



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

TAYRO RAMON NOGUEIRA PEREIRA MEIRELES

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE CONCRETO CONVENCIONAL COM ADIÇÃO
DE LODO CALCINADO PROVENIENTE DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ÁGUA

Palmas - TO

2016

TAYRO RAMON NOGUEIRA PEREIRA MEIRELES

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE CONCRETO CONVENCIONAL COM ADIÇÃO
DE LODO CALCINADO PROVENIENTE DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ÁGUA

Monografia apresentada ao Centro Universitário
Luterano de Palmas para obtenção do título de
Bacharel do curso de Engenharia Civil, sob
orientação do Prof. Esp. Dênis Cardoso Parente.

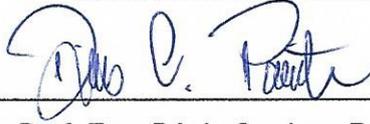
Palmas - TO

2016

TAYRO RAMON NOGUEIRA PEREIRA MEIRELES

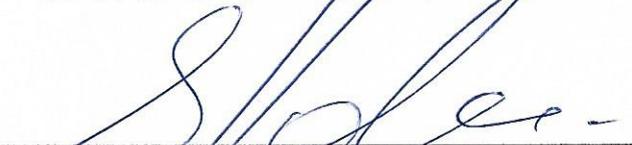
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE CONCRETO CONVENCIONAL COM ADIÇÃO
DE LODO CALCINADO PROVENIENTE DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ÁGUA

BANCA EXAMINADORA



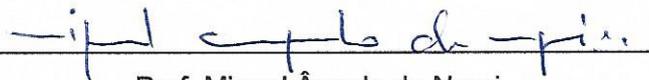
Prof. Esp. Dênis Cardoso Parente

Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. Me. Carlos Spartacus da Silva Oliveira

Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. Miguel Ângelo de Negri

Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas - TO

2016

DEDICATÓRIA

A Deus por ter me dado força e perseverança nesta caminhada.

Aos meus pais e irmão por serem sempre uma ponte segura de amor e compreensão.

A minha companheira pela paciência e ajuda nos momentos mais difíceis.

RESUMO

O trabalho apresenta um estudo de caso para responder aos questionamentos de viabilidade técnica propostos quanto à incorporação de lodo calcinado da Estação de Tratamento de Água (ETA 006) da cidade de Palmas – TO na confecção de concreto com função estrutural. As porcentagens trabalhadas no estudo foram de 0%, 5%, 10% e 20%. Com a adição de lodo calcinado da ETA nos corpos de prova de concreto nas porcentagens de 5% e 10%, atestou-se que, de fato, com este percentual, o concreto atende aos cálculos exigidos, F_{cj} , quanto às características físicas e mecânicas, tanto a absorção d'água e retração volumétrica. Os resultados foram satisfatórios comparando-os com o traço 0%, que não foi adicionado lodo em sua composição, sendo este o parâmetro para o estudo. No entanto, o traço com 20% de adição de lodo calcinado não atingiu os resultados esperados, sendo reprovado nos quesitos resistência a compressão. Sobre a viabilidade da produção é importante destacar que esta é satisfatória, pois estará introduzindo um material que seria destinado a aterros sanitários na composição de concreto, diminuindo, assim, o consumo de matéria-prima. Dentre os fatores estudados, o mais notável é a sustentabilidade, pois com a incorporação deste resíduo ao concreto haverá um aumento da vida útil das jazidas de brita e, conseqüentemente, poupará espaço em aterros sanitários.

Palavras-chave: Adição. Concreto. Lodo. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The paper presents a case study to respond to the proposed technical feasibility questions regarding the incorporation of calcined sludge from Water Treatment Plant (WTP 006) of the city of Palmas - TO in production of concrete with structural function. The percentages used in the study were 0%, 5%, 10% and 20%. With the addition of calcined clay from ETA in concrete specimens, in the percentages of 5% and 10%, it was attested that, in fact, with this percentage, the concrete meets the required calculations, FJC, both the physical and mechanical or the water absorption and volumetric shrinkage. The results were satisfactory comparing them with the 0% trace, that sludge was not added in its composition, which is the parameter for the study. However, the trace with 20% addition of calcined sludge did not reach the expected results, and failed in the compressive and resistance requirements. About the feasibility of production it is important to notice that this is satisfactory as it will be introducing a material that would be destined to landfills in the concrete composition, reducing the consumption of raw material. Among the studied factors, the most notable is sustainability, as with the incorporation of this residue to the concrete will increase the life of the gravel deposits and thus save space in landfills.

Keywords: Addition. Concrete. Sludge. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Descarga do lodo proveniente dos filtros	39
Figura 2 - Lodo decantando	40
Figura 3 - Bags.....	41
Figura 4 - Colheita do lodo	41
Figura 5 - Lodo em Pasta.....	42
Figura 6 - Equipamentos de Proteção Individual.....	43
Figura 7 - Estufa com o material	43
Figura 8 - Lodo após secagem.....	44
Figura 9 - Lodo Seco e Lodo Calcinado	45
Figura 10 - Lodo em pó	46
Figura 11 - Composição Granulométrica da Areia	47
Figura 12 - Frasco de Chapmam.....	47
Figura 13 - Cimento Ciplan CPII - Z - 32	48
Figura 14 - Slump teste do concreto com 0% de lodo Calcinado	50
Figura 15 - Slump teste do concreto com 5% de lodo Calcinado	51
Figura 16 - Slump teste do concreto com 10% de lodo Calcinado	51
Figura 17 - Slump teste do concreto com 20% de lodo Calcinado	52
Figura 18 - Corpos de Prova	52
Figura 19 - Prensa EMIC Capacidade 200 Toneladas	53
Figura 20 - Resistência dos corpos de prova de 20% de lodo calcinado	54
Figura 21- Resistência dos corpos de prova de 10% de lodo calcinado	55
Figura 22 - Resistência dos corpos de prova de 5% de lodo calcinado	55
Figura 23- Resistência dos corpos de prova de 0% de lodo calcinado	56
Figura 24- Resistência a compressão dos corpos de prova.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Doenças provindas do não tratamento da água.....	18
Tabela 2 - Tipos de cimento fabricados no Brasil.....	31
Tabela 3 - Resistencia dos Corpos de Prova	54
Tabela 4- Índice de absorção d'água	57
Tabela 5 - Massa especifica aparente.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA - Índice de absorção d'água

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CEULP - Centro Universitário Luterano de Palmas

DQO - Demanda química de oxigênio

ETA - Estação de tratamento de água

ms - Massa Seca

mu - Massa Úmida

pH - Potencial Hidrogeniônico

RETA - Resíduos da Estação de Tratamento de Água

TO - Tocantins

APA – Área de Proteção Ambiental

CC – Consumo de cimento

LISTA DE SÍMBOLOS

CaO - Óxido de cálcio

SiO₂ - Óxido de Silício

Al₂O₃ - Óxido de alumínio

Fe₂O₃ - Óxido de ferro

SO₃ - Trióxido de enxofre

MgO - Óxido de magnésio

K₂O - Óxido de potássio

Na₂O - Óxido de sódio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos	14
1.2 JUSTIFICATIVA	14
1.3 PROBLEMA	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE AGUA (ETA'S)	16
2.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA	19
2.3 LODO DE ETA	19
2.3.1 Características do lodo de ETA	22
2.3.2 Impactos Ambientais Gerados pelo lodo	25
2.3.3 Disposição final do lodo	26
2.4 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS	27
2.5 CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO	28
2.5.1 Principais tipos de cimento e seus componentes	29
2.5.2 Resistência à compressão	32
3 METODOLOGIA	34
3.1 LOCALIZAÇÃO	34
3.1.1 Ribeirão Taquaruçu Grande	34
3.1.2 Local da área de estudo	34
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO LODO GERADO NA ETA 06	35
3.2.1 Teor de umidade	35
3.3 Caracterização do agregado e aglomerantes	35
3.3.1 Massa específica e unitária do agregado miúdo	35
3.3.2 Granulometria dos materiais	36
3.4 DOSAGEM	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO TRATAMENTO DE ÁGUA E GERAÇÃO DE LODO NA ETA 06	38
4.2 RETIRADA DA ÁGUA E ESTIMATIVA DA MASSA SECA DO LODO	39

4.2.1 Lodo.....	45
4.3 GRANULOMETRIA DOS MATERIAIS.....	46
4.4 CALCULO DA DOSAGEM.....	48
4.5 DETERMINAÇÃO DO SLUMP TESTE (ENSAIO DE ABATIMENTO).....	49
4.6 CORPOS DE PROVA.....	52
4.7 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS- DE-PROVAS	53
4.8 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ABSORÇÃO D'ÁGUA.....	57
4.9 DETERMINAÇÃO DA RETRAÇÃO VOLUMETRICA	57
4.10 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECIFICA APARENTE 57	
5 CONCLUSÃO	59
6 REFERENCIAS.....	60
7 ANEXOS	63

1 INTRODUÇÃO

Uma das preocupações da sociedade atual é o destino final para a grande quantidade de resíduos sólidos gerados. Na construção civil não é diferente, os resíduos gerados são depositados em sua maioria em lugares impróprios poluindo o meio ambiente e sendo a causa do assoreamento de lagos e bem como contaminando os mares e o meio ambiente como um todo.

