

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS CAMPO MOURÃO
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
ENGENHARIA AMBIENTAL**

RODOLFO FAQUINI RIBEIRO

ESTUDO DE DOSAGEM DE LODO DE ETA EM ARGAMASSA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CAMPO MOURÃO
2012**

RODOLFO FAQUINI RIBEIRO

**ESTUDO DE DOSAGEM DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO
DE ÁGUA (ETA) EM ARGAMASSA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título em Engenharia Ambiental, Coordenação de Engenharia Ambiental (COEAM), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Campo Mourão.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Hermes Passig.

Co-orientador: Maiko Cristian Sedoski

**CAMPO MOURÃO
2012**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família,
principalmente ao meu pai Antônio e
minha mãe Iracema, meus melhores
exemplos de vida.

À minha namorada Mariana, amiga e
companheira.

AGRADECIMENTOS

Á Deus por tudo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Fernando Hermes Passig, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória, e principalmente pela paciência.

A co-orientação do técnico em construção civil Maiko Cristian Sedoski, pela paciência e atenção.

Ao Prof. Dr. Petrônio Montezuma e ao técnico Fabio, pela realização dos ensaios de granulometria.

Aos meus colegas do curso de Engenharia Ambiental.

À empresa de saneamento SANEPAR, unidade Campo Mourão por permitir a coleta de lodo de ETA, especialmente ao técnico em meio ambiente Cristóvão Macena que ajudou nas coletas.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão.

O meu reconhecimento à minha família, pois sem eles não conseguiria alcançar os meus objetivos.

A minha namorada, por me confortar nos momentos difíceis.

Enfim, agradeço a todos pelo que aprendi nessa etapa de vida.

“Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário que você veja toda a escada. Apenas dê o primeiro passo”. (Martin Luther King, 1929-1968)

RESUMO

RIBEIRO, Rodolfo Faquini. **Estudo de dosagem de lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) em argamassa**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2012.

O trabalho tem como objetivo avaliar o uso de diferentes concentrações de lodo, incorporado na argamassa, em substituição à areia, como eliminação do passivo ambiental gerado pelas empresas de saneamento. No presente estudo foram confeccionados corpos de provas de argamassa com dosagens de lodo nas proporções de 5, 10, 15 % em substituição do agregado miúdo, com traço nas proporções de 1:7:2 de cimento, areia e cal respectivamente. No preparo da argamassa, o lodo utilizado na incorporação da argamassa foi proveniente da Estação de Tratamento de Água (ETA) da cidade de Campo Mourão-PR, na qual é utilizado como coagulante o Policloreto de Alumínio (PCA). O estudo foi dividido em três etapas, sendo a primeira etapa correspondente à confecção dos aparatos para retenção dos sólidos, na segunda etapa foram realizadas análises de caracterização do lodo e na terceira etapa verificou-se a compressão mecânica e a absorção de água pela argamassa. A caracterização do lodo seco identificou alta quantidade de alumínio, aproximadamente 79 g/kg, contendo cerca de 8% de alumínio a cada quilograma de lodo. A incorporação de 10% de lodo em substituição do agregado miúdo na argamassa permitiu um ganho de resistência significativo em relação à argamassa convencional, suportando uma força média de 2,98 MPa, além de uma insignificância de 1% na absorção de água comparada a amostra branca, confirmando a alta resistência mecânica. Portanto, conclui-se que de acordo com os resultados obtidos para a concentração de 10% de lodo incorporado na argamassa torna-se satisfatório ao uso na argamassa.

Palavras chave: Lodo de ETA, Caracterização do lodo, argamassa, incorporação de resíduo.

ABSTRACT

RIBEIRO, Rodolfo Faquini. **Study of dosage of Station Water Treatment in mortar** 2012. Working End of Course Bachelor of Environmental Engineering. Federal Technological University of Paraná. Campo Mourão, 2012.

This work aims to evaluate the use of different sludge concentrations added to the mortar as a replacement to sand and resulting in the elimination of the environment passive generated by water plants. For the present study, it was made proof-bodies of mortar with dosage of sludge in the proportions of 5, 10 and 15% in replacement to the small aggregate; the trace used to prepare the mortar was in the proportion of 1:7:2 of cement, sand and lime, respectively. The sludge used at the mortar incorporation was originating from the Water Treatment Plan (WTP) from the city of Campo Mourão – state of Paraná/PR, where nowadays it is used Poly Aluminium Chloride (PAC). The study was divided into three steps, being the first one characterized by making of apparatus for solid retention; during the next step, analyses of sludge characterization were realized; and as the third, were verified mechanic compression and water absorption by the mortar. The characterization of dry sludge identified a high quantity of aluminium, approximately 79 g/kg, containing around 8% of aluminium each kilogram of sludge. Incorporation of 10% of sludge in replacement of the small aggregate at the mortar allowed a significant gain of resistance in relation to the common mortar, bearing an average strength of 2.98 MPa, besides 1% of water absorption, insignificant when compared to the white sample, confirming the high mechanic resistance. Therefore, it was concluded that according to results obtained for the concentration of 10% of sludge aggregated to the mortar, the use of sludge in mortar is satisfactory.

Key-words: WTP sludge, Sludge characterization, Mortar, Residue incorporation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Desenho esquemático do funcionamento de uma ETA de ciclo completo.....	17
Figura 2 - Etapas do tratamento de água.....	18
Figura 3 - Quantidade média diária de sólidos produzida na ETA de Campo Mourão – PR.....	21
Figura 4 – Dispositivos do leito de secagem modificado, estrutura metálica (A), dispositivo de armazenamento de lodo (B), dispositivo com manta geotêxtil (C).....	30
Figura 5 - Coleta do lodo na saída de descarga do decantador.....	30
Figura 6 - Série de peneiras, com diferentes diâmetros.....	33
Figura 7- Moldes metálicos dos CPs.....	36
Figura 8 - Ensaio de compressão axial.....	37
Figura 9 - Ensaio de Compressão diametral.....	38
Figura 10 - Tensões da argamassa, amostra branca.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características físico-químicas dos lodos das ETAS	20
Tabela 2 - Características da água bruta da ETA de Campo Mourão	21
Tabela 3 - Eficiência na remoção de sólidos utilizando leitos de secagem com manta geotêxtil	24
Tabela 4 - Tecnologia de retenção de sólidos.....	26
Tabela 5 - Quantidade de materiais da argamassa com diferentes proporções de lodo	35
Tabela 6 - Parâmetros físico-químicos.....	39
Tabela 7- Variáveis para o cálculo da matéria orgânica.....	40
Tabela 8 - Umidade contida no lodo.....	40
Tabela 9 - Análise granulométrica por peneiramento.....	41
Tabela 10 - Análise granulométrica por sedimentação	41
Tabela 11 - Quantidade em porcentagem do material presente no lodo da ETA.....	42
Tabela 12 - Resumo do ensaio de resistência mecânica	46
Tabela 13 - Massas dos CPs e absorção de água por capilaridade	47
Tabela 14 - Restrições aos usos referentes às concentrações de lodo na argamassa.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ETA	Estação de Tratamento de Água
SSF	Sólidos Suspensos Fixos
SST	Sólidos Suspensos Totais
DQO	Demanda Química de Oxigênio
pH	Potencial Hidrogeniônico
MO	Matéria Orgânica
CP	Corpo de Prova
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
Kgf	Quilograma - força
MPa	Mega Pascal
GPa	Giga Pascal

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL.....	16
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1 ORIGEM, CARACTERÍSTICAS E QUANTIFICAÇÃO DO LODO DE ETA.....	17
3.2 ALTERNATIVA DE DISPOSIÇÃO DO LODO	22
3.2.1 APLICAÇÃO EM SOLOS	22
3.2.2 DISPOSIÇÃO EM ATERROS SANITÁRIOS.....	22
3.2.3 A DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO DE ETA NA REDE COLETORA DE ESGOTO	23
3.3 PROCESSOS UTILIZADOS NA RETENÇÃO DE SÓLIDOS	23
3.4 ESTUDOS DE REAPROVEITAMENTO DE LODO DE ETA EM MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	26
4 MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	29
4.2 COLETA E CONFECÇÃO PARA RETENÇÃO DO LODO	29
4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO LODO	31
4.4 DETERMINAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA (MO)	32
4.4.1 PREPARAÇÃO DA AMOSTRA.....	32
4.5 IDENTIFICAÇÃO DA GRANULOMETRIA DO LODO.....	32
4.6 PREPARO DA ARGAMASSA, CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS (CPS), ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO, ELASTICIDADE E ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	34
4.6.1 PREPARO DA ARGAMASSA	34
4.6.2 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS (CPs)	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA	39
5.2 DETERMINAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA (MO)	40

5.3 IDENTIFICAÇÃO DA GRANULOMETRIA DO LODO.....	40
5.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO E ELASTICIDADE	42
5.5 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	46
6 CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

1 INTRODUÇÃO

As Estações de Tratamento de Água (ETA) tem a função de fornecer água potável de qualidade à população, com procedimentos de controle e padrões exigidos pela Portaria 2.914 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde.

Nos centros urbanos, o abastecimento de água torna-se cada vez mais centrado na qualidade do produto a ser distribuído à população, porém, quanto pior for a qualidade da água afluenta recebida pelas ETA, maior será a quantidade de produtos químicos utilizados no tratamento, e como consequência o aumento na quantidade produzida de lodo (PORTELLA et al., 2003).

Deste modo para que ocorra a transformação da água bruta em uma água potável ao consumo humano, são comumente realizadas as etapas nas estações de tratamento de água convencional de eliminação de impurezas grosseiras, controle de vazão, correção de pH, coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação (TEIXEIRA et al., 2006).

Em função dos produtos químicos utilizados na etapa de coagulação, o lodo apresenta em suas características elevadas concentrações de alumínio, tornando-se passivo ambiental a ser administrado pelas empresas de saneamento, onde atualmente o resíduo é despejado in natura nos corpos d'água próximos as ETA (CORDEIRO, 2002).

De acordo com a NBR 10.004:2004 (ABNT, 2004), o lodo de ETA é classificado como resíduo sólido, desta forma deve ser tratado e disposto adequadamente em aterros sanitários conforme a exigência da legislação vigente. De acordo com os estudos de Guerra e Angelis (2005), o lodo proveniente das ETAs enquadra-se como resíduo classe II A (não perigoso-não inerte), perante a NBR 10.004:2004 (ABNT, 2004).

De acordo com Sales et al. (2002), o país conta com cerca de 7.500 ETAs geradoras de lodo, as quais lançam seus rejeitos diretamente nos corpos d'água. Muitas vezes o lodo é lançado nos corpos d'água mais próximos, causando problemas ambientais, tais como: riscos à biota aquática, aumento da concentração de sólidos, assoreamento à jusante do curso d'água e aumento da concentração de alumínio, podendo causar agravamento na saúde pública (SILVA, 2011).

Narcizo (2009) constatou que um grupo de peixes absorveram nas células do encéfalo, brânquias, fígado, gônadas e músculos grande parte do alumínio, como consequência dessa exposição foi verificada uma anomalia no material genético, quando comparando a indivíduos que não foram expostos ao alumínio.

Com a preocupação de lançamento de despejos de lodo em um corpo hídrico surgiram regulamentações que proíbem e restringem esse método de disposição. A partir da década de 90 foram criadas regulamentações para as descargas de efluentes, tornando seu lançamento mais restritivo. Atualmente a Resolução CONAMA nº 357, 17 de março 2005 e a Resolução CONAMA nº 430, 13 de maio 2011, dispõem sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, e a Lei 9.605, de fevereiro de 1998, tem como objetivo aplicar punição civil, administrativa e criminal pelo lançamento inadequado de resíduos.

A incorporação do lodo em argamassa pode ser uma alternativa para a diminuição dos resíduos gerados nas ETAs. As argamassas são utilizadas para emboço e reboco. Os materiais que compõem a argamassa são cimento, areia natural e cal hidratada. Desta forma a incorporação do lodo nas demais propriedades da argamassa, faz-se através da substituição parcial da areia e adicionado a mistura uma determinada porcentagem de lodo, completando a composição da argamassa.

Ferreira et al. (2008) verificaram a incorporação de lodo de ETA em matriz de concreto nas porcentagem de 3, 5, 7 e 10% , onde as porcentagem testadas acima de 5% não ofereceram resistência maior que 20 MPa exigidos por norma, e a incorporação de 3% de lodo proporcionou aumento à resistência a compressão em relação a amostra branca.

A proposta de incorporação de lodo de ETA na fabricação de materiais cerâmicos adicionados em porcentagem de 5, 15 e 30 %, os resultados da incorporação de 5% apresentou resistência mecânica próxima aos obtidos sem a adição de lodo na produção de argila vermelha, contrariamente, a incorporação de 15% e 30% apresentou os piores conjuntos de resultados sendo desaconselhada sua utilização (MORRUZ et al., 2008).

Para Sales et al. (2002), a adição de 3% de lodo com agregados miúdos “resíduos da construção civil”, mantém as mesmas características de resistência mecânica sem a utilização do lodo de ETA na argamassa.

Este trabalho teve como objetivo verificar o uso de diferentes concentrações de lodo de ETA, incorporado à argamassa, em substituição da areia, com o propósito de diminuição do lançamento de lodo nos corpos hídricos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a incorporação de 5, 10 e 15% de lodo como componente da argamassa, em substituição parcial da areia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral do trabalho, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizações físico-químicas do lodo com determinação dos parâmetros pH, turbidez, demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos totais (SST), sólidos totais (ST) e concentração de alumínio;
- Determinação da concentração de matéria orgânica no lodo de ETA;
- Caracterização granulométrica do lodo da ETA;
- Avaliação das características de resistência mecânica e absorção de água na argamassa, após a adição do lodo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ORIGEM, CARACTERÍSTICAS E QUANTIFICAÇÃO DO LODO DE ETA

As ETAs têm a finalidade de fornecer água com padrões de potabilidade que atenda condições mínimas exigidas pelo Ministério da Saúde. Os procedimentos realizados para a potabilização d'água seguem etapas onde, a priori é adicionado um coagulante específico como o sulfato de alumínio ou policloreto de alumínio. As partículas suspensas no fluido são unidas pela ação do coagulante, que são visíveis na fase de floculação, essas partículas têm suas massas aumentadas e por força gravitacional acumulam nas partes inferiores dos tanques, fenômeno físico chamado decantação. Na fase posterior, o fluido sobrenadante do tanque de decantação é filtrado para maior remoção dos sólidos suspensos (Figura 1).

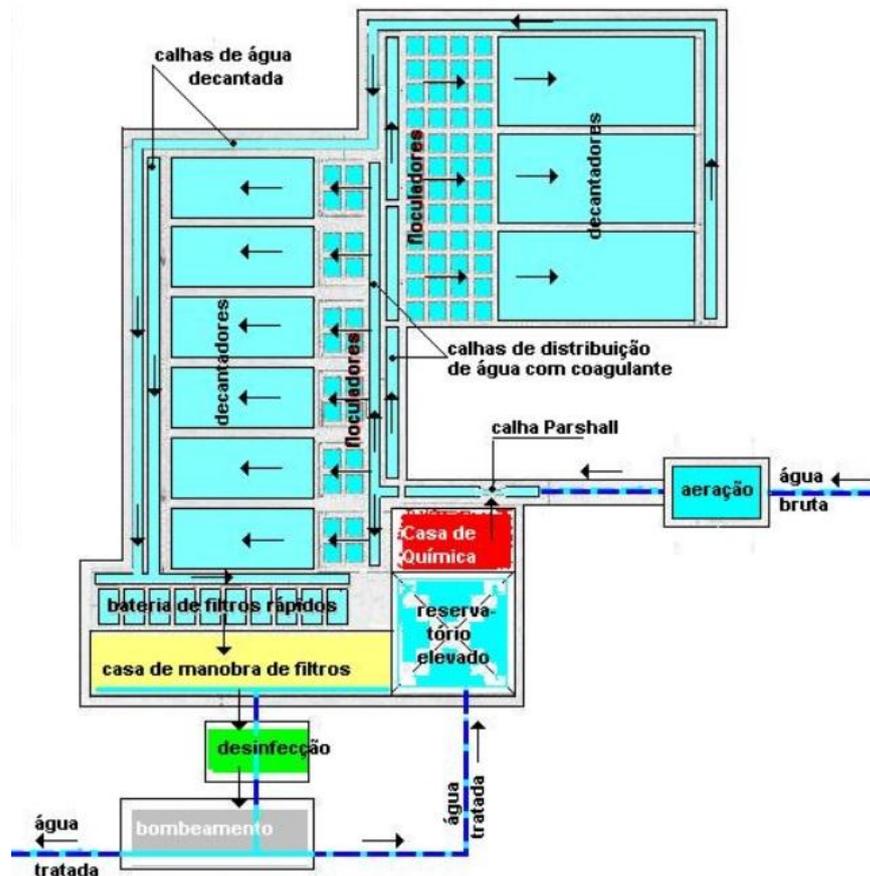


Figura 1 - Desenho esquemático do funcionamento de uma ETA de ciclo completo
Fonte: Filho (2009)

Nas ETA's de ciclo completo os resíduos gerados são provenientes de limpezas ou descargas dos decantadores e filtros, porém, em todo tratamento apresenta formação de resíduos, onde cada linha geradora apresenta quantidades diferenciadas de sólidos (DI BERNARDO & DANTAS, 2005 b).

As características qualitativas e quantitativas desses resíduos dependem dos fatores distintos da água bruta como cor, turbidez, sólidos em suspensão, além do tipo de coagulante usado no tratamento e da frequência de limpeza dos decantadores e filtros (GARDIN et al., 1993).

Na Figura 2 são apresentas as etapas do tratamento de água em uma ETA convencional e os pontos de geração de resíduos.

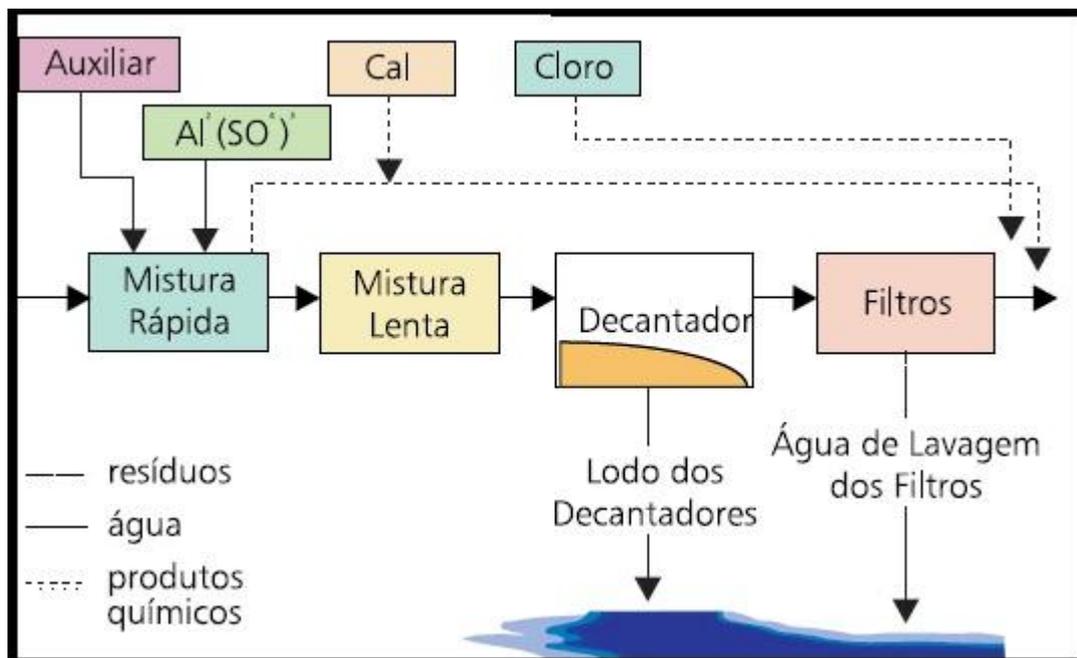


Figura 2 - Etapas do tratamento de água
Fonte: Cordeiro (1999)

As características dos rejeitos de ETAs são fundamentais para definir sua estrutura, como os valores de sólidos, DQO, metais, pH, tamanho da partícula e densidade específica, a fim de permitir um manejo adequado na remoção do rejeito (ANDREOLI et al., 2001).

Os parâmetros físico-químicos do lodo podem ser separados em função da importância do estudo, podendo se classificar em questões ambientais e geotécnicas. As ambientais seguem parâmetros como pH, sólidos, metais, DQO,

biodegradabilidade, toxicidade, presença de pesticidas e fertilizantes, as características geotécnicas serve para evidenciar possíveis formas de reaproveitamento d'água (CORDEIRO, 2002).

O lodo de sulfato de alumínio é um líquido não-newtoniano, quando em repouso apresenta-se em estado coloidal, cuja a fração de sólidos é constituída de hidróxido de alumínio, partículas inorgânicas, colóides de cor e bactérias (RICHTER, 2001).

De acordo com Barroso et al. (2006), metais como o alumínio presente no lodo de ETA possuem ações tóxicas, podendo apresentar efeitos positivos ou negativos nas técnicas de tratamento d'água, disposição final ou até mesmo na reutilização desse resíduo.

As classificações dos resíduos provenientes de sistemas de tratamento de água estão incluídas na NBR 10004:2004 (ABNT, 2004), no qual diferencia os resíduos sólidos em classe I como perigoso, classe II-A não inertes e classe II-B inertes.

Os resíduos gerados na ETA são constituídos de material orgânico e inorgânico, incluindo algas, bactérias, vírus, partículas orgânicas em suspensão, colóides, areias, argila, siltes, cálcio, magnésio, ferro, manganês, dentre outros (GARDIN et al.,1993).

De acordo com Silva et al. (2000), a composição do lodo é complementada por hidróxidos de alumínio ou ferro, provenientes da adição de produtos químicos na etapa de coagulação.

Os colóides que formam o lodo de ETA contém dimensões que varia de 1nm ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{ m}$) a 1mm ($1\text{mm} = 10^{-3}\text{ m}$). Essas características dificulta a remoção dos sólidos na água livre (CORDEIRO, 2001).

Na tabela 1 são apresentadas algumas características do lodo proveniente de descargas de decantadores de ETA.

Tabela 1- Características físico-químicas dos lodos das ETAS

pH	Turbidez	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	ST (mg/L)	ETA	Autor
7,2	3.650	4.800	26.520	58.630	São Carlos/SP	Barroso e Cordeiro 2001
7,4	3.378	5.450	15.330	57.400	Rio Claro/SP	Barroso e Cordeiro 2001
8,93	924	140	775	1.620	Araraquara/SP	Barroso e Cordeiro 2001
6,1	-	1.309	4.255	4.570	Juquitiba	Rosario (2007)
6,47	3.490		43.600	34.450	Campo Mourão/PR	Rizzato (2010)
6,40	-	2.330	43.610	53.605	Jaime Câmara/GO	SANEAGO (2007).
6,8	-	5.630	26.775	63.330	Cardoso/SP	Fontana et al. (2004)
9,3	130	160	-	757	Pedra de Fogo/PB	Meneses et al. (2005)

De acordo com Barroso e Cordeiro (2001), a quantidade de lodo produzida em ETA dependerá de fatores como: partículas presentes na água bruta, turbidez, cor, concentração de produto químico adicionado na fase de coagulação, tempo de permanência no decantador, forma de limpeza entre outros.

Segundo AWWA (1999), a vazão de descarga dos resíduos provenientes de um decantador varia entre 0,1 e 3,0 % da vazão de água clarificada nesta etapa, a concentração de sólidos suspensos totais (SST) esta na faixa entre 1 e 20 g/L , podendo atingir até 30 g/L .

Richter (2001) relatou que há poucas informações sobre a quantidade e composição proveniente da coagulação. Em geral, o conteúdo de sólidos totais que compõe o lodo proveniente de tanques de decantação varia entre 1.000 a 40.000 mg/l (0,1 a 4 %). Geralmente, cerca de 75 a 90% desses valores representam os sólidos suspensos e 20 a 35% compostos voláteis.

O levantamento da quantidade de sólidos realizado na ETA de Campo Mourão – PR, realizado com base em fórmulas empíricas de balanço de massa, estimou a carga média produzida de 610 kg/dia referente aos meses de julho,

agosto e setembro. Na figura 3 é ilustrada a produção de sólidos por dia (ALMEIDA et al., 2009).

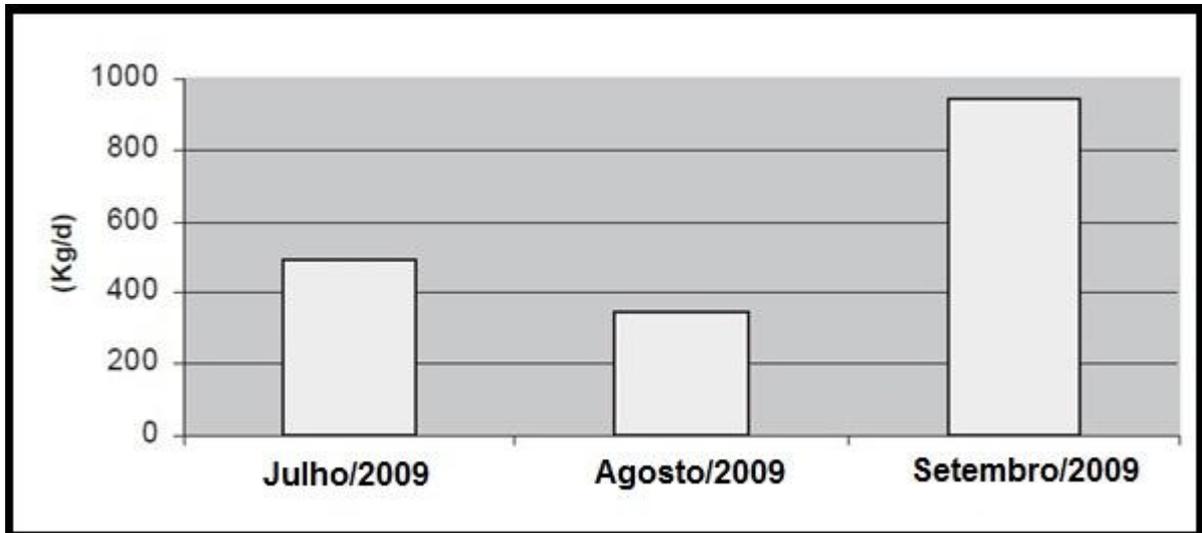


Figura 3 - Quantidade média diária de sólidos produzida na ETA de Campo Mourão – PR
Fonte: Almeida et al. (2009)

Os sólidos produzidos na ETA referente ao mês de julho foram de 492 kg/dia, já o mês de agosto obteve uma redução para 344 kg/dia, ocorrido pela estiagem durante esse período, por outro lado o mês de setembro aumentou para 947 kg/dia na produção de sólidos devido ao período chuvoso (ALMEIDA et al., 2009).

Santos (2007) desenvolveu um trabalho na ETA de Campo Mourão-PR, o qual teve como objetivo a quantificação da água afluyente, analisando os seguintes parâmetros: turbidez, SSF, SST e SSV, utilizando o balanço de massa segundo a metodologia proposta pela AWWA (1996). Na Tabela 2 são apresentados os valores médios do afluyente recebido pela ETA de Campo Mourão- PR.

Tabela 2- Características da água bruta da ETA de Campo Mourão

Amostra	Turbidez (UNT)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)
Média	24,8	12,2	9,7	2,5

Fonte: Santos (2007).

3.2 ALTERNATIVA DE DISPOSIÇÃO DO LODO

Existem algumas alternativas para a disposição final do lodo de ETA. Para que essas alternativas sejam viáveis, a necessidade de técnicas que conciliam economicamente e ambientalmente.

Algumas dessas alternativas usualmente utilizadas para a disposição do lodo são: aplicação no solo, disposição na rede coletora de esgoto, aterros sanitários, incineração e incorporação do lodo em materiais para a construção civil (COSTA, 2011).

3.2.1 APLICAÇÃO EM SOLOS

Segundo Tsutiya e Hirata (2001), diversas empresas de saneamento nos EUA tem utilizado o lodo de ETA para aplicação no solo, quando a coagulação for com ferro. A aplicação do lodo no solo traz melhoria em sua estrutura, ajuste de pH, condições de aeração do solo entre outros. Porém o mesmo autor cita que, estudos têm demonstrado que o lodo de ETA no solo não possibilita a absorção do nutriente fósforo presente no solo para as plantas, tornando defasada essa aplicação.

Para Tartari (2008), o lodo de ETA apesar de conter matéria orgânica, não é interessante sua aplicação direta ao solo, quando a coagulação for proveniente de sais de alumínio, essa técnica contribui para a absorção dos metais pelos vegetais, podendo causar uma intoxicação a nível trófico.

3.2.2 DISPOSIÇÃO EM ATERROS SANITÁRIOS

O acondicionamento do lodo em aterros é uma alternativa segura para a saúde pública e ambiental, sendo que seu comportamento em aterro é conhecido (TARTARI, 2008).

No entanto o mesmo autor citado acima ressalta que em aterros particulares ou municipais, a disposição do lodo implica em custos como transporte até o local, operação e ocasiona um decréscimo na vida útil do aterro. Os custos médios de transporte e disposição final de lodos em aterros particulares na RMSP (Região

Metropolitana de São Paulo) situam-se em torno de R\$ 60,00 a R\$ 80,00 por tonelada de lodo desidratado (JANUÁRIO E FILHO 2007).

3.2.3 A DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO DE ETA NA REDE COLETORA DE ESGOTO

O envio de lodos de ETAs para ETEs constitui-se um método de destino adequado, porém sua utilização depende de fatores econômicos e logísticos, como a existência de estações de tratamento de água e esgoto próximos uma da outra (BRINK et al., 2005).

Desta forma, o lançamento de lodos de ETA para ETE é uma solução tecnicamente viável, uma vez que as operações de tratamento de ambas as fases sólidas serão concentradas em uma única unidade de tratamento, com significativa economia de escala nos custos operacionais. (BRINK et al, 2005).

Essa maneira de disposição do lodo é atraente, quando a área da ETA não há disponibilidade de implantação de um sistema de adensamento e desidratação do lodo ou quando a ETA encontra-se em área urbanizada, onde o transporte do lodo pode ocasionar transtorno no trânsito urbano (TARTARI, 2008).

Segundo Brink et al. (2005), mostrou em suas pesquisas em laboratório que há possibilidade de lançamento de lodo de ETA diretamente na rede coletora de esgoto. O autor acima concluiu que a massa de sólidos de ETA junto com a de ETE aumentou na ordem de 20 a 30%, o acréscimo dobrou o tempo de filtração do efluente em comparação à filtração separada entre as unidades de ETA e ETE.

3.3 PROCESSOS UTILIZADOS NA RETENÇÃO DE SÓLIDOS

Segundo Andreoli et. al. (2001), à medida que o lançamento direto dos lodos de ETA em corpos hídricos começou a ser proibida em vários países, iniciou-se o desenvolvimento de técnicas para reduzir e reutilizar o volume de líquido presente no efluente, havendo a separação sólida e líquida.

A redução do volume dos resíduos gerados nas ETAs é necessária, porém, essa é uma questão complexa. Esta redução pode ser realizada através da remoção

da água livre e nos interstícios dos sólidos em sistemas naturais ou mecânicos (CORDEIRO, 2002).

Os métodos normalmente utilizados para melhorar as condições de disposição final, podem ser citados a desidratação natural em lagoas, leitos de secagem e o adensamento mecânico em centrífugas (CORDEIRO, 2001).

Dentre as alternativas de desidratação natural, podemos citar o leito de drenagem convencional e o leito de secagem modificado. Basicamente o leito drenagem convencional é constituído respectivamente de tijolo, areia, pedregulho e brita número 1 (um).

Cordeiro (2002) modificou o leito convencional incluindo uma camada de manta geotêxtil, que apresentou melhora do desaguamento com a redução da concentração de sólidos entre 25 e 30%.

Sabino et al. (2007) compararam a eficiência do leito de secagem convencional e modificado durante 30 dias, verificando que o ao 7º dia o teor de sólidos no leito convencional foi de 16,51% e no leito com manta geotêxtil foi mais eficiente que o leito convencional, chegando aos 30% de concentração de sólidos na torta (concentração considerada ideal), onde o leito convencional obteve este mesmo percentual apenas no 10º dia.

Rizzato et al. (2010) evidenciaram a eficiência do leito de secagem na remoção de sólidos na ETA da cidade Campo Mourão, onde foram testados diferentes tipos de mantas geotêxtis. Na Tabela 3 são demonstrados os valores médios de remoção dos sólidos totais, fixos e voláteis.

Tabela 3 - Eficiência na remoção de sólidos utilizando leitos de secagem com manta geotêxtil

Sólidos	Sólidos removidos (mg/L)	Não removidos (mg/L)	Eficiência (%)
Sólidos Totais	43.600	42	99,99
Sólidos Totais Fixos	34.450	4	99,98
Sólidos Totais Voláteis	9.150	38	99,95

Fonte: Rizzato et al. (2010).

Atualmente no mercado brasileiro há uma gama diversificada de equipamentos mecânicos, que faz a desidratação de lodo mecanicamente. Tartari (2008) cita algumas das tecnologias disponíveis no mercado por ordem crescente de

custo, como: prensa desaguadora, centrífuga, filtro prensa e filtro rotativo a vácuo. As tecnologias mecânicas atendem uma exigência de uma torta com 15% a 35% de sólidos.

O filtro prensa foi o primeiro sistema a reter uma elevada quantidade de sólidos, assim ganhou popularidade por sua capacidade de tratar lodos provenientes da coagulação d'água. Os filtros prensa mais usados na retenção de sólidos de ETA são a do tipo câmara, de volume fixo, de diafragma e de volume variável, sendo que o último tem maior vantagem em eficiência (RICHTER, 2001).

A tabela 4 apresenta as vantagens e desvantagens das tecnologias mais utilizadas no mercado, mostrando com maior detalhe os processos adequados para lodos provenientes da coagulação da água.

Tabela 4 - Tecnologia de retenção de sólidos

Técnica	Aplicações	Limitações	Custo Relativo
Prensa desaguadora	Capaz de obter um lodo relativamente seco, com 40-50% de sólidos secos. Lodo de sulfato 15 a 20%.	Sua eficiência é muito sensível às características da suspensão. As correias podem se deteriorar rapidamente na presença de material abrasivo.	Baixo
Decantação centrífuga	Capaz de obter um lodo desidratado com 15-35% de sólidos. Lodos de sulfato 16 a 18%. Adequadas para áreas com limitação de espaço.	Não tão efetiva na desidratação como a filtração. O tambor está sujeito à abrasão.	Médio
Filtro prensa	Usado para desidratar sedimentos finos. Capaz de obter uma torta com 40-50% de sólidos em lodos de cal, com uma taxa de captura de até 98%.	Necessita aplicação de cinzas e cal. Elevação do pH a 11,5. Troca do meio filtrante demorada. Elevado custo operacional e de energia	Alto
Filtro rotativo a vácuo	Mais indicado para desidratar sedimentos finos e granulares, podendo obter torta de até 35-40% de sólidos e uma taxa de captura entre 88 a 95%.	É o método menos eficaz de filtração. Elevado consumo de Energia	Mais alto

Fonte: Richter (2001).

3.4 ESTUDOS DE REAPROVEITAMENTO DE LODO DE ETA EM MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

Tratando o lodo como um material com características de pH aproximadamente neutro, baixos valores de DBO e altos valores de Sólidos Totais, o lodo de ETA contém alta versatilidade em seu reaproveitamento incorporado em

matérias da construção civil, especialmente quando utilizados em conjunto com o solo e/ou cimento (COSTA, 2011).

Tsutiya e Hirata (2001) destacam que a busca por soluções economicamente e ambientalmente viáveis na destinação final de lodos de ETA, ainda é um grande desafio no Brasil, onde algumas alternativas de reaproveitamento do lodo estão em início de estudos. Sabe-se que, devido às propriedades físico-químicas do lodo ser heterogêneas, têm a possibilidade de agregar o lodo em materiais para a construção civil e dispor o resíduo adequadamente (SILVA, 2011).

O uso de lodo de ETA na fabricação de cimento Portland se torna interessante, devido à baixa concentração de sílica, ferro e alumínio contido nas propriedades do cimento, é necessário adicionar elementos como argila, xisto, minério de ferro e bauxita. Os lodos das ETAs por conter elementos usados na fabricação do cimento, e a incorporação do lodo no processo de fabricação na fase de pré-homogeneização das matérias primas se tornam um sucesso (TSUTIYA et al., 2002).

O trabalho de Sales et al. (2002) abordaram a incorporação de lodo de ETA com restos moídos de materiais provenientes da construção civil, para a utilização em argamassa e concreto de cimento Portland. Em relação aos valores obtidos, a adição de 3% de lodo em relação aos agregados miúdos, apresentou-se uma redução insignificante da resistência mecânica comparada ao concreto usual, obtendo características semelhantes.

A argamassa de assentamento produzida com agregados miúdos naturais e 2% de lodo apresentou menor resistência à compressão axial, comparado a argamassa com agregados miúdos de construção civil e 2% de lodo de ETA, porém, teve uma absorção de água 12,8% maior que com agregados miúdos naturais. Embora a absorção de água em argamassas recicladas tenha sido maior que a absorção de água das argamassas convencionais, os resultados não impedem a sua aplicação, apenas a restringe a ambientes livres de umidade e da ação de intempéries (SALES & SOUZA, 2006).

De acordo com Hoppen et al. (2005), a incorporação de lodo de ETA em matriz de concreto apresentou boa trabalhabilidade, pelo abatimento do tronco de cone, nas porcentagem igual ou inferior a 7% de lodo incorporado nas demais propriedades do concreto. Os corpos de provas ao sétimo dia de cura, evidenciaram

uma resistência mecânica superior a 20 MPa, porém, os autores ressaltam que, pelo não conhecimento das interações químicas entre o lodo e o concreto, sugere-se seu uso para concretos não-estruturais.

Segundo Margem et al. (2006), a incorporação de lodo de ETA em cerâmica vermelha em percentuais igual ou superior a 5%, ocasionou um incremento da absorção de água na cerâmica. Essa absorção de água está ligada a porosidade da cerâmica, isso é atribuído pela evaporação de matéria orgânica durante a queima, com isso provocou alterações significativas nas estruturas físicas e mecânicas da cerâmica. Para Teixeira et al. 2006 a incorporação de 10% do lodo de ETA com sais de alumínio e 20% com sais de ferro ficaram dentro do limite de resistência física e mecânica.

Segundo Tartari (2008), a incorporação de lodo de ETA de 8% em massas cerâmicas não ocasiona trincas e nem deformações pela análise de retração linear, salienta-se que o lodo pode substituir parte da argila.

Tartari (2008) verificou que as argilas toleraram a incorporação de no máximo 8% de lodo. Acima desse valor, ocorreram falhas na estrutura da peça cerâmica, conforme analisadas perante os requisitos técnicos e científicos.

Polido (2010) verificou através do estudo de argamassas com adição do lodo de ETA da cidade de Campo Mourão, redução da resistência mecânica com o aumento da incorporação do lodo na argamassa, evidenciando os valores médios de resistência a compressão entre 2,69 MPa, 1,70 MPa e 1,38 Mpa para as incorporações de 0%, 10% e 20% respectivamente. De acordo com o mesmo autor, a argamassa com adição de 20% de lodo provocou um aumento de 34,7% na relação água/cimento, comparado aos demais traços.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentadas as metodologias empregadas para a realização do presente trabalho.

4.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

O estudo foi realizado na Estação de Tratamento de Água (ETA) de Campo Mourão, que faz captação de 190 litros de água por segundo para tratamento e abastecimento de aproximadamente 87.000 mil habitantes (IBGE, 2010). A ETA é do tipo convencional, onde são realizadas as etapas de correção do pH, coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação. A correção do pH é feita com a adição do Geocálcio e a coagulação pelo reagente Policloreto de Alumínio (PCA).

Os resíduos gerados na ETA são provenientes principalmente da limpeza dos decantadores e filtros, que é realizada três vezes por semana (terça-feira, quinta-feira e sábado). Esses resíduos são descartados em uma lagoa de decantação, sendo que a água sobrenadante retorna ao processo de tratamento e o lodo é lançado ao corpo hídrico mais próximo.

4.2 COLETA E CONFECÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE COLETA DO LODO

Para a realização do experimento, foram montados dois leitos de secagem modificados, os quais foram reaproveitados duas estruturas cilíndricas metálicas perfuradas e um galão cilíndrico de 200 L com três registros de uma polegada. Na montagem do leito de secagem, adaptou-se no interior dos recipientes cilíndricos perfurados à manta geotêxtil da linha Bidim RT com a função de reter os sólidos, a função do galão de 200 L foi a de reservar o lodo (Figura 4).



Figura 4 – Dispositivos do leito de secagem modificado, estrutura metálica (A), dispositivo de armazenamento de lodo (B), dispositivo com manta geotêxtil (C)

A coleta do lodo foi realizada na ETA de Campo Mourão na saída de descarga do decantador com ajuda de uma mangueira presa por flange (Figura 5). Os leitos de secagem modificados e o galão de 200 litros foram completados com lodo de ETA e transportados até o câmpus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O galão com os registros foi apoiado sobre uma bancada de concreto e abaixo dos registros, foram colocados os dois recipientes cilíndricos com a manta geotêxtil. Assim que o lodo era retido na manta geotêxtil, abria-se o registro do galão de reserva.



Figura 5 - Coleta do lodo na saída de descarga do decantador

Após a retenção parcial na manta geotêxtil, o lodo foi transferido para fôrmas metálicas que foram levadas a estufa e mantidas a temperatura de 110° C por 24 h, ocorrendo à evaporação da água, ficando apenas os sólidos.

Assim que as fôrmas foram retiradas da estufa, os sólidos desidratados foram destorroados manualmente em um almofariz com auxílio de um soquete. Em seguida os torrões foram triturados para obter uma granulometria semelhante aos agregados utilizados na argamassa.

4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO LODO

A caracterização do lodo por análises físico-químicas tornou-se necessária para verificação dos limites máximos toleráveis para os diversos parâmetros, antes de serem lançados no ambiente, além de identificar os componentes para o reaproveitamento do resíduo. As amostras foram retiradas da saída de descarga do decantador da ETA de Campo Mourão em quatro frascos pet de 1 L. Com isso, as seguintes análises físico-químicas foram realizadas: pH, turbidez, demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos totais (SST), sólidos totais (ST) e concentração de alumínio.

As análises de pH, turbidez, condutividade, DQO, sólidos suspensos e sólidos totais foram realizadas no laboratório de Saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão, e a análise da concentração de alumínio foi realizada no laboratório Santa Rita no município de Mamborê-PR. As análises foram realizadas no laboratório de saneamento da UTFPR, onde seguiu-se as metodologias do livro *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Eaton et al., 2005).

Os parâmetros pH, turbidez foram realizadas através equipamentos portáteis, o pH foi obtido através o phmetro modelo Del Lab, a turbidez foi identificada através do turbidímetro AP 2.000 Policontrol.

As análises de DQO foram feitas com o lodo líquido bruto e as leituras das absorbâncias foram realizados no espectrofotômetro Hach uv-vis DR 5000, com comprimento de onda em 620 nm.

4.4 DETERMINAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA (MO)

O experimento para determinar a MO foi realizada no laboratório de solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão. Para determinar o teor de matéria orgânica no lodo de ETA, foram seguidos os procedimentos da norma NBR 13600:1996 (ABNT, 1996).

4.4.1 PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

Por quarteamento, selecionou-se a quantidade de 100 g de lodo fino, os quais foram divididos em duas cápsulas de porcelana contendo 50 g. As cápsulas de porcelana com lodo foram transferidas para uma estufa com temperatura de 110°C por 24 horas. Em seguida foram retiradas da estufa e levados ao dessecador contendo sílica a gel, onde permaneceu até atingir temperatura ambiente.

Após atingir a temperatura ambiente, as cápsulas foram pesadas novamente para determinar a massa que restou do conjunto, obtendo a massa "A". A queima total do lodo foi realizada em mufla a temperatura de 445 °C por período de 12 h. Após a calcinação, as cápsulas foram levadas para o dessecador até atingir temperatura ambiente e novamente pesada para obter a massa "B".

Desta forma o teor de matéria orgânica presente no lodo foi determinado pela Equação 1.

$$MO (\%) = (1 - B/A) \times 100 \text{ (Eq. 1)}$$

4.5 IDENTIFICAÇÃO DA GRANULOMETRIA DO LODO

Para a condução da determinação granulométrica foi utilizada a norma NBR 7181:1984 (ABNT, 1984) na qual é prescrito o método para análise por peneiramento ou por combinação de sedimentação e peneiramento. A identificação das partículas presentes no lodo da ETA foi feita com base na NBR 6502:1995 (ABNT, 1995).

O método utilizado na identificação granulométrica foi à técnica de sedimentação e peneiramento. Inicialmente pesou-se 1 kg de lodo seco, o lodo

passou pelo conjunto de peneiras de 4,75 mm, 16 mm, 600 μ m, 425 μ m, 300 μ m, 150 μ m e 75 μ m (Figura 6), sobrando no fundo uma quantidade de lodo, da qual foi realizado o ensaio de granulometria por sedimentação. Cerca de 50 g, foi pesado onde se se anotou como “Mh”. Em seguida, o lodo foi transferido para um béquer e adicionado 124 mL de descoagulante, uma solução de hexametáfosfato com concentração de 45,7 g/L, deixando o material imerso em repouso por 12 h.

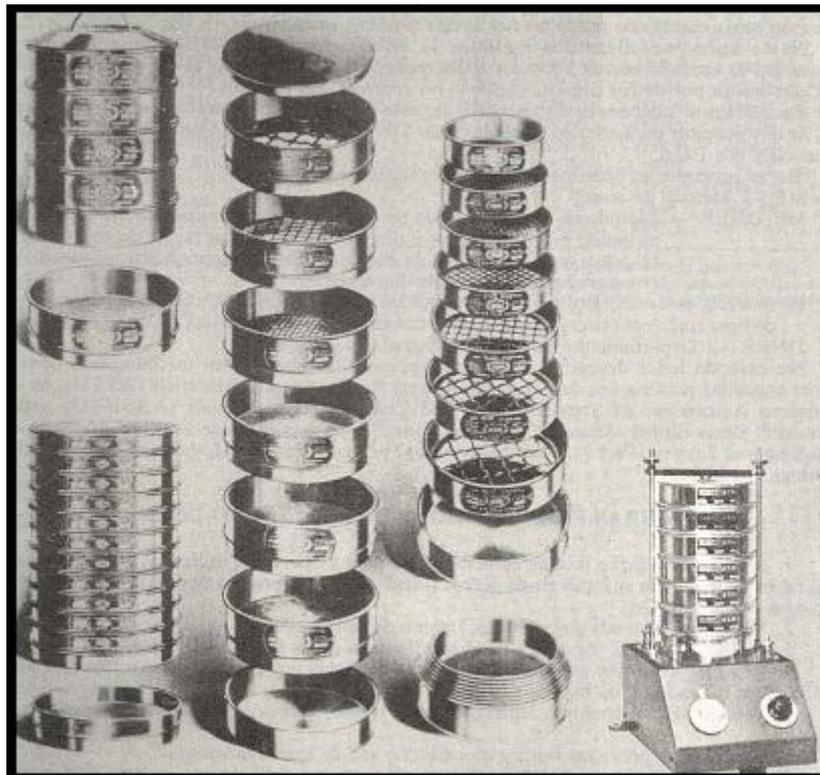


Figura 6 - Série de peneiras, com diferentes diâmetros
Fonte: NBR 3310-1:1997 (ABNT, 1997).

Após o período de repouso, verteu-se o material em um copo de dispersão, submetendo-se a ação do aparelho dispersor por 15 min. Transferiu-se o material em dispersão para uma proveta, juntou-se com água destilada até que atingiu o traço correspondente a 1 L e agitou-se para manter as partículas em suspensão.

Imediatamente ao término da agitação, anotou-se a hora exata do início da sedimentação e mergulhou suavemente o densímetro na dispersão. As leituras ocorreram entre 0, 5 min, 1 min e 2 min, subsequentemente as leituras foram contadas a partir do início da sedimentação em um tempo de 4, 8, 15 e 30 min, uma, duas, quatro, oito e 24 h.

4.6 PREPARO DA ARGAMASSA, CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS (CPs), ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO, ELASTICIDADE E ABSORÇÃO DE ÁGUA

O preparo da argamassa, a confecção dos CPs e a determinação da resistência à compressão, foram feitos com base nos procedimentos descritos na NBR 7215:1996 (ABNT, 1996). A elasticidade foi determinada de acordo com os procedimentos descritos na NBR 8522:2002 (ABNT, 2002) e a determinação da absorção de água por capilaridade na argamassa foi realizada de acordo com a metodologia descrita na NBR 9779:1994 (ABNT, 1994). A incorporação do lodo de ETA na argamassa foi feita em substituição de 5, 10 e 15% da areia.

4.6.1 PREPARO DA ARGAMASSA

Os materiais utilizados no preparo da argamassa foram cal hidratada da marca Solofino, cimento CPV- Ari Portland, areia e água. Os agregados da argamassa estavam estocados em tambores fechados de plásticos para que não houvesse a influência da umidade. O traço utilizado foi de 1:7:2 de cimento, cal e areia, respectivamente.

4.6.1.1 PREPARO DA AMOSTRA BRANCA (0%)

Em uma balança foram pesados separadamente 4.494 g de areia, 548 g de cal e 380 g de cimento, que em seguida foram misturados e levados a uma batedeira, onde se adicionou 800 mL de água, até a homogeneização.

4.6.1.2 PREPARO DA AMOSTRA COM 5, 10 e 15% DE LODO

Para o preparo da argamassa com 5, 10 e 15% de lodo, foram determinadas as massas de areia em comparação com a amostra sem adição do lodo. Desta forma os seguintes cálculos foram realizados para as porcentagens de incorporação do lodo (Eq. 2).

$$\text{Areia retirada (\%)} = 4.494 \text{ g} \times \% \text{ (Eq. 2)}$$

Com as massas determinadas de areia, as argamassas de 5, 10 e 15% de lodo foram preparadas com os mesmos valores de cimento e cal da amostra convencional, alterou apenas os valores das quantidades de areia pela adição do lodo.

A tabela 5 são apresentas as quantidades dos agregados da argamassa com as diferentes porcentagens de incorporação de lodo.

Tabela 5 - Quantidade de materiais da argamassa com diferentes proporções de lodo

Teor de Lodo (%)	0	5	10	15
Materiais (g)				
Cimento	0,380	0,380	0,380	0,380
Cal	0,548	0,548	0,548	0,548
Areia	4.494	4.269	4.050	3.820
Lodo	0	225	450	674
Água	0,800	0,800	0,800	2.300

O preparo da argamassa com 15% de lodo foi necessário acréscimo na quantidade de água de 1.500 mL para a massa homogeneizar.

4.6.2 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS (CPs)

As montagens dos CPs foram feita em moldes metálicos com dimensões de 50 x 100 mm, revestidos com resina desmoldante para facilitar a retirada da argamassa enrijecida (Figura 7).

A introdução da argamassa no molde era feita em quatro camadas, sendo que cada camada era socada com um pilão, com cerca de 30 batidas para diminuição de vazios nos CPs. A cada teor de lodo adicionado (0%, 5%, 10% e 15%) foram confeccionados 12 CPs, totalizando 48 CPs.



Figura 7- Moldes metálicos dos CPs

Após 24 h, os CPs foram desmoldados e levados para uma câmara úmida e imersos em um tanque com água, durante 14 dias. Esse procedimento é chamado de cura da argamassa, que confere maior resistência aos CPs. A cura dos CPs foi conduzida de acordo com a metodologia descrita na NBR 9479:1994(ABNT, 1994).

Para a realização dos ensaios de compressão axial e elasticidade utilizou-se a máquina universal de ensaio EMIC DL 30000 com processamento dos dados no programa computacional TESC (Figura 8).



Figura 8 - Ensaio de compressão axial

O ensaio de absorção de água nos CPs por capilaridade foi realizado de acordo com a metodologia descrita na NBR 9779:1995 (ABNT, 1995). Em uma bacia metálica com uma lâmina da água de 5 mm foram colocados os CPs durante 72 h, os quais foram pesados antes e após serem introduzidos na lâmina da água .

Após 72 h de imersão, os CPs foram submetidos ao ensaio de compressão diametral na máquina de ensaio EMIC DL 30000 (Figura 9), para verificar a altura alcançada pela água em cada CP.



Figura 9 - Ensaio de Compressão diametral

As determinações das massas dos CPs possibilitaram calcular a quantidade de água absorvida por mm^2 de área de CP (Equação 3).

$$C = \frac{A - B}{S} \text{ (Eq.3)}$$

em que:

C = Absorção de água por capilaridade (g/mm^2);

A = Massa do CP que permaneceu em contato com a lâmina d'água (g);

B = Massa do CP seco (g);

S = Área de seção transversal (mm^2).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO LODO

A caracterização do lodo da ETA de Campo Mourão foi realizada de forma a obter um material representativo do resíduo gerado na estação. Na Tabela 6 são apresentadas as principais características do lodo.

Tabela 6 - Parâmetros físico-químicos

Parâmetros	X1	X2	X3	Média
pH	7,67	7,78	7,80	7,75
Turbidez (UNT)	165	115	119	133
*Alumínio (g/Kg)	78,71	---	---	78,71
DQO (mg/L)	1287	787	822	965
SST (mg/L)	8840	5310	6985	7045
ST (mg/L)	9000	8833	9140	8991

X – média das amostras de cada ensaio

*análise de alumínio foi realizada com amostra seca e moída de lodo.

Pela Tabela 6 é possível notar que o pH variou de 7,65 a 7,80 Estes valores estão na faixa descrita por Barroso e Cordeiro (2001), referente à Tabela 1. Observou-se que a turbidez variou de 115 a 133 UNT, valores próximos aos reportados por Meneses et al. (2005) na Tabela 1. Em relação à DQO a variação foi de 787 a 1287 mg/L, valores próximos aos reportados Rosario (2007), observado na Tabela 1.

Ainda na Tabela 6 foi possível notar que os SST variou de 5310 a 8840 mg/L e ST que variou de 8833 a 9140 mg/L. Esses valores estão na faixa descrita Rosario (2007) e Barroso e Cordeiro (2001). Também foi verificado a quantidade de alumínio seco, o qual apresentou 78,71 g/Kg uma fração de 8% para cada quilograma gerado de lodo em um decantador. Observando que o alumínio é um metal acumulativo no organismo, torna-se um teor alto e sua disposição inadequada no ambiente sem um tratamento eficaz, poderá contaminar toda a biota aquática e demais comunidades existentes.

5.2 DETERMINAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA (MO)

Segundo Bueno (2000), a matéria orgânica pode ocasionar possíveis patologias na argamassa, como trincas nos revestimentos e diminuição da resistência a compressão.

Na tabela 7 são mostrados os resultados das variáveis, após 24 h na estufa “A” e 12 h na mufla “B”.

Tabela 7- Variáveis para o cálculo da matéria orgânica

Variável	Massa (g)
A	46,306
B	33,759

O lodo da ETA possui 27% de matéria orgânica. A presença de matéria orgânica influi negativamente na hidratação do cimento (MACÊDO et. al., 2011), isso ficou evidente no presente estudo, constatando que a incorporação de 15% de lodo, necessitou adição de aproximadamente 88% a mais de água na mistura da argamassa. A maior quantidade de água na argamassa acarreta em porosidade na argamassa endurecida, ocasionando fissuras e diminuição da resistência à compressão (POSSER, 2004).

5.3 IDENTIFICAÇÃO DA GRANULOMETRIA DO LODO

Tabela 8 - Umidade contida no lodo

Amostra	Total Seca (g)	Umidade Higroscópica (%)	
Amostra Total Úmida	1.201	Peso Cápsula Nr. 99 (g)	8,01
Retido nr. 10	272	Cápsula e Solo Úmido (g)	14,98
Passando Nr. 10 Úmida	929	Cápsula e Solo Seco (g)	13,28
Água	227	Solo Seco (g)	5,27
Passando Nr. 10 Seca	702	Água (g)	1,70
Amostra Total Seca	974	Umidade Higroscópica (%)	32,26
		Fator de Correção	0,7561

Na Tabela 8 é apresentada a umidade contida no lodo na quantidade de amostra seca, valor retido na peneira nº 10 ou peneira com 2,0 mm, a qual identificou a quantidade de água presente na amostra.

Tabela 9 - Análise granulométrica por peneiramento

Peneiras (Nr)	Massa (g)	Material Retido		% que Passa		Peneiras (mm)
		% Amostra Total	% Acumulada	Amostra Parcial	Amostra Total	
Nr. 16	192	21,99	21,99	78,01	56,23	1,2
Nr. 30	398	45,58	67,57	32,43	23,38	0,6
Nr. 40	64	7,33	74,90	25,10	18,09	0,42
Nr. 50	57	6,53	81,43	18,57	13,39	0,3
Nr. 100	87	9,96	91,39	8,61	6,21	0,15
Nr. 200	75	8,61	100,00	-	-	0,074

Na tabela 9 são apresentados os dados da granulometria por peneiramento, com a quantidade de material retido em cada peneira e as porcentagens de material que passam pelas mesmas.

Tabela 10 - Análise granulométrica por sedimentação

Tempo Decorrido (min)	Leitura Densímetro	Temperatura (°C)	Correção	Leitura Corrigida	Altura de Queda (cm)	% Que Passa Amostra Total	Diâmetros Partículas (mm)
0,5	1,019	20,0	-1,04234	(0,0)	14,58	0,00	0,0674
1,0	1,019	20,0	-0,04234	1,0	14,58	0,13	0,0477
2,0	1,018	20,0	0,95766	2,0	14,58	0,26	0,0337
4,0	1,016	20,0	0,95766	2,0	15,36	0,26	0,0245
8,0	1,012	20,0	3,95766	5,0	15,36	0,65	0,0173
15,0	1,011	19,7	6,23005	7,2	15,36	0,95	0,0126
30,0	1,007	19,7	9,31961	10,3	15,34	1,35	0,0089
60,0	1,006	19,6	10,31961	11,3	15,34	1,49	0,0063
120,0	1,005	19,5	12,86439	13,9	15,33	1,82	0,0045
240,0	1,004	19,5	14,31961	15,3	15,34	2,01	0,0032
480,0	1,003	19,7	16,50244	17,5	15,35	2,30	0,0022
1.440,0	1,003	18,3	23,77112	24,8	15,30	3,25	0,0013

Na Tabela 10 são apresentadas as leituras do densímetro em tempos diferentes, mostrando que com o passar do tempo, as partículas vão se sedimentando, as maiores mais rapidamente e com isto, alterando o peso específico da suspensão ao longo da proveta.

Na tabela 11 é mostrado o resumo final do ensaio granulométrico, apresentando-se em porcentagens o material que constitui o lodo de ETA.

Tabela 11 - Quantidade em porcentagem do material presente no lodo da ETA

Partículas	Quantidade (%)
Areia Grossa (4,8 - 2,0 mm)	22,14
Areia Média (2,0 - 0,42 mm)	54,38
Areia Fina (0,42 - 0,05 mm)	18,23
Silte (0,05 - 0,002 mm)	1,85
Argila (inferior a 0,002mm)	3,40
TOTAL	100

A composição granulométrica do lodo apresentou-se com aproximadamente 95% entre areia grossa, média e fina, demonstrando características semelhantes ao agregado convencional.

Polido (2010) identificou a granulometria do lodo da ETA de Campo Mourão através do método de peneiramento com sedimentação e verificou 10% de argila, 28% de silte, 49% de areia fina, 7% de areia média e 8% de areia grossa.

O resultado da análise granulométrica identificou 64% de areias entre fina, média ou grossa (POLIDO, 2010).

5.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO E ELASTICIDADE

Os ensaios de resistência à compressão e elasticidade foram baseados nas amostras brancas, sem adição do lodo da ETA. Os valores das medidas dos diâmetros ortogonais, altura e área são fundamentais para o cálculo da resistência de cada CPs (Apêndice 1).

O método de ensaio tem por base a metodologia descrita na NBR 7215:1996 (ABNT, 1996), na qual é descrito o procedimento para determinação da resistência à tração por compressão de corpos-de-prova cilíndricos de argamassa e concreto.

Tabela 12 - Resumo do ensaio de resistência mecânica

%	Resistência a compressão (MPa)					Resistência a elasticidade (GPa)				
	N	X	DP	MIN	MÁX	N	X	DP	MIN	MÁX
0	4	2,55	0,01784	2,54	2,57	4	4,984	0,6723	4,60	6,00
5	4	2,39	0,01885	2,39	2,41	4	3,804	0,9524	2,27	5,00
10	4	2,98	0,01175	2,97	2,99	4	2,556	0,0178	3,80	5,10
15	4	1,84	0,00785	1,84	1,86	4	3,333	1,665	2,00	5,20

% = Quantidade de lodo incorporado na argamassa; N = Número de Amostra; DP = Desvio Padrão; Mín = Valor Mínimo Encontrado; Máx = Valor Máximo Encontrado

5.5 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

O ensaio de absorção de água por capilaridade utilizando a máquina universal para compressão diametral não alcançou sucesso, a altura de água absorvida nos CPs não pode ser visualizada, porém, a pesagem de cada CP seco e após 72 horas na lâmina de água, foi possível aferir a quantidade de água absorvida em gramas por área e a porcentagem absorvida de água pela massa do conjunto.

Na tabela 13 são apresentadas as massas dos CPs após serem retirados da estufa após 100 h, até a verificação de constância de massa e apresenta os pesos dos CPs após 72 horas imersos em uma lâmina d'água com 5 (cinco) milímetro, o resultado do cálculo de absorção de água por capilaridade e as porcentagens de aumento de massa de cada CP, que foram ocasionados pela absorção de água são mostradas.

Tabela 13 - Massas dos CPs e absorção de água por capilaridade

INCORPORAÇÃO (%)				
0	Massa seca	Massa umida	C (g/mm ²)	% absorvida
	363,83	410,71		13%
	355,39	401,3		13%
TOTAL			0,0234	13%
5	Massa seca	Massa umida	C (g/mm ²)	% absorvida
	320,96	385,73		20%
	328,88	377,79		15%
TOTAL			0,02858	18%
10	Massa seca	Massa umida	C (g/mm ²)	% absorvida
	347,51	396,64		14%
	341,42	389,61		14%
TOTAL			0,02448	14%
15	Massa seca	Massa umida	C (g/mm ²)	% absorvida
	300,91	359,34		16%
	300,57	360,25		20%
TOTAL			0,02978	18%

Segundo os estudos de Posser (2004), há uma relação entre a absorção de água com a resistência à compressão dos CPs. Com isso, na medida em que aumenta a quantidade absorvida de água pelos CPs, há ocorrência da diminuição da resistência a compressão. Na Tabela 14 são apresentados os resumos dos ensaios de absorção de água e compressão a resistência mecânica e suas restrições de uso.

Tabela 14 - Restrições aos usos referentes às concentrações de lodo na argamassa

Concentrações (%)	Resistência a Compressão (MPa)	Resistência a Elasticidade (GPa)	Absorção de água (%)	Restrições
5	2,39	3,804	18	Uso de impermeabilizante
10	2,98	4,658	14	Uso de impermeabilizante
15	1,84	3,333	18	Não aplicável

Desta forma, no presente estudo pode confirmar a existência da correlação entre absorção de água e resistência a compressão. A incorporação de 10% de lodo na argamassa trouxe uma insignificância na absorção de água comparada a

amostra branca, e conseqüentemente ocorreu uma ótica resistência a compressão, obtendo-se uma média de resistência de aproximadamente 3 (três) MPa.

Os usos de aditivos impermeabilizantes na argamassa são normalmente utilizados para evitar entrada de água proveniente da chuva. Um dos aditivos utilizados na argamassa são os hidrofumegantes, que contém os sais de ácidos graxos, que reagem com o cimento formando uma espécie de cera impermeabilizante (POSSER, 2004). Com isso, o uso da argamassa com aditivos auxiliará nas suas propriedades estruturais.

6 CONCLUSÃO

Os resultados dos experimentos com a incorporação de lodo de ETA em argamassa permitiu concluir que:

As características do lodo gerado na ETA de Campo Mourão apresentou um pH neutro com uma faixa de SST de 7.075 mg/L e o ST com valor médio de 8.957 mg/L, além da alta presença de alumínio, aproximadamente 79 g/kg de lodo, devido ao uso de produtos químicos no tratamento de água, conforme previsto. A análise granulométrica identificou que 95% entre areia grossa, média e fina estão contidas no lodo, o que torna favorável a incorporação na argamassa em substituição da areia.

A incorporação de lodo com concentração de 15% restringe a sua aplicação, principalmente por não ter suportado uma ação suficiente a compressão mecânica, sendo inferior a 2 MPa, além de absorver 5% de água a mais que a argamassa convencional.

A dose incorporada de 5 %, apresentou resistência a compressão e elasticidade superiores a 2 Mpa, porém, a absorção de água foi 5 % a mais que a amostra convencional de argamassa. Para que sua aplicação seja efetiva a necessidade de um aditivo para diminuir a absorção de água ou aplicados em ambientes que contém pouca umidade.

A dose de 10% de lodo na argamassa mostrou-se satisfatório em seus resultados, apresentando-se uma resistência à compressão superior a amostra convencional da argamassa, igualou-se os valores em resistência a elasticidade, porém, ocorreu uma absorção de 1% a mais que a amostra branca, o que pode ser corrigido com uma adição de um aditivo impermeabilizante em seu conjunto, o que geralmente é feito em qualquer circunstancia de preparo.

A utilização do lodo como matéria-prima no preparo da argamassa reduz o consumo de recursos naturais como a areia, cuja extração produz impactos ambientais, outra redução é quantidade de solo lançado de maneira indiscriminada em rios e córregos, ocasionando o assoreamento dos mesmos. Outro fator importante é a enorme quantidade alumínio presente no lodo, o que altera a biota aquática e conseqüentemente a população humana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A.P.V. de; CARVALHO, K. Q. de; PASSIG, F.H. Caracterização quantitativa do lodo gerado na Estação de Tratamento de Água de Campo Mourão, PR. **Revista Técnico-Científica**. Florianópolis, v. 1, n. 1, 2009. Disponível em: < <http://periodicos.ifsc.edu.br/index.php/rtc/article/view/206/149> >. Acesso em: 25 ago. 2012.

AMERICAN WATER WORK ASSOCIATION – AWWA. Research Fundation. **A Water Handbook**. AWWA, Denever. 1999.

AMERICAN WATER WORK ASSOCIATION – AWWA. AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. **Technology Transfer Handbook: Management of Water Treatment Plant Residuals**. New York. 1996.

ANDREOLI, C.V.; FERREIRA, A. C.; CHERUBINI, C.; TELES C.; CARNEIRO C.; FERNADES F. Resíduos sólidos do saneamento: Processamento, reciclagem e disposição final / Cleverson Vitório Andreoli (coordenador). - Rio de Janeiro : RIMA, ABES, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 9479**: Argamassa e concreto - Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecido - Determinação da absorção da água por capilaridade - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 6502**: Rochas e Solos. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 13600**: Solo - Determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440°C. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR ISO 3310-1**. Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 8522**: Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

BARROSO, Marcelo M.; CORDEIRO, João S. Problemática dos Metais nos Resíduos Aerados em Estações de Tratamento de Água. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21. JOAO PESSOA. **Anais...JOÃO PESSOA: ABES, 2001. CD –ROM.**

BARROSO, Marcelo M.; LAGUNA ACHON, Cali.; CORDEIRO, João S. Eficiência do Leito de Drenagem para Desaguamento de Lodo de ETA que Utiliza Sulfato de Alumínio como Coagulante. In: Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 30., 2006, Punta del Este. **Anais eletrônicos....** Disponível em: < http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/uruguay30/BR02264_Barroso.pdf>. Acesso em 10 abr. 2012.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 2008. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, 13 fev. 1998.

BRINK, Nádia C.P.; FREITAS, Juliana G.; FILHO, Sidney S.F. Desaguamento Mecânico de Lodo de Estações de Tratamento de Esgoto em Conjunto com Lodos de Estação de Tratamento de Água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005. Campo Grande. **Anais eletrônicos...** Disponível em: < <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/I-044.pdf>>. Acesso em: 02 mai. 2012.

BUENO, Carlos F. H. Tecnologia de Materiais de Construções. 2000. 40 f. Universidade Federal de Viçosa. 2000. Disponível em: < http://www.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/materiais_contrucao.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2012.

BUENO, Rafael I. da S. Aproveitamento da Areia Gerada em Obra de Desassoreamento – Caso Rio Paraíbuna –SP. 2010. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução 357**: Classificação dos corpos de água. Ministra Marina Silva. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005. 23 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução 430**: Complementa e altera resolução 357. Ministra Izabella Mônica Vieira Teixeira, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2011. 8 p.

CORDEIRO, João S. Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água /Marco Antonio Penalva Reali (coordenador). Rio de Janeiro : ABES, 1999.

CORDEIRO, J. S. Processamento de Lodos de Estação de Tratamento de Água (ETA). In: ANDREOLI, C.V. (coord.) Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final. Rio de Janeiro: RiMa / ABES / PROSAB, 2001. p. 121 – 142.

CORDEIRO, João S. Micro Propriedades de Lodos Gerados em Decantadores de Estação de Tratamento de Água. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE

ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28., 2002, Cancún. **Anais eletrônicos...** Disponível em < <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/iii-014.pdf>>. Acesso: 20 mar. 2012.

COSTA, Álvaro J. C. da. Análise da Viabilidade da Utilização de Lodo de ETA Coagulando com Cloreto de Polialumínio (PAC) Composto com Areia como Agregado Miúdo em Concreto para Recomposição de Calçadas – Estudo de Caso na ETA do Município de Mirassol –SP. 2011. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2011.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela Di Bernardo. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2. ed. v. 2. São Carlos, SP: RiMa, 2005.

EATON, A. D; CLESCERI, L. S; RICE, E. W.; GREENBERG, A. E (Ed). Standart methods for the examination of water and wastewater. 21th ed. Washington: American Public Health Association; American water Works Association; Water Polution Control Federation, 2005.

FERNANDES, P.F.; OLIVEIRA, A.P.N.; HOTZA, D. Reciclagem de Lodo de Estação de Tratamento de Efluente de uma Indústria de Revestimentos Cerâmicos. Parte 1: Ensaios Laboratoriais. **Cerâmica Industrial**, v. 8, n. 2, p. 26-34, mar./abr. 2003.

FERREIRA, Bianca S.; CALIARI, Paulo C. Utilização de lodo de eta na fabricação de tijolos para construção de casas populares. In: Jornada de Iniciação Científica do Cefetes, 3., 2008. Vitória. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://pse.ifes.edu.br/prppg/pesquisa/jornadas/jornada_2007_2008/PIBIC/Engenharias/PIBIC%20-%20ENG%20-%20Paulo%20Cezar%20Caliari%20-%20Bianca%20-%20116%20117.pdf>. Acesso em 06 out. 2012.

FILHO, Carlos F. de M. Abastecimento de Água. 2009. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Abastece.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2012.

FONTANA, Antonio O.; CORDEIRO, João Sergio. Rejeitos de ETA – Solução integrada na ETA Cardoso, SP. 2004. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/fontana.pdf>>. Acesso em: 06 out. 2012.

GRANDIN, S. R.; ALEM SOBRINHO, P.; GARCIA JR., A. D. Desidratação de Lodos Produzidos em Estações de Tratamento de Água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17., 1993, Natal. **Anais...** Natal: ABES, 1993. v.2, p. 324-341.

GUERRA, R.C.; ANGELIS, D.F.D. Classificação e Biodegradação de Lodo de Estações de Tratamento de Água para Descarte em Aterro Sanitário. **Arq. Inst. Biol.** São Paulo, v.72, n.1, p.87-91, jan./mar., 2005.

HOPPEN, Cinthya.; PORTELLA, Kleber F.; ANDREOLI, Cleverson V.; SALES, Almir.; JOUKOSKY, Alex. Estudo de Dosagem para Incorporação de Lodo de ETA em Matriz de Concreto, Como Forma de Disposição Final. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005. Campo Grande. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <[http://www.sanepar.com.br/sanepar/CalandraKBX/filesmng.nsf/C22AAD74368E2D9B832570B500646487/\\$File/I-106.pdf?OpenElement](http://www.sanepar.com.br/sanepar/CalandraKBX/filesmng.nsf/C22AAD74368E2D9B832570B500646487/$File/I-106.pdf?OpenElement)>. Acesso em: 02 mai. 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística – Censo 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 02 jun 2011.

JANUÁRIO, Gladys F.; FILHO, S.S.F. Planejamento e Aspectos Ambientais Envolvidos na Disposição de Lodos das Estações de Tratamento de Água na Região Metropolitana de São Paulo. **Eng. Sanit. Ambient.** Rio de Janeiro, v.12, n.2, abr./jun., 2007.

MACÊDO, A.N.; LIMA, A.M. de.; FONSECA, F. de O.; LAVÔR, B.V. de A. Análise estatística do comportamento mecânico à compressão do compósito cimento – madeira. **Rev. Matéria.** Rio de Janeiro, v.16, n.2, 2011.

MARGEM, J.I.; ALEXANDRE, J.; VIEIRA, C.M.F.; MONTEIRO, S.N. Cerâmica Vermelha Incorporada ao Lodo de ETA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CINÊNCIAS MATERIAIS, 17., 2006. Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/17cbecimat/resumos/17cbecimat-102-036.pdf>>. Acesso em 18 abr. 2012.

MENESES, Ana Carolina L. S. M.; GADELA, Carmem L. M.; MACHADO, Taysa T. V.; ALMEIDA, Tânia M. V.; JUNIOR, Wamberto Raimundo S. Avaliação preliminar dos possíveis impactos do lançamento dos resíduos gerados na ETA de Pedras de Fogo na qualidade da água do riacho avenca/PB. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005. Campo Grande. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/I-120.pdf>>. Acesso em: 06 out. 2012.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 2914 de 2011.** Brasília, 2011.

MORUZZI, Rodrigo B.; FERRARI, Talita N. Incorporação do lodo gerado na Estação de tratamento de água (ETA II) do município de Rio Claro-SP em argila utilizada para a produção de cerâmica vermelha. In: Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais, 4., 2008. Campos Gerais. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://www.4eetcg.uepg.br/oral/21_1.pdf> Acesso em: 06 out. 2012.

NARCIZO, Amanda de M. **Avaliação da Exposição Aguda ao Alumínio e Variações do pH na Expressão de Gonadotropinas em *Oreochromis niloticus* (Teleostei: Cichlidae).** 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

POLIDO, Marciele Aparecida. **Estudo de argamassa com adição do lodo de ETA.** 2010. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Tecnologia em Materiais de Construção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2010.

PORTELA, Kleber F.; ANDREOLI, Cleverson V.; HOPPEN, Cinthya; SALES, Almir; BARON, Orlando. Caracterização físico-química do lodo centrifugado da estação de tratamento de água Passaúna – Curitiba/PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22, 2003, Joinville, SC. **Anais eletrônicos...**Joinville: CBESA, 2003. Disponível em: <http://www.sanepar.com.br/Sanepar/Gecip/Congressos_Seminarios/Lodo_de_agua/Caracterizacao_do_lodo_de_ETA.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2012.

POSSER, Natália D. **Proporcionamento de Argamassa para Reboco de Recuperação.** 2004. 182 f. Monografia (Especialização em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

RICHTER, C.A. **Tratamento de Lodo de Estação de Tratamento de Água.** São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2001.

RIZZATO, Murilo P.; PASSIG, Fernando H.; CARVALHO, Karina K. de.; TREVISAN, Ana P. Avaliação da eficiência de mantas geotexteis no desaguamento do lodo gerado na Estação de Tratamento de Água de Campo Mourão – PR. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, 15, 2010, Cornélio Procópio, PR. **Anais...** Cornélio Procópio, PR: SICITE, 2010. 1 CD-ROM.

ROSARIO, Carlos 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).** 2007. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, 2007.

SABINO, Manuel G.; CARDOSO, Marcílio dos R.; VIEIRA, Juliano R. Desenvolvimento e Avaliação do Desempenho de Leito de Secagem com Manta Geotêxtil Destinado à Desidratação de Lodos de Decantadores de Estações de Tratamento de Água (ETA's) Convencionais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24. 2007. **Anais...** Belo Horizonte: ABES, 2007.

SALES, A.; CORDEIRO, J.S.; PALIARI, J.S.; PORTELA K.F. Utilização de Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água em Argamassas e Concretos de Cimento Portland. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 15. 2002, Natal. **Anais eletrônicos...** Natal: IPEN, 2002. Disponível em <http://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbecimat/2002/arqs_pdf/pdf_100/tc110-110.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2012.

SALES, Almir.; SOUZA, Francis R.de. Concretos e Argamassas Reciclados com Adição Conjunta e Exclusiva de LETAs e RCDs. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CINÊNCIAS MATERIAIS, 17., 2006. Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/17cbecimat/resumos/17Cbecimat-212-017.pdf>>. Acesso em: 02 mai. 2012.

SANTOS, Grazielle Cristina dos. **Avaliação da quantidade de sólidos afluente à Estação de Tratamento de Água de Campo Mourão – PR.** 2007. 13 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação) – Curso de Especialização em Gerenciamento e Auditoria Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2007.

SANEAGO. **Relatórios Operacionais da ETA Jaime Câmara, Sistema Produtor João Leite.** 2007.

SILVA, A. P. da; BIDONE, F. R. A.; MARQUES, D. M. L da M. Avaliação da Lixiviação de Alumínio e da Produção de Ácidos Graxos Voláteis em Reatores Anaeróbios Utilizados para Estudar a Disposição Final de Lodos de ETAs em Aterros Sanitários. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 28., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: AIDIS, 2000.

SILVA, Mauro V. **Desenvolvimento de Tijolos com Incorporação de Cinzas de Carvão e Lodo Provenientes da Estação de Tratamento de Água.** 2011. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) - Programa de Mestrado em Materiais, Universidade de São Paulo, 2011.

TARTARI, Rodrigo. **Incorporação de Lodo Gerado na Estação de Tratamento de Água Tamanduá, como Aditivos em Massas para Cerâmica Vermelha.** 2008. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2008.

TEIXEIRA, S.R.; de SOUZA, S.A.; de SOUZA, N.R.; ALÉSSIO, P.; SANTOS, G.T.A. Efeito da Adição de Lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) nas Propriedades de Material Cerâmico Estrutural. **Cerâmica.** on-line., v.52, n.323, pp. 215-220. 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132006000300016>>. Acesso em: 03 abr. 2012.

TSUTIYA, Milton T.; HIRATA, Angélica Y. Aproveitamento e Disposição Final de Lodos de Estação de Tratamento de Água do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/brasil/i-025.pdf>>. Acesso em: 02 abr. 2012.

TSUTIYA, Milton T.; COMPARINI, João C. **Biossólidos na Agricultura.** 2.ed. São Paulo: SABESP, 2002.

APÊNDICE 1

DIÂMETROS DOS CPs E GRÁFICO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

Nas Tabelas 1, 2, 3, 4 são apresentados os valores das medidas dos diâmetros ortogonais, altura e área, fundamentais para o cálculo da resistência de cada CPs.

Tabela 1 - Dimensões dos CPs sem adição do lodo

CP	*Ø 1 (mm)	*Ø 2 (mm)	Ø Médio (mm)	h (mm)	Área (mm ²)
1	50,5	50,2	50,35	99,5	1991,098
2	50,45	50,35	50,40	102	1995,039
3	50,05	50,05	50,05	98,8	1967,424
4	50,1	50,1	50,10	100,6	1971,357
5	50,7	49,95	50,33	106,05	1989,214
6	50	50,3	50,15	100,15	1975,312
7	50,05	50	50,03	99,55	1965,460
8	50	50,1	50,05	100,55	1967,426
9	50,1	50,25	50,18	101,1	1977,268
10	50,15	50	50,08	99,85	1969,395
11	50,8	50,2	50,50	100,1	2003,032
12	50,45	50	50,23	99,5	1981,246

*Ø 1 = diâmetro superior do CP, *Ø 2 = diâmetro inferior.

Tabela 2 - Dimensões dos CPs de 5%

CP	Ø 1 (mm)	Ø 2 (mm)	Ø Médio (mm)	h (mm)	Área (mm ²)
1	50,2	50,25	50,23	99,85	1982,193
2	50,55	50,35	50,45	100	1995,039
3	50	50,15	50,08	100,2	1972,342
4	50	50	50,00	100,45	1963,495
5	50	50,15	50,08	100,6	1972,342
6	50,15	50,65	50,40	100,95	2004,958
7	50	50	50,00	100	1963,495
8	50,15	50,15	50,15	100,1	1975,294
9	50,55	50,3	50,43	100,65	1992,072
10	50,15	50,1	50,13	100,05	1972,341
11	50,1	50	50,05	99,65	1965,460
12	50,35	50,25	50,30	101	1985,154

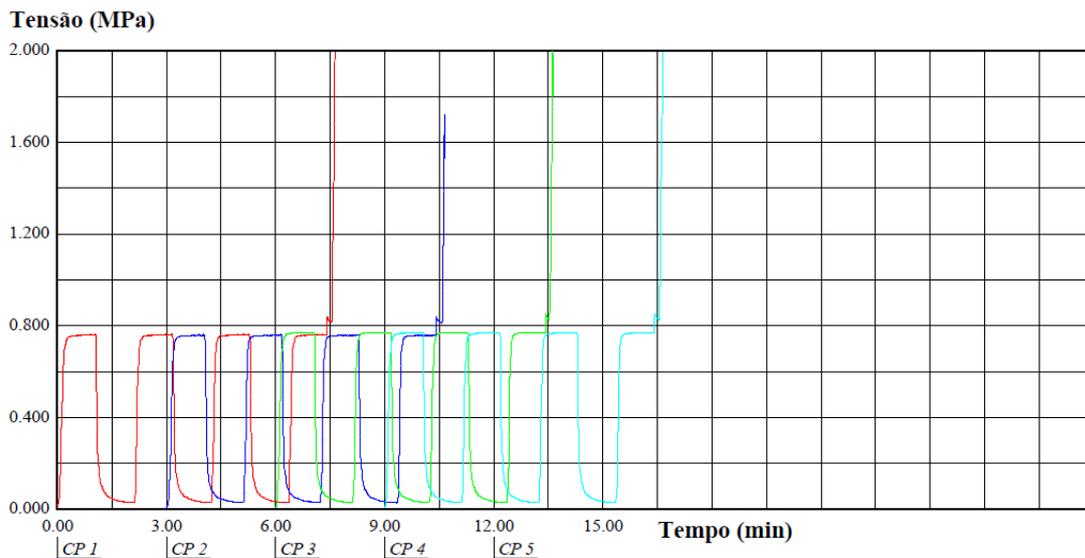
Tabela 3 - Dimensões dos CPs de 10%

CP	Ø 1 (mm)	Ø 2 (mm)	Ø Médio (mm)	h (mm)	Área (mm ²)
1	50,1	50,3	50,20	101	1983,181
2	50,5	50,3	50,40	106,6	1991,083
3	50,25	50,15	50,20	101,1	1977,264
4	50,15	50,2	50,18	102,35	1978,249
5	50,55	50,3	50,43	101,15	1992,072
6	50,25	50,25	50,25	100	1983,179
7	50,25	50,25	50,25	101,35	1983,179
8	50,3	50,25	50,28	100,9	1984,166
9	50,2	49,85	50,03	109	1958,596
10	50,35	50,25	50,30	101,45	1985,154
11	50,4	50,3	50,35	101,05	1989,104
12	50,35	50,25	50,30	100,6	1985,154

Tabela 4 - Medidas dos CPs com 15 % de lodo

CP	Ø 1 (mm)	Ø 2 (mm)	Ø Médio (mm)	h (mm)	Área (mm ²)
1	50,1	50,3	50,20	101	1983,181
2	50,5	50,3	50,40	106,6	1991,083
3	50,25	50,15	50,20	101,1	1977,264
4	50,15	50,2	50,18	102,35	1978,249
5	50,55	50,3	50,43	101,15	1992,072
6	50,25	50,25	50,25	100	1983,179
7	50,25	50,25	50,25	101,35	1983,179
8	50,3	50,25	50,28	100,9	1984,166
9	50,2	49,85	50,03	109	1958,596
10	50,35	50,25	50,30	101,45	1985,154
11	50,4	50,3	50,35	101,05	1989,104
12	50,35	50,25	50,30	100,6	1985,154

Durante a realização dos ensaios de resistência a compressão para amostra sem adição do lodo o CP 2 mostrado na (Figura 1) apresentou erro, porém, foi apresentado um novo CP 3. O gráfico mostra que todos os CP ultrapassaram o limite de 2,00 Mpa.

**Figura 1** – Limites de deformação da argamassa sem adição de lodo

Em relação aos valores obtidos com a argamassa referência, a utilização 5% de lodo de ETA, apresentou uma redução de resistência insignificante aos valores da amostra branca, apresentando uma média de resistência de 2,39 Mpa (Figura 2).

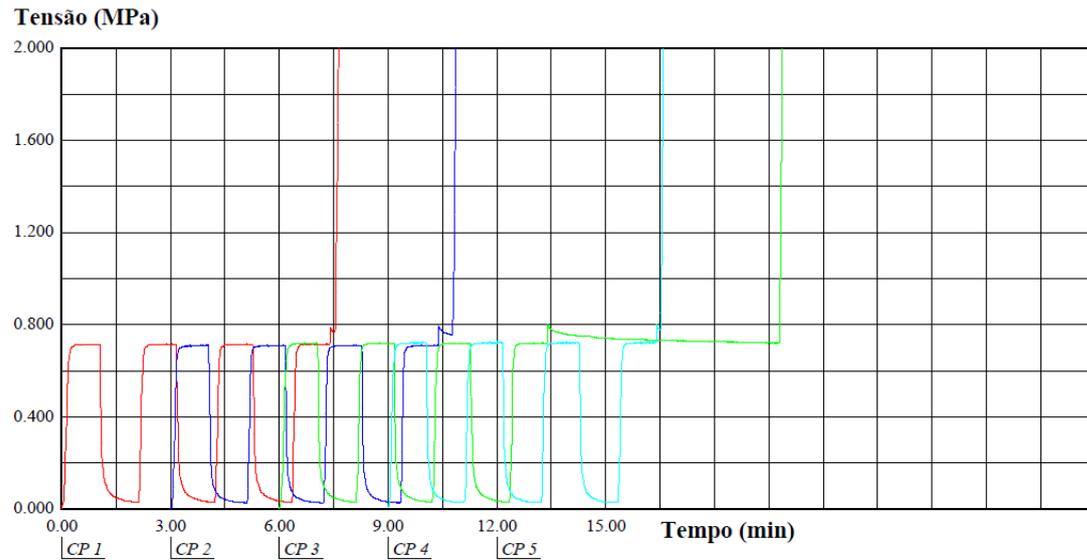


Figura 2 – Limites de deformação da argamassa com adição de lodo de 5%

A substituição de 10% de areia para a incorporação do lodo permitiu um ganho de resistência significativo em relação à argamassa convencional, onde pode ser observado na Figura 3, suportando uma força média de 2,98 MPa.

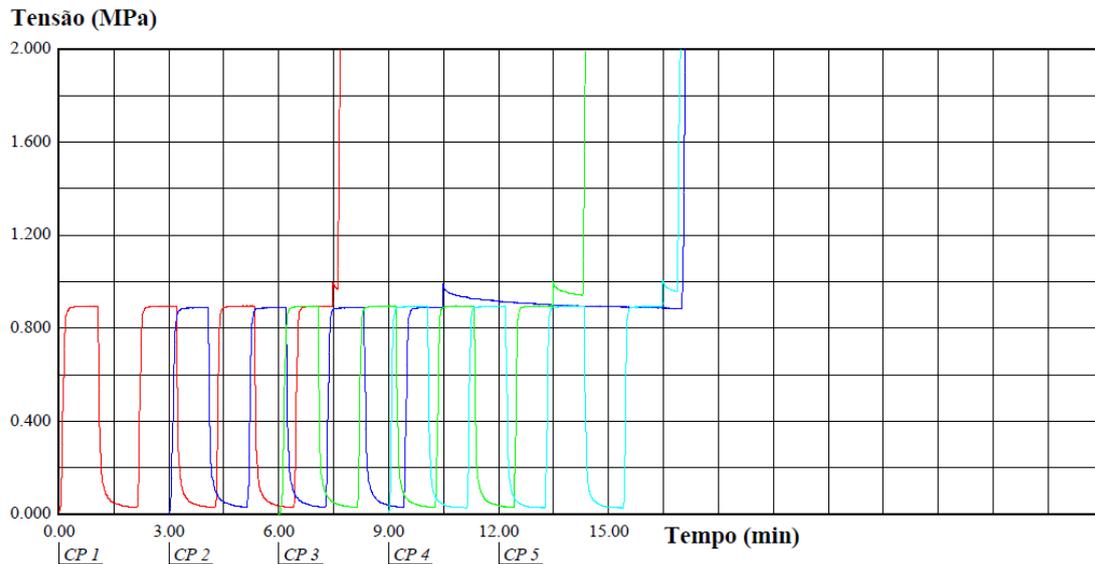


Figura 3 – Limites de deformação da argamassa com adição de lodo de 10%

Em relação aos valores obtidos com a argamassa referência, a utilização de 15% de lodo de ETA, apresentou uma redução de resistência significativa aos valores da amostra branca, as tensões de todos os CP não ultrapassaram os limites de resistência de 2,00 MPa (Figura 4).

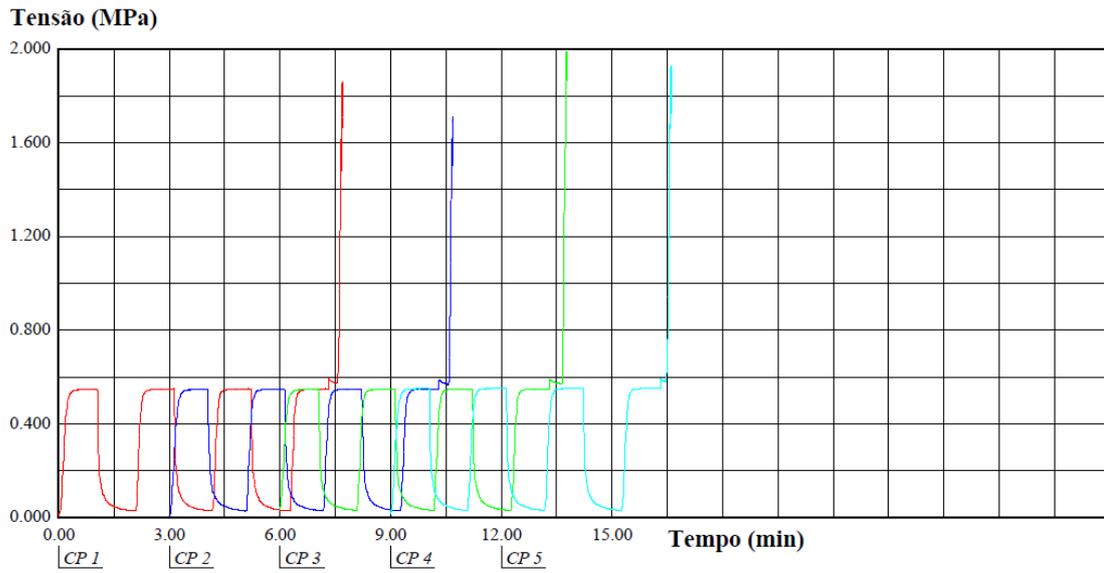


Figura 4 – Limites de deformação da argamassa com adição de lodo de 15%