



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

---

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"  
*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005*

**RODOLFO PEDROSO COSTA**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DO LODO PROVENIENTE DA  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE PALMAS NA RESISTÊNCIA A  
COMPRESSÃO AXIAL DO CONCRETO CONVENCIONAL**

**Palmas - TO  
2015**

RODOLFO PEDROSO COSTA

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DO LODO PROVENIENTE DA  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE PALMAS NA RESISTÊNCIA A  
COMPRESSÃO AXIAL DO CONCRETO CONVENCIONAL

Monografia apresentada como  
requisito da disciplina TCC II do Curso  
de Engenharia Civil, orientado pelo  
Professor Mestre Carlos Spartacus da  
Silva Oliveira.

**Palmas - TO**  
**2015**

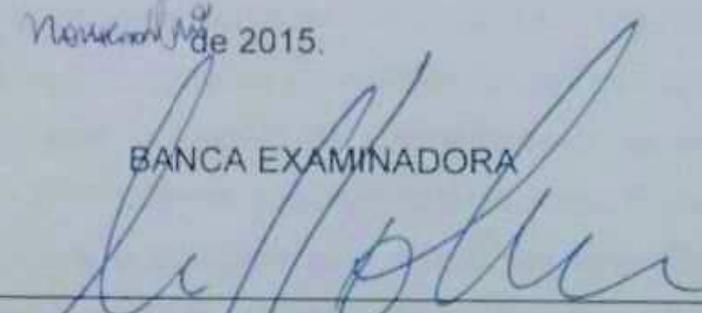
RODOLFO PEDROSO COSTA

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DO LODO PROVENIENTE DA  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE PALMAS NA RESISTÊNCIA A  
COMPRESSÃO AXIAL DO CONCRETO CONVENCIONAL

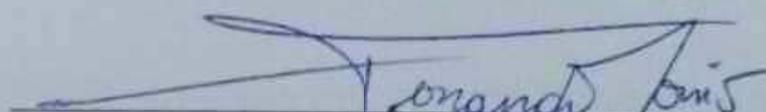
Monografia apresentada como  
requisito da disciplina TCC II do Curso  
de Engenharia Civil, orientado pelo  
Professor Mestre Carlos Spartacus da  
Silva Oliveira.

Aprovada em 06 de Novembro de 2015.

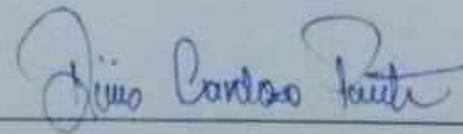
BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Orientador Carlos Spartacus da Silva Oliveira, M. Sc.

Centro Universitário Luterano de Palmas

  
Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Júnior

Centro Universitário Luterano de Palmas

  
Prof. Esp. Dênis Cardoso Parente

Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas - TO  
2015

06/11/2015

COSTA, Rodolfo Pedroso. **Estudo da influência da adição do lodo proveniente da estação de tratamento de água de palmas na resistência a compressão axial do concreto convencional.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas/Universidade Luterana do Brasil – CEULP/ULBRA. Palmas/TO.

## RESUMO

Atualmente o elevado crescimento da construção civil no país tem aumentando a produção e o consumo de concreto, diante deste consumo tão elevado, constantemente novos materiais são testados como adição para concreto visando melhoras em suas características como também dar fim a algum material reciclado ou que seja muito prejudicial ao meio ambiente seu descarte indevido. O presente trabalho apresenta um estudo de aproveitamento do lodo da Estação de Tratamento de Água – ETA 006 em concreto convencional. Foram elaborados três traços, um de referência calculado método de ACI pelo e outros dois com adição de 5 e 10% de lodo em relação a massa do cimento. Para o ensaio de slump teste verificou-se redução da trabalhabilidade com as adições de lodo e para os ensaios de resistência a compressão a adição de lodo não se mostrou eficaz para concretos estruturais. Com isso a adição do lodo seco em estufa pode ser considerada uma alternativa sustentável para o concreto, porém com uma viabilidade técnica restrita quanto a aplicação deste em concreto.

Palavras-chaves: construção civil, concreto, lodo, aproveitamento

COSTA, Rodolfo Pedroso. **Influence of sludge addition from the palms of water treatment in resistance to axial compression of conventional concrete.** 2015. Work Completion of course in Civil Engineering, University Lutheran Center Palmas / Lutheran University of Brazil - CEULP / ULBRA. Palmas / TO

### **ABSTRACT**

Currently the high growth of construction in the country is increasing production and consumption of concrete in front of this very high consumption, constantly new materials are tested as an additive to concrete targeting improvements in their characteristics but also put an end to some recycled material or be very harmful to the environment its improper disposal. This paper presents a sludge utilization study of the Water Treatment Plant - ETA 006 in conventional concrete. They were prepared three dashes, a reference computed by the method of ICA and two with addition of 5 to 10% sludge grating in the mass of cement. For testing slump test there was a reduction of workability with sludge and additions to the compressive strength tests the addition of sludge was not effective for structural concrete. Thus the addition of the dry sludge in a greenhouse can be considered a sustainable alternative to the concrete, however with a restricted viability technique as the application of the concrete.

Keywords: construction, concrete, mud, use

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Lançamentos de forma indevida dos RETAs sem tratamento nos corpos receptores.....	13
Figura 2 - Organismos encontrados em RETAs .....	14
Figura 3- Pirâmides do Egito. ....	18
Figura 4 - Pirâmides do Egito. ....	21
Figura 5 - Localização da ETA.....	25
Figura 6 – Prensa EMIC Capacidade 200 Toneladas.....	27
Figura 7 - Frasco de Chapmam .....	28
Figura 8 - Composição Granulométrica da Areia .....	28
Figura 9 - Picnômetro com brita.....	29
Figura 10 – Lodo sendo preparado para ir para estufa.....	30
Figura 11 - Lodo após secagem na estufa.....	30
Figura 12 - Moagem do Lodo.....	31
Figura 13 – Peneiramento do Lodo.....	32
Figura 14 - Slump Teste .....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de Resíduos resultantes de processos industriais .....	17
Tabela 2 – Traços do Trabalho .....	25
Tabela 3 – Legenda de Nomenclatura dos Traços .....	26
Tabela 4 - Traço de Referência T0 .....	26
Tabela 5 - Resultados do Slump.....	33
Tabela 6 - Valores de abatimento recomendados pelo ACI.....	34
Tabela 7 - Valores de abatimento dos traços estudados e intervalo de abatimento recomendado para peças estruturais. ....	34
Tabela 8 - Resultados de Resistência a compressão .....	36

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	7
2 OBJETIVOS .....	8
3 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO .....	9
4. REFERENCIAL TEÓRICO .....	10
4.1 ETA's	10
4.2 Lodo de estações de tratamento de água.....	12
4.2.1 Impactos ocasionados pelo lodo de ETA.....	13
4.3 Alternativas para disposição do lodo de ETA's.....	15
4.3.1 Cerâmica vermelha.....	15
4.3.2 Concreto .....	16
4.3.3 TRAÇOS DE CONCRETO.....	21
5. METODOLOGIA.....	25
5.1 Materiais .....	27
5.1.1 Cimento.....	27
5.2.1 Areia .....	27
5.3.1. Brita .....	29
5.4.1. Lodo .....	29
6. RESULTADOS .....	33
6.1 Influência do estado Fresco.....	33
6.2 Influência do estado endurecido .....	35
7.CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	38
8. REFERÊNCIAS.....	39

## 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho abordou, dentre os diversos tipos de resíduos urbanos sólidos e líquidos gerados, a possibilidade de aproveitamento do lodo de gerado nas Estações de Tratamento de Água (ETA's).