Visando sempre uma solução ambiental e economicamente viável para os diversos tipos de construções é que se vem reeducando a sociedade para uma responsabilidade ambiental, procurando em sua totalidade evitar o desperdício e, sempre que possível reutilizar os produtos que antes seriam descartados.

Com o intuito de amenizar os desperdícios na construção civil tem-se estudado novos métodos de construção que possam otimizar tanto tempo quanto material, sempre visando a versatilidade e economia.

Mediante a isso, a construção civil em geral vem investindo cada vez mais em tecnologia de aproveitamento de recursos que normalmente seriam descartados como impróprios e poucas vezes reutilizado, como um exemplo temos o lodo, gerado nas estações de tratamento de água.

As estações de tratamento de água (ETA) no seu processo de tratamento habitual da água geram como resíduo final um tipo de lodo que precisa ser descartado, e que em sua grande maioria são depositados em aterros sanitários ou lançados na própria rede de esgoto.

É possível observar diversos estudos voltados para o aproveitamento do lodo como adição em massas cerâmicas para a confecção de blocos cerâmicos para a construção civil. A utilização deste lodo se dá com a incorporação do mesmo na matriz cerâmica para a fabricação dos blocos cerâmicos.

O trabalho tem como finalidade a apresentação de um novo estudo de aproveitamento do lodo gerado na estação de tratamento de água, sendo utilizado o lodo calcinado na composição do concreto convencional, com finalidade estrutural.

Através da adição deste lodo calcinado, serão confeccionados corpos de prova para a realização dos ensaios tendo o objetivo de estabelecer o percentual ideal de utilização do material, em concreto convencional para a indústria da construção civil.

Para atingir o objetivo do trabalho o lodo calcinado será adicionado à mistura do concreto em diferentes percentuais, quais sejam: 0%, 5%, 10% e 20%.

É importante salientar ainda que os corpos de prova foram moldados no laboratório do CEULP/ULBRA, e que após a secagem e cura são submetidos à prensa, visando a aferição de sua resistência.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar as propriedades do concreto convencional – em corpos de prova moldados com adição do lodo calcinado, desde as propriedades de resistência mecânica quanto à compressão, analisando ainda o ensaio de abatimento, absorção de água, retração volumétrica e massa específica aparente.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Buscar uma solução viável para o destino do resíduo gerado em uma estação de tratamento de água (lodo de ETA) e a fabricação de materiais não convencionais, como uma proposta alternativa para concreto convencional;
- Avaliar a influência da adição do lodo calcinado de ETA na trabalhabilidade do concreto convencional através do ensaio de abatimento, a partir de um traço referencial;
- Avaliar a influência da adição do lodo calcinado de ETA na resistência do concreto convencional através do ensaio de compressão simples;
- Avaliar a utilização da adição do lodo calcinado para concretos com fins estruturais.

1.2 JUSTIFICATIVA

Com a tendência de aplicação dos recursos naturais em grande escala nas construções cotidianas, torna-se necessário tanto a busca quanto a utilização e aprimoramento de novos métodos construtivos, a fim de evitar o desgaste das fontes primárias de materiais.

Com a presente aceleração construtiva, a utilização de os recursos naturais por muitas vezes não consegue acompanhar as necessidades existentes na

industrialização dos grandes centros urbanos, fazendo nascer assim o desejo e necessidade de se pensar em novas tecnologias com o intuito de garantir que tais recursos se perpetuem ao longo do tempo.

O trabalho se justifica, tanto por essa necessidade de buscar matéria prima alternativa para auxiliar na composição do concreto utilizado na construção civil, bem como na reutilização de um material que a princípio seria descartado, muitas vezes até, em lugares impróprios.

Assim, a utilização do lodo gerado na ETA gera uma fonte de matéria prima alternativa, e ainda auxilia na preservação do meio ambiente.

1.3 PROBLEMA

A construção civil apresenta altos índices de utilização de matéria prima, bem como de mão de obra. Ante a isso existe a necessidade de viabilização de novos métodos construtivos e novas tecnologias que sanem as deficiências existentes, como por exemplo a escassez de material.

A reutilização de um lodo, que antes seria descartado, pode ser usado como forma alternativa de matéria prima na adição no concreto convencional com função estrutural, tendo um novo aproveitamento?

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA'S)

A Estação de Tratamento de Água tem como principal finalidade a produção de água potável para o consumo humano, sendo usado assim em tarefas cotidianas como cozimento, hidratação, limpeza, realização de assepsia, dentre outros.

A água antes de ser consumida pela população deve atender normas e exigências mínimas antes de ser destinada as residências e isso se dá por um bom processo de tratamento da água, sendo ele destinado para fins higiênicos ou para ser ingerida.

Para livrar a água de qualquer contaminação, evitando assim proliferações de doenças são adicionados um conjunto de fatores químicos e físicos para que o mesmo se torne potável ficando assim em condições adequadas para a distribuição e consumo.

A empresa responsável por este tratamento no município de Palmas, Tocantins, é a Odebrecht Ambiental Saneatins, possuindo a Estação de Tratamento de Água 006 (ETA 006), sendo assim uma parceria Público-Privado de economia mista com controle privado.

Tendo como dever da concessionaria o fornecimento de água de qualidade para a população de Palmas, tendo assim a responsabilidade direta com a saúde dos seus consumidores.

Segundo Castro (2010) a ETA 006 apresenta um processo de tratamento que se divide em:

Captação: É constituída pelo conjunto de bombas e motores, que possibilitam a retirada de água do Ribeirão Taquaruçu para o tratamento.

Coagulação: A água em sua forma bruta (natural) entra na estação de tratamento, ela recebe nos tanques uma determinada quantidade de sulfato de alumínio. Esta substancia serve para agrupar as partículas solidas que **são** encontradas na água, tais como argila e aumento do ph.

Floculação: Processo que ocorre logo após ou simultaneamente com a coagulação e cuja característica fundamental é a formação de aglomerados gelatinosos chamados flocos, resultantes da reação entre o produto químico coagulante e as impurezas da água.

Decantação ou Flotação: A decantação é o processo pelo qual se verifica a deposição dos flocos pela ação da gravidade. Na flotação, por injeção de ar, os flocos, ao invés de sedimentarem, vão a superfície onde são recolhidos. A filtração da água consiste em fazê-la passar através de materiais porosos capazes de reter ou remover impurezas.

Filtração: Nesta etapa a água passa por filtros que tem como composição o carvão, areia e pedras de diversas granulometrias. As impurezas que possuem pequenos tamanhos ficam presas no filtro.

Desinfecção: É adicionado na água ozônio ou cloro para a destruição ou inativação de organismos patogênicos, capazes de produzir doenças ou de outros organismos indesejáveis.

Fluoretação - É colocado então flúor na água para a prevenção de cárie dentária em crianças.

Correção de PH - É adicionada na água uma porção de cal hidratada ou carbonato de sódio. Esta adição tem como finalidade corrigir o PH da água e conservar a rede de encanamentos de distribuição.

Sem este tratamento há o risco de se ingerir uma água contaminada podendo haver bactérias e vírus, ficando assim gravemente doente, pois o mesmo pode transmitidas pela água (Tabela 1) (CASTRO, 2010).

Tabela 1 - Doenças provindas do não tratamento da água.

Doenças	Agente	Sintomas
Cólera	Víbio cholerae	Afeta apenas os seres humanos; sua transmissão vem diretamente dos dejetos fecais de doentes; contaminação por ingestão, principalmente de água contaminada. Causa diarreia, vômitos, rápida desidratação, acidose, câimbras musculares e colapso respiratório.
Amebíase	Entamoeba histolytica	Esta ameba se alimenta do bolo alimentar e sua presença causa disenteria aguda, febre, calafrios e diarreia sanguinolenta.
Gastro-Enterite	Rota Vírus	Vírus que causa diarreia, vômitos, levando a desidratação grave.
Hepatite	Vírus de Hepatite A	Vírus que ataca o fígado causando febre, mal-estar geral, falta de apetite e icterícia.
Disenteria Bacilar	Bactéria Shigella	Fezes com sangue e pus seguido de vômitos e cólicas.
Poliomielite	Enterovirus poliovirus	Comum em crianças ("paralisia infantil"); através de contato fecal/oral derivado de

Fonte: CASTRO, 2010.

