (2010) indicam ambiente impactado. As medidas de turbidez apresentaram valores desde 365 até 2290 UNT com mediana de 296 UNT. A turbidez está diretamente relacionada com a quantidade de sólidos suspensos do lodo, que geralmente é de 75 a 90% dos sólidos totais conforme Andreoli *et al.* (2001). Ao comparar os resultados obtidos, com o padrão de 100 UNT para um rio de classe II, constata-se que todos os resultados encontram-se acima. Para as análises de sólidos sedimentáveis, durante o monitoramento da ETA foram encontrados, valores desde 230 até 800, com mediana de 430 mL/L; todos valores extrapolam o limite de 1mL/L permissível para o lançamento de um efluente.

A Tabela 54 apresenta os resultados das análises dos demais parâmetros realizadas nas amostras coletadas no dia 07 de outubro de 2009.

TABELA 54 - VALORES DE DQO, O&G E AI DO LODO SEDIMENTADO – ETA PASSAÚNA

Parâmetro	*Lodo Sedimentado	*Clarificado da centrífuga	Limite de lançamento
DQO (mg/L)	479	48	¹ 150
O&G (mg/L)	10,7	6,7	² M: 20 e VA: 50
Al (mg/L)	272,8	28,6	³ 0,1

LEGENDA: ¹ Limite de lançamento estipulado pela resolução nº 001 da SEMA ; ² Padrão de lançamento CONAMA nº 357/2005 de 20,0 mg/L (óleos minerais - M) e 50,0 mg/L (óleos vegetais e animais- VA); ³ Padrão de alumínio de 0,1 mg/L para um rio classe II CONAMA nº357/2005; * Amostras coletadas do dia 07 de outubro.

FONTE: A AUTORA

Para os parâmetros de DQO, O&G e alumínio, assim como na ETA Iraí, optou-se por realizar apenas uma coleta com o objetivo de verificar viabilidade de lançamento do lodo como efluente. Para DQO, foi obtido o valor de 479 mg/L, para O&G ,10,7 mg/L, e alumínio 272,8 mg/L. Ao comparar com a resolução nº 357 de

2005 e nº 001 da SEMA, apenas O&G encontra-se dentro dos limites permissíveis para o lançamento.

A Tabela 55 e a Figura 69 apresentam os teores de ST e STF do lodo sedimentado da ETA Passaúna.

TABELA 55 - TEORES DE ST E STF DO LODO SEDIMENTADO DA ETA PASSAÚNA

Parâmetro/ Data	ST - Sedimentado mg/L	ST - Sedimentado (%)	STF - Sedimentado mg/L	Sedimentado STF/ST (%)
2/set/09	1672	0,17	1013	60,57
7/out/09	2880	0,29	1744	60,54
13/out/09	2240	0,22	1640	73,20
13/nov/09	2890	0,29	1800	62,28
25/nov/09	1776	0,18	464	26,13
2/dez/09	2444	0,24	1568	64,16
7/dez/09	1844	0,18	1292	70,07
9/dez/09	3492	0,35	2444	69,99
14/dez/09	1860	0,19	1244	66,88
15/dez/09	2756	0,28	1536	55,73
Média	2385	0,24	1474	61,0
Mediana	2342	0,23	1552	63,2
Desvio Padrão	609	0,06	525	13,3
Mínimo	1672	0,17	464	26,1
Máximo	3492	0,35	2444	73,2

FONTE: A AUTORA

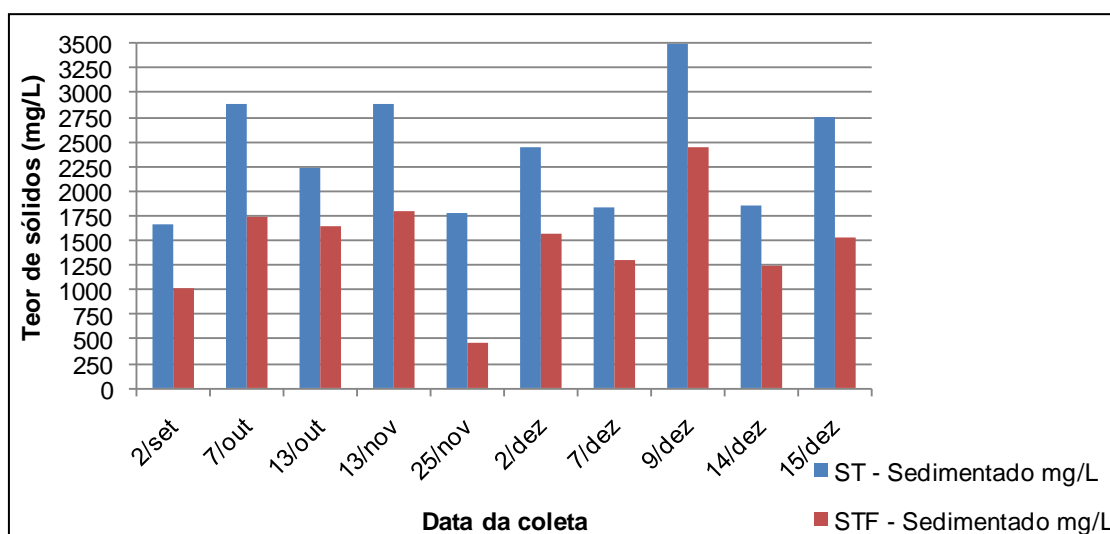


FIGURA 69 - TEOR DE ST E STF PARA O LODO SEDIMENTADO DA ETA PASSAÚNA
FONTE: A AUTORA

Quanto aos teores de ST, durante o monitoramento foram encontrados valores desde 1672 mg/L até 3492 mg/L, com mediana de 2342 mg/L. A

porcentagem de STF dos ST durante o monitoramento foi entre 26 à 74%, com mediana de 63%. Apenas uma das amostras apresentou $STV > STF$, em todas as outras os teores de STF foram maiores que os STV.

Os teores de sólidos totais da ETA Passaúna durante o monitoramento apresentaram resultados menores que os da ETA Iraí. Trata-se de diferentes processos de tratamento de água, pois a ETA Passaúna é do tipo convencional, entretanto a qualidade da água da represa Passaúna é considerada excelente, com baixos teores de sólidos; logo a quantidade de insumos aplicados e conseqüente geração de lodo são menores. Estes fatores refletem nos teores de sólidos do lodo gerado na ETA.

Conforme Andreolli e Rodrigues (2000) citados por Kerber (2006), a ETA Iraí gera aproximadamente 43 m³/dia de lodo e a Passaúna 16m³/dia. Relembrando que quanto à vazão das estações, a Iraí trabalha atualmente com vazão de 2600 L/s (máxima de 3200L/s) e a Passaúna opera com vazão de 1840 L/s (máxima de 2400L/s).

A excelente qualidade da ETA Passaúna se deve ao formato da represa, que apresenta profundidade máxima de 20 metros e volume útil de 45.106 m³ (KERBER, 2006). Essas dimensões permitem a sedimentação das partículas mais densas que a água, o que resulta numa água de ótimas características (KERBER, 2006).

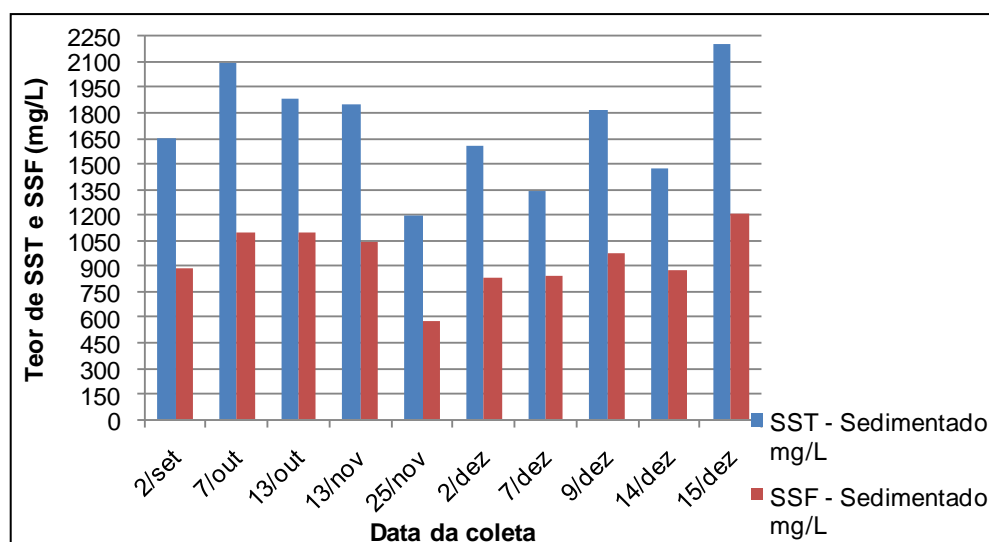
Em geral o teor de STV foi de 37%, ou seja, o lodo da ETA Passaúna apresenta menor teor de matéria orgânica (lodo mais inorgânico) quando comparado ao lodo da ETA Iraí. Cordeiro e Campos (1999) listaram valores de STV para lodos de ETAs obtidos por 10 autores, e em geral a concentração encontrada foi de 15% até 30%. O fato do lodo da ETA Passaúna ser mais inorgânico pode ser explicado pela presença de materiais argilosos e sílica da areia na água bruta conforme cita Portella *et al.* (2003).

A Tabela 56 e Figura 70 apresentam os resultados dos SST e SSF do lodo sedimentado da ETA Passaúna.

TABELA 56 - TEORES DE SST E SSF DO LODO SEDIMENTADO DA ETA PASSAÚNA

Parâmetro/ Data	SST - Sedimentado mg/L	SSF - Sedimentado mg/L	Sedimentado SSF/SST (%)	Sedimentado SST/ST (%)
2/set/09	1648	892	54,13	98,55
7/out/09	2092	1096	52,39	72,64
13/out/09	1880	1096	58,30	83,91
13/nov/09	1850	1040	56,22	64,01
25/nov/09	1200	576	48,00	67,57
2/dez/09	1610	834	51,80	65,88
7/dez/09	1336	844	63,17	72,45
9/dez/09	1812	976	53,86	51,89
14/dez/09	1476	876	59,35	79,35
15/dez/09	2200	1212	55,09	79,83
Média	1710	944	55,23	73,61
Mediana	1730	934	54,61	72,54
Desvio Padrão	319	180	4,29	12,75
Mínimo	1200	576	48,00	51,89
Máximo	2200	1212	63,17	98,55

FONTE: A AUTORA

FIGURA 70 - TEORES DE SST E SSF DO LODO DECANTADO DA ETA PASSAÚNA
FONTE: A AUTORA

Durante o monitoramento, para os teores de SST foram encontrados valores entre 1200 e 2200 mg/L com mediana de 1730 mg/L. A relação SSF/ST foi de 48% à 64%, com mediana de 54%.

- Lodo adensado

Na Tabela 57 são apresentados os resultados da caracterização das amostras de lodo adensado da ETA Passaúna.

TABELA 57- CARACTERIZAÇÃO DO LODO ADENSADO DA ETA PASSAÚNA ATRAVÉS DOS PARÂMETROS: PH, COR, CONDUTIVIDADE, TURBIDEZ E SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS.

Parâmetro/Data	pH - A	cor - A mg/L de PtCo	cond - A µS/cm	turb. - A NTU	s. sed. - A mL/L
7/out/09	5,1	9	552	2510	910
13/out/09	6,4	10	248	2440	920
13/nov/09	7,2	22	255	934	595
25/nov/09	7,0	166	244	2390	900
2/dez/09	7,3	25	254	7770	590
7/dez/09	7,2	50	283	9780	990
9/dez/09	6,8	120	272	2810	800
14/dez/09	6,8	47	241	2330	550
15/dez/09	6,9	31	235	2640	785
Média	6,7	53	287	3734	782
Mediana	6,9	31	254	2510	800
Desvio Padrão	0,7	54	100	2951	165
Mínimo	5,1	9	235	934	550
Máximo	7,3	166	552	9780	990
CONAMA 357/2005 *	5 à 9	Não tem	Não tem	Não tem	1 mL/L
Padrão rio classe II	6,0 à 9,0	75	Não tem	100	Não tem

FONTE: A AUTORA

Quanto ao pH, foram encontrados valores desde 5,1 até 7,3; com mediana de 6,9. Os valores de pH para o lodo adensado, foram similares aos do lodo flotado. Ao comparar os resultados encontrados com o padrão de lançamento estipulado pelo CONAMA, verifica-se a possibilidade de lançamento do clarificado (por este parâmetro) como um efluente, pois todos os valores encontram-se dentro do limite permissível pela legislação.

Para o parâmetro cor verdadeira foram encontrados valores desde 9 até 166 mg/L de PtCo; apresentando mediana de 31 mg/L de PtCo. Os valores de cor para o lodo adensado assim como esperado, estão um pouco acima dos valores do lodo sedimentado. A resolução nº357/2005 do CONAMA não estipula limites de cor para o lançamento, em termos de padrão de qualidade é especificado apenas o padrão de 75mg/L de PtCo para um rio de classe II (classe do corpo hídrico onde é

realizada a captação). Em duas coletas, os valores de cor extrapolam o padrão de 100 mg/L de PtCo.

Para a condutividade durante o monitoramento foram encontrados valores entre 235 $\mu\text{S}/\text{cm}$ até 552 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com mediana de 254 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estes são similares para o lodo sedimentado e adensado e todos estão acima de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$; que conforme informações do site da CETESB (2010) indicam ambientes impactados, que limita o lançamento do lodo no corpo hídrico.

Com relação à turbidez, foram obtidos durante o monitoramento, valores entre 934 e 9780 UNT, com mediana de 2510 UNT. Ao comparar os resultados, com as medidas de turbidez para o lodo adensado, nota-se o grande aumento devido ao processo de adensamento do lodo.

Para os sólidos sedimentáveis foram encontrados valores desde 550 até 990 mL/L, com mediana de 800 mL/L. Não verificou-se em todas as coletas aumento significativo do teor de sólidos sedimentáveis ao comparar como o lodo sedimentado, este fato pode ser explicado pela forma de coleta das amostras do lodo sedimentado, a qual era realizada num tanque, que, dependendo do momento apresentava maiores ou menores teores de sólidos, pois existe uma variação do teor de sólidos durante a descarga de lodo, e não era possível homogeneizar o lodo dentro do tanque para realizar a coleta. Todos os resultados demonstram a inviabilidade do lançamento do lodo como um efluente (encontram-se acima do limite de lançamento estipulado pela resolução do CONAMA).