A definição de destino final para o lodo de uma estação de tratamento de água é uma das tarefas mais difíceis para o administrador do serviço de água, envolvendo custos das tarefas de transporte e restrições do meio ambiente. Há várias opções possíveis de disposição a serem adotadas, dependendo da análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental para cada caso. Diversos estudos vêm sendo conduzidos visando à busca de novas alternativas de destinação desse tipo de resíduos, mas para isto, o lodo precisa ser tratado. Destas alternativas são possíveis citar as seguintes: disposição em aterro sanitário (PROSAB,1999); co-disposição com biossólido (RICHTER,2001); disposição controlada em certos tipos de solos (RICHTER, 2001); utilização em argamassas (RIBEIRO, 2012).

A destinação atual da maior parte dos resíduos gerados de tratamento de água, especificamente o lodo, é incerta e, na maioria das vezes, não sofre o manejo adequado provocando desequilíbrios ambientais e tornando-se fonte potencial de morbidades e mortalidades humanas. O lodo de ETA apresenta, desde que beneficiado por algum processo, potencialidade de ser utilizado como subproduto na Indústria da Construção Civil.

As atividades humanas geram resíduos. Ainda nos períodos mais remotos da antiguidade onde a organização social da humanidade era nômade, já se gerava resíduos.

Segundo Geyer (2001), com o desenvolvimento social do homem e principalmente após a revolução industrial, a produção de resíduos passou a ser padrão de medida do desenvolvimento econômico das comunidades.

## 2 OBJETIVOS

### - Objetivo Geral

- Estudar a influência da adição do lodo de Estação de Tratamento de Água – ETA na resistência a compressão do concreto convencional

### - Objetivos Específicos

- Determinar os teores de adição de lodo para utilização no concreto convencional;
- Avaliar a influência da adição do lodo de ETA na trabalhabilidade do concreto convencional através do ensaio de slump teste;
- Analisar a influência da adição do lodo de ETA na resistência do concreto convencional através do ensaio de compressão simples;
- Avaliar a utilização para concretos com e sem fins estruturais;
- Viabilidade dessa utilização;

### 3 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

Os resíduos das estações de tratamento de água têm a característica de possuírem grande umidade, acima de 95%, estando normalmente na forma fluida. Tais dejetos geralmente possuem concentrações de sólidos acima de 2,5%, o que pode acarretar em alterações significativas nessas águas (ACHON; SOARES; MEGDA, 2005, p.1). Contudo, mesmo com a proporção de líquido ser maior do que a de sólido, na NBR 10004 (2004) o RETA é classificado como resíduo sólido.

Tal característica não permite o seu lançamento in natura em águas superficiais, devido às concentrações desse despejo, o qual provoca a degradação da qualidade ambiental e das condições estéticas.

Lançar indiscriminadamente, direta ou indiretamente, RETAs nos corpos de água, ocasiona aumento da concentração de metais tóxicos no sedimento, limitação da luminosidade do meio líquido devido ao aumento da concentração de SST – cuja ocorrência afeta a reprodutibilidade da biota em geral –, limita ou até impede o uso do corpo receptor como manancial de abastecimento de comunidades situadas à jusante, além de haver compostos orgânicos tóxicos provenientes do tratamento da água (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2012, p.2).

A disposição final dos resíduos sólidos domésticos pode ocasionar um grave problema ambiental, pois ao promover-se o saneamento básico, e com isso, a saúde pública, geram-se concomitantemente, no processo, compostos indesejáveis com alta carga poluidora e patogênica.

Tendo em vista os problemas do descarte incorreto ou indevido dos resíduos das Estações de tratamento de Água (ETA's), o presente trabalho teve como objeto de estudo testar a eficiência da destinação do lodo de ETA para aplicação em concreto convencional.

A destinação atual da maior parte destes resíduos sólidos e líquidos urbanos (lixos, resíduos de Estações de Tratamento de água e de tratamentos industriais) é incerta e, na maioria das vezes, não sofre o manejo adequado provocando grandes desequilíbrios ambientais, além de se tornarem fontes potenciais de morbidades e mortalidades humanas.

## 4. REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 ETA's

Segundo DI BERNARDO, (2003) as estações de tratamento de água captam água de rios, realizam tratamento adequado e a distribuem sob forma de água potável aos centros de consumo humano. Os processos utilizados nestas estações são, regra geral, os seguintes:

- Oxidação
- Coagulação
- Floculação
- Decantação
- Filtração
- Desinfecção
- Estabilização do pH
- Fluoretação

Na oxidação é injetado cloro na água bruta captada para oxidar os metais presentes dissolvidos, principalmente o ferro e o manganês. Na coagulação adiciona-se cal para manter o pH no nível adequado e logo após sais de alumínio ou sais de ferro como coagulante primário para formar os flocos de impurezas. Em contato com a água este coagulante reage quase que instantaneamente, promovendo uma reação de hidrólise, resultando na formação de determinados compostos que irão, juntamente com as impurezas presentes, constituir os flocos, que serão separados posteriormente nas unidades de decantação e filtração. (DI BERNARDO,2003)

Na floculação a água é misturada em tanques, com flocos de impurezas maiores iniciando-se a fase de decantação. Após a decantação a água passa por filtros com antracito, areia e cascalho retendo as impurezas que não foram sedimentadas nas etapas anteriores. Essas impurezas retiradas da água originárias principalmente dos decantadores e das águas de lavagem dos filtros são denominadas de lodo de estação de tratamento de água –lodo de ETA-. As características dessas impurezas dependem das condições da água bruta retirada

do manancial, dosagens e produtos químicos utilizados e a forma de limpeza dos filtros dos decantadores. (DI BERNARDO,2003)

A lagoa de lodo é o local de disposição do lodo após sua retirada dos decantadores e a seguir é enviado aos leitos de secagem onde a água livre é drenada podendo, dependendo da estação de tratamento, ser retornada ao sistema de tratamento.

Boa parte das estações de tratamento de água realizam as limpezas periódicas, em média uma vez por mês, manualmente, ou seja, esvaziando o decantador e lavando o fundo. Temos então a seguinte sequência de tratamento da água em uma ETA: coagulação – floculação – sedimentação – filtração – retirada do lodo – fluoretação.

Segundo Nuvolari et al. (2003), já nos tempos mais remotos, desde o início dos assentamentos humanos em cidades, a coleta de esgoto sanitário era uma preocupação daquelas civilizações. Em 3750 a.C., construíram-se galerias de esgotos em Nipur e na Babilônia. Além disso, em 3100 a.C. houve o emprego de manilhas cerâmicas para essa finalidade.