Segundo a Secretaria de Meio Ambiente de Juiz de Fora – MG, há 10 milhões de óbitos todo ano no mundo ocasionados por o consumo de água imprópria e o estudo revela que há cada R\$ 1,00 aplicado em saneamento básico deixa de se gastar R\$ 4,00 em Postos de Saúde tratando doenças acarretadas pela falta de saneamento. (CASTRO, 2010).

As doenças mais comuns que são ocasionadas por ingerir uma água não devidamente tratada são: hepatite infecciosa, poliomielite, proveniente de vírus, febre tifoide, gastroenterites, disenteria bacilar, leptospirose, cólera, proveniente de bactérias, disenteria amebiana, giardíase, proveniente de protozoários, ascaridíase, esquistossomose e ancilostomose provenientes de vermes (CASTRO, 2010).

O Ministério da Saúde tem como competência a regulamentação do que se refere a água para o consumo da população tendo uma norma de qualidade sendo ela estabelecida pelo Decreto Federal nº79/367, tendo também uma legislação própria com o número de portaria nº56/BSB (CASTRO, 2010).

2.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

Segundo Nemet (2000) - Palmas apresenta um clima Tropical Chuvoso de Cerrado, sendo elas com duas estações bem definidas, uma chuvosa e outra seca. Sendo elas bem homogêneas ao longo dos anos, apresentando poucas variações quanto há incidência de raios ultravioletas, velocidade dos ventos, umidade do ar e as variações de temperaturas. Há acontecimentos raros de grandes tempestades, longo períodos de seca, fortes ventos, porém são situações isoladas e pouco registradas (DBO ENGENHARIA, 1997).

2.3 LODO DE ETA

O tratamento da água bruta traz diversos benefícios a sociedade, mas como toda indústria seu processo gera impacto ao meio ambiente (RIBEIRO; FERREIRA; LADRINCHA, 2003).

Segundo Di Bernardo (1999) há um grande problema quanto à disposição dos resíduos sólidos provenientes deste tratamento e seu destino final. A legislação vigente não permite o descarte deste material em qualquer área.

O órgão que regulamenta o lançamento dos resíduos sólidos nos corpos de água é o CONAMA pela sua Resolução N° 357 sendo considerada também a NBR 10.004/2004. O Lodo proveniente da ETA é classificado como resíduos sólidos não podendo ser descartado de qualquer maneira sem antes passar por um tratamento sendo assim descartados sem apresentar danos ao meio ambiente. Antes estes resíduos eram descartados em cursos de água sem qualquer tipo de tratamento.

Segundo a AWWA (1995) a disposição final deste resíduo da ETA em cursos de água auxilia no aumento da concentração de metais pesados nos micro organismos aquáticos limitando assim a concentração de carbono necessário para a alimentação de macro invertebrados. Com tudo as altas taxas de concentrações destes metais causa a diminuição da luminosidade do meio, restringindo assim a multiplicação do fitoplâncton nos locais onde são descartados os resíduos, além de ser tóxicos para alguns micro crustáceos, sendo assim parte fundamental na alimentação dos peixes (CASTRO, 2014).

Outro problema com o lançamento inadequado deste lodo se dar na lavagem dos filtros ou limpeza dos decantadores, o aspecto visual desagradável lançado no corpo receptor pode ser observado na jusante podendo afetar outras comunidades ou até um processo de irrigação.

Di Bernardo (1999) afirma que dependendo do solo pode haver uma alta concentração de toxinas neste processo:

“A potencial toxicidade dos resíduos gerados nas ETA's é decorrente principalmente do tipo de solo da bacia do manancial; do tipo de ocupação da bacia hidrográfica; das características dos produtos químicos usados, destacando-se a presença de diversos metais e compostos orgânicos presentes inicialmente na água bruta ou gerados em função do uso de oxidante; forma de remoção e tempo de permanência dos resíduos nos decantadores; características hidráulicas, físicas, químicas e biológicas do corpo receptor.”

Tendo em vista esta contaminação com resíduos sólidos ou não sólidos Castro (2014) aborda uma caracterização do mesmo:

“Conforme NBR 10.004/2004 são denominados resíduos sólidos os resíduos nos estados sólido e semissólido que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola e de serviços de varrição. Também são denominados resíduos sólidos os lodos provenientes de estações de tratamento de água, os resíduos gerados em equipamentos e instalações de poluição e os líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou que exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis diante da melhor tecnologia disponível”

Segundo Reiber (2001) a qualidade da água nos grandes centros urbanos tem sido uma das principais preocupações quando ao abastecimento, contudo as fontes de água bruta onde é feita esta captação está cada vez mais escassa em função do

próprio descuido com a área sanitária. O saneamento destes centros urbanos tem que apresentar uma integração, no abastecimento, coleta e destino final do resíduos sólidos da cidade, organização e aproveitamentos dos recursos hídricos da cidade tendo um gerenciamento ambiental que preserve estas fontes.

Neste sentido Castro (2014) aborda que o crescimento desordenado e o lançamento inadequado dos resíduos tem suas consequências:

“Esse panorama faz com que a questão gerencial dos sistemas exija uma visão mais abrangente do papel e das consequências futuras da forma operacional das ETA's tradicionais existentes no país. Os mananciais superficiais têm sido cada vez mais castigados com lançamentos de despejos diversos, decorrentes do crescimento populacional e da ocupação desordenada das áreas de proteção. Assim, a qualidade da água bruta piora, exigindo que maiores concentrações de produtos químicos sejam aplicadas no tratamento. Como consequência, observa-se o acréscimo na geração de rejeitos nas ETA's, podendo ser citados: lodos gerados em decantadores e água de lavagem dos filtros.”

O processo de tratamento de água no Brasil envolve um conjunto de fatores químicos e físicos gerando resíduos, o lodo de ETA sendo ele depositado em tanques de sedimentação ou flotação ou mesmo proveniente da água de lavagem dos filtros (ANDREOLI, 2006).

De acordo com o autor este processo se dá pela aplicação de alumínio, e sais de ferro, provocando assim a sedimentação das impurezas decorrentes da água bruta. Sendo estes resíduos retirados pela filtração.

Segundo CASTRO (2014) os resíduos gerados nas ETA's podem ser divididos em quatro grandes categorias:

“Resíduos gerados durante processos de tratamento de água visando a remoção de cor e turbidez. Em geral, os resíduos produzidos englobam os lodos gerados nos decantadores e a água de lavagem dos filtros;
Resíduos gerados durante o processo de abrandamento;
Resíduos gerados em processos de tratamento avançados visando a redução de compostos orgânicos presentes na água bruta, o carvão ativado em pó saturado;
Resíduos gerados durante processos visando à redução de compostos inorgânicos presentes na água bruta, como processo de membrana (osmose reversa, ultrafiltração, nanofiltração).”

Di Bernardo (1999) complementa que:

“Em uma ETA de ciclo completo, os resíduos gerados são provenientes das limpezas ou descargas de decantadores e da lavagem dos filtros. Em termos volumétricos, a maior quantidade é proveniente da lavagem dos filtros. No entanto, em termos mássicos, a maior quantidade de lodo produzido é gerada no sistema de separação sólido-líquido que, em uma estação de ciclo completo, é basicamente efetuada nos decantadores. Cada linha geradora de resíduos apresenta características distintas em termos de vazão e concentração de sólidos, razão pela qual diferentes concepções de tratamento devem ser consideradas. Outras atividades desenvolvidas na estação, como as lavagens de tanques de preparação de suspensões e soluções de produtos químicos, também contribuem para a geração desses resíduos.”

Para Cordeiro (2000), há várias características que podem ser observadas no resíduo, tudo dependera do objetivo de estudo, podendo ser abordado aspectos ambientais associados ao destino final do lodo, seu PH, concentração de metais, DQO (demanda química de oxigênio), toxicidade biodegradabilidade, fertilizantes e pesticidas.

De acordo com Richter (2001):

“O lodo de ETA é considerado um resíduo composto de água e sólidos suspensos contidos na fonte, acrescidos dos produtos aplicados durante o processo de tratamento de água.”

Cordeiro (1999) faz a comparação da ETA com uma indústria, tendo a água sua matéria prima sendo ela trabalhada e moldada resultando um produto final, e que durante este processo de transformação o mesmo gera um resíduo, o lodo de ETA.