A Tabela 58 e Figura 71 apresentam os resultados das análises de ST e STF, para o lodo adensado durante o monitoramento. Para ST foram encontrados valores entre 3392 até 15756 mg/L (0,3 à 1,6%), com mediana de 5456 mg/L (0,5%) e para a relação STF/ST foram encontrados valores entre 30 à 72%, com mediana de 63%. Di Bernardo e Dantas (2005) citam que lodos adensados apresentam teores de sólidos de 1,5 à 3%; Barbosa (1997), em pesquisa de estudo de centrifugação encontrou valores de 2,5 à 3% e Richter (2001) cita que lodos adensados apresentam teores máximos de 3%. Ao comparar os resultados obtidos, com os valores citados em literatura, verifica-se que estes são mais baixos. A baixa eficiência do adensador da ETA Passaúna é explicada pela grande proporção de hidróxido de alumínio presente no lodo, resultante do alto consumo de coagulante, pois a água bruta apresenta baixa turbidez. Richter (2001) cita que os lodos provenientes de águas pouco turvas, e com dosagens elevadas de coagulante, são

os mais difíceis de adensar que os lodos com menor proporção de hidróxido de alumínio

TABELA 58 - TEORES DE ST E STF DO LODO ADENSADO DA ETA PASSAÚNA

Parâmetro/ Data	ST - Adensado mg/L	ST - Adensado (%)	STF - Adensado mg/L	Adensado STF/ST (%)
2/set/09	14597	1,46	9459	64,80
7/out/09	7466	0,75	5182	69,42
13/out/09	5634	0,56	3946	70,02
13/nov/09	4360	0,44	1632	37,43
25/nov/09	5236	0,52	3160	60,35
2/dez/09	5536	0,55	1688	30,49
7/dez/09	15756	1,58	10504	66,67
9/dez/09	3392	0,34	2440	71,93
14/dez/09	4840	0,48	2932	60,58
15/dez/09	5376	0,54	2916	54,24
Média	7219	0,7	4386	58,6
Mediana	5456	0,5	3046	62,7
Desvio Padrão	4327	0,4	3134	14,1
Mínimo	3392	0,3	1632	30,5
Máximo	15756	1,6	10504	71,9

FONTE: A AUTORA

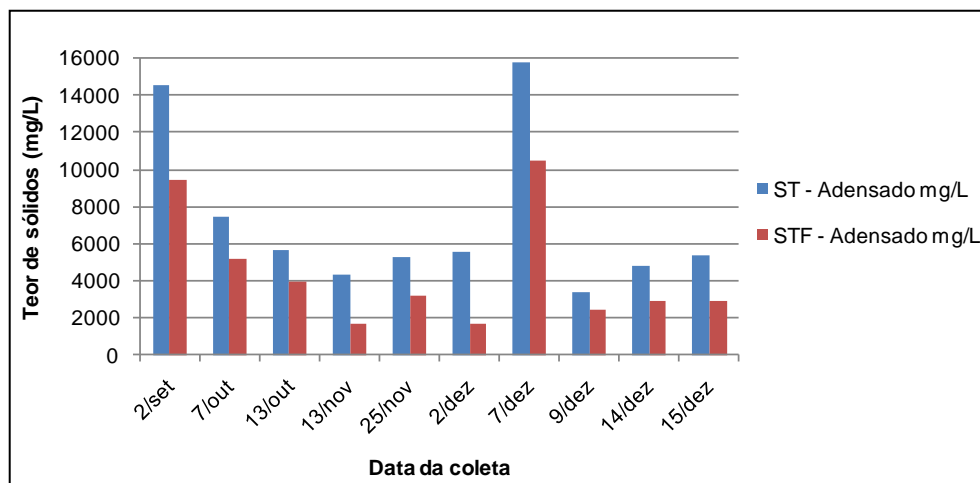


FIGURA 71- TEOR DE ST E STF PARA O LODO ADENSADO DA ETA PASSAÚNA
FONTE: A AUTORA

Com relação aos teores de matéria orgânica, assim como nas amostras de lodo sedimentado, o lodo adensado apresentou características de um resíduo mais inorgânico, que como já citado anteriormente, é devido a característica da água da

represa do Passaúna que apresenta materiais argilosos e sílica da areia na água bruta conforme cita Portella *et al.* (2003).

A Tabela 59 e a Figura 72 apresentam os resultados das análises de SST e SSF do lodo adensado durante o monitoramento.

TABELA 59 - TEORES DE SST E SSF DO LODO ADENSADO DA ETA PASSAÚNA

Parâmetro/ Data	SST - Adensado mg/L	SSF - Adensado mg/L	Adensado SSF/SST (%)	Adensado SST/ST (%)
2/set/09	9940	6440	64,79	68,10
7/out/09	5176	3152	60,90	69,33
13/out/09	5200	3528	67,85	92,29
13/nov/09	4000	2112	52,80	91,74
25/nov/09	4512	2416	53,55	86,17
2/dez/09	4652	2350	50,52	84,03
7/dez/09	11556	7336	63,48	73,34
9/dez/09	2920	1724	59,04	86,08
14/dez/09	4416	2728	61,78	91,24
15/dez/09	5092	2404	47,21	94,72
Média	5746	3419	58,19	83,71
Mediana	4872	2572	59,97	86,13
Desvio Padrão	2747	1909	6,80	9,92
Mínimo	2920	1724	47,21	68,10
Máximo	11556	7336	67,85	94,72

FONTE: A AUTORA

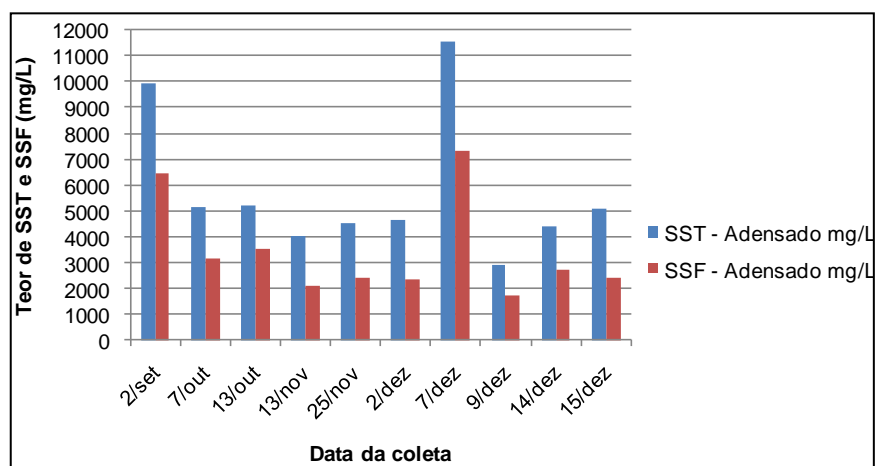


FIGURA 72 - TEORES DE SST E SSF DO LODO ADENSADO DA ETA PASSAÚNA
FONTE: A AUTORA

- Lodo centrifugado

A Tabela 60 e Figura 73 apresentam os resultados das análises de ST e STF do lodo centrifugado da ETA Passaúna.

TABELA 60 - TEORES DE ST E STF DO LODO CENTRIFUGADO DA ETA PASSAÚNA

Parâmetro/ Data	ST - Centrifugado mg/L	ST - Centrifugado (%)	STF - Centrifugado mg/L	Centrifugado STF/ST (%)
2/set/09	81967	8,20	40088	48,91
7/out/09	127865	12,79	69368	54,25
13/out/09	145117	14,51	79548	54,82
13/nov/09	176419	17,64	91714	51,99
25/nov/09	176380	17,64	113612	64,41
2/dez/09	139700	13,97	79384	56,82
7/dez/09	134647	13,46	77667	57,68
9/dez/09	150565	15,06	84758	56,29
14/dez/09	147916	14,79	80423	54,37
15/dez/09	142268	14,23	79272	55,72
Média	184746	18,47	108981	58,99
Mediana	199016	19,90	114276	57,42
Desvio Padrão	150550	15,06	84924	55,97
Mínimo	146517	14,65	79985	56,01
Máximo	30967	3,10	20728	3,80

FONTE: A AUTORA

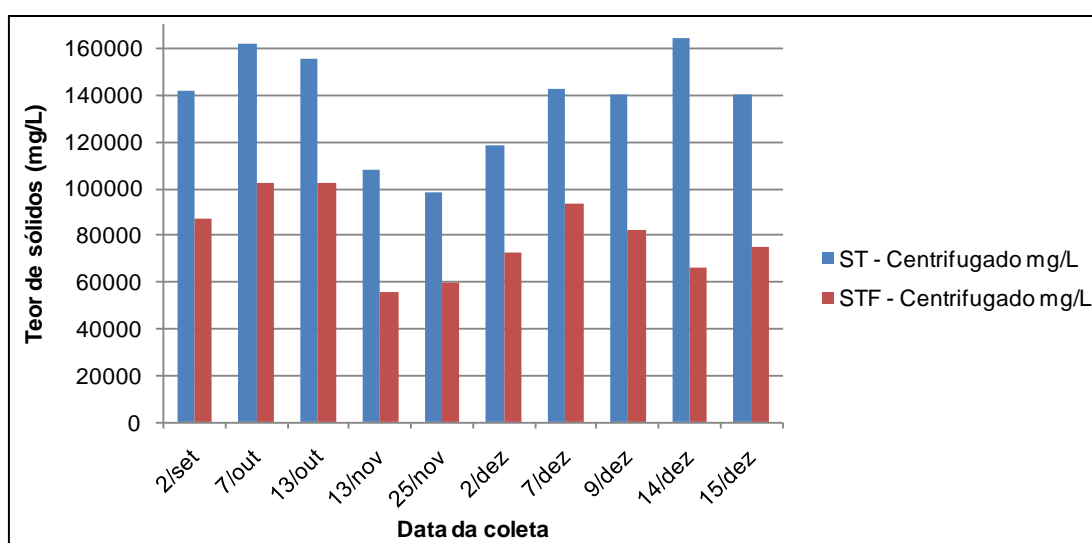


FIGURA 73- TEOR DE ST E STF PARA O LODO CENTRIFUGADO DA ETA PASSAÚNA
FONTE: A AUTORA

Para os valores de ST foram obtidos valores entre 9,9% e 16,4%, com mediana de 14%. Barbosa (1997) encontrou valores de 25% à 30% para a torta de lodo de uma estação, que utilizava sulfato de alumínio como coagulante, e onde era efetuada a adição de polímeros no adensamento e na desidratação (aniônico de baixa e alta carga). Nesta pesquisa o lodo apresentava concentração de 2,5 à 3% e a água bruta apresentava baixa concentração de matéria orgânica. Portella *et al.* (2003), em pesquisa de caracterização do lodo da ETA Passaúna encontrou teores de ST de 13% para o lodo centrifugado, bem próximos aos obtidos durante o monitoramento. Os teores de sólidos do lodo centrifugado da ETA Passaúna, mais baixos dos que os citados em literatura, são explicados pela baixa concentração de sólidos do lodo adensado, que reflete na porcentagem de ST finais do lodo centrifugado.

Os teores de STF/ST foram de 40% à 65%, com mediana de 60%, sendo que Guimarães (2008) obteve uma proporção de 47% em sua pesquisa. Pelas características da água bruta da represa do Passaúna, já era esperado obter um lodo centrifugação com STF>STV.

- Clarificado da centrífuga

O clarificado da centrífuga da ETA Passaúna foi caracterizado pelos parâmetros pH, cor, condutividade, turbidez e sólidos sedimentáveis; além da série de sólidos, DQO, O&G e alumínio. Estes resultados estão apresentados pelas Tabelas 61 e 62.

Quanto ao pH, foram encontrados valores desde 5,1 até 7,3; com mediana de 6,8. A comparar os resultados encontrados com o padrão de lançamento estipulado pelo CONAMA, verifica-se a possibilidade de lançamento do clarificado com um efluente, pois todos os valores encontram-se dentro do limite permissível pela legislação. Kerber (2006) em pesquisa de monitoramento do clarificado da centrífuga da ETA Passaúna encontrou valores entre 7,4 e 7,6.

Para o parâmetro cor verdadeira foram encontrados valores desde 2 até 53 mg/L de PtCo; apresentando mediana de 7 mg/L de PtCo. Comparando as cores obtidas no clarificado com as do lodo flotado durante o monitoramento percebe-se que há uma remoção satisfatória da cor durante a centrifugação. A resolução nº357/2005 do CONAMA não estipula limites de cor para o lançamento, na

resolução é encontrado apenas o padrão de 75mg/L de PtCo para um rio de classe II (classe do corpo hídrico onde é realizada a captação). Todos os resultados das análises de cor para o clarificado encontram-se dentro dos padrões estipulados para rio classe II.

TABELA 61 - CARACTERIZAÇÃO DO CLARIFICADO OBTIDO NA CENTRIFUGAÇÃO DO LODO DA ETA PASSAÚNA ATRAVÉS DOS PARÂMETROS: PH, COR, CONDUTIVIDADE, TURBIDEZ E SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS.

Parâmetro/Data	pH - C	cor - C mg/L de PtCo	cond - C µS/cm	turb. - C NTU	s. sed. - C mL/L
7/out/09	5,1	4	637	74	27
13/out/09	6,7	3	233	46	7
13/nov/09	7,3	7	290	41	14
25/nov/09	6,9	25	279	73	8
2/dez/09	7,0	2	292	65	15
7/dez/09	6,8	15	300	261	40
9/dez/09	6,3	53	284	74	5
14/dez/09	6,9	21	272	58	1
15/dez/09	6,7	2	247	100	150
Média	6,6	15	315	88	30
Mediana	6,8	7	284	73	14
Desvio Padrão	0,6	17	123	67	47
Mínimo	5,1	2	233	41	1
Máximo	7,3	53	637	261	150
CONAMA 357/2005 *	5 à 9	Não tem	Não tem	Não tem	1 mL/L
Padrão rio classe II	6,0 à 9,0	75	Não tem	100	Não tem

FONTE: A AUTORA

Para a condutividade elétrica, durante o monitoramento foram encontrados valores entre 233 µS/cm até 637 µS/cm, com mediana de 284 µS/cm. Conforme o valor estipulado pela CETESB (2010) para ambientes impactados (100 µS/cm), verifica-se que todos os valores encontram-se acima, o que limita o lançamento do clarificado no corpo hídrico. Os maiores valores de condutividade do clarificado obtido na centrifugação da ETA Passaúna ao compará-los com os da ETA Iraí são explicados pela presença, em maior quantidade, de material mineral na água bruta.

Com relação à turbidez foram obtidos durante o monitoramento valores entre 41 e 261 UNT, com mediana de 73 UNT. Ao comparar os resultados com um rio de padrão classe II, apenas uma coleta não permite o lançamento do clarificado no rio. Percebe-se uma eficiente remoção da turbidez durante o processo de centrifugação, este fato pode ser atribuído a utilização do polímero para o condicionamento do

lodo, que apesar de não influenciar no teor de sólidos da torta, melhora significativamente a qualidade do clarificado conforme citado por Guimarães (2007). Os resultados de turbidez foram menores no clarificado da ETA Passaúna do que na ETA Iraí.

Para os sólidos sedimentáveis foram encontrados valores desde 1,0 até 150 mL/L, com mediana de 14 mL/L. Houve efetiva diminuição no teor de sólidos sedimentáveis do clarificado ao comparar com o lodo sedimentado e adensado. Apenas a coleta do dia 14 de dezembro encontra-se dentro do limite de lançamento estipulado pela resolução do CONAMA, quanto aos outros, todos extrapolam a legislação, o que inviabiliza o lançamento. Kerber (2006) obteve em pesquisa valores de 5 mL/L até 16 mL/L para análises de sólidos sedimentáveis durante o monitoramento do clarificado da centrífuga da ETA Passaúna em sua pesquisa.

TABELA 62 - VALORES DE DQO, O&G E AL DO CLARIFICADO DA CENTRÍFUGA – ETA PASSAÚNA

Parâmetro	*Lodo Sedimentado	*Clarificado da centrífuga	Limite de lançamento
DQO (mg/L)	479	48	¹ 150
O&G (mg/L)	10,7	6,7	² M: 20 e VA: 50
Al (mg/L)	272,8	28,6	³ 0,1

LEGENDA: ¹ Limite de lançamento estipulado pela resolução nº 001 da SEMA ; ² Padrão de lançamento CONAMA nº 357/2005 de 20,0 mg/L (óleos minerais - M) e 50,0 mg/L (óleos vegetais e animais- VA); ³ Padrão de alumínio de 0,1 mg/L para um rio classe II CONAMA nº357/2005; * Amostras coletadas do dia 07 de outubro.

FONTE: A AUTORA

Para os parâmetros de DQO, O&G e alumínio, assim como para o lodo sedimentado, foi realizada apenas uma coleta. Como resultados, para DQO foi obtido o valor de 48 mg/L, para O&G 6,7 mg/L e alumínio 28,6 mg/L. Percebe-se através da Tabela 62, que somente o parâmetro alumínio extrapola a legislação (padrão de rio), os outros se encontram dentro do limite de lançamento estipulado pela resolução nº 001 da SEMA e CONAMA nº 357/2005. Kerber (2006) em monitoramento do clarificado da centrífuga da ETA Passaúna, para análise de DQO foram obtidos valores entre 110 mg/L e 154 mg/L e para alumínio até 0,60 mg/L.

Através da Tabela 63 e a Figura 74, percebe-se que os teores de sólidos para o lodo clarificado durante o período de monitoramento foi entre 216 e 660 mg/L, apresentando mediana de 316 mg/L; teores menores se comparados ao clarificado

da centrifugação da ETA Iraí, devido a qualidade da água bruta da represa que possui menores teores de sólidos.

TABELA 63 - TEORES DE ST E STF DO CLARIFICADO OBTIDO NA CENTRIFUGAÇÃO DA ETA PASSAÚNA -

Parâmetro/ Data	ST - Clarificado mg/L	ST - Clarificado (%)	STF - Clarificado mg/L	Clarificado STF/ST (%)
2/set/09	271	0,03	35	150
7/out/09	518	0,05	314	314
13/out/09	366	0,04	280	280
13/nov/09	660	0,07	172	289
25/nov/09	292	0,03	144	144
2/dez/09	324	0,03	8	200
7/dez/09	536	0,05	312	312
9/dez/09	308	0,03	220	220
14/dez/09	216	0,02	188	188
15/dez/09	236	0,02	4	150
Média	373	0,04	168	225
Mediana	316	0,03	180	210
Desvio Padrão	148	0,01	119	69
Mínimo	216	0,02	4	144
Máximo	660	0,07	314	314

FONTE: A AUTORA

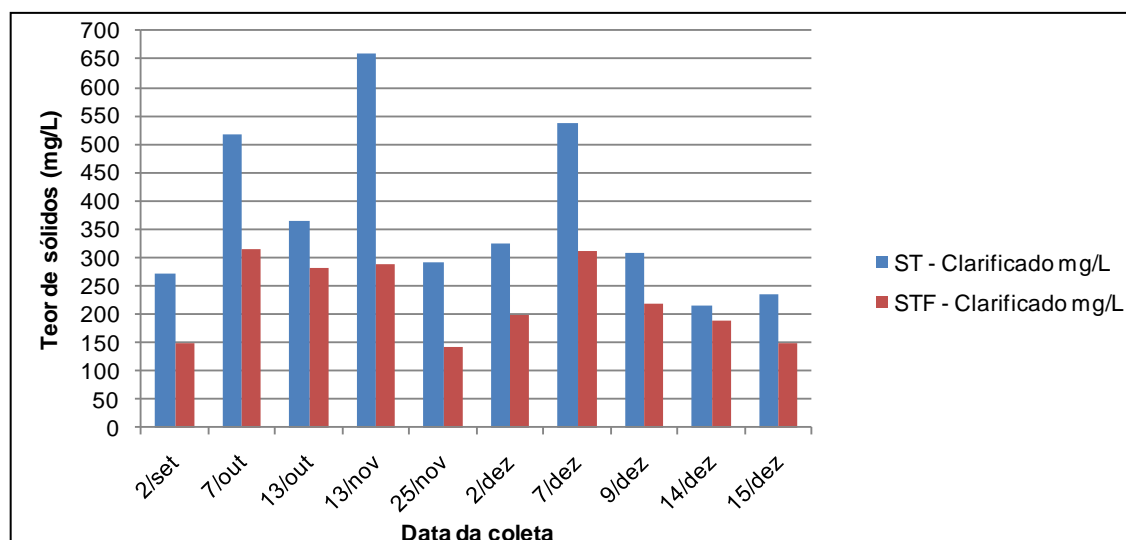


FIGURA 74 - TEOR DE ST E STF PARA O CLARIFICADO OBTIDO NA CENTRIFUGAÇÃO DO LODO DA ETA PASSAÚNA

FONTE: A AUTORA

Com relação aos teores de matéria orgânica, a mediana da relação STF/ST foi de aproximadamente 61,2%. Em duas das coletas os teores de STV foram

maiores que os STF. Verifica-se um incremento nos teores de matéria orgânica ao comparar com as relações de STF/ST do lodo adensado.

A Tabela 64 e Figura 75 apresentam os resultados das análises de SST e SSF do clarificado obtido através do processo de desaguamento mecânico do lodo da ETA Passaúna.

TABELA 64 - TEORES DE SST E SSF DO CLARIFICADO OBTIDO NA CENTRÍFUGA DA ETA PASSAÚNA

Parâmetro/ Data	SST - Clarificado mg/L	SSF - Clarificado mg/L	Clarificado SSF/SST (%)	Clarificado SST/ST (%)
2/set/09	228	4	1,75	84,25
7/out/09	304	88	28,95	58,71
13/out/09	64	8	12,50	17,50
13/nov/09	320	160	50,00	48,48
25/nov/09	16	8	50,00	5,48
2/dez/09	80	4	5,00	24,69
7/dez/09	164	12	7,32	30,60
9/dez/09	184	8	4,35	59,74
14/dez/09	28	24	85,71	12,96
15/dez/09	196	16	8,16	83,05
Média	158	33	25,37	42,55
Mediana	174	10	10,33	39,54
Desvio Padrão	109	51	28,03	28,50
Mínimo	16	4	1,75	5,48
Máximo	320	160	85,71	84,25

FONTE: A AUTORA

Com relação ao teores de SST e SSF do clarificado obtido através da centrifugação na ETA Passaúna, assim como na ETA Iraí, percebe-se através da Tabela 64 e Figura 75 a grande variação dos resultados durante o período de monitoramento. Os teores de SS dependem da qualidade da água bruta, da quantidade de insumos utilizados no tratamento, da eficiência do processo de centrifugação, e da dosagem de polímero. A dosagem do condicionante geralmente ocorre de forma automática, porém na prática, nas duas estações, verificou-se que dependendo do aspecto do clarificado, a dosagem de polímero era elevada manualmente, o que faz com que os teores de sólidos no clarificado diminuam.

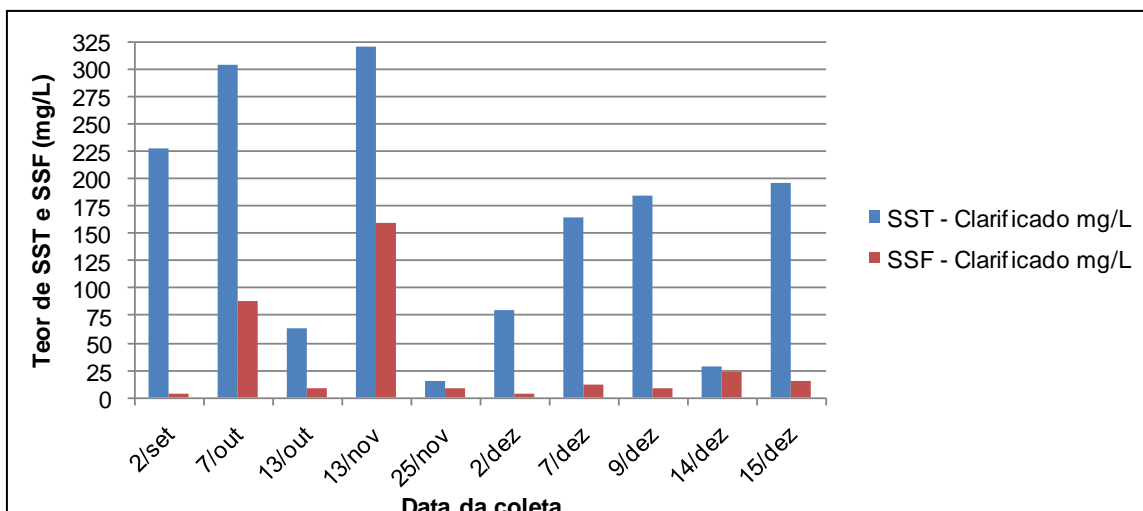


FIGURA 75- TEORES DE SST E SSF CLARIFICADO DA CENTRÍFUGA DA ETA PASSAÚNA
 FONTE: A AUTORA

Quanto aos teores de SST, estes ficaram na faixa de 16 à 320 mg/L, com mediana de 174 mg/L. Ao comparar com o clarificado da ETA Iraí, percebe-se que apresentou menores teores de sólidos. Para os teores de SSF os resultados foram de 4 até 160 mg/L, com mediana de 10 mg/L. A mediana para a relação de SSF/SST foi de 10,33%, ou seja, mais de 80% de matéria orgânica; valores acima dos teores encontrados nas outras amostras, ou seja, as amostras de clarificado apresentaram maiores teores de matéria orgânica do que as amostras de lodo sedimentado, adensado e centrifugado, assim como nos resultados de STF.

- Eficiência do processo de centrifugação na ETA Passaúna

A Figura 76 apresenta a eficiência (R), obtida durante o monitoramento do processo de centrifugação na ETA Passaúna. É possível observar que o valor de R ficou entre 85% e 98%, com mediana de 94%. Os valores de eficiência apresentados no gráfico podem ser considerados como bons, pois através dos resultados discutidos anteriormente, verifica-se que a mediana das concentrações de ST da torta de lodo foi de 14,12% e que o lodo afluente à centrífuga (lodo adensado) apresenta baixas concentrações de ST (0,34 à 1,58%). O processo portanto é eficiente, os baixos teores de ST do lodo centrifugado são conseqüentes dos baixos ST do lodo adensado afluente à centrífuga.

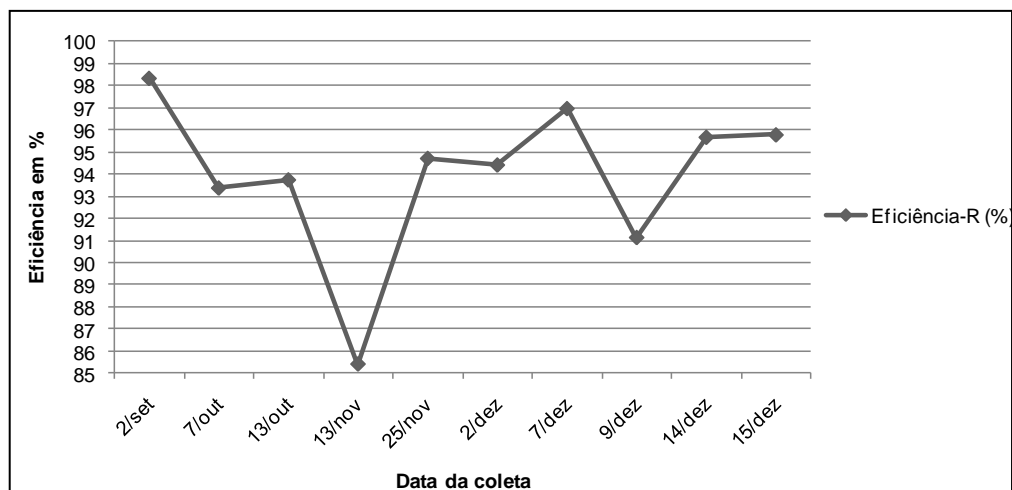


FIGURA 76 - EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE CENTRIFUGAÇÃO NA ETA PASSAÚNA
 FONTE: A AUTORA

Foram encontrados valores de R desde 85% até 98%, com mediana de 95%. A mesma apresentada pela ETA Iraí, a alta eficiência e os baixos teores de sólidos na torta de lodo foram devido à aspectos já discutidos anteriormente, como por exemplo; baixos teores de sólidos do lodo adensado e presença de materiais finos, que diminuem a desidratabilidade do lodo..

4.2.2. Centrífuga de laboratório

Foram realizados 12 ensaios (3 ensaios com 4 rotações e 12 dosagens diferentes) de centrifugação com o lodo da ETA Iraí, sendo 2 experimentos de caráter preliminar para obtenção de parâmetros (condições do ensaio) e adaptação de metodologia. A partir dos primeiros ensaios, com a metodologia adaptada e parâmetros definidos, partiu-se para o ensaio definitivo, os quais serão apresentados os resultados a seguir.

Nos ensaios, o lodo da ETA Iraí foi submetido a centrifugação com rotações variando entre 1970 rpm ($G^* 347$), 3110 rpm ($G^* 805$), 3550 ($G^* 1127$) e 4020 rpm ($G^* 1445$); entre o tempo de ensaio de centrifugação (05, 10, 20, 30, 45 e 60 minutos) e a concentração de polímeros (0,0 à 8,0 g de polímero/kg de SST,), observando o citado por Reali et al. (1999), visando obter uma melhor avaliação da otimização da dosagem do polímero.

4.3.2.1. Caracterização do lodo utilizado nos experimentos e condições operacionais do processo de centrifugação

A Tabela 65 refere-se à caracterização do lodo da ETA Iraí utilizado durante os ensaios de centrifugação, em escala de bancada. O parâmetro utilizado para a realização do experimento foi apenas sólidos suspensos totais, porém optou-se por realizar outras análises para uma melhor caracterização do lodo.

TABELA 65 - CARACTERIZAÇÃO DO LODO UTILIZADO NO ENSAIO DE CENTRIFUGAÇÃO EM ESCALA DE BANCADA – COLETA REALIZADA NO DIA 10/03/10

DATA/Parâmetro	Unidade	Lodo ETA Iraí
pH	-	6,7
Cor	(mg/L de PtCo)	25
Turbidez	(UNT)	4972
Condutividade	(μ S/cm)	146
S. Sed.	mL/L	820
SST	mg/L	11297
SSV	mg/L	5114
SSF	mg/L	6182
SSV/SST	%	45
SSF/SST	%	54

FONTE: A AUTORA

Os valores das análises para a caracterização do lodo encontram-se na faixa dos obtidos durante o monitoramento das centrífugas decanters da estação. Nesta coleta o lodo foi considerado levemente inorgânico, apresentando relação SST/SST de 54%.

Para a realização dos experimentos foram levantadas também, algumas condições operacionais do processo de centrifugação no dia da coleta. A Tabela 66 indica estas condições. É possível observar que a vazão média de lodo por centrífuga, no dia da coleta, foi de 15228 L/h, a de polímero 372 L/h, a concentração da solução de polímero dosado no lodo foi de 2000 mg/L e a rotação de 4624 rpm.

TABELA 66 - CONDIÇÕES REAIS DE OPERAÇÃO DO PROCESSO DE CENTRIFUGAÇÃO NA ETA IRAÍ NO DIA DA COLETA DO LODO UTILIZADO NO ENSAIO

Parâmetro	Unidade	Valor
Vazão de lodo (média por centrífuga)	L/h	15228
Vazão de polímero(média por centrífuga)	L/h	372
Concentração do polímero dosado	mg/L	2000
Rotação da centrífuga no dia	rpm	3624

FONTE: A AUTORA

Com os dados levantados da Tabela 65 e Tabela 66 (vazão e concentração de sólidos e vazão de polímero), procedeu-se o cálculo da carga de sólidos, de polímero e a dosagem real de polímero expressa como: gramas de polímero por kilogramas de sólidos suspensos totais. Os resultados encontram-se na Tabela 67:

TABELA 67 - CARGA DE SÓLIDOS, CARGA E DOSAGEM REAL DE POLÍMERO DURANTE A CENTRIFUGAÇÃO

Parâmetro	Unidade	Valor
Carga de sólidos	kg/hora	172,03
Carga de polímero	g/hora	744
Dosagem real	g de polímero/kg de SST	4,32

FONTE: A AUTORA

Com a dosagem real de polímero levantada (g de polímero/kg de SST), foi definida a faixa de dosagem que seria avaliada no ensaio de centrifugação em escala de bancada. Optou-se por avaliar dosagens de 0,0; 1; 2; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 7 e 8 g de polímero/kg de SST. Procedeu-se o ensaio nas rotações de 1970 rpm, 3110 rpm, 3550 e 4020 rpm ; e variando o tempo de ensaio de centrifugação entre 05, 10, 20, 30, 45 e 60 minutos.

Vale ressaltar que os cálculos dos teores de sólidos suspensos totais, partiram do valor do lodo bruto (sem condicionamento), sendo 11297 mg/L. Porém com a adição da solução de polímero, houve diluição, e desta forma foi calculado o SST da mistura, conforme metodologia proposta por Reali (1999), descrita no capítulo anterior. O valor encontrado para os SST da mistura, que passou a ser o SST inicial, foi de 10631 mg/L.

A Figura 77 ilustra a diferença do mistura lodo-polímero antes e após a centrifugação:



FIGURA 77 -MISTURA LODO-POLÍMERO ANTES E A APÓS ENSAIO DE CENTRIFUGAÇÃO
FONTE: A AUTORA

- Rotação 1 - 1970 rpm ($G^* = 347$)

A Figura 78 apresenta as curvas de centrifugação na rotação de 1970 rpm, para as dosagens de 0,0 à 8,0 g de polímero/kg de SST.

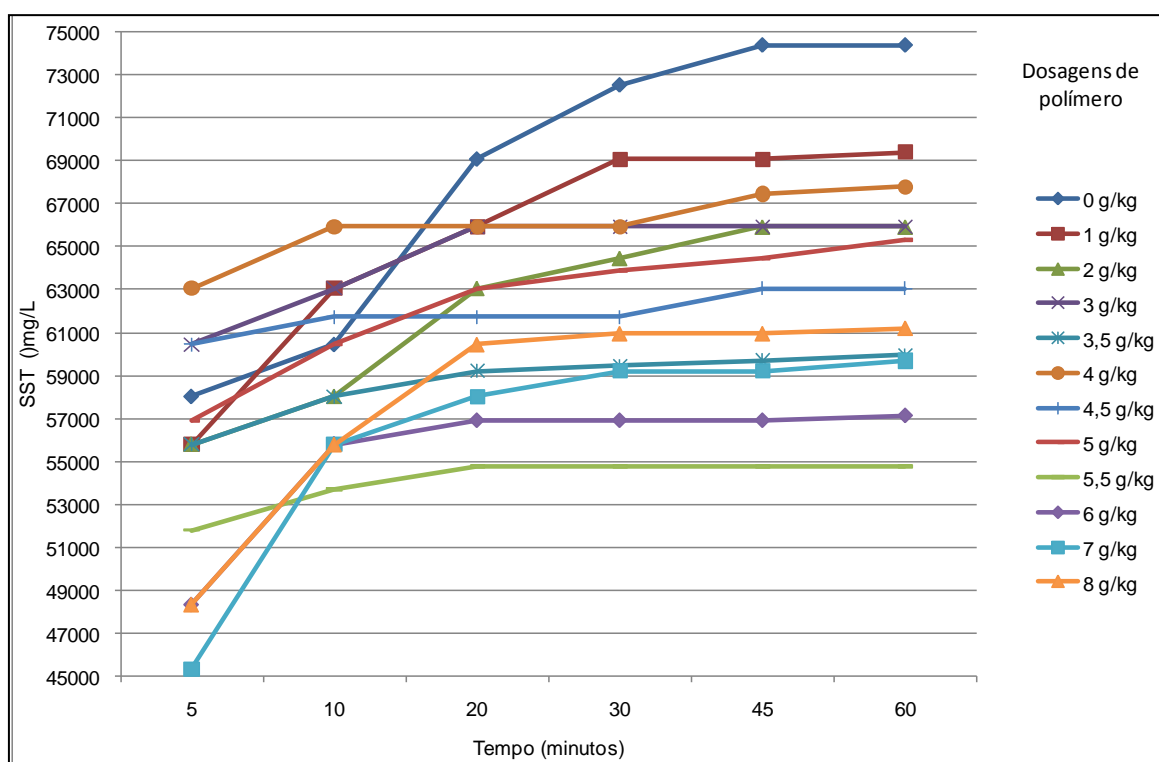


FIGURA 78 - CURVAS DE CENTRIFUGAÇÃO REFERENTES AO ENSAIO NA ROTAÇÃO DE 1970 RPM ($G^* 347$)
FONTE: A AUTORA

Esta rotação refere-se a mais baixa comparando-se com a condição real das centrífugas decanter da ETA Iraí, a qual apresenta rotação média na faixa de 3624 rpm. A faixa de dosagem real calculada a partir das condições no dia da coleta do lodo utilizado no experimento foi 4,32 g de polímero/kg de SST.

Através do gráfico percebe-se que maiores dosagens de polímero não implicam no aumento do teor de sólidos finais na torta de lodo. Também verifica-se que no ensaio sem condicionamento químico foi encontrado o maior teor de sólidos finais na torta. Comparando as curvas referentes às dosagens de 4 e 4,5 g/kg, faixa em que se encontra a dosagem real da estação (4,32g/kg de SST), verifica-se que os teores de sólidos de toda curva estão próximos, e também, que estas curvas referem-se ao teor médio de sólidos totais. Com relação ao tempo de ensaio, em geral, verifica-se que após 30 minutos de ensaio não existe aumento significativo no teor de sólidos, permanecendo as curvas em valores constantes. Com relação ao maior teor de sólidos obtido nesta rotação foi 7,4%.

- Rotação 2 – 3110 rpm ($G^* = 865$)

A Figura 79 apresenta as curvas de centrifugação obtidas durante o ensaio com rotação imposta de 3110 rpm.

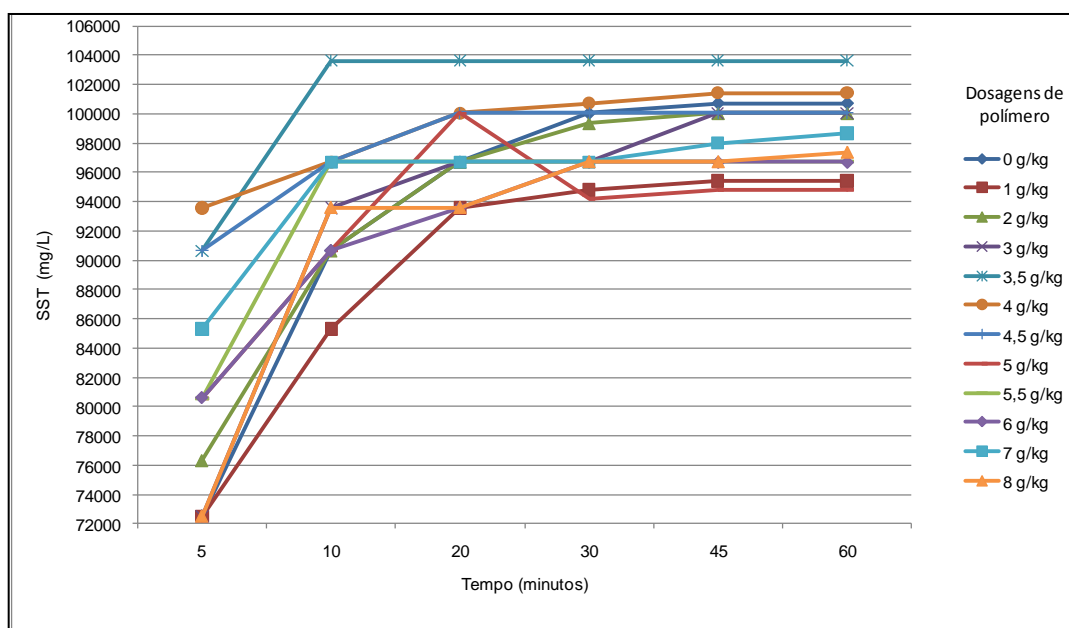


FIGURA 79 - CURVAS DE CENTRIFUGAÇÃO REFERENTES AO ENSAIO NA ROTAÇÃO DE 3110 RPM ($G^* 865$)
 FONTE: A AUTORA

Para esta rotação, também abaixo da condição real do equipamento, os melhores teores de sólidos da torta final de lodo foram referentes a dosagem de 3,5 e 4 g de polímero/kg de SST. A curva referente à centrifugação sem polímero também apresentou resultados satisfatórios com concentrações próxima a curva da dosagem 4. Neste ensaio, assim como no anterior, tempos maiores de 30 minutos não apresentaram aumentos significativos nas concentrações de sólidos na torta de lodo. A maior concentração de sólidos obtida durante este ensaio foi de 10,4% na dosagem de 3,5 g/kg de SST.

- Rotação 3 – 3550 rpm ($G^* = 1127$)

A Figura 80 demonstram as curvas de centrifugação obtidas durante o ensaio com a rotação de 3550 rpm, ou seja, a rotação mais próxima a condição real do equipamento (3624 rpm).

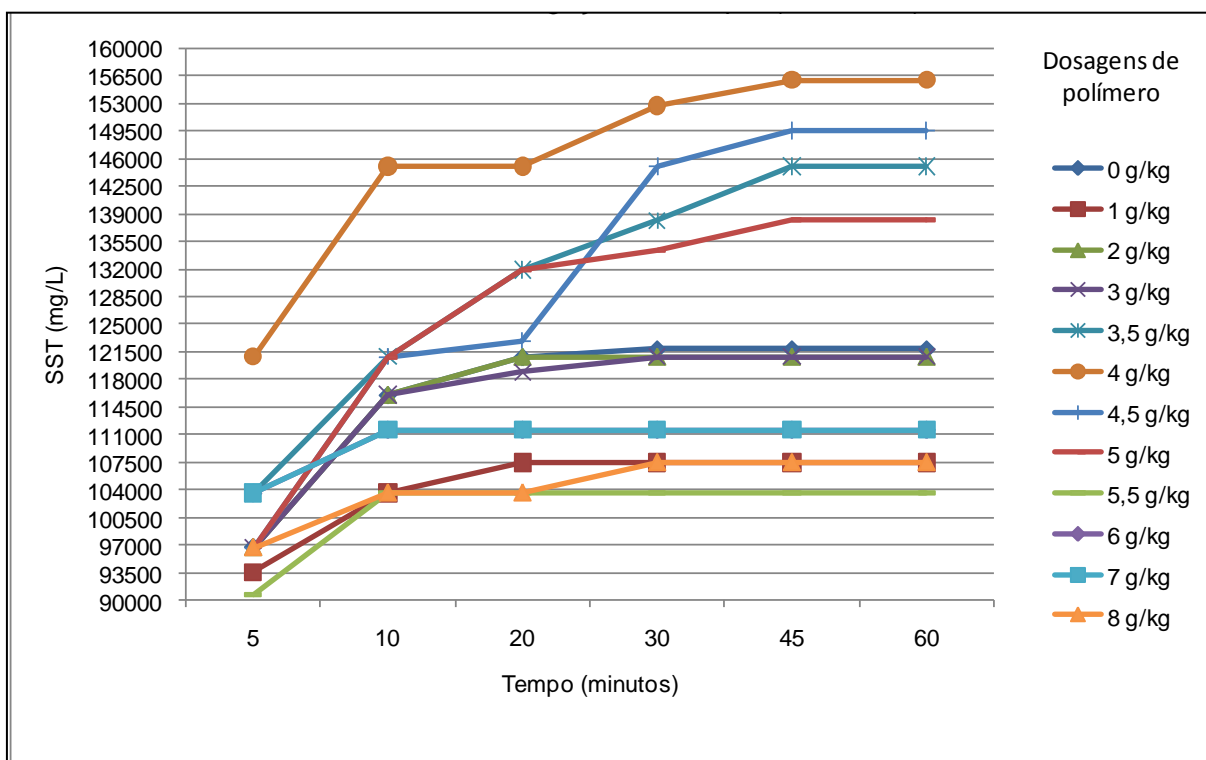


FIGURA 80 - CURVAS DE CENTRIFUGAÇÃO REFERENTES AO ENSAIO NA ROTAÇÃO DE 3550 RPM ($G^* 1127$)
 FONTE: A AUTORA

Com relação ao ensaio na rotação de 3550 rpm, a dosagem que apresentou os melhores resultados foi a de 4 g/kg de SST, que apresentou teores máximos na torta de mais de 15%. As condições impostas neste ensaio foram similares as

condições em escala real, tanto para dosagem, quanto para teores de sólidos na torta.

- Rotação 4 – 4020 rpm ($G^* = 1445$)

A Figura 81 apresenta as curvas de centrifugação obtidas através do ensaio com rotação imposta de 4020 rpm. Refere-se à última rotação analisada e maior que a rotação do equipamento em escala real.

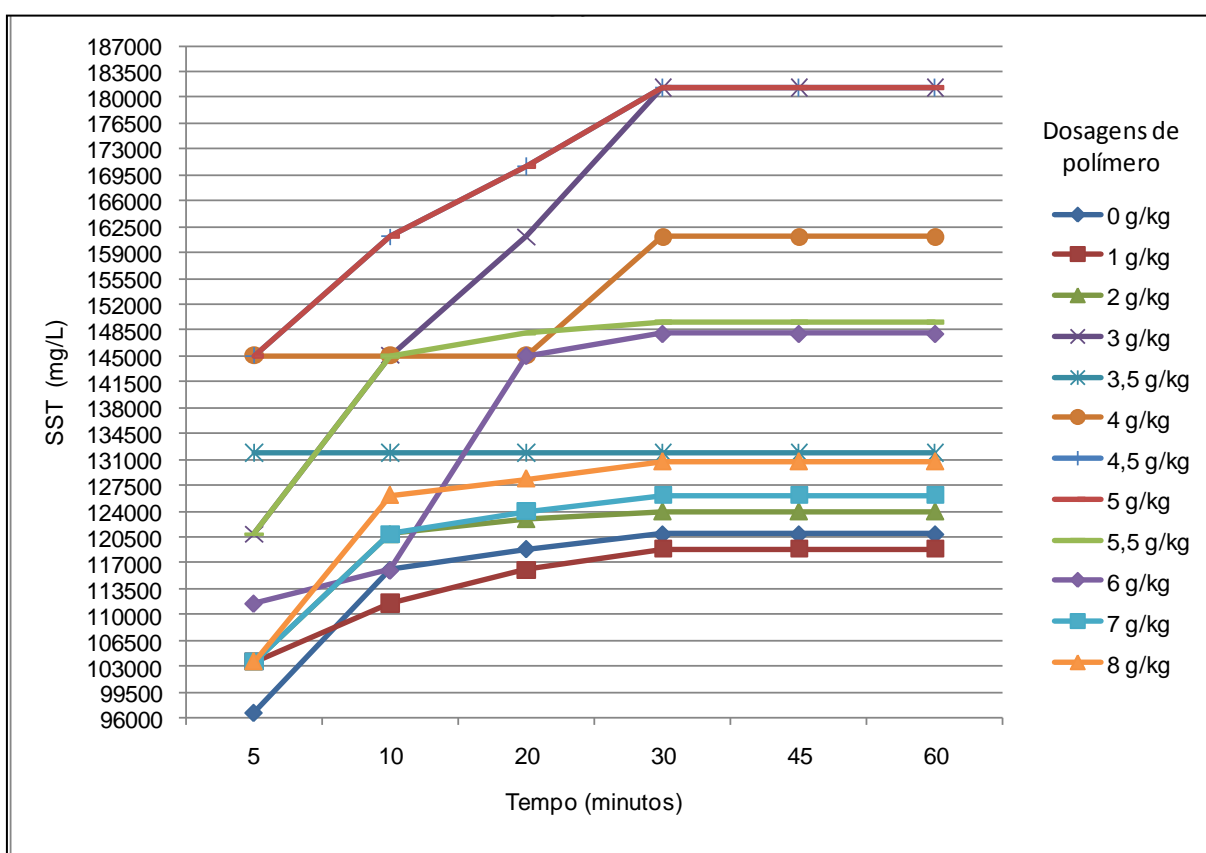


FIGURA 81 - CURVAS DE CENTRIFUGAÇÃO REFERENTES AO ENSAIO NA ROTAÇÃO DE 4020 RPM ($G^* 1445$)
 FONTE: A AUTORA

A Figura permite observar que as dosagens de 4,5 e 5 g de polímero/kg de SST apresentaram os mesmos teores de sólidos totais na torta de lodo, ao atingir concentrações 18%. As maiores dosagens resultaram em curvas com menores concentrações de sólidos na torta final do lodo. Neste ensaio, assim como nos anteriores, a partir de 30 minutos não houve acréscimo significativo nas concentrações de sólidos na torta de lodo.

- Discussão geral das curvas de centrifugação

Reali *et al.* (1999) recomendam 60 minutos para a realização dos ensaios de bancada ou então determinado tempo a partir do qual não se verifique variação significativa no teor de sólidos. Optou-se por utilizar 60 minutos para realização do experimento, porém, através dos resultados discutidos anteriormente verifica-se que para o lodo estudado a partir do tempo de 30 minutos não houve ganho marginal significativo com relação ao teor de sólidos na torta. Logo, o tempo de 30 minutos seria satisfatório para a realização do experimento.

Foram encontrados maiores teores de sólidos na torta entre 3,5 e 5 g/kg de SST, sendo 4 g/kg de SST a dosagem que (de forma geral) apresentou os melhores resultados. A dosagem encontrada foi próxima a média utilizada na estação, que corresponde ao valor de 4,3 g/kg de SST. Reali *et al.* (1999) realizaram ensaios de centrifugação com lodo proveniente de decantadores, de uma estação convencional que utilizava sulfato de alumínio como coagulante e encontrou a dosagem ótima de 3,6 g/kg de SST e concentrações de sólidos de 25,0 %, 33,3 % e 37,5 % para G^* de 465 (1500 rpm), 1047 (2250 rpm) e 1861 (3000 rpm) respectivamente. Neste ensaio a concentração máxima obtida na torta de lodo foi 18% na rotação máxima (4020 rpm). Essa diferença, comparando com os resultados obtidos por Reali *et al.* (1999) é atribuída à baixa desidratabilidade apresentada pelo lodo flotado da ETA Iraí que retém parte das microbolhas da flotação e possui caráter orgânico devido a presença de algas na água bruta, tais fatores alteram a estrutura do lodo e prejudicam o processo de desaguamento mecânico através da centrifugação (SCHOFIELD, 1997; GUIMARÃES, 2007)

Verificou-se que em nenhum dos ensaios, o condicionamento com o polímero levou a melhoras significativas no potencial de desidratação do lodo, em alguns casos, os teores obtidos nas dosagens entre 3,5 e 4,5 g/kg de SST foram relativamente próximos aos ensaios sem polímero ou até menores, como no caso do ensaio com a menor rotação conforme citado por Guimarães (2007). Wolfe *et al.* (1996) em relação aos efeitos do condicionamento com polímeros para desidratação em centrífuga, citam que estes não alteram a estrutura interna dos flocos, e devido à elevada força gravitacional empregada nos processos de centrifugação, pouca

diferença pode ser observada em termos de desidratabilidade após condicionamento.

Entretanto, estes fatores não dispensam a utilização de polímeros no processo de centrifugação em escala real. A utilização de polímero melhora a qualidade do clarificado e conforme citado por Guimarães (2007) aumenta a consistência do lodo. Este aumento foi de grande importância para o funcionamento eficiente da centrífuga durante a separação das fases (sólido-líquido), facilita o transporte e, se realizado, a disposição do lodo no solo (GUIMARÃES, 2007).

Logo, a aplicação de polímeros é importante para o sucesso do processo de desidratação em centrífuga, em escala real. Em escala de bancada o método estudado é considerado uma ferramenta bastante útil e prática para otimização do condicionamento químico do lodo visando a centrifugação, permitindo a obtenção rápida de resultados consistentes relacionando a dosagem de agentes condicionadores com o teor de sólidos na torta centrifugada (REALI *et al.*, 1999). Nesse caso, a dosagem ótima de polímero Flonex® selecionada foi de 4 g/kg de SST.

Com relação às rotações estudadas, a maior concentração de sólidos (18%) obtida na torta de lodo foi na máxima rotação (4020 rpm). Reali *et al.* (1999) citam que o lodo estudado no ensaio de centrifugação apresentou valores crescentes de teor de sólidos na torta a medida que se aumentou o valor de G^* aplicado. Portanto, a centrifugação do lodo com imposição de maiores rotações implicam no conseqüente aumento dos teores finais do lodo centrifugado. Porém, sabe-se que quanto maior a rotação, maior será o diâmetro da centrífuga, conforme cita Richter (2001) através da equação 2.6, o fator G^* da centrífuga é função direta do diâmetro. Na prática, quanto maior a rotação, maior o diâmetro (e conseqüentemente tamanho) do equipamento e maior o custo; o que de certa forma inviabiliza a aquisição de equipamentos de maiores rotações para o desaguamento de lodo.

5 CONCLUSÕES

Para o estudo da secagem do lodo através de sistemas naturais foi possível concluir que, de forma geral, para os dois ciclos, os LCs e LABs mostraram-se eficientes para o desaguamento, redução de volume de lodo de ETAs e clarificação do drenado. O processo, indicado para ETAs que apresentem área disponível, ocorre de forma natural, sem consumo de energia ou adição de produtos químicos. Dos resultados desta pesquisa foi possível observar que o processo natural de desaguamento do lodo, aparentemente simples, contraditoriamente apresenta complexidade, principalmente no que se refere ao desafio de compreender e sistematizar os fenômenos naturais envolvidos.

Quanto as condições climáticas ocorridas durante o primeiro ciclo de desaguamento (início no inverno e término na primavera de 2009), concluiu-se que grande volume de chuva (302 mm), altos índices de umidade (mediana de 83%) e predominância de baixas temperaturas (mediana de 17°C para a temperatura média) foram desfavoráveis para o desaguamento. Porém, tratam-se de condições reais, que permitiram avaliar o desaguamento do lodo de forma natural em condições críticas.

O ciclo 2, que ocorreu durante o inverno de 2010 (com exceção dos 3 primeiros dias), apresentou temperaturas mais baixas se comparadas ao ciclo 1, umidade bem próxima e precipitação relativamente menor que o primeiro ciclo. O volume acumulado de chuva observado durante o ciclo 1 foi de 302 mm, enquanto para o ciclo 2 foi de 75,4 mm. O desempenho do desaguamento para o segundo ciclo foi mais eficiente reforçando a teoria de que a precipitação prejudica a secagem.

Ao final do ciclo 1 foram obtidos para a torta de lodo, teores de 29% para LC-1 e 1% para LC-2 e LC-3. Conclui-se que, apenas o leito em que foi aplicada a menor TAS (2,96 kg/m²) apresentou desaguamento satisfatório, superiores aos obtidos em processos mecanizados para esta pesquisa (mediana de 14% para ETA Iraí e 19,9% para a ETA Passaúna). Os demais leitos, devido à maior carga (4,21 a 5,47 kg/m²), foram prejudicados pelo volume de chuva durante o ciclo (302,2 mm), pois drenaram uma baixa quantidade de água livre e, com isto, acumularam a água da chuva, que ocorria desde o início do ciclo. Conclui-se, como já afirmado por

Fontana (2004) que a ocorrência de precipitação antes da abertura da massa de lodo é prejudicial a secagem.

Para o ciclo 2, foi observado que os leitos convencionais apresentaram torta de lodo ao final do ciclo com teores de sólidos totais variando de 26% a 40%, mais satisfatórios que os apresentados nos leitos alternativos (17% a 27% para LABs e 5% a 7% para LAGs), com exceção do LAB-1 (27,8%), que apresentou concentração superior ao LC-3 (25,9%). Em relação aos LAGs foi observado que no 7º dia de ciclo, o lodo retido atingiu teores de ST de 15% e 17% para LAG-1 e LAG-2 respectivamente. Após este período, constatou-se a ocorrência de colmatação dos tecidos, apesar deste tecido ser indicado para filtração de materiais sujeitos à colmatação.

Ao comparar a porcentagem drenada de lodo para os LCs (59,9 a 70,3%), pilotos de tubo de concreto, com os leitos alternativos (74,2%), pilotos tronco-pirâmides; e comparar a água de chuva acumulada (9,4L para leitos convencionais e 74,6L para leitos alternativos) para o ciclo 2; conclui-se que a diferença de susceptibilidade à precipitação dos leitos prejudicou o desaguamento do lodo. Constatou-se que os LABs apresentaram drenagem satisfatória, superior aos LCs, o que dificultou a secagem do lodo, portanto foi o volume de chuva acumulado nos leitos (que foi relativamente maior para os alternativos). Foi confirmado, principalmente no ciclo 1 para os leitos alternativos, que a ocorrência de precipitação é extremamente prejudicial à secagem do lodo, quando ocorre antes da drenagem da água livre e abertura da massa de lodo, conforme citado por Fontana (2004). Verificou-se ocorrência de precipitação durante todo o ciclo, o que implicou no acúmulo da água de chuva nos leitos, apesar de drenada juntamente com a água livre do lodo e aumentar a vazão de drenagem, prejudicou o desaguamento.

Em geral, menores TASs aplicadas facilitam o desaguamento. Quanto às demais variáveis climáticas, conclui-se que a umidade e a temperatura apresentaram-se como fatores fundamentais no processo de secagem, de tal forma que, menores níveis de umidade e maiores temperaturas são condições favoráveis para o desaguamento. Neste trabalho, a predominância de baixas temperaturas e altos índices de umidade não favoreceram a secagem do lodo, principalmente nos leitos em que não houve a total drenagem da água livre, devido à ocorrência de precipitação já no início do ciclo.

As características da água drenada durante os dois ciclos mostraram que o sistema possui condição de clarificação, tendo sido observada efetiva remoção de sólidos, alumínio e DQO. A qualidade do drenado teve relação direta com a concentração de sólidos iniciais do lodo e com a TAS aplicada nos leitos. Entretanto, conclui-se que o lançamento do clarificado diretamente no corpo receptor foi inviável, pois ao comparar os resultados obtidos com os níveis permissíveis estabelecidos em legislação, observa-se que alguns extrapolam os limites.

Ao comparar os resultados obtidos dos leitos alternativos tronco-pirâmides nesta pesquisa, com os realizados por outros autores (Cordeiro e seus orientados – mesma metodologia) conclui-se que a precipitação apresenta fundamental importância no desaguamento. Resultados citados em literatura foram obtidos em condições climáticas favoráveis, principalmente no que se refere ao baixo volume de precipitação e ausência de ocorrência desta antes da abertura da massa de lodo. Estas condições propiciaram efetivo desaguamento do lodo, com total drenagem da água livre nos primeiros dias e teores de ST da massa de lodo retida acima de 70% aos 30 dias

Para a centrifugação foram obtidas medianas de 14% e 19,9% de teores de sólidos totais, na torta de lodo para ETA Iraí e Passaúna respectivamente; porém são esperados teores de 30% em processos de desaguamento mecânico pela centrifugação. Conclui-se que para a ETA Iraí, a baixa eficiência foi explicada pela qualidade da água bruta afluyente às ETAs, que apresenta grande quantidade de algas, que tem como características a produção de um lodo com baixa desidratabilidade. Também, pela característica do lodo afluyente à centrífuga, o qual apresenta baixos teores de sólidos. Para a ETA Passaúna conclui-se que os baixos teores de sólidos da torta de lodo são resposta da baixa concentração de ST do lodo afluyente à centrífuga e presença de materiais finos, que implicam num lodo com menor desidratabilidade. Águas pouco turvas, exigem dosagens elevadas de coagulante, e devido à maior proporção de hidróxido de alumínio presente são mais difíceis de serem adensadas.

Quanto às características do clarificado obtido nos processos de centrifugação, concluiu-se que ambos sistemas apresentaram clarificação satisfatória, com remoção de sólidos, DQO e alumínio. O clarificado obtido por meio da centrifugação na ETA Passaúna apresentou qualidade superior ao da Iraí, pois a água bruta apresenta concentração de ST mais baixo, porém, o percentual de

remoção foi mais baixo. O processo de centrifugação na ETA Passaúna apresentou remoção de 89% de DQO e AI no clarificado. Na ETA Iraí foram encontradas remoções de 95% e 98% de DQO e AI respectivamente. Apesar da qualidade dos clarificados, conclui-se pelos resultados que não é possível realizar o lançamento destes diretamente no corpo receptor, pois muitos dos parâmetros extrapolam limites permissíveis estabelecidos em legislação.

Ao comparar a qualidade do clarificado do processo de centrifugação com o os leitos de secagem conclui-se que a qualidade do drenado das centrífugas é superior. Tal fato é explicado pela adição de polímero durante a centrifugação que melhora a qualidade do drenado.

Quanto à eficiência (R) do processo de centrifugação, calculada pela equação de Cornwell, pode-se concluir que as medianas obtidas medianas de 94% e 95% para ETA Iraí e Passaúna não implicaram em teores de ST satisfatórios na torta de lodo.

Para a centrifugação em escala de bancada conclui-se que o método estudado mostrou-se uma ferramenta bastante útil e prática, para a otimização do condicionamento químico do lodo visando à centrifugação. Permitiu a obtenção rápida de resultados consistentes, relacionando a dosagem de agentes condicionadores com o teor de sólidos na torta centrifugada, e, para este caso, foi selecionada a dosagem ótima de 4 g de polímero/kg de SST.

Com relação ao tempo de ensaio, conclui-se que para o lodo estudado, a partir do tempo de 30 minutos não houve ganho marginal significativo em relação ao teor de sólidos na torta. Foram encontrados maiores teores de sólidos na torta entre 3,5 e 5 g/kg de SST, sendo 4 g/kg de SST a dosagem que (de forma geral) apresentou os melhores resultados. A dosagem encontrada foi próxima a média utilizada na estação, que corresponde ao valor de 4,3 g/kg de SST.

Em nenhum dos ensaios, o condicionamento com polímero levou a melhoras significativas no potencial de desidratação do lodo, em alguns casos, os teores obtidos nas dosagens entre 3,5 e 4,5 g/kg de SST foram relativamente próximos aos ensaios sem polímero ou até menores. Entretanto, não se dispensa a utilização de polímeros no processo de centrifugação em escala real, pois sua utilização melhora a qualidade do clarificado e aumenta a consistência do lodo.

Com relação às rotações estudadas, a maior concentração de sólidos obtida na torta de lodo foi na máxima rotação. Na prática, quanto maior a rotação, maior o

diâmetro (e conseqüentemente tamanho) do equipamento e maior o custo; o que de certa forma inviabiliza a aquisição de equipamentos de maiores rotações para o desaguamento de lodo.

6 RECOMENDAÇÕES

As tecnologias, operações e processos das ETA podem influenciar nas características do lodo gerado. Assim, recomenda-se que mais pesquisas sejam feitas, para avaliar as propriedades destes lodos e sua influência no desaguamento através de processos naturais e mecanizados.

Como recomendações para o estudo do desaguamento através de leitos de secagem tem-se:

- Aprofundar o conhecimento das características do lodo e dos mecanismos fundamentais envolvidos no desaguamento de lodos de ETAs através dos leitos de secagem;
- Avaliar a secagem natural com protótipos iguais durante o período, de tal modo que estes sofram a mesma influência das variáveis climáticas e sejam susceptíveis a condições mais favoráveis, incluir também ventilação, evaporação e insolação;
- Avaliar o desaguamento do lodo nestes leitos com adição de condicionantes químicos, com vistas a minimizar os problemas constatados no estudo com os leitos com geotecido;
- Avaliar o desaguamento em leitos incluindo a retirada do sobrenadante dos leitos
- Avaliar o desaguamento do lodo com implantação de cobertura nos leitos, principalmente até a total drenagem da água livre do lodo;
- Avaliar e comparar a secagem natural através de lagoas de secagem com os leitos.

Para o estudo da desidratação do lodo através da centrifugação recomenda-se:

- Analisar também a qualidade da água bruta afluyente à estação com vistas uma melhor avaliação do processo de centrifugação e influência da qualidade da água bruta, incluir na avaliação as características topográficas da bacia hidrográfica onde a água bruta é captada, bem como características do solo da região;.

- Estudar as características estruturais dos lodos do sedimentador, adensador e flotador quanto à resistência específica e tamanho das partículas;
- Realizar estudos para avaliar a influência do condicionamento com polímeros com vistas à desidratação em centrífuga, em escala real, e como o condicionamento altera as propriedades morfológicas dos lodos;
- Avaliar em escala de bancada e real a utilização da viscosidade do sobrenadante da centrifugação como indicador de dosagens ótimas de condicionamento com polímero;
- Avaliar em escala de bancada outros tipos de condicionamento, como o térmico, físico e através de condicionantes naturais;
- Avaliar outros sistemas de desaguamento como filtro-prensa e prensa-parafuso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHON, C.L.; CORDEIRO, J.S. . Gerenciamento de lodo de ETAs – Remoção de água livre através de Leitos de Secagem e Lagoas. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, 22, 2003,Joinville-SC, **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2003.

ACHON, C. L. ; BARROSO, M. ; CORDEIRO, J. S. . Leito de drenagem : sistema natural para a redução de volume de lodo de estação de tratamento de água. **Revista da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental- ABES**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, p. 54-62. 2008. 9 p.

ACHON, C. L. ; BARROSO, M. ; CORDEIRO, J. S. . Desempenho do leito de drenagem para desaguamento de lodo de ETA, que utilizam diferentes coagulantes, considerando as variáveis climáticas. In :CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande-MT, **Anais...** Rio de Janeiro : ABES, 2005

AISSE, M. M. ; AMARAL, C. & SOVIERZOSKI, A. **Estudo da Secagem e disposição do lodo anaeróbio obtido em reatores tipo RALF**. Curitiba-PR :PUC-PR, 1997. 68 p. Relatório Técnico nº 02.

AISSE, M. M. **Sistemas Econômicos de Tratamento de Esgotos Sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2000. 192p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater**, 16 ed., Washington-DC: APHA. 1998

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS - ASCE. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - AWWA. US ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. **Management of water treatment plant residuals: technology transfer handbook**. New York: ASCE, AWWA. 1996. 294 p.

ANDREOLI, C.V; *et al.* **Resíduos sólidos do saneamento ; processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RIMA, ABES, 2001. 282 p.

ANDREOLI, C. V., WEBER, P. S.,TORRES, T. L.; Rede Interinstitucional de Pesquisa sobre lodo de ETA. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, 24, 2007, Belo Horizonte-MG, **Anais...** Rio de Janeiro:ABES. 2007.

ARBOLEDA, J. V. **Teoría y práctica de la purificación del água.** Colômbia:McGraw Hill, Tercera edición. 2000.

ASADA, L. N. **Avaliação dos efeitos do recebimento do lodo de estação de tratamento de água em sistema de tratamento de esgoto pelo processo de lodo ativado com aeração prolongada.** 211 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da USP, São Paulo. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004:** Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209:** Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário. Rio de Janeiro.1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216:** Projeto de Estações de Tratamento de Água para abastecimento público. Rio de Janeiro. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9998:** Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro. 1987.

BARROSO, M. M. **A influência das micro e macropropriedades dos lodos de estações de tratamento de água no desaguamento por leito de drenagem.** 249 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – EESC, USP, São Carlos-SP. 2007.

BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Problemática dos metais nos resíduos gerados em estações de tratamento de Água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001. João Pessoa. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2001.

BARBOSA, A. B. D. A experiência da CAESB em recuperação de água de çavagem de filtros e desidratação de lodo de ETAs. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19, 1997. Foz do Iguaçu-PR. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1997.

BIDIM. Fiberweb Bidim indústria e comércio de não-tecidos Ltda. **Especificação técnica bidim geoestrutura.** São José dos Campos. 2009. Catálogo.

BRASIL, Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União n. 053,** Brasília, DF, 18 mar. 2005. p. 58-63.

BRASIL. Lei nº 9605, de 13 de fevereiro de 1998. **Diário Oficial da União de 13/02/98**. Brasília, DF, 13 fev. 1998.

BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria nº518, de 25 de março de 2004. **Diário Oficial da União de 26/03/2004**, nº 59, seção I: 166 - 176.

CAMPOS, J.R.; REALI, M.A.P.; DANIEL, L. A. **Conceitos Gerais sobre Técnicas de Tratamento de Águas de Abastecimento, Esgotos Sanitários e Desinfecção**. Apostila Editada pela Escola de Engenharia de São Carlos. USP: São Carlos. 1999.

CASTRO, N.P.B.; **Sistemas Tubulares para Contenção de Lodo e Sedimentos Contaminados**. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Infraestrutura de Transportes) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos-SP, 2005.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Variáveis de qualidade da água**. CETESB: São Paulo, Disponível em <www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp> . Acesso em 12 de janeiro de 2010.

CORDEIRO, J. S; CAMPOS, J. R.; O impacto ambiental provocado pela indústria da água. **Revista Saneamento Ambiental**. São Paulo, n. 56, p- 52-57, 1999.

CORDEIRO, J.S. **O problema dos lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de águas**. 342 f. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos,1993.

CORDEIRO, J.S.; Processamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água (ETAs). In: ANDREOLI, C. V. (Coordenador). **Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final**. Projeto PROSAB 2, Rio de Janeiro: ABES, 282p. 2001.

CORNWELL, D.A.; BURMASTER, J.W.; FRANCIS, J.L.; FRIENDLINE, J.C., Jr; HOUCK, C.; KING, P.H.; KNOCKE, W.R.; NOVAK, J.T.; ROLAN, A.T.; SAN GIACOMO, R. Committee report: research needs for alum sludge discharge. **Journal AWWA - Reseach and Technology**, v.79, n.6, p.99-104. 1987.

CORNWELL, D.A . *et al.* **Slib, Schlamm, Sludge**. Denver. EUA, Inc., AWWA Resarch Foundation and KIWA. 1990.

CROSSLEY I. A; VALADE M. T. A review of the technological developments of dissolved air flotation. **Journal of water supply : research and technology. AQUA.** vol. 55, nº 7-8. 2006. 13 p.

DI BERNARDO, L. & DANTAS, A. D. B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água.** São Carlos: Ed. RIMA, 2005.

DI BERNARDO, I., DI BERNARDO, A., CENTURIONE FILHO, P. L. **Ensaio de Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água** São Carlos: Ed. RIMA, 2002.

DI BERNARDO, L. **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta.** Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB. 2003.

DOE, P. W., Water Treatment Plant Waste Management, In: PONTIUS, F. W. **Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water Supplies.** 4 Ed. New York, American Water Works Association, McGraw-Hill.1990.

ESTEVES, F. A.. **Fundamentos de limnologia.** 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FERREIRA FILHO, S. e ALEM SOBRINHO, P. Considerações sobre o tratamento de despejos líquidos gerados em estações de tratamento de água. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental,** Rio de Janeiro, v. 3, n. 3/4, p. 128-136, jul/dez. 1998.

FREITAS, R. A. S.; **Comportamento de Geotêxteis como Filtro em Resíduos – Fosfógeno e Lama Vermelha.** 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.

FONTANA, A.O. **Sistema de Leito de Drenagem e Sedimentador Como Solução Para Redução de Volume de Lodo de Decantadores e Reuso de Água de Lavagem de Filtros - Estudo de Caso - ETA Cardoso.** 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR, São Carlos. 2004.

GAFFNEY, D.A.; MARTIM, S.M.; MAHER, M.H.; BENNETT, T.A. **Dewatering contaminated, fine-grained material using geotextiles.** SI Geosolutions, 1999.

GARCIA, T. V. **Tratamento de água eutrofizada através da ozoflotação**. 135 f. (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis – SC, 2007.

GIORDANI, S & MISTURINI, M. Avaliação do desempenho de *bag* nacional para deságüe de lodo de ETA. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, 25, 2009, Recife-PE, **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 200p.

GRANDIN, S. R. **Desidratação de lodos produzidos em estações de tratamento de água**. 456 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) -. Escola Politécnica da USP, São Carlos. 1992.

GUIMARÃES, G. C.; **Estudo do adensamento e desidratação dos resíduos gerados na ETA Brasília**. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – UNB, Brasília. 2007.

HOPPEN, C. **Reciclagem de lodo de ETA centrifugado na construção civil, método alternativo para preservação ambiental**. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia, UFPR, Curitiba-PR. 2004.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA, DEPARTAMENTO DE POPULACAO E INDICADORES SOCIAIS . **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/pnsb.pdf>> Acesso em 20 de março de 2009.

INMET-INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Dados de monitoramento de estações**. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/sim/sonabra>> Acesso em 16 de setembro de 2009.

INMET-INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Dados de monitoramento de estações**. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/sim/sonabra>> Acesso em 20 de maio de 2010.

JESUS, H. C.; COSTA, E. A.; MENDONÇA, A. S. F.; ZANDONADE, E. Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento portland para reduzir o impacto ambiental. **Revista Química Nova**, n. 27, 371. 2004.

LESHCHINSKY, D. Issues in geosynthetic-reinforced soil. In: **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EARTH REINFORCEMENT PRACTICE**, 2, 1992, Japão. **Anais...** p. 881-897.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas-SP:Editora Átomo. 2005. 444 p.

LOPES, L. N. A.; MACHADO, L. C. G. T.; LIMA R. F. & PEREIRA, J. A. R.; Avaliação do desaguamento de lodo de ETA em leito de secagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande-MT. **Anais...** Rio de Janeiro:ABES. 2005. 8 p.

MACHADO, R; LUCENA, C. L. & VIEIRA, E. L.; Análise comparative entre leitos de secagem tradicional e modificado na desidratação de lodos de estações de tratamento de água. In: CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN INTERAMERICANA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL-AIDIS, XXX. 2006, Punta del Leste. **Anais...** 6 p.

MARTINS, P. M. & VIDAL, D. M.; **Tubos geotêxteis para acondicionamento e desaguamento de rejeitos de mineração**. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DO ITA – XII ENCITA, 12, 2006, São José dos Campos-SP. **Anais...** 9 p.

MCTIGUE, N. E.; KOPPERS, H. M. M; CORNWELL, D. A. Regulations, characteristics, and analytical considerations. In: CORNWELL, D. A.; KOPPERS, H. M. M., **Sludge**. Denver-USA, American Water Works Association Research Foundation & JIWA Ltda, p. 1-46. 1990.

MOO-YOUNG, H. K.; TUCKER, W. R. Evaluation of vacuum filtration testing for geotextile tubes. Science Direct: **Geotextiles and Geomembranes**, v. 2, n. 3, p. 191-212, 2002.

PÁDUA, V. L., SALES, M. V. e FREIRE, R. E. Influência do pré-tratamento químico no desempenho de unidades de floto-filtração e de filtração direta descendente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa-PB. **Anais...** ABES: Rio de Janeiro.

PAN, J.R., HUANG, C., CHUANG, Y., WU, C. Dewatering characteristics of algae-containing alum sludge. 1999. **Elsevier Science: Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**. Volume 150, p. 185-190, Disponível em: < www.sciencedirect.com >. Acesso em 12 de dezembro de 2010.

PARANÁ. Secretaria Estadual de Meio Ambiente. Resolução SEMA nº 001, de 11 de janeiro de 2007. **Diário Oficial da União de 23/01/2007**, Curitiba-PR, 11 jan, 2007. 12 p.

PATRIZZI, L.J. **Redução de lodo gerado em decantadores de estações de tratamento de água (ETAs) tradicionais, utilizando espessamento por flotação e por gravidade seguidos de centrifugação**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1998.

PIEPER, K. M. C. et al.; Projeto piloto avaliando o uso de geossintético, na forma de bag, para o deságüe e geoconterção de lodo de estação de tratamento de água. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, 24, 2007, Belo Horizonte-MG, **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2007.7 p.

PIERALISI. **Decanter centrífugo – ETA Iraí e Passaúna (Curitiba-PR)**. 2009. 2 fotografias. Color. Disponível em <www.pieralisi.com.br> Acesso em 15 de fevereiro de 2009a.

PIERALISI. **Manual de Montagem, Operação e Manutenção- P600/Decanter Centrífugo**. Pieralisi:Jundiaí -SP. 2009b. 61 p.

PILARCZYK, K. W. Geosynthetics and Geosystems. In **Hydraulic and Coastal Engeneering**. Rotterdam: Balkema. 2000.

PORTELLA, K.F.; ANDREOLI, C.V.; HOPPEN, C.; SALES, A. BARON, O. Caracterização físico-química do lodo centrifugado da estação de tratamento de água Passaúna – Curitiba – PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA AMBIENTAL, 22, 2003, Joinvile-SC, **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2003. 10 p.

PROPEX. Propex do Brasil Ltda. **Especificações do geotextil**. Curitiba. 2009.

REALI, M. A. P.; CORDEIRO, J. S.& PATRIZZI, L; J; Proposição de método para ensaios de remoção de água de lodos por centrifugação. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, 20, 1999, Rio de Janeiro-RJ, **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2007.10 p.

RIBEIRO, F. L. M., **Quantificação e caracterização química dos resíduos da ETA de Itabirito-MG**. 133 f.Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) –UFOP, Ouro Preto. 2007.

RICHTER, C. A. **Tratamento de lodos de estação de tratamento de água**. São Paulo: Edgard Blucher. 2001. 102 p.

ROSÁRIO, C. G. A. , **Avaliação da disposição de lodo gerado numa estação de tratamento de água em reator anaeróbio de fluxo ascendente e manto de lodo (UASB)**. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da USP, São Paulo. 2007. .

SAMUDIO, E. M. M., **Critério racional para dimensionamento de leitos de secagem de lodo de ETE's convencionais e do reator UASB**. 233 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da USP, São Paulo,1993.

SANEPAR. **ETA Iguaçu**. 2009. 1 fotografia. Color. Disponível em <www.sanepar.com.br> Acesso em 02 de fevereiro de 2009.

SANEPAR. **ETA Iraí**. 2009. 1 fotografia. Color. Disponível em <www.sanepar.com.br> Acesso em 02 de fevereiro de 2009.

SANEPAR. **ETA Passaúna**. 2009. 1 fotografia. Color. Disponível em <www.sanepar.com.br> Acesso em 02 de fevereiro de 2009.

SANTOS, E. R. D. **Emprego de polímeros em unidade piloto de fotofiltração como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios de leito expansível tratando esgoto sanitário**. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) -. Escola de Engenharia de São Carlos da USP, São Carlos. 2008.

SCHOFIELD, T. Sludge removal and dewatering process for dissolved air flotation systems. In: DISSOLVED AIR FLOTATION INTERNATIONAL CONFERENCE. **Anais...** CIWEM:Londres. p. 309 322. 1997.

SILVA, R. C.; SILVA, S. M. C. P. Avaliação da drenabilidade e caracterização física, química e bacteriológica de lodo proveniente de decantadores de ETA:Estudo de caso .In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 13, 2008, Belém-PA. **Anais...** 9 p.

SIMÕES, J. C. *et al.* ETA de grande porte pelo processo de fotofiltração 100 % automatizada para abastecimento público. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, 20, 2003, Rio de Janeiro-RJ, **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1999.

SMOLLEN, M.; KAFAAR, A. Electroosmotically enhanced sludge dewatering: Pilot-Plant Study. **Water Science Technology**. v. 30, n.8, pp. 159-168, 1994.

SOUZA FILHO, A.G. **Caracterização e clarificação por sedimentação da água de lavagem de filtros rápidos de uma estação de tratamento de água que utiliza cloreto férrico como coagulante primário**. 245 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1998.

SUNDEFELD Jr, G. C. **Efeitos do recebimento do lodo de estação de tratamento de água pelo sistema de tratamento de esgoto por lodo ativado em bateladas e aeração prolongada do município de Juquitiba – SP**. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da USP: 2007.

TSUTIYA, M. T. et al. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. 468 p.

VAN HAANDEL, A.C. & LETTINGA, G. **Tratamento Anaeróbio de Esgotos - Um manual para regiões de clima quente**. Epigraf:Campina Grande.1994.

VESILIND, P. A. The role of water in sludge dewatering. **Water Environment Research**, v. 66, n. 1, p. 4-11, 1994.

VESILIND, P.A. & HSU, C.C. Limits of sludge dewaterability. **Water Science Technology**. v. 36, n.11, p. 87-91, 1997.

WEBER, P. & TORRES, T. L.; Estudo para a caracterização quantitativa e qualitativa de lodo de estação de tratamento de água. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, 24, 2003, Belo Horizonte-MG, **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2007.

WOLFE, T.A.; MICKLEY, M.; NOVAK, J. ; HARMS, L.; SORG, T. J. Characterization of Water treatment plant residuals. In: EPA, NRMRL, ASCE e AWWA (coord.) **Manuals and reports of engineering practice, nº 88 - management of water treatment plant residuals**. E.U.A., 41-72p.1996.

WU, C. C., WU, J. J., HUANG, R. Y. Floc Strength and Dewatering Efficiency of Alum Sludge. **Advances in Environmental Research**, vol. 7, issue 3, p 617-621. 2003.

ANEXOS

ANEXO 1 – REDE INSTITUCIONAL DE PESQUISA EM LODO DE ÁGUA

TABELA A0 – RIPLA: LINHAS DE PESQUISA, EXECUTORES E TÍTULOS DOS PROJETOS

Nome	Instituição	Coordenador	Título do Projeto
Gestão estratégica e operacional de lodo de ETA	SANEPAR	Jonas H. Kondageski	Caracterização qualitativa e quantitativa do lodo de água (caracterização físico-química e microbiológica de lodo de ETA no PR, conforme demanda dos projetos relacionados à qualidade dos mananciais
Minimização da produção de lodo de ETA (gerenciamento de resíduos sólidos de lodo de ETA)	UEM	Célia R. C. Tavares	Avaliação do processo de coagulação e floculação (uso de coagulantes) com vista à minimização da geração de lodo
Remoção de umidade de lodo de ETA	UFPR	Miguel Mansur Aisse	Estudo da secagem de lodo de ETA
Disposição final de lodo de ETA como resíduo	UEL	Fernando Fernandes	Avaliação dos limites de aplicação de lodo de ETA em aterros sanitários, considerando a lixiviação e a capacidade de compactação
Disposição final de lodo de ETA como matéria-prima	UNIOESTE	Nora Diaz Mora	Utilização de lodo de estação de tratamento de água (ETA) de Foz de Iguaçu como matéria-prima para a produção de cerâmicas artísticas
Disposição final de lodo de ETA como matéria-prima	UEPG	Giovana K. Wiechetek	Avaliação do uso de lodo de estação de tratamento de água em solo cimento
Disposição final de lodo de ETA no solo	UFPR	Antônio Mota	Critério de aplicação de lodo de água e lodo de esgoto para recuperação de áreas degradadas

FONTE: ANDREOLI *et al* (2007)

ANEXO 2 – DADOS CLIMATOLÓGICOS OBTIDOS ATRAVÉS DO INMET

TABELA A1 – DADOS CLIMATOLÓGICOS DO CICLO 1

Data	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Chuva	Umidade
	(°C)	Máx. (°C)	Mín. (°C)	(mm)	(%)
14/set	11,0	19,5	13,4	10,3	55
15/set	15,9	20,3	12,9	0	87
16/set	18,3	26,3	12	0	79
17/set	18,3	--	12,9	0	79
18/set	9,8	18,4	11,9	0	58
19/set	16,8	21	14,3	16,6	92
20/set	18,0	24,7	10,5	0,3	70
21/set	15,4	17,4	13,5	3	90
22/set	15,9	20	13,9	0	93
23/set	18,2	24,8	14,2	74,9	84
24/set	15,3	18	9,5	2,6	83
25/set	13,3	18,5	10	0	83
26/set	15,6	22,4	10,3	0	84
27/set	21,3	29,2	13,3	0	77
28/set	19,8	24,5	17,5	33,9	92
29/set	14,5	19,9	12	55,3	98
30/set	9,8	11,7	7,7	1,5	93
1/out	12,2	16,7	9,9	2	91
2/out	17,9	26,1	12,8	0	83
3/out	18,2	22,1	14,1	0	86
4/out	18,9	26,9	13,7	0	84
5/out	20,2	27,7	14,9	0,1	79
6/out	18,7	--	14,7	16,3	85
7/out	11,2	18,9	14,9	20,8	58
8/out	13,4	15	11,8	3,8	94
9/out	13,3	21,7	10,8	0,3	86
10/out	14,6	19,7	11,1	0,3	82
11/out	17,6	25,7	9,7	0	71
12/out	18,3	22,2	13,3	19,1	87
13/out	18,1	22,5	11,9	10,3	66
14/out	18,3	26,5	11,7	0	77
15/out	19,0	--	16	30,8	81
Média	16,2	21,7	12,5	9,4	81,5
Mediana	17,2	21,7	12,9	0,3	83,3
Desvio Padrão	3,09	4,12	2,11	17,51	10,78
Valor Máximo	21,27	29,2	17,5	74,9	97,67
Valor Mínimo	9,8	11,7	7,7	0	54,67

FONTE: INMET (2009)

TABELA A2 – DADOS CLIMATOLÓGICOS DO CICLO 1

Data	Temperatura (°C)	Temperatura Máx. (°C)	Temperatura Mín. (°C)	Chuva (mm)	Umidade (%)
19/mai	13,5	16,5	11,1	11,6	88,3
20/mai	12,6	17,6	7,0	0,0	78,7
21/mai	15,2	18,5	12,2	0,2	91,3
22/mai	15,8	18,6	14,7	2,3	93,3
23/mai	17,0	20,2	15,2	2,7	91,3
24/mai	16,9	18,8	15,1	2,6	93,0
25/mai	16,8	20,2	15,3	1,2	92,0
26/mai	16,2	20,8	11,1	0,2	86,7
27/mai	14,1	18,3	11,0	0,0	87,3
28/mai	14,9	20,0	11,1	0,4	82,7
29/mai	14,3	20,3	7,7	0,1	87,0
30/mai	18,0	23,8	12,1	0,2	82,7
31/mai	14,6	18,2	9,8	1,4	80,7
1/jun	11,4	13,3	7,7	0,0	88,3
2/jun	12,2	15,6	10,2	2,2	93,3
3/jun	13,8	15,9	12,0	2,1	92,0
4/jun	14,1	15,0	12,2	5,7	98,0
5/jun	14,3	16,3	12,9	38,8	79,3
6/jun	11,8	18,2	4,9	0,0	67,7
7/jun	13,0	21,6	3,9	0,0	74,7
8/jun	12,8	19,8	4,4	0,0	76,7
9/jun	13,2	17,3	9,0	0,0	83,0
10/jun	12,7	15,8	10,6	0,0	87,3
11/jun	12,1	15,8	10,4	0,0	91,7
12/jun	11,0	13,9	10,0	3,0	91,0
13/jun	11,0	15,2	7,1	0,6	87,3
14/jun	13,4	18,8	9,0	0,0	84,7
15/jun	14,5	23,5	7,9	0,1	81,3
16/jun	17,3	24,4	10,1	0,0	74,7
17/jun	20,0	25,3	10,3	0,0	62,3
18/jun	18,4	23,3	14,0	0,0	78,0
19/jun	19,7	24,9	14,2	0,0	59,7
20/jun	20,8	24,8	17,1	0,0	64,0
Média	14,8	19,1	10,6	2,3	83,3
Mediana	14,3	18,6	10,6	0,1	86,7
Desvio Padrão	2,6	3,4	3,2	6,9	9,6
Valor Máximo	20,8	25,3	17,1	38,8	98,0
Valor Mínimo	11,0	13,3	3,9	0,0	59,7

FONTE: INMET (2010)

ANEXO 3 – RESULTADOS DO MONITORAMENTO DOS LEITOS ALTERNATIVOS PARA O CICLO 1 (NÃO DISCUTIDOS)

- Resultados do monitoramento do clarificado dos LAB

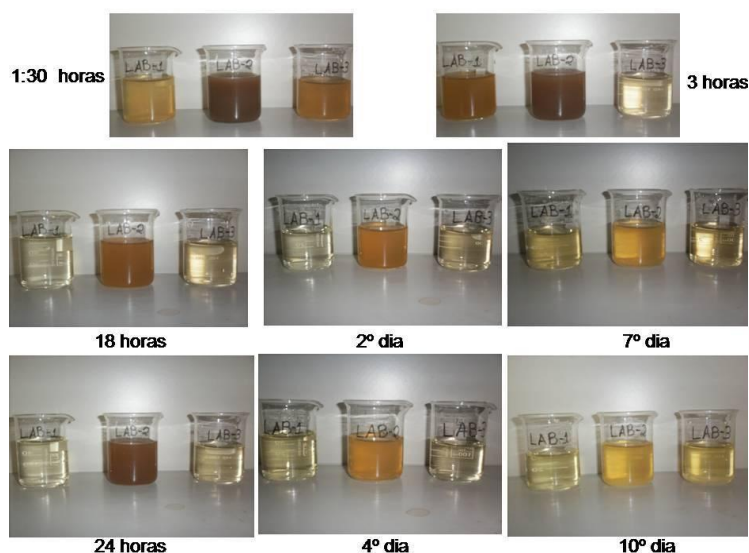


FIGURA A1 – ASPECTO DOS CLARIFICADOS OBTIDOS PARA OS LAB – CICLO 1
 FONTE: A AUTORA

TABELA A3 – CARACTERIZAÇÃO DO CLARIFICADO OBTIDO NO LAB-1 – CICLO 1

parâmetro/data e hora	pH	cond. (µS/cm)	Cor (mg/L de PtCo)	Turbidez (UNT)	SST (mg/L)	ST (mg/L)
14/9 1:30 hrs	8,38	294	99	241	240,00	876,21
14/9 03 hrs	7,93	290	160	280	700,00	926,09
15/9 18 hrs	8,49	329	100	2,98	46,67	260,73
15/9 24 hrs	8,63	353	81	1,61	20,00	132,35
16/9 2º dia	8,48	424	72	2,58	33,33	711,10
18/9 4º dia	8,61	379	114	1,83	48,00	723,63
21/9 7º dia	8,28	417	129	1,63	75,00	779,79
24/9 10º dia	8,86	396	133	3,74	96,00	694,08

FONTE: A AUTORA

TABELA A4 – CARACTERIZAÇÃO DO CLARIFICADO OBTIDO NO LAB-2 – CICLO 1

parâmetro/data e hora	pH	cond. (µS/cm)	Cor (mg/L de PtCo)	Turbidez (UNT)	SST (mg/L)	ST (mg/L)
14/9 1:30 hrs	7,41	258	94	1150	4973,33	5049,39
14/9 03 hrs	7,35	243	149	1320	1566,67	1996,39
15/9 18 hrs	7,56	310	184	213	306,67	696,07
15/9 24 hrs	7,63	357	159	270	1040,00	1396,02
16/9 2º dia	7,98	378	189	149	213,33	521,45
18/9 4º dia	8,52	411	154	77,3	180,00	975,38
21/9 7º dia	8,03	435	152	56	64,00	895,39
24/9 10º dia	8,73	410	246	53,1	120,00	862,40

FONTE: A AUTORA

TABELA A5 – CARACTERIZAÇÃO DO CLARIFICADO OBTIDO NO LAB-3 – CICLO 1

parâmetro/data e hora	pH	cond. (μ S/cm)	Cor (mg/L de PtCo)	Turbidez (UNT)	SST (mg/L)	ST (mg/L)
14/9 1:30 hrs	7,78	264	120	137	73,33	542,14
14/9 03 hrs	7,91	321	93	200	113,33	351,79
15/9 18 hrs	8,03	320	123	6,08	100,00	388,08
15/9 24 hrs	8,17	333	64	8,56	13,33	297,42
16/9 2º dia	8,34	362	137	7,05	20,00	387,18
18/9 4º dia	8,65	410	96	3,88	20,00	894,470
21/9 7º dia	8,07	416	139	5,15	20,00	812,36
24/9 10º dia	8,79	403	149	5,78	120,00	591,31

FONTE: A AUTORA

TABELA A6 – VALORES DE DQO, ALUMÍNIO E O&G OBTIDO NOS LAB- CICLO 1

Dia	LAB-1			LAB-2			LAB-3		
	DQO	Metais	O & G	DQO	Metais	O & G	DQO	Metais	O & G
após 1:30	87,65	5,17					187,25	14,85	
1º	X	x	x	x	X	X	99,9	<1,00	< 0,1
7º							143,42	<1,00	4,5

FONTE: A AUTORA

- Resultados do monitoramento do lodo retido nos LAB
-

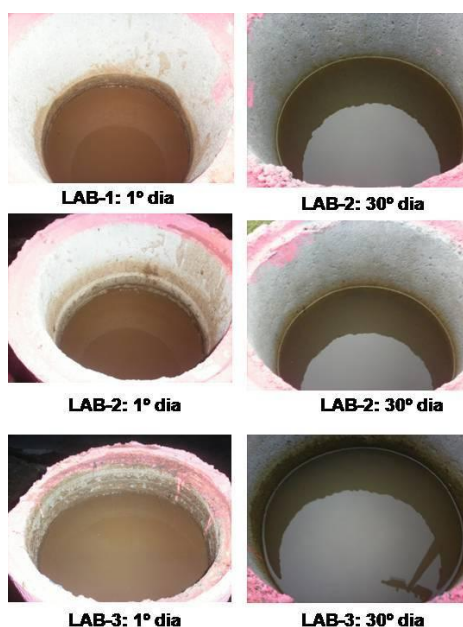


FIGURA A2 - ASPECTO DO LODO RETIDO NOS LEITOS LAB – CICLO 1
FONTE: A AUTORA

TABELA A7 – EVOLUÇÃO DA ALTURA LIVRE DE LODO E DO DRENADO OBTIDO NOS LEITOS – CICLO 1

Data	Hora	LAB - 1		LAB - 2		LAB - 3	
		Altura	Volume	Altura	Volume	Altura	Volume
14/set	início	0	0	0	0	0	0
14/set	0,5 hrs	28	X	18	x	2	x
14/set	1:30 hrs	29	1300	19	5850	3	1950
14/set	3 hrs	30	600	20	1650	4	1700
15/set	18 hrs	31	2100	23	2700	7	2210
15/set	24 hrs	31,5	550	24	1000	8	680
16/set	2º dia	33	1480	27	1250	12	1150
18/set	4º dia	35	1250	30	900	16	1050
21/set	7º dia	36	1000	30	1780	18,4	1680
24/set	10º dia	30	400	27	1000	16	1000
29/set	15º dia	20	800	19	2100	10	500
5/out	21º dia	22	100	21	1350	17	550
14/out	30º dia	24	0	23	450	22	100

FONTE: A AUTORA

TABELA A8 – TEORES DE ST OBTIDOS NO LODO RETIDO DOS LAB – CICLO 1

	LAB - 1	LAB - 2	LAB - 3
Data/hora	ST	ST	ST
1:30 hrs	8440,436	8889,8293	8488,357
3 hrs	7025,907	9012,4917	9074,294
18 hrs	9103,795	9016,6991	8591,612
2º dia	9456,336	9618,6233	8830,443
4º dia	9933,298	10518,221	10488,81
7º dia	9723,369	9256,1745	9535,55
10º dia	7477,619	8756,1221	7952,844
30º dia	4954,724	6706,6934	9442,361

FONTE: A AUTORA

- Resultados do monitoramento do clarificado obtido nos LAG

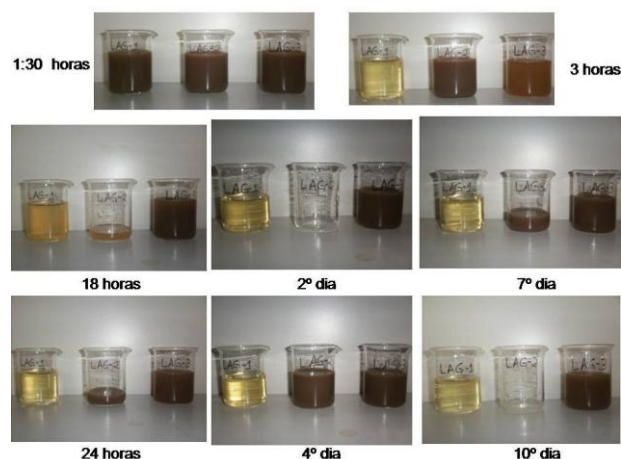


FIGURA A3 - ASPECTO DOS CLARIFICADOS PARA OS LAG – CICLO 1

FONTE: A AUTORA

TABELA A9 – CARACTERIZAÇÃO DO CLARIFICADO OBTIDO NO LAG-1 – CICLO 1

parâmetro/data e hora	pH	cond. (μ S/cm)	Cor (mg/L de PtCo)	Turbidez (UNT)	SST (mg/L)	ST (mg/L)
14/9 1:30 hrs	6,91	220	56	3540	7353,33	7466,52
14/9 03 hrs	7,48	219	97	25,7	75,00	277,25
15/9 18 hrs	7,77	225	122	12,1	40,00	325,67
15/9 24 hrs	7,91	279	169	9,56	33,33	215,93
16/9 2º dia	8,17	310	197	6,61	240,00	426,85
18/9 4º dia	8,41	360	187	5,37	12,00	1060,43
21/9 7º dia	8,1	400	195	3,8	16,00	364,40
24/9 10º dia	8,71	347	139	9,37	32,00	484,99

FONTE: A AUTORA

TABELA A10 – CARACTERIZAÇÃO DO CLARIFICADO OBTIDO NO LAG-2 – CICLO 1

parâmetro/data e hora	pH	cond. (μ S/cm)	Cor (mg/L de PtCo)	Turbidez (UNT)	SST (mg/L)	ST (mg/L)
14/9 1:30 hrs	6,81	232	171	2790	7013,33	7268,79
14/9 03 hrs	7,42	150	127	347	5980,00	x
15/9 18 hrs	6,74	278	129	2650	5420,00	5842,27
15/9 24 hrs	7,06	111,5	113	3120	6506,67	x
16/9 2º dia	x	X	x	X	x	x
18/9 4º dia	7,37	337	125	5950	9775,00	10542,04
21/9 7º dia	7,11	281	116	4610	6110,00	x
24/9 10º dia	x	X	164	X	#VALOR!	x

LEGENDA: x – Sem amostra para análise

FONTE: A AUTORA

TABELA A11 – CARACTERIZAÇÃO DO CLARIFICADO OBTIDO NO LAG-2 – CICLO 1

parâmetro/data e hora	pH	cond. (μ S/cm)	Cor (mg/L de PtCo)	Turbidez (UNT)	SST (mg/L)	ST (mg/L)
14/9 1:30 hrs	6,71	227	164	4840	6753,33	7337,27
14/9 03 hrs	6,92	221	106	1500	2333,33	2708,71
15/9 18 hrs	7,44	278	216	271	433,33	2293,83
15/9 24 hrs	7,43		203	1000	1446,67	4279,32
16/9 2º dia	7,21	301	162	3620	53,33	6157,36
18/9 4º dia	7,07	296	176	3410	5333,33	6164,30
21/9 7º dia	6,88	294	135	3180	4925,00	5906,81
24/9 10º dia	7,81	227	136	2490	3685,00	4076,32

FONTE: A AUTORA

TABELA A12 – DQO, ALUMUNÍO E O&G DOS LAG- CICLO 1

Dia	LAG-1			LAG-2			LAG-3		
	DQO	Metais	O & G	DQO	Metais	O & G	DQO	Metais	O & G
1º	187,81	1,19	x	x	X	X	583,42	51,65	3,05
7º							183,26	<1,0	2,6

FONTE: AUTORA

- Resultados do monitoramento do lodo retido obtido nos LAG



FIGURA A4- ASPECTO DO LODO RETIDO NOS LEITOS LAG – CICLO 1
 FONTE: A AUTORA

TABELA A13 – EVOLUÇÃO DA ALTURA LIVRE DE LODO E DO DRENADO OBTIDO NOS LAG – CICLO 1

Data	Hora	LAG - 1		LAG - 2		LAG - 3	
		Altura	Volume	Altura	Volume	Altura	Volume
14/set	início	0	0	0	0	0	0
14/set	0,5 hrs	56	Vazou	35	Vazou	5	vazou
14/set	1:30 hrs	57	400	36	30	5,5	1700
14/set	3 hrs	59	150	37	20	6	300
15/set	18 hrs	60	550	39	180	7	400
15/set	24 hrs	60,5	260	40	18	10	680
16/set	2º dia	60,6	350	42	5	15	7000
18/set	4º dia	60,6	380	44	100	20	4100
21/set	7º dia	60	350	32	30	21	150
24/set	10º dia	51	630	38	10	16	100
29/set	15º dia	59	6900	31	0	15	2650
5/out	21º dia	56	350	41	0	16	500
14/out	30º dia	56	100	52	0	17	110

FONTE: A AUTORA

TABELA A14 – TEORES DE ST OBTIDOS NO LODO RETIDO DOS LAG – CICLO 1

	LAG – 1	LAG – 2	LAG – 3
Data/hora	ST	ST	ST
1:30 hrs	9117,523	8747,874	8462,89
3 hrs	9202,338	8890,625	8994,585
18 hrs	8921,089	11316,66	9093,89
2º dia	10885,22	9496,033	8598,952
4º dia	11893,78	9955,825	9218,526
7º dia	8231,531	9560,082	8786,623
10º dia	3610,959	7778,974	8037,857
30º dia	7043,504	12671,09	7971,14