Na Roma Imperial eram feitas ligações diretas das casas até os canais de coleta de esgoto. Esta cidade destacou-se pela construção das obras mais importantes referentes ao saneamento: a Cloaca Máxima de Roma, que tinha como função, receber os esgotos provenientes das construções (FONTES, 2003).

Atualmente existem três rotas que têm sido utilizadas, ou pelo menos estudadas, nestes últimos anos com relação à problemática de resíduos sólidos industriais. A primeira rota utilizada tem sido o processamento e disposição dos resíduos em aterros. Porém essas operações apresentam custos cada vez maiores. Além disso, os locais para disposição de resíduos sólidos têm diminuído, seja pelo esgotamento de sua capacidade de armazenagem, seja pela dificuldade de obter permissão para implantação de novos aterros, ou pela pressão das comunidades locais. Dessa forma, uma segunda rota tem sido estudada – evitar a geração de resíduos sólidos e/ou minimizá-los no processo de origem. A terceira rota, a reciclagem externa, tem sido a melhor solução para reduzir os custos, e talvez até gerar algum retorno financeiro para a empresa quando transforma esse resíduo num sub produto ou seja, alguns resíduos sólidos industriais podem ser utilizados como matéria-prima para fabricação de matérias usados na construção civil (Nuvolari, 2003).

É um processo físico ou químico no qual partículas menores de lodo se unem a partículas maiores formando agregados com dimensões superiores a estas partículas. O condicionamento do lodo pode ser realizado através da utilização de polímeros orgânicos, produtos químicos inorgânicos ou de tratamento térmico (ANDREOLI et al., 2001).

Os polímeros orgânicos podem ser classificados em neutros, catiônicos e aniônicos do ponto de vista das cargas de superfície. Destes, os polímeros catiônicos são os mais utilizados no condicionamento dos lodos pelo fato do lodo possuir cargas elétricas predominantemente negativas. Os produtos químicos inorgânicos são utilizados principalmente quando a etapa posterior (desidratação) é realizada por filtro a vácuo ou filtro de pressão. Atualmente, outro tipo de produtos inorgânicos vem sendo utilizados para o condicionamento de lodos: resíduos de alto forno de cimento e de cal, carvão pulverizado e cinza de incineradores (ANDREOLI et al., 2001).

#### **4.2 Lodo de estações de tratamento de água**

Tal qual em uma indústria, na ETA também existe uma matéria-prima, no caso a água bruta, sendo esta trabalhada através de diversos processos e operações para se chegar ao produto acabado, neste caso a água potável, acompanhada da geração de resíduos.

De acordo com Cordeiro apud Silveira (2012, p.26) no Brasil os sistemas de tratamento de água sempre foram destinados para produzir água com qualidade necessária para atendimento aos padrões do Ministério da Saúde, e praticamente inexistindo o foco em averiguar características qualitativas e quantitativas, bem como os possíveis impactos ambientais e a forma como devem ser tratados e disponibilizados os RETAs.

#### 4.2.1 Impactos ocasionados pelo lodo de ETA

De acordo com Di Bernardo, Dantas e Voltan (2012, p.2) o lançamento de forma indiscriminada do RETA, conforme demonstrado na figura 14, nos corpos d'água ocasiona um aumento da concentração de metais tóxicos no sedimento – os quais se encontram presentes em certos trechos do corpo receptor –, ocasiona também a limitação da luminosidade do meio líquido devido ao crescimento da concentração de SST – interferindo na reprodutibilidade da biota em geral.

**Figura 1 - Lançamentos de forma indevida dos RETAs sem tratamento nos corpos receptores**



Fonte: DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2012, p.2

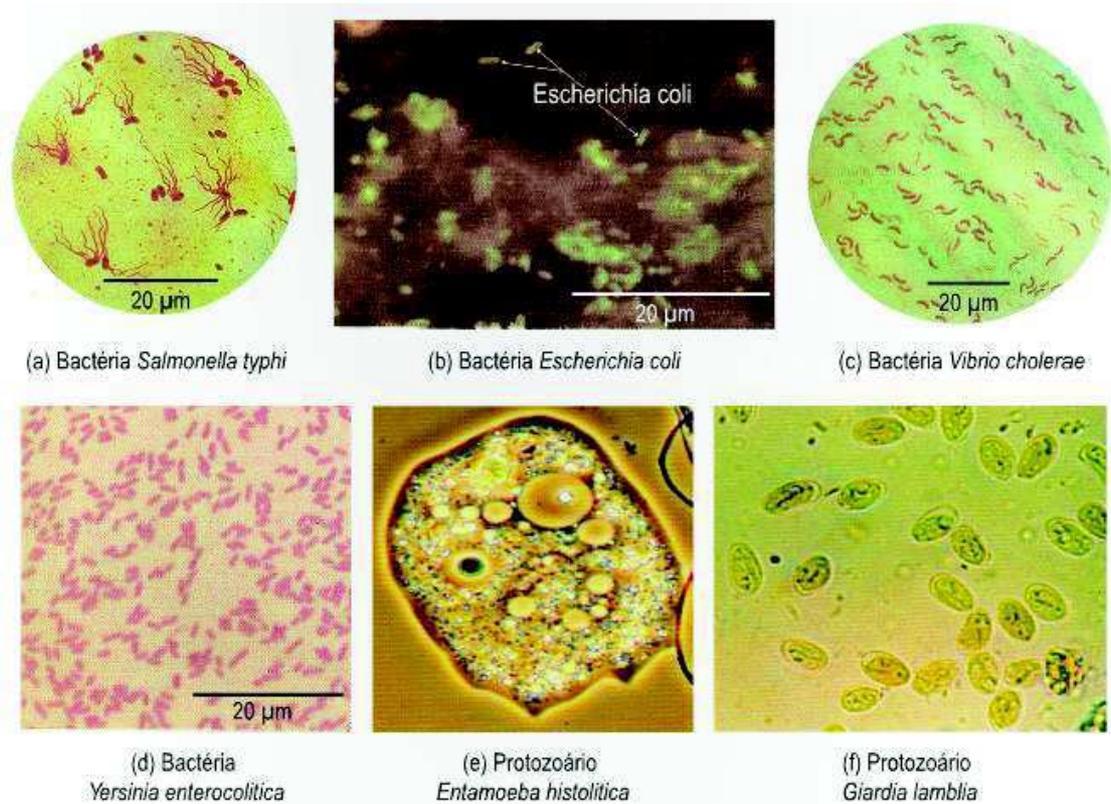
Normalmente, limita ou até impede o uso do corpo receptor como fonte de dessedentação de animais ou como manancial de abastecimento de comunidades localizadas à jusante, além da presença de compostos orgânicos tóxicos retirados ou criados na ETA (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2012, p.2).

Na mesma linha, Achon, Megda e Soares apud Silveira (2012, p.35) informam que, dentre os impactos mais relevantes deste resíduo num corpo d'água, ressalta-

se a redução da concentração de oxigênio dissolvido, mortalidade da comunidade bentônica de invertebrados, redução do volume útil do rio, problemas renais e cardiovasculares no homem. Além disso, elevação na concentração de sólidos, turbidez, cor aparente, alteração de pH etc.

É importante ressaltar que, os resíduos de ETA possuem elevada presença e considerável diversificação de organismos patogênicos (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2012, p.2). Esta situação é ilustrada na figura 15, demonstrando alguns organismos encontrados no lodo.

**Figura 2 - Organismos encontrados em RETAs**



Fonte: DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2012, p.3

Segundo Achon, Megda e Soares e Barbosa apud Silveira (2012, p.37) os impactos do lançamento indiscriminado do lodo sem tratamento está associado principalmente à grande concentração de metais, com mais relevância Alumínio e Ferro, os quais no momento da exposição ao corpo d'água com baixa velocidade de escoamento afeta a camada bentônica dos rios, assoreia o corpo receptor, e acarreta em alterações da cor, da composição química e da biota envolvida.

### **4.3 Alternativas para disposição do lodo de ETA's**

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, aterros sanitários e incorporação do lodo em materiais para a construção civil (COSTA, 2011).

Como já mencionado anteriormente, existe uma preocupação crescente com relação à disposição do lodo de ETAs, em decorrência da ampliação dos sistemas de tratamento e das leis ambientais, que a cada dia tornam-se mais exigentes. Por apresentar em sua composição germes patogênicos, metais pesados e outros compostos tóxicos, mesmo após o processo de tratamento. Este resíduo quando disposto de maneira inadequada, pode trazer danos ao meio ambiente e a saúde humana.

Atualmente, existem várias formas de disposição do lodo gerado nas estações de tratamento de água. Nesta pesquisa, serão comentadas duas maneiras de disposição final do lodo de ETAs além dessas duas existem hoje algumas alternativas de destinação final para este lodo sendo estas elas: aterro sanitário, uso agrícola, landfarming, recuperação de áreas degradadas, incineração e disposição oceânica e cerâmica vermelha.

Na construção civil o lodo de ETA é mais utilizado na fabricação de cerâmica vermelha.

#### **4.3.1 Cerâmica vermelha**

A reutilização dos resíduos de ETA pode ser realizada com a incorporação de lodo em matriz de cerâmica vermelha. Através desta mistura confecciona-se corpos de prova para realização de diversos ensaios, com o objetivo de estabelecer misturas que possibilitem a reutilização deste lodo na matriz de blocos cerâmicos para a indústria da construção civil.

Esta possibilidade pode viabilizar a reutilização destes resíduos, resolvendo um problema de descarte em área da estação de tratamento, diminuindo as atividades extrativas de argila, que na maioria dos casos causa danos ambientais,

por não envolver por parte das empresas de blocos cerâmicos projetos de recuperação de áreas.

No Brasil há enormes jazidas de argilas, com importância em diversas áreas, principalmente na indústria de cerâmica vermelha. Este tipo de indústria abrange a fabricação de produtos à base de argilas. Produtos tais como, tijolos, blocos cerâmicos, lajotas e telhas são destinados à indústria de construção civil, compreendendo hoje cerca de 13.000 pequenas e médias unidades produtivas dispersas em todo o país.

Diversos são os estudos que visam a utilização de cerâmica vermelha como matriz para adicionar resíduos, evitando sua disposição em meio ambiente. Podem-se citar alguns que são:

- Utilização de pó de aciaria em massa de cerâmica vermelha
- Obtenção de cerâmicas porosas com a incorporação de produtos orgânicos ao corpo cerâmico
- Reciclagem do lodo da Estação de tratamento de efluentes de uma Indústria de Revestimentos Cerâmicos.
- Incorporação de resíduos sólidos galvânicos em massa de cerâmica vermelha.
- Tratamento de lodo rico em alumínio através de reciclagem.
- Reciclagem de resíduos provenientes do setor petrolífero com massas argilosas e comportamento de sinterização.
- Reaproveitamento de resíduo sólido proveniente do setor siderúrgico em cerâmica vermelha.

#### 4.3.2 Concreto

A indústria da construção civil tem procurado aproveitar vários resíduos que desenvolvem reações pozolânicas quando adicionados ao cimento. Dentre os vários resíduos disponíveis, os mais utilizados são a cinza volante, a escória de alto forno e a sílica ativa (MEHTA & MONTEIRO, 1994). Estudos também vêm sendo realizados com a cinza da casca de arroz e do bagaço da cana de açúcar (CORDEIRO et al., 2003) e com argilas calcinadas (GONÇALVES, 2003).

A destinação atual da maior parte dos subprodutos gerados em tratamento de água, especificamente o lodo, é incerta e, na maioria das vezes, não sofre o manejo adequado provocando desequilíbrios ambientais e tornando-se fonte potencial de

morbidades e mortalidades humanas. O lodo de ETA apresenta, desde que beneficiado por algum processo, potencialidade de ser utilizado como subproduto na Indústria da Construção Civil (GONÇALVES, 2003).

A Tabela 1 descreve alguns setores industriais e seus principais resíduos que podem ser usados para a fabricação de argamassa ou concreto.

**Tabela 1 - Tipos de Resíduos resultantes de processos industriais**

<b>Indústria</b>	<b>Resíduo Gerado</b>
Termoelétrica	Cinzas Volantes e Cinzas Pesadas
Alimentícia	Casca de arroz
Metalúrgica	Areia de Fundição, Escória de Cobre e Escória de Aciaria Elétrica de Auto-forno
Têxtil	Lodo Têxtil

Fonte: Cruz, (2002)

Conforme descrito por Mehta; Monteiro (1994), o concreto é um dos materiais de construção mais antigos. No Egito já se empregava a argamassa de concreto na construção das estruturas das pirâmides e das sepulturas onde a mesma servia como material responsável pela junção das peças. O concreto é um material que ao longo do tempo apresenta variações significativas de suas propriedades. Variações das quais apresentam velocidades individualizadas ao longo da vida.

No concreto a máxima resistência é alcançada com uma pasta de cimento simples, contudo devido ao auto custo do cimento, faz se a junção de outros materiais, chamados de agregados, em que, para uma dada resistência e uma dada consistência, há uma distribuição granulométrica ótima (combinação de agregado miúdo/gráudo) que minimiza a quantidade de pasta. Seu desempenho independe

das propriedades das matérias-primas, e sim das quantidades combinadas e empregadas na sua composição e produção (ISAIA, 2011).

As características do concreto dependem do seu estado físico. No seu estado fresco, um atributo importante é a trabalhabilidade, responsável por facilitar sua aplicação. Já no estado endurecido, a durabilidade, permeabilidade e, principalmente, a resistência são suas principais características.

**Figura 3- Pirâmides do Egito.**



Fonte: Site [www.historiadomundo.com.br](http://www.historiadomundo.com.br)

#### 4.3.2.1 Agregados

##### **4.3.2.1.2 Definição**

Material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula (inerte), constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos (NEVILLE,1997). .

##### **4.3.2.1.3 Origem**

Os naturais de densidade média: serão encontrados na natureza já fragmentados sob a forma particulada de agregado: areias de barranco, mina, rios, dunas, e mar, seixos rolados ou pedregulhos extraídos das jazidas de rios, mar ou das jazidas de solo pedregulhoso (NEVILLE,1997). .

Os naturais de densidade leve: inorgânicos celular granulados constituídos da matéria prima por fontes naturais como: pedras pomes, escória vulcânicas ou tufo.

Nota: os agregados pesados não são encontrados na natureza já fragmentados.

Os artificiais de densidade média: são aqueles que a matéria prima necessita ser triturada, trabalhada enfim beneficiada de alguma maneira para chegar a forma das partículas dos agregados miúdos e graúdos em condições apropriadas para utilização em concreto normal. Os mais conhecidos são formados através da moagem a britagem de rocha estáveis (NEVES, 2009).

#### **4.3.2.1.4 Dimensões**

Quanto a dimensões, os agregados são classificados em dois grupos. Os miúdos: areias; os graúdos: seixo rolado, cascalho, britas, conforme estabelecidas especificações da ABNT- NBR- 7211 (2009) e 9935 (2011).

Os agregados inorgânicos leves, celular granulado, segundo as especificações Brasileira, encontra-se em dois grupos: o grupo I, os miúdos cujos grãos passam pelo menos 98% na peneira de 4,8mm. No grupo II, os graúdos cujos grãos passam pelo menos 90% na peneira de 12,5mm, conforme os limites estabelecidos através da ABNT- NBR- 7213 (2013).

Os agregados miúdos de densidade leve, média ou alta são: a areia de origem natural ou artificial resultante do esmagamento a moagem de vermiculita expandida, rochas estáveis, minério de bário além de outros ou a mistura de todos, cujos grãos passam pelo menos 95% na peneira 4,8 mm conforme NBR-5734 (1989), a melhor definição é apresentada nas faixas dos limites granulométricos estabelecidos para agregados miúdos: areia muito fina, fina, media ou grossa, conforme as especificações da ABNT-NBR- 7211 (2009) para agregado normal e pesado, quanto aos agregados leve, conforme os limites estabelecidos através da NBR-7213 (NEVES, 2009).

#### **4.3.2.1.5 Obtenção dos agregados graúdo naturais**

Pedregulho, seixo rolado ou cascalhado são nomes que poderão ser dados ao agregado graúdo de origem natural médio, que pode ser encontrado na natureza em jazidas de rio formadas no leito, no fundo ou nas margens dos rios, ou nas

jazidas de solo, pedregulhos e arenosos na superfície, ou em maior profundidade do terreno. Este tipo de jazida é muito comum nas regiões de cerrados e desertos. Poderá obter cascalho de boa textura, resistente ao desgaste, mas, exige uma atenção especial com o teor de argila que o material poderá trazer na superfície das partículas (NEVILLE, 1997).

O fato é que os materiais encontrados, tanto na jazida de rio como na jazida de solo, é retirado da natureza sem sofrer processo de beneficiamento que altere suas características, porque ele já vem fragmentado isto é, com as suas partículas definidas. O material extraído através da jazida do rio, em alguns casos não necessita passar por tratamento, processo de lavagem, apenas a classificação de tamanho. Quanto ao extraído através da jazida do solo, geralmente precisa passar por um processo mais energético de lavagem para retirar o teor de argila, pó e outras impurezas existentes que vêm envolvidas nas partículas dos grãos. Todos os agregados, sem exceção, antes da utilização deverão ser analisados em laboratório e submetidos à classificação dos limites estabelecidos conforme as especificações da NBR – 7211 (2009).

Os agregados graúdos de altas densidades (pesados) não são encontrados na natureza prontos para ser usados. Ao alcance do nosso conhecimento até o momento constatamos que todos os citados necessitaram de beneficiamento para serem utilizados em concreto. Assim sendo, não temos conhecimento de alguma publicação a respeito (NEVES, 2009).

#### ***4.3.2.1.6 Propriedades dos agregados de densidade normal***

Os agregados naturais de densidade média têm forma de grãos cuboides de superfície arredondada e lisa, apresentam baixos teores de absorção de água ótima trabalhabilidade, em virtude da falta de aspereza e rugosidade dos grãos, se não tomar certos cuidados na dosagem, no manuseio e lançamento, poderá apresentar problemas de aderência na pasta de cimento de água (NEVES, 2009).

#### ***4.3.2.2 História do Cimento***

A palavra cimento deriva do latim caementum, que significa união. O cimento pode ser definido como um aglomerante hidráulico constituído de óxidos (cálcio, silício, ferro e alumínio) que em contato com a água tem a capacidade de endurecer.

A ASTM C 150 define Cimento Portland como um aglomerante hidráulico produzido pela moagem do clínquer, que consiste essencialmente de silicatos de cálcio hidráulicos, usualmente com uma ou mais formas de sulfatos de cálcio como um produto de adição.

Uma das mais antigas, ou talvez as mais antigas, evidências de uso de cimento se encontra nas pirâmides do Antigo Egito (figura 1). Nesta época eles produziam uma liga formada por uma mistura de gesso calcinado. Mais adiante, os romanos e os gregos começaram a utilizar um material obtido da queima de um gesso composto de calcário e cinzas vulcânicas, e este era misturado com areia e cacos de telhas. Essa argamassa foi utilizada em construções que existem até os dias atuais.

**Figura 4 - Pirâmides do Egito.**



Fonte: Site [www.historiadomundo.com.br](http://www.historiadomundo.com.br)

### 4.3.3 TRAÇOS DE CONCRETO

#### **4.3.3.1 Definições**

O traço é a proporção dos materiais que compõe o concreto ou a argamassa. O traço pode ser classificado em 3 (três) diferentes tipos:

- Traço em massa: é quando as proporções estão associadas à massa dos materiais;

- Traço em volume: é quando as proporções estão associadas ao volume dos materiais;

- Traço misto: é quando a quantidade de um material é fornecida em massa enquanto os demais materiais são fornecidos em volume.

Quando utilizar cada tipo de traço:

#### **4.3.3.1.1 Traço em massa**

Vantagem: O traço em massa proporciona uma maior precisão na determinação das quantidades de materiais.

Quando utilizar: É indicado para obras que necessitam de um controle mais rigoroso da dosagem do concreto. De acordo com a NBR 12655(1996), deve-se utilizar esse tipo de traço para concretos acima da classe C25 (25 MPa).

Desvantagem: São necessários equipamentos de pesagem materiais, o que não é comum na grande maioria das obras.

Onde é utilizado: Usinas de concretagens, obras de grande porte e laboratórios técnicos.

#### **4.3.3.1.2 Traço em volume**

Vantagem: O traço em volume proporciona uma maior facilidade na determinação das quantidades dos materiais.

Quando utilizar: Não é indicado para a dosagem de concreto com fins estruturais. A NBR 12655(1996) não permite quantificar o cimento em volume.

Desvantagem: A imprecisão nas medidas de volume pode levar a um maior gasto de cimento ou a um concreto com menor resistência que a necessária.

Onde é utilizado: Deve ser usado somente em casos de emergência ou em locais de pouca importância.

#### **4.3.3.1.3 Traço misto**

Vantagem: O traço misto proporciona uma maior precisão na determinação da quantidade de cimento, mas os agregados continuam sendo determinados por meio de volumes.

Quando utilizar: A NBR 12655(1996) permite utilizar esse tipo de traço para concreto até a classe C25, desde que sejam tomados alguns cuidados na determinação dos volumes de agregados.

Desvantagem: A imprecisão nas medidas dos volumes dos agregados pode levar a um maior gasto de cimento ou a um concreto com menor resistência que a necessária. Para algumas situações é necessário a existência de balanças com capacidade e precisão necessárias para a conversão de massa para volume de agregados.

Onde é utilizado: É o traço usual na maioria das obras.

#### **4.3.3.2 Propriedades importantes dos materiais**

##### **4.3.3.2.1 Massa específica**

Dá-se o nome de massa específica de um material granular ou pulverulento (pó) à massa deste em relação ao volume das partículas sólidas (volume dos grãos, dos cheios ou volume real), sem contar os vazios, isto é, da unidade de volume deste material compactado.

Normas:

- NBR 9776– Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman

- NBR 9937– Agregados - Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo

- NBR 6474 - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica - método de ensaio

##### **4.3.3.2.2 Massa unitária**

A massa unitária é definida como a massa pelo volume do material granular ou pulverulento (pó), considerando-se os vazios. Designa-se por “ $\delta$ ” e deve ser menor que “ $\gamma$ ” do mesmo material, pois o volume é maior. É utilizado para transformações de medidas de materiais de volume para massa e vice-versa.

Normas:

- NBR 7251– Agregado no estado solto - Determinação da massa unitária
- Não existem normas específicas para a determinação da massa unitária da cal e do cimento.

#### **4.3.3.2.3 Umidade**

Umidade é a relação entre a quantidade de água existente e a massa seca de material. Em termos de dosagem de concretos, os dados relativos à umidade dos agregados são indispensáveis para a correção das proporções da água de mistura e dos agregados adicionados, pois a quantidade de água transportada pelos mesmos para o concreto altera substancialmente a relação água/cimento.

Normas:

- NBR 9775 – Agregados – Determinação da umidade superficial em agregados miúdos por meio do frasco Chapman. 1987.

#### **4.3.3.2.4 Inchamento**

Dependendo do teor de umidade e da composição granulométrica do agregado, pode ocorrer um aumento considerável do volume aparente da areia, pois a tensão superficial da película de água presente ao redor dos grãos mantém as partículas afastadas uma das outras. Esse aumento de volume é considerado o inchamento do agregado miúdo (areia).

O inchamento está associado a uma determinada umidade, e através dos valores de cada par de teores de umidade/inchamento do agregado miúdo ( $h, i$ ), traça-se uma curva de inchamento, de modo a representar graficamente o fenômeno.

Com esta representação gráfica, duas novas determinações importantes são definidas: umidade crítica, definida como teor de umidade acima do qual o coeficiente de inchamento pode ser considerado constante e igual ao coeficiente de inchamento médio; e coeficiente de inchamento médio, valor médio entre o coeficiente de inchamento máximo e o correspondente à umidade crítica.

## 5. METODOLOGIA

Para realização deste trabalho primeiramente foi coletado o lodo da ETA-006 cuja localização está demonstrada na figura 4.

Figura 5 - Localização da ETA



Fonte: Google Maps, 2015.

Afim de se determinar a viabilidade técnica da adição do lodo de ETA, foi dosado um traço de concreto convencional pelo método de ACI SEVEN STEPS como traço referência hora denominado de T0 e a partir deste traço foram adicionadas três proporções de lodo ao concreto, obtendo-se assim os traços demonstrados na tabela abaixo.

Tabela 2 – Traços do Trabalho

Traços	% adição de lodo em relação a massa do cimento
T0	0
T1	5
T2	10

Fonte: Autor, 2015.

A legenda dos traços ficou estabelecida da seguinte forma:

**Tabela 3 – Legenda de Nomenclatura dos Traços**

<b>Traços</b>	<b>Nomes</b>
T0	TRAÇO TESTEMUNHO
T1	TRAÇO COM ADIÇÃO DE 5% DE LODO
T2	TRAÇO COM ADIÇÃO DE 10% DE LODO

O traço T0 depois de calculado apresentou os seguintes consumos de materiais conforme Tabela abaixo:

**Tabela 4 - Traço de Referência T0**

<b>Materiais</b>	<b>Relação em Massa</b>	<b>Consumo (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Cimento	1	407,55
Areia	1,99	809,55
Brita	2,25	917,9
Água	0,5	203,775

Fonte: Autor, 2015

Para os concretos deste trabalho foram moldados três corpos de provas para rompimento nas idades de 3, 7, 14 e 28 dias totalizando assim 12 CP's para cada traço.

Os corpos moldados de formato cilíndricos com dimensões 100x200 mm, de acordo com NBR 5738/2003. Os ensaios de compressão axial seguiram de acordo com a NBR 5739/2007.

Os ensaios de resistência a compressão e de tração diametral serão realizados no laboratório de Materiais e Estruturas do Ceulp/Ulbra, na prensa PC 200 L Emic com capacidade de resistência de 200 toneladas conforma figura abaixo.

Figura 6 – Prensa EMIC Capacidade 200 Toneladas



Fonte: Emic, 2015.

## 5.1 Materiais

### 5.1.1 Cimento

O cimento utilizado foi CP II-Z-32, conhecido com cimento Portland composto com adição de pouzolana pois este era o disponível nas dependências laboratório de Materiais e Estruturas do Centro Universitário Luterano de Palmas.

### 5.2.1 Areia

Utilizou-se areia encontrada no laboratório do CEULP/ULBRA. A massa unitária segundo a NM 45:2006 ficou em 1,47 kg/ dm<sup>3</sup>, e a massa específica, segundo a NM 52:2002, de 2,57 kg/dm<sup>3</sup> e modulo de finura de 2,34. As Figuras 5 e 6 abaixo demonstram os ensaios realizados para caracterização da areia.

**Figura 7 - Frasco de Chapmam**



Fonte: Autor, 2015.

**Figura 8 - Composição Granulométrica da Areia**



Fonte: Autor, 2015.

### 5.3.1. Brita

Foi adotado seixo encontrado no laboratório do CEULP/ULBRA. A massa unitária segundo a NM 45:2006 ficou em  $1,37 \text{ kg/dm}^3$ , e a massa específica, segundo a NM 53:2002, de  $2,67 \text{ kg/dm}^3$  e diâmetro máximo característico de 19 mm. A figura 7 mostra o ensaio de massa específica realizado através do método do picnômetro.

**Figura 9 - Picnômetro com brita**



Fonte: Autor, 2015.

### 5.4.1. Lodo

O lodo utilizado foi coletado na ETA-006 e encaminhado ao laboratório de Materiais e Estruturas do Ceulp/Ulbra. Posteriormente colocado à estufa e seco a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  durante 24 horas. Após seco o lodo foi moído e peneirado na peneira de 1,70 mm, conforme as Figuras 9 e 10 a seguir.

**Figura 10 – Lodo sendo preparado para ir para estufa**



Fonte: Autor, 2015.

**Figura 11 - Lodo após secagem na estufa**



Foto: Autor, 2015.

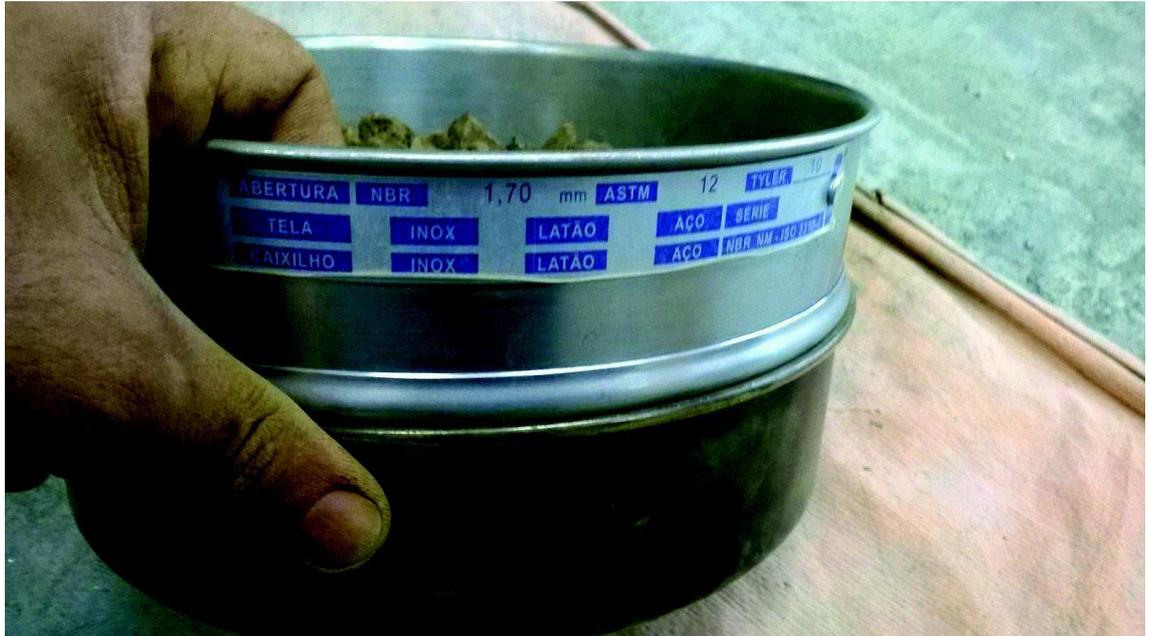
Observou-se que após a secagem o lodo perdia 80% da sua massa, sendo assim precisou-se de uma quantidade muito grande de lodo saturado para elaboração dos traços deste trabalho. A moagem do lodo foi executada com auxílio de uma marreta de 2 kilos conforme Figuras 11 e 12 abaixo.

**Figura 12 - Moagem do Lodo**



Fonte: Autor, 2015.

Figura 13 – Peneiramento do Lodo



Fonte: Autor, 2015.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Influência do estado Fresco

Trabalhabilidade é a propriedade do concreto associada a três características:

- Facilidade de redução de vazios e de adensamento do concreto.
- Facilidade de moldagem, relacionada com o preenchimento da fôrma e dos espaços entre as barras de aço.
- Resistência à segregação e manutenção da homogeneidade da mistura, durante manuseio e vibração. A trabalhabilidade é uma propriedade transitória que depende de diversos fatores, dentre os quais se destacam: as características e dosagens dos materiais constituintes e o modo de produção do concreto.

Ao adicionar o lodo ao concreto foi observado que a trabalhabilidade foi diminuindo gradativamente conforme ia aumentando o valor da adição. Os resultados dos slumps estão apresentados na tabela 5.

**Tabela 5 - Resultados do Slump**

<b>Traço</b>	<b>Slump ( mm)</b>
<b>T0</b>	79
<b>T1</b>	56
<b>T2</b>	43

Fonte: Autor, 2015

Em relação ao abatimento do tronco de cone, nenhum dos traços atingiu o abatimento do traço de referência T0, mas mesmo que não tenham atingido, todos ficaram dentro das recomendações para peças estruturais. A tabela 6, mostra os valores de abatimento recomendados pelo ACI.

**Tabela 6 - Valores de abatimento recomendados pelo ACI.**

Tipos de Construção	Abatimento (mm)	
	Máximo*	Mínimo
Paredes de fundações armadas e sapatas	75	25
Sapatas não armadas, caixões e paredes de vedação	75	25
Vigas e paredes armadas	100	25
Pilares de edifício	100	25
Pavimentos e lajes	75	25
Concreto massa	50	25

\*Pode ser aumentada em 25mm com o uso de métodos de consolidação que não a vibração  
 Fonte: Mehta; Monteiro; *apud* ACI.

Na Tabela 7 é possível observar que todos os traços estudados ficaram dentro do intervalo recomendado de abatimento do concreto para peças estruturais.

**Tabela 7 - Valores de abatimento dos traços estudados e intervalo de abatimento recomendado para peças estruturais.**

Traço	Abatimento (mm)	Intervalo de Abatimento para Peças Estruturais (mm)
T0	79	25 - 100
T1	56	
T2	43	

Fonte: Autor, 2015

Acredita-se que essa redução do slump deu-se pela quantidade de finos presente no lodo, tendo em vista houve absolvição da água de amassamento por parte do lodo reduzindo assim a trabalhabilidade do concreto. É importante ressaltar que o slump calculado para o traço de referência pelo método de ACI foi  $100 \pm 25$  mm ou seja apenas o T0 ficou dentro da faixa do slump calculado.

Conclui-se que este problema de trabalhabilidade do concreto com adição de lodo poderia ser resolvido facilmente pela adição de um aditivo plastificante, melhorando assim a trabalhabilidade do concreto sem a perda de resistência. A Figura 14 a seguir exemplifica o ensaio de slump teste.

**Figura 14 - Slump Teste**



Fonte: Autor, 2015.

## 6.2 Influência do estado endurecido

Resistência a compressão é uma característica fundamental para utilização dos concretos em estruturas, pois sem a resistência desejada ou estimada em projeto a durabilidade e a estabilidade da estrutura poderá ser comprometida.

O T0 foi dosado para um  $f_{ck}$  de 25 Mpa e um  $f_{cj}$  de 31,6 Mpa, o  $f_{cj}$  é determinado pela seguinte equação.

### Equação 1:

$$f_{ci} = f_{ck} + 1,65 * s_d$$

$f_{cj}$ : Resistência calculada para um determinado tempo em dias

$f_{ck}$ : Resistência Característica determinada pelo projetista estrutural

$s_d$ : Desvio Padrão (Rigoroso = 4 MPa)

Tendo em vista a importância desta característica do concreto no estado endurecido apresentamos na Tabela 6 os resultados preliminares desta pesquisa obtidos através da média do rompimento dos três corpos de prova por idade.

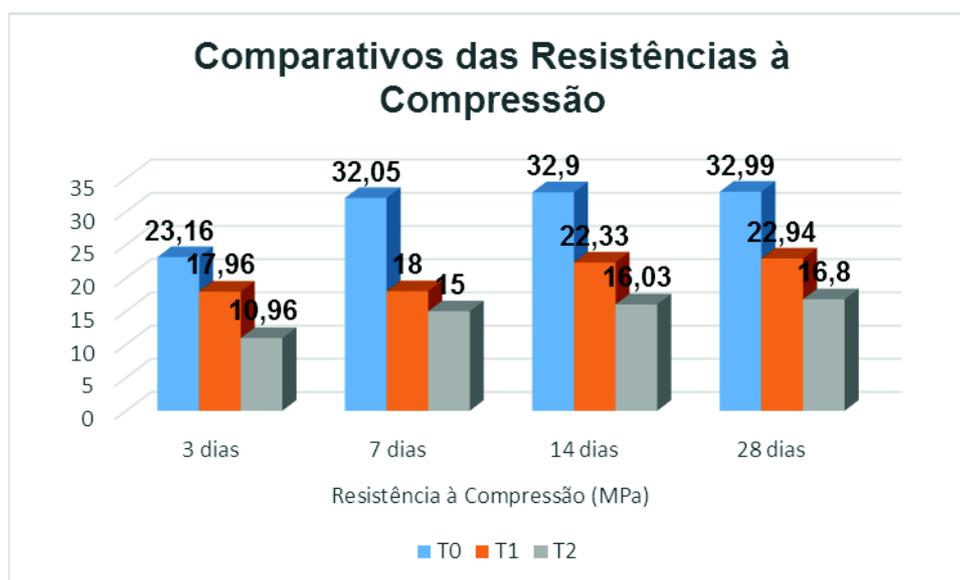
Tabela 8 - Resultados de Resistência a compressão

TRAÇOS	Resistência a Compressão (Mpa)			
	3 dias	7 dias	14 dias	28 dias
T0	23,16	32,05	32,90	32,99
T1	17,96	18	22,33	22,94
T2	10,96	15	16,03	16,80

Fonte: Autor, 2015.

Os resultados acima demonstrados mostram a influência da adição do lodo na resistência a compressão axial do concreto convencional, levando em consideração que o traço de referência foi calculado para um fck de 25 Mpa e um fcj de 31,6 Mpa , observa-se que a adição de lodo reduziu significativamente a resistência do concreto o que para uma dosagem com este fck inviabiliza a utilização do lodo.

Gráfico 1 - Comparativo das resistências à compressão



Fonte: Autor, 2015.

Mesmo os resultados não sendo satisfatórios para um fck de 25 Mpa, observa-se que o T1 chegou a uma resistência acima de 20 Mpa, ou seja, poderia ser utilizado para concretos com fins estruturais, o ponto que deve ser ponderado é que o T1 alcançou essa resistência utilizando-se o consumo de cimento para traço de 25 Mpa ou seja o fator econômico neste caso deve ser também levado em consideração. Já o T2 mostrou que adição de 10% de lodo já inviabiliza a utilização deste concreto para fins estruturais, podendo apenas ser utilizados para concretos

que não sejam estruturais e não sejam submetidos os grandes carregamentos, bom exemplo seria os contra pisos de casa residências e calçadas.

Olhando agora para o lado sustentável a aplicação ou a destinação final do lodo de ETA seria sim uma alternativa sustentável para destinação do lodo, pois sua utilização em concreto estaria diminuindo o descarte de forma indevida e prejudicial ao meio ambiente.

## 7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em relação ao abatimento do tronco de cone, nenhum dos traços atingiu o abatimento do traço T0, mas mesmo que não tenham atingido, todos ficaram dentro das recomendações para peças estruturais conforme apresentado no tópico anterior nas Tabelas 6 e 7.

Em relação à resistência a compressão apenas o T2, não poderia ser utilizado como concreto estrutural pois segundo a NBR 6118:2014, concreto estrutural deve ter a resistência mínima de 20 MPa para ser usado como concreto estrutural. É importante ressaltar que os traços foram calculados para um  $f_{ck}$  de 25 MPa ou seja um consumo de cimento para está resistência, com isso para se alcançar a resistência de projeto seria necessário o acréscimo de cimento o que tornaria o concreto bem mais caro que o usual.

E como sugestão para trabalhos futuros, seria interessante testar a adição da cinza do lodo, ao invés de testa-lo in natura como foi utilizado neste trabalho, acredita-se que a queima eliminara boa parte da matéria orgânica presente no lodo segundo (TARTARI, 2008) que reduz a resistência do concreto.

## 8. REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 35 – Agregados Leves para Concreto Estrutural – Especificações**. Rio de Janeiro, 1995.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 45 – Agregado – Determinação da massa unitária e do volume de vazio**. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 52 – Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 53 – Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 67 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

ACHON, C. L.; SOARES, L. V.; MEGDA C. R. **Impactos ambientais provocados pelo lançamento in natura de lodos provenientes de estações de tratamento de água**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., Campo Grande, Anais...Campo Grande: ABES, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard Specification for Portland Cement. ASTM C150**. West Conshohocken, PA, 2012.

CORDEIRO, João S. **Micro Propriedades de Lodos Gerados em Decantadores de Estação de Tratamento de Água**. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE 53 ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28., 2002, Cancún. **Anais eletrônicos...** Disponível em < <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/iii-014.pdf>>. Acesso: 20 mar. 2015.

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, L. (coord.). **Tratamento de Água para Abastecimento por Filtração Direta**. 2003, 498f. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003.

DI BERNARDO, L., BRANDÃO, C. C. S.; HELLER L.. **Tratamento de Águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas**. 1997, 121f. Rio de Janeiro, 1997.

DI BERNARDO, L., DANTAS, A. Di B.; VOLTAN P. E. N.. **Métodos e Técnicas de Tratamento e Disposição dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. 2012, 540f. ed. São Carlos: LDiBe, 2012.

FONTES, C. M. A. **Potencialidades da Cinza de Lodo de Estações de Tratamento de Esgotos como Material Suplementar para a Produção de Concretos com Cimento Portland**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

GEYER, A. L. B. **Contribuição ao Estudo da Disposição Final e Aproveitamento da Cinza de Lodo de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários como Adição ao Concreto**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo IBRACON, 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994.

NEVES, Idercio França Das. Materiais de construção: **Estudo de dosagem racional de concreto estrutural comum**. Pontifícia universidade católica do Paraná – Curitiba- PR. 2009.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. Pini, 1997.

PROSAB Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. **Uso e Manejo do Lodo de Esgoto na Agricultura**. 1 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999b. 97 p.

RIBEIRO, R.F. **ESTUDO DE DOSAGEM DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA) EM ARGAMASSA**. Curitiba, 2012. Trabalho de Conclusão de Curso.

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

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.