O lodo de ETA apresenta características mais comuns aos solos se comparado ao lodo de esgoto, neste caso em geral os parâmetros de nitrogênio e carbono orgânico no lodo de ETA são estáveis e em menores concentrações se comparados não de lodo de esgoto (CASTRO, 2014).

2.3.1 Características do lodo de ETA

Andreoli (2006) afirma que a Estação de Tratamento de Água tem como finalidade transformar a água bruta captada no meio ambiente sendo ela em sua grande maioria imprópria para o consumo humano, em água tratada e potável e fornece-la a população nos mais altos padrões de qualidade regidos pela legislação. A democratização deste processo de produção e fornecimento de água potável foi um

dos principais se não o principal fator pelo salto e manutenção dos indicadores de saúde, aumentando assim a longevidade da população brasileira.

De acordo com Andreoli (2001):

“Os lodos gerados nos decantadores de ETA's são resultados dos processos e operação de coagulação/floculação e sedimentação das partículas presentes na água bruta. Essas partículas sofrem ação de reações químicas e operação física de formação de flocos que se tornam propícios para a operação de sedimentação ou de flotação. O material removido da água bruta é retido em tanques por certo tempo e disposto, quase sempre, em cursos d'água. O sistema de remoção dos lodos dos decantadores ou flotadores é responsável por parte das características finais, principalmente no que se refere à concentração de partículas.”

Richter (2001) afirma que:

“De modo geral, considera-se como lodo de uma estação de tratamento o resíduo constituído de água e sólidos suspensos originalmente contidos na fonte de água, acrescidos de produtos resultantes dos reagentes aplicados à água nos processos de tratamento. As duas fontes mais importantes são os lodos decantados e água de lavagem dos filtros. A porcentagem de lodo removida depende de sua origem, de decantadores, de filtros rápidos, de unidades de filtração direta e da técnica ou metodologia usada para remoção do lodo, e geralmente, se encontra entre 0,2 a 5% do volume tratado pela estação de tratamento. Os decantadores convencionais são os que apresentam os valores mais baixos, geralmente inferiores a 0,5% de perdas, dependendo da frequência de descargas. Os clarificadores em manto de lodos são os que apresentam os maiores valores (1 - 5%), com decantadores laminares em uma posição intermediária (0,5 - 2%).”

Para Saron e Leite (2001):

“As propriedades e características do lodo de ETA também podem variar em função da tecnologia usada no tratamento de água. A água presente nos lodos de estações de tratamento de água pode ser classificada em quatro categorias:

Água livre – parcela de água que se move livremente por gravidade e que pode ser removida com relativa facilidade por meio de sistemas mecânicos ou, naturalmente, por drenabilidade e evaporação. É importante lembrar que o tempo de remoção dessa água é o fator decisivo para a definição da forma de remoção a ser adotada.

Água de floco – essa parcela está intimamente ligada à partícula floculada. Portanto, para sua remoção é necessária uma quantidade relativa de energia.

Água capilar – a água capilar está fortemente ligada à partícula sólida por intermédio de pontes de hidrogênio. A diferença entre a

água capilar e a água de floco é que a água de floco está livre para se mover, enquanto a água capilar se move com a partícula. Água adsorvida – parcela ligada quimicamente à partícula sólida coloidal. A remoção dessa água somente é possível com a aplicação de alta temperatura ou com aplicação de elevada quantidade de energia elétrica.

As partículas presentes na água a ser tratada são coloides que lhe conferem cor e turbidez. Os coloides têm tamanho que varia de nanômetro a milímetro, característica que dificulta a remoção da água livre dos lodos.”

Segundo Richter (2001):

“A concentração de sólidos totais presentes em um lodo de estação de tratamento de água varia de 1.000 a 40.000 mg/L (0,1 a 4%). Aproximadamente, 75 a 90% dos sólidos totais são sólidos suspensos, entre 20 a 35% são compostos voláteis e existe uma pequena porção biodegradável prontamente oxidável.”

Trabalhos e ensaios desenvolvidos por Richter (2001) mostram resultados de que os teores de sólidos presente no lodo varia entre 1.000 a 40.000 mg/L, apresentando de 75 a 90% dos sólidos suspensos e de 20 a 35% de compostos voláteis. Sendo essa pequena porção biodegradável mas que pode ser oxidável.

Tendo em vista que a massa específica do lodo varia de acordo com o seu tratamento e concentrações de sólidos presentes na água bruta.

Neste sentido Richter (2001) afirma que:

“Os lodos são basicamente produtos da coagulação dos constituintes orgânicos e inorgânicos, dissolvidos e suspensos na água bruta, com composição físico-química característica dos produtos utilizados no processo, principalmente na fase de coagulação, correção de pH e abrandamento para remoção da dureza. De modo geral, as características do lodo variam de acordo com a natureza das águas brutas, dos processos unitários e produtos químicos utilizados.”

O lodo gerado em uma ETA nada mais é do que o resultado de um processo de remoção das impurezas sendo elas: compostos orgânicos, areia, silte argiloso, fons, micro-organismos, bactérias, dentre outros componentes que diminuem a qualidade da água potável (CASTRO, 2014).

Neste sentido Di Bernardo (1999) afirma que:

“No caso de lançamentos nos córregos ou rios, estas impurezas podem provocar elevação da DQO, inibição da atividade biológica, mudanças de cor e turbidez e aumento da concentração de sólidos

do corpo receptor, além de influir negativamente em áreas de criação e desova de peixes. Na ausência de uma contaminação significativa da água bruta, apresenta-se um lodo com fração orgânica pequena, bastante estável e não putrescível; para períodos de chuvas, o teor de matéria orgânica se eleva”

Segundo Castro (2014) o lodo de ETA apresenta características parecidas aos solos, mas estas podem variar de acordo com o processo de tratamento usado e a qualidade da água bruta do manancial.

Para Silva (2000) a variação da concentração de sólidos nos lodos depende diretamente dos produtos químicos usados no processo de tratamento.

2.3.2 Impactos Ambientais Gerados pelo lodo

Barbosa (2001) afirma que há alterações nas condições naturais do meio aquático onde habitam organismos vivos com a presença do lodo de ETA porém não há estudo aprofundados neste meio que comprovem o quanto são afetados, mas se sabe que o alumínio e outros contaminantes presentes no processo de tratamento pode estar relacionado ao coagulante, tendo assim bioacumulados destes materiais.

Cordeiro (1999) aponta os impactos do lodo de ETA, e suas consequências, físicas, químicas e biológicas se lançados diretamente em rios, a toxicidade do alumínio presente em peixes e os impactos no corpo humano, ressaltando porém que o alumínio é um elemento abundante no mundo dificultando assim o estudo do seu real impacto no meio onde é descartado o lodo.

Na mesma linha de raciocínio Di Bernardo (1999) afirma que:

“Os resíduos de ETA's – RETA's (Resíduos de Estação de Tratamento de Água), quando lançados nos cursos de água sem o devido tratamento, contribuem para aumentar a concentração de metais tóxicos nos meios aquáticos e diminuir significativamente a luminosidade do meio, reduzindo a produtividade do fitoplâncton, além de serem potencialmente tóxicos para diversos organismos aquáticos, os quais são importantes componentes das comunidades bentônicas e planctônicas e relevantes na alimentação dos peixes.”

Para Bidone (2000):

“Atualmente, não existem leis ambientais no país estabelecendo parâmetros de controle para tratamento e disposição final dos lodos de ETA's. Métodos de tratamento e de disposição final

utilizados em outros países não são adotados no Brasil, devido ao alto custo de implementação e operação, de modo que a prática mais usualmente adotada é o descarte dos resíduos nos corpos d'água. Nesse contexto, o aterro sanitário apresenta-se como uma alternativa ainda viável para tratamento e disposição final de lodos de ETA's no Brasil, devido à disponibilidade de áreas economicamente acessíveis nas cidades de pequeno e médio porte. Nos Estados Unidos, dentre as práticas de disposição de lodos, o aterro municipal é adotado em 20,7% das cidades com 100 mil habitantes”

Andreoli (2006) acrescenta que a geração de resíduo proveniente do tratamento da água só cresce, seguindo os avanços tecnológicos e o crescimento populacional, impedindo assim um equilíbrio entre as partes, resíduos e áreas de aterros, tendo em vista que há uma crescente demanda por água potável o que gera cada vez mais resíduos em contra partida as áreas só diminuem quanto à disposição final deste material.

2.3.3 Disposição final do lodo

Segundo Cordeiro (2000) atualmente a disposição final do lodo tem se tornado um grande desafio, tanto ambientalmente, tecnicamente e economicamente viáveis, um destino final para o lodo como insumo ou matéria prima de algum material pode ser uma solução, reduzindo assim custos de produção e impactos ambientais associados ao descarte inapropriado.

Cordeiro (2000) acrescenta que a adição do lodo de ETA como matéria prima pode reduzir a quantidade de recursos naturais não renováveis e ainda desafogar os aterros sanitários, pois o mesmo não seria mais depositado nestas áreas.

Segundo Richter (2001) umas das tarefas mais difíceis e onerosas para uma Estação de Tratamento de Água é o descarte final do lodo gerado na mesma. Onde o administrador trabalha com custos elevados de transporte e restrições quantos aos órgãos ambientais, entre as alternativas mais usuais para o descarte deste material está:

- Lançamento em cursos de água;
- Lançamento ao mar;
- Lançamento na rede de esgotos sanitários;
- Lagoas Aplicação ao solo;
- Aterro sanitário.

Bidone (2000) acrescenta que depois de alguns países proibirem o descarte deste lodo em corpos receptores (rios e mares) é que se vem desenvolvendo novas técnicas para se reduzir o volume deste lodo e técnicas alternativas para a utilização do lodo. Dentre as alternativas estudadas para se diminuir o volume do lodo são, desidratação natural em lagoas ou leitos de secagem, adensamento mecânico, concentradores por gravidade, filtros a vácuo dentre outros.

Há estudos utilizando lodo como material para a construção civil. Sendo utilizado o lodo do decantador e da lavagem dos filtros, mediante a ensaios verificou-se que a característica mais se assemelham a siltes e argilas. O lodo proveniente do decantador predomina a característica argilosa, já no lodo proveniente da lavagem dos filtros tal concentração é menos por apresentar grande volume de água, apresentando assim características de materiais plásticos com altos valores de umidade.

Tendo em vista suas características este lodo pode ser utilizado para a fabricação de materiais cerâmicos, solo cimento, pigmentos para argamassa e revestimentos ou como aditivo para agregados, sendo de suma importância fazer estudos e pesquisas para a viabilização, técnica e financeira para tais formas de utilização.

Castro (2014) acrescenta que previamente se desenvolva estudos e técnicas para que tornem estes meios atrativos, tanto no meio econômico quanto ambiental, sendo levada em consideração a realidade brasileira.

2.4 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS

Resíduos sólidos, segundo definição da NBR 10004 (ABNT, 1987), são os resíduos nos estados sólido e semi-sólido que resultam de atividades da comunidade de origem. São incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis diante da melhor tecnologia disponível.

Di Bernardo (1999) acrescenta que:

“Os resíduos tratados precisam ser caracterizados segundo os parâmetros físico-químicos e microbiológicos, antes de sua disposição, de acordo com as normas NBR-10004, NBR 10005, NBR 10006 e NBR 10007, para avaliar os riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública de qualquer tipo de resíduo sólido que não apresente características radioativas.”

Quanto a classificação do lodo a NBR 10004 dividem-se em:

Perigosos (Classe I)

Não perigosos (Classe II)

Não inertes (Classe IIA)

Inertes (Classe IIB)

Segundo a NBR 10006, há um procedimento padrão para obtenção do extrato solubilizado de amostras representativas dos resíduos Classe II - não perigosos, os de classe IIA - não inertes, de classe IIB - inertes coletados.

Segundo a NBR 2007, este extrato deve apresentar características em consonância com a norma, e não apresentar concentrações superiores as constantes da Portaria 2914/2011 (Padrão de Potabilidade), com exceção de cor aparente, turbidez, dureza e sabor.

2.5 CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO

Bauer (2000), o concreto é uma mistura composta de agregados graúdos, agregados miúdos, coberto por uma pasta constituída de água e grãos de cimento (em sua forma mais fina) e espaços de ar, podendo o ar ser incorporado ou não incorporado na mistura.

Mehta e Monteiro (1994) descreve o concreto como:

“O concreto é um material composto que consiste essencialmente de um meio contínuo aglomerante, dentro do qual estão mergulhadas partículas ou fragmentos de agregados. No concreto de cimento hidráulico, o meio aglomerante é composto pela mistura de cimento hidráulico e água. O agregado é um material granular, tal como a areia, o pedregulho, a pedra britada ou escória de alto forno, usado com um meio cimentante, para formar um concreto de cimento hidráulico.”

De acordo com Bauer (2000) as resistências e outras propriedades do concreto estão diretamente relacionadas pela sua composição, tendo como destaque a

quantidade de cimento empregada. Esta composição pode ser expressa pelo fator água cimento (a/c), considerando os vazios como ar e água em sua mistura.

O primeiro passo é determinar para que será usado o concreto em destaque, quais são as cargas que o mesmo deverá suportar para que depois por meio de cálculos possa chegar em sua resistência final o f_{ck} ou resistência característica a compressão em Mega Pascal, tendo assim resistência para suportar as cargas solicitadas com estabilidade tendo seu desempenho e maior durabilidade da estrutura.

O diâmetro máximo do agregado graúdo tem a função de delimitar os espaços mínimos destinados a incorporação do aço, pois o mesmo deve ter livre acesso na hora da moldagem, não podendo ficar preso nas ferragens e tão pouco no cobrimento, evitando assim segregação do concreto.

Slump teste tem a função de determinar o abatimento do concreto que nada mais é do que sua plasticidade, quanto mais plástico o concreto mais ele não terá impedimentos para adentrar a estrutura.

Fator água / cimento é o critério que rege diretamente a resistência do concreto, pois se o mesmo apresenta grande concentração de água, quando essa evaporar apresentara grandes concentrações de poros em sua composição, sendo assim uma porta aberta para agentes externos adentrarem ao concreto o deteriorando mais rapidamente e o mesmo não cumprira sua vida útil ou de projeto.

As adições sejam elas minerais ou não tem como objetivo dar uma característica própria ao concreto, estas adições podem ser de, Aditivos Super plastificantes, Aditivos Retardadores de pega, Sílica Ativa, Metacaulim, Fibras Sintéticas dentre outros, tendo em vista que cada um destes aditivos apresenta uma característica diferente ao concreto sendo usado apenas de acordo com os objetivos a serem alcançados.

2.5.1 Principais tipos de cimento e seus componentes

O cimento portland é composto de um fino pó com características aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que adquire dureza se misturado com a água em devidas proporções. Após o seu endurecimento ainda que submetido a mais água o cimento não se dissolvera, tendo a forma que a priori lhe fora dada (ABCP, 2002).

O cimento é o principal composto do concreto sendo ele responsável por aglomerar os outros materiais transformando-o em uma única mistura que

posteriormente se transformara no produto desejado. O cimento apresenta em sua composição o clínquer que é formado por calcário e argila tendo como principal característica um ligante hidráulico que enrijece se misturado com água (MEHTA; MONTEIRO 1994).

A fabricação do clínquer se dá inicialmente pela retirada da rocha calcária sendo a mesma britada e moída, logo após se mistura a argila também moída formando um só composto, a mistura é aquecida a uma temperatura de 1450 °C e depois bruscamente resfriada tendo a formação de pelotas, depois do processo de moagem o clínquer se transforma em pó (MEHTA; MONTEIRO 1994).

As propriedades dos diferentes tipos de cimento se dá pela adição de vários componentes no clínquer quando o mesmo está em processo de moagem. Tendo como principal adição o gesso e as escórias de alto-forno, também são adicionados materiais pozzolânicos e carbonáticos. Há vários tipos de cimento no Brasil, sendo eles diferentes em função da sua composição e seu resultado final, há o cimento com adição de escórias de alto-forno, o de alta resistência inicial, o pozzolânico, os resistentes a sulfato, o de baixo calor de hidratação e o branco, dentre os mais diversos tipos de cimentos produzidos no Brasil o que são mais usados nas construções são CII E-32, o CII F-32 e o CIII-40 (tabela 2) (MEHTA; MONTEIRO 1994).

Tabela 2 - Tipos de cimento fabricados no Brasil

Nome técnico		Identificação do tipo e classificação
Cimento portland comum	Cimento portland comum	CP I-25
		CP I-32
		CP I-40
	Cimento portland comum com adição	CP I-S-25
		CP I-S-32
		CP I-S-40
Cimento portland composto	Cimento portland composto com escória	CP II-E-25
		CP II-E-32
		CP II-E-40
	Cimento portland composto com pozolana	CP II-Z-25
		CP II-Z-32
		CP II-Z-40
Cimento portland de alto-forno	CP III-25	
	CP III-32	
	CP III-40	
Cimento portland pozolânico	CP IV-25	
	CP IV-32	
Cimento portland de alta resistência inicial	CP V-ARI	
Cimento portland resistente a sulfatos	Sigla e classe dos tipos originais acrescidos do Sufixo RS. Exemplo: CP I-32RS, CP II-F-32RS, CP III-40RS, etc.	
Cimento portland de baixo calor de hidratação	Sigla e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo BC. Exemplo: CP I-32BC, CP II-F-32BC, CP III-40BC, etc.	
Cimento portland branco	Cimento portland branco estrutural	CPB-25
		CPB-32
		CPB-40
	Cimento portland branco não estrutural	CPB
Cimento para poços petrolíferos	CPP - classe G	

Fonte: ABCP, 2002.

Mehta e Monteiro (1994) descreve os componentes principais na fabricação do cimento Portland:

CaO: a cal é o componente essencial dos cimentos, figurando numa porcentagens de 60 a 67%. Na maior parte provém da decomposição do carbonato de cálcio. Pode-se dizer que as propriedades mecânicas do cimento Portland aumentam com o teor de cal, desde que se encontre completamente combinado.

SiO₂: a proporção de sílica no cimento Portland varia de 17 a 25%. Ela encontra-se combinada com outros componentes e provém das argilas usadas como matéria prima. É da sua combinação com a cal que resultam os compostos mais importantes do Portland.

Al₂O₃: também da argila provém a alumina do cimento: seu teor varia geralmente de 3 a 8%. O composto formado pela combinação deste óxido com a cal acelera a pega do aglomerante e reduz sua resistência aos sulfatos, pelo que a quantidade presente deve ser pequena. Praticamente não se pode prescindir da alumina porque agindo como fundente facilita o desenvolvimento das reações que possibilitam a formação do clínquer (produto intermediário que sai do forno rotativo, durante a etapa de fabricação do cimento, com massa granular dura e tamanho de partícula entre 3 e 19 mm).

Fe₂O₃: esse óxido, oriundo da argila, aparece geralmente no cimento Portland em quantidades muito pequenas, 0,5 a 6%, combinado com outros óxidos presentes. O óxido de ferro, desde que em porcentagem não muito elevada, é útil pelo seu papel de fundente, desenvolvendo nesse sentido uma ação talvez mais enérgica que da alumina. Acredita-se que os teores relativamente altos de alumina e óxido de ferro possam facilitar a produção comercial de um cimento com porcentagem de cal livre suficientemente alta para converter toda a sílica em silicato tricálcio sem que resulte cal livre em quantidades indesejáveis.

SO₃: tem sua origem principalmente no sulfato de cálcio adicionado corretamente ao cimento para regular sua pega, retardando-a. Estabelecem as especificações o teor máximo de 3% de SO₃, considerando-se perigosa sua presença acima deste limite em virtude da formação de sulfoaluminato.

MgO: a magnésia no cimento provém do carbonato de magnésio presente no calcário, geralmente sob a forma de dolomita (CaCO₃, MgCO₃), ou, em pequena quantidade na argila. Seu teor no cimento varia de 0.1 a 6%. Admite-se que no cimento a magnésia não se encontra combinada. Em quantidades superiores a certos limites, esse óxido atua expansivo, agindo de forma nociva sobre a estabilidade de volume das argamassas e concretos.

K₂O e Na₂O: Os álcalis encontram-se com frequência no cimento Portland, em teores de 0,5 a 1,3 %, desenvolvendo papel de fundentes na cozeduras e agindo como aceleradores da pega.

2.5.2 Resistência à compressão

De acordo com Silva (2000) a resistência a compressão é a principal característica dentre as propriedades do concreto sendo refletido diretamente em seu comportamento mecânico. Há vários estudos científicos que abordam este tema e as pesquisas só crescem ao redor deste objetivo. Contudo a resistência do concreto está diretamente relacionada com a hidratação do cimento podendo sofrer influência do

meio externo sendo alterados por fenômenos conhecidos como, efeito microfiller e reação pozolânica.

Mehta e Monteiro (1994) afirma que a resistência de um corpo de prova é medida pela sua tensão, e a tensão nada mais é que a força empregada dividida pela sua área, baseado nessa resistência aos 28 dias o concreto se divide em três categorias:

Concreto de baixa resistência: resistência à compressão menor que 20 MPa;

Concreto de resistência moderada: resistência à compressão entre 20 e 40 MPa;

Concreto de alta resistência: resistência à compressão superior a 40 MPa.

No ensaio de resistência a compressão o corpo de prova é colocado centralizado na prensa onde se aplica uma carga de compressão de 0,55 MPa até a sua ruptura, tendo assim um gráfico que aponta sua resistência máxima (NBR 9781/2013).

Com o passar do tempo esta resistência pode sofrer um pequeno aumento, sendo influenciado diretamente por componentes externos, tais como, umidade, adensamento, características do cimento, composição química, mas a característica que mais influencia na resistência do concreto é o fator água/cimento, sendo ela relacionada a sua resistência.

3 METODOLOGIA

A metodologia do trabalho será resultado de uma pesquisa quantitativa e qualitativa, cujo objetivo é avaliar a adição do lodo gerado na ETA e que após calcinado seria integrado à composição de concreto convencional com função estrutural através de corpos-de-prova, verificando sua resistência e qualidade, quando comparado com um concreto são, sem qualquer adição do lodo calcinado.

A Odebrecht Ambiental Saneatins com sede em Palmas - TO, possui estação de tratamento de água com a produção de água tratada, do tipo ciclo completo, de onde será retirado o resíduo sólido utilizado na composição dos corpos de prova.

Serão avaliados corpos de prova com a adição e sem a adição do lodo calcinado e todos serão submetidos ensaios de compressão axial e seguirão a moldagem de acordo com a norma NBR 5739/2015, Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

3.1 LOCALIZAÇÃO

3.1.1 Ribeirão Taquaruçu Grande

O local do Ribeirão Taquaruçu Grande se dar no município de Palmas Tocantins entre os pontos de 10° 10' 10" e 10° 25' 18" de Latitude Sul e os meridianos 48° 03' 57" e 48° 23' 03" de Longitude Oeste de Greenwich, tendo uma área total de 46.307,31 hectares, representando assim mais de 19% do terreno de Palmas, tendo em vista que mais de 73% está dentro da Área de Proteção Ambiental Serra do Lajeado, abastecendo assim 70% de Palmas (CASTRO, 2010).

3.1.2 Local da área de estudo

A Estação de Tratamento de Água (ETA 006), encontra-se localizado no Km 12 da Rodovia TO 050 sentido acostamento esquerdo direção Taquaralto do Ribeirão Taquaruçu Grande. (CASTRO, 2010).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO LODO GERADO NA ETA 06

A caracterização do lodo gerado na estação de tratamento de água, aqui utilizado, foi determinado segundo os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos tendo em vista a sua disposição em análise à norma NBR 10004 que classifica o resíduo sólido como: não perigosos (classe II), tendo como base a análise de lixiviação e solubilização.

3.2.1 Teor de umidade

A umidade a ser trabalhada no estudo será de 0% no lodo, totalmente seco em estufa e que, para eliminação da matéria orgânica optou-se por calcinar o lodo na mufla a 700°C, buscando eliminar a matéria orgânica existente no resíduo sólido, posteriormente moído para uma melhor trabalhabilidade do material e incorporação no concreto, para que o mesmo não venha apresentar a necessidade de adição de água em sua composição, tendo em vista o fator água/cimento influencia diretamente em sua resistência final.

3.3 Caracterização do agregado e aglomerantes

O agregado utilizado na confecção dos corpos de prova de concreto foi a brita, de diâmetro máximo 19 mm. Os principais parâmetros físicos dos agregados graúdos e miúdos foram analisados segundo recomendação da NBR – 12655/2015.

O aglomerante utilizado foi o Cimento Portland composto com pozolana CP II-Z-32, cuja a caracterização obedece a NBR – 12655/2015.

3.3.1 Massa específica e unitária do agregado miúdo

A Massa específica do material utilizado se dá pela massa deste em relação ao volume das partículas sólidas, e volume em grãos sem contar os vazios.

Normas:

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

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

A massa unitária do material utilizado é determinada pelo volume do material granular considerando seus vazios.

Normas:

- NBR 7251 - Agregado no estado solto: Determinação da massa unitária.

Porém a norma não especifica a determinação da massa unitária do cimento.

3.3.2 Granulometria dos materiais

Foi adotado no presente trabalho a finura do lodo calcinado pela moagem até passar na peneira 600 µm para adição no concreto, com o intuito de facilitar a incorporação do resíduo sólido na confecção dos corpos de prova.

A granulometria do agregado miúdo se deu pelo peneiramento de amostras nas peneiras #4,8; #2,4; #1,2; #0,6; #0,3; #0,15, sendo assim classificada como modulo de finura de 1,56; areia fina.

A determinação da massa específica, é definida pelo método do frasco de Chapman. (NBR 9775/2011).

A aparelhagem com o qual executara o ensaio é a NBR 9776. Contando com os seguintes instrumentos de trabalho:

- a) Balança de 5 kg de capacidade e sensibilidade de 1 g;
- b) Estufa;
- c) Frasco de Chapman;
- d) Espátula;
- e) Tacho;
- f) Amostra de areia seca;
- g) Funil.

Quanto ao Procedimento, tem-se:

Adição de água no frasco até a marca de 200 ml, deixando-o em repouso, para que a água aderida na parte interna do recipiente e escorra.

Em seguida, há a introdução cuidadosa da amostra de areia/lodo no frasco com auxílio do funil.

Após as duas primeiras etapas do procedimento, há a agitação com o intuito de eliminar as bolhas de ar.

Assim, há a necessidade de executar movimentos corretos para eliminação dos grãos aderentes na parte interna do frasco.

Por fim, no processamento, deve-se fazer a leitura (L) do nível de água no gargalo do frasco.

3.4 DOSAGEM

Para atingir os objetivos do presente estudo, foram utilizados lodo provenientes da Estação de Tratamento de Água 006 (ETA 006), do Sistema Ribeirão Taquaruçu.

O concreto será moldado com o auxílio do laboratório CEULP/ULBRA, de acordo com as normas pertinentes NBR 12655/2015.

Para a confecção da dosagem misturou-se o lodo calcinado da ETA com o concreto em diversas concentrações, com o objetivo de estudar as propriedades mecânicas destas misturas após secagem e cura.

Desta forma pretende-se estudar misturas de concreto com diferentes teores de resíduos de lodo calcinado da ETA, sendo eles com 0% (concreto de referência), 5%, 10% e 20%. Foram moldados corpos de prova com todas as misturas, visando a aplicação deste material em concreto convencional com fins estruturais voltados à construção civil.

Serão analisadas e discutidas as características físicas e mecânicas sendo elas: Slump teste, massa específica aparente, absorção de água, contração linear e tensão de ruptura a compressão.

O F_{ck} adotado foi de 20 Mpa, para construções convencionais, substituindo na fórmula do F_{cj} para cálculo de resistência de dosagem de acordo com a norma NBR 12655/2015 e o método ACI.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO TRATAMENTO DE ÁGUA E GERAÇÃO DE LODO NA ETA 06

A captação de água é efetuada no Ribeirão Taquaruçu pela empresa Odebrecht Ambiental Saneatins, em Palmas – TO, onde possui uma estação de tratamento de água que abastece todo município.

A Estação de Tratamento de Água é do tipo convencional e faz o uso dos seguintes processos para tratamento de água:

Coagulação

Floculação

Decantação

Filtração

Desinfecção

Fluoretação

Correção de PH

Os metais presentes na água bruta é retirada na etapa de oxidação, principalmente o ferro e manganês, se tornando insolúveis com a adição de cloro.

Na coagulação além da correção de pH com adição de cal, adiciona-se coagulantes podendo ser cloreto de ferro, hidróxido de alumínio ou sulfato de alumínio, dependendo da disponibilidade de mercado. Inicia-se a formação de flocos.

Na floculação a água é lançada em tanques para favorecer ainda mais a formação de flocos e impurezas maiores. No tanque de decantação ocorre a separação dos flocos da água.

Na etapa da filtração a água decantada passa por filtros de antracito, areia e cascalho onde as impurezas que não foram sedimentadas nas etapas anteriores ficam retidas nesta etapa.

Antes de a água ser lançada para consumo na rede pública ela passa ainda por uma etapa de desinfecção, na qual se adiciona cloro para eliminação de microrganismos e também manter um nível residual de cloro na água tratada para prevenir a contaminação que pode ocorrer durante o seu trajeto por redes e reservatórios. Adiciona-se também cal com o objetivo de obter um pH adequado, entre

6 e 7,8, com o objetivo de proteger as tubulações da rede de distribuição de água para o centro consumidor.

Na etapa de fluoretação adiciona-se flúor na água que posteriormente é bombeada para os reservatórios por adutoras.

4.2 RETIRADA DA ÁGUA E ESTIMATIVA DA MASSA SECA DO LODO

Todo o lodo gerado no processo de tratamento de água é destinado a tanques de descarga, próprios para receber tal material, onde o mesmo decanta para possibilitar a retirada da água ainda restante no processo de limpeza dos filtros. (Figura 1)

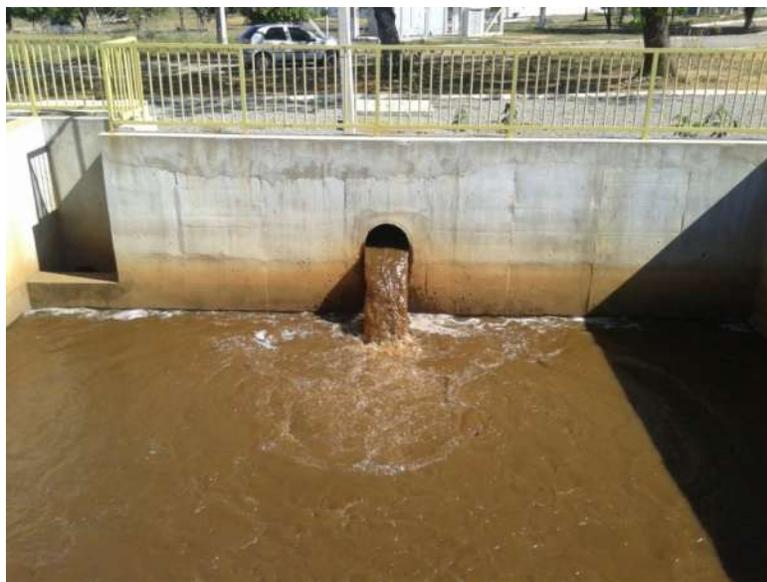


Figura 1 - Descarga do lodo proveniente dos filtros

Fonte: Autor, 2016

Em seguida, a equipe de químicos preparou a solução do polímero para resultar em dosagens de 2 a 5 mg pol./g SST. Tal polímero permite um aumento na velocidade de sedimentação e tanto auxilia na clarificação da água de lavagem dos filtros quanto no desaguamento do lodo.



Figura 2 - Lodo decantando

Fonte: Autor, 2016

Este lodo decantado, que apresenta nesta etapa um elevado teor de umidade, é direcionado por meio de pressurização para um equipamento chamado “bags”, que são filtros cuja função principal é extrair o excesso de umidade, forçando com que a água presente no material saia. (Figura 2)



Figura 3 - Bags
Fonte: Autor, 2016

Após este processo a água expelida volta para o sistema de tratamento inicial, já o lodo presente nos bags, que neste momento se apresenta em forma de pasta, está pronto para ser colhido. (Figura 3, 4 e 5)



Figura 4 - Colheita do lodo
Fonte: Autor, 2016



Figura 5 - Lodo em Pasta

Fonte: Autor, 2016

Desde o início do processamento, o técnico responsável pelo acompanhamento da retirada do lodo em pasta, faz o uso dos Equipamentos de Proteção Individual (EPI's), conforme normas de segurança do trabalho (NR6). Para a colheita o instrumento utilizado pelo profissional é uma tubulação convencional de PVC de 100mm. (Figura 6)



Figura 6 - Equipamentos de Proteção Individual
Fonte: Autor, 2016

Após a coleta e secagem do lodo em estufa própria, o estudo passa a analisar tanto a massa úmida quanto a massa seca presente no material, com o intuito de calcular o teor de umidade ainda presente na pasta. (Figura 7)



Figura 7 - Estufa com o material
Fonte: Autor, 2016

Quanto aos resultados obtidos a respeito da estimativa da secagem do lodo a pesagem da massa úmida retirada de 2.000 (dois mil) gramas de material, após o processo de secagem em estufa resultou em um total seco de 734,9 gramas, comum teor de umidade de 63,26%. (Figura 8)

Demonstração do cálculo do teor de umidade da massa. Vejamos:

$$\text{Massa seca} = (734,9/2000)*100 \rightarrow \text{massa seca} = 36,74\%$$

$$\text{Massa úmida} = \text{total} - \text{massa seca}$$

$$\text{Massa úmida} = 100 - 36,74$$

$$\text{Massa úmida} = 63,26\%$$



Figura 8 - Lodo após secagem

Fonte: Autor 2016

Após o lodo está totalmente seco, o mesmo foi destinado a mufla para que sua matéria orgânica pudesse ser queimada (figura 9).



Figura 9 - Lodo Seco e Lodo Calcinado
Fonte: Autor, 2016

Observou-se que após a queima do material e a eliminação da matéria orgânica o mesmo apresentou uma redução de sua massa, apresentando uma média de perda de 24,37%.

Totalizando um aproveitamento de 75,63% do lodo calcinado a ser utilizado no concreto convencional com fim estrutural.

4.2.1 Lodo

Após o processo de secagem em estufa apropriada, o lodo utilizado no estudo foi direcionado a mufla, com uma temperatura de 700°C o mesmo foi calcinado visando a eliminação de sua matéria orgânica, logo em seguida o lodo calcinado foi moído de forma manual, até que resultasse em um pó, cujo objetivo principal é o resultado de uma mistura mais uniforme para sua adição ao concreto. (Figura 10)



Figura 10 - Lodo em pó
Fonte: Autor, 2016

4.3 GRANULOMETRIA DOS MATERIAIS

L = 390 – Frasco de Chapmam

$M_{esp} = 500 / (390 - 200) \rightarrow M_{esp} = 500 / 190 \rightarrow M_{esp} = 2,63 \text{ g/cm}^3$ ou 2.630 Kg/m^3 (Figura 13).

A massa unitária da areia é a relação entre a sua massa seca e seu volume, sem a compactação considerando os vazios entre os grãos. Onde temos: (Figura 12).

$M_{uni} = 1.550 / 1.000 \rightarrow M_{uni} = 1,55 \text{ g/cm}^3$ ou 1.550 Kg/m^3



Figura 11 - Composição Granulométrica da Areia
Fonte: Autor 2016



Figura 12 - Frasco de Chapman
Fonte: Autor 2016

O agregado utilizado na confecção dos corpos de prova de concreto foi a brita 1 de DN máximo de 19mm de massa específica 2.619 kg/m³ e Massa unitária de 1.450 Kg/m³. Os principais parâmetros físicos dos agregados graúdos e miúdos foram analisados segundo recomendação da NBR – 12655/2015.

O aglomerante utilizado foi o Cimento Portland composto com pozolana e CP II-Z-32, cuja a caracterização obedece a NBR – 12655/2015 (Figura 13).

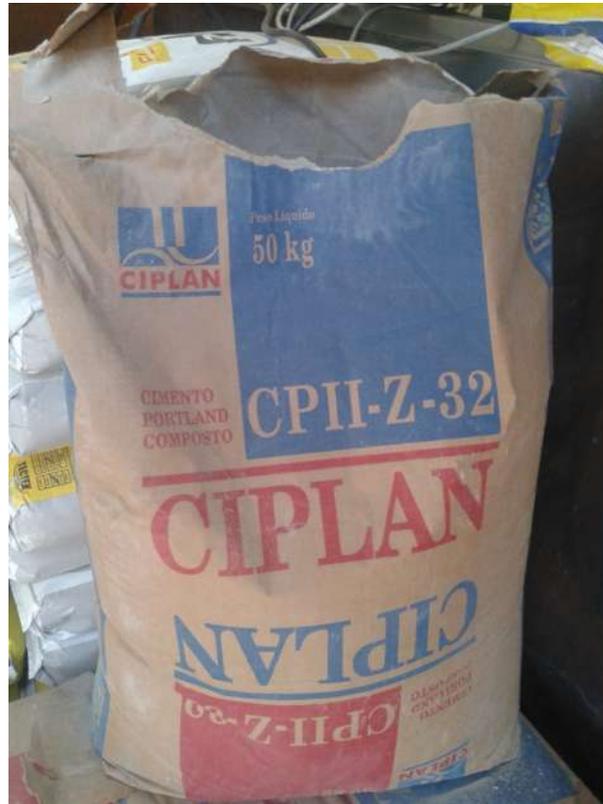


Figura 13 - Cimento Ciplan CII - Z - 32
Fonte: Autor 2016

4.4 CALCULO DA DOSAGEM

1° Passo: Slump

Slump = 10 +/- 2cm

2° Passo: DN Max do agregado

DNmax = 19mm

3° Passo: H₂O + AR – sem ar incorporado

$$H_2O = 205 \text{ L ou } 0,205\text{m}^3$$

$$AR = 2\% \text{ ou } 0,02\text{m}^3$$

4° Passo: Fator Água/Cimento - A/C

$$F_{cj} = F_{ck} + 1,65 \times S_d \rightarrow F_{cj} = 20,00 + 1,65 \times 4 \rightarrow F_{cj} = 26,6 \text{ MPa}$$

$$(28 - 21) / (0,57 - 0,68) = (28 - 26,6) / (0,57 - X) \rightarrow X = 0,59$$

$$\text{Fator Água Cimento do traço} = 0,59$$

5° Passo: Consumo de Cimento

$$C = H_2O / (A/C) \rightarrow C = 205 / 0,59 \rightarrow C = 347,457 \text{ Kg}$$

$$V_c = M / M_{esp} \rightarrow V_c = 347,457 / 3150 \rightarrow V_c = 0,11 \text{ m}^3$$

6° Passo: Agregado Graúdo (AG)

Modulo de Finura da Areia x Massa Unitária do Agregado

$$0,744 \times 1.450 = 1.078,8 \text{ Kg}$$

$$V_b = M / M_{esp} \rightarrow V_b = 1.078,8 / 2.619 \rightarrow V_b = 0,412 \text{ m}^3$$

7° Passo: Agregado Miúdo

$$1\text{m}^3 = V_c + V_b + V_a + V_{ar} + V_{H_2O} \rightarrow V_a = 1 - (V_c + V_b + V_{ar} + V_{H_2O})$$

$$V_a = 1 - (0,11 + 0,412 + 0,02 + 0,205) \rightarrow V_a = 0,253\text{m}^3$$

$$M_a = V_a \times M_{esp} \rightarrow M_a = 0,253 \times 2.619 \rightarrow M_a = 662,6 \text{ Kg}$$

Traço: Cimento : Agregado Miúdo : Agregado Graúdo : Água

$$\text{Traço: } (347,457/347,457) : (662,6/347,457) : (1.012,2/347,457) : (205/347,457)$$

Traço Referência: 1 : 1,9 : 2,91 : 0,59

4.5 DETERMINAÇÃO DO SLUMP TESTE (ENSAIO DE ABATIMENTO)

Inicialmente é necessário mencionar que o Slump teste tem como finalidade determinar a consistência do concreto, analisando o abatimento após a realização do procedimento, ou seja, o Slump é a medida da altura do tronco de cone, em centímetros, em relação a massa do concreto acomodada.

O Slump teste visa avaliar a trabalhabilidade do concreto e não existe uma nenhuma relação direta entre a resistência do concreto e seu Slump.

Porém é necessário ressaltar que o concreto com o Slump Teste maior do que o traço calculado indica que houve um acréscimo de água na sua composição, alterando assim o fator Água/Cimento que influencia diretamente na resistência do concreto.

Já o concreto com o Slump Teste menor que o traço calculado significa que o mesmo não apresenta a trabalhabilidade desejada gerando dificuldades na hora de sua concretagem, e originando bicheiras e desagregação do agregado nas ferragens, tendo em vista que o concreto não apresenta uma trabalhabilidade necessária para preencher os vazios.

No caso do presente trabalho o Slump teste do concreto com 0% de adição de lodo calcinado apresentou o abatimento de 11 centímetros, ou seja, dentro da variação calculada no traço que foi de 10 +/- 2 centímetros. (Figura 14).



Figura 14 - Slump teste do concreto com 0% de lodo Calcinado
Fonte: Autor, 2016

Já o Slump teste do concreto com 5% de adição de lodo calcinado apresentou o abatimento de 9 centímetros, ou seja, dentro da variação calculada no traço que foi de 10 +/- 2 centímetros (Figura 15).



Figura 15 - Slump teste do concreto com 5% de lodo Calcinado
Fonte: Autor, 2016

Quanto ao Slump teste do concreto com 10% de adição de lodo calcinado apresentou o abatimento de 8 centímetros, ou seja, dentro da variação calculada no traço que foi de 10 +/- 2 centímetros (Figura 16).



Figura 16 - Slump teste do concreto com 10% de lodo Calcinado
Fonte: Autor, 2016

Porém, no que diz respeito ao Slump teste do concreto com 20% de adição de lodo calcinado apresentou abatimento 6 centímetros, ficando fora da variação calculada no traço que foi de 10 +/- 2 centímetros (Figura 17).



Figura 17 - Slump teste do concreto com 20% de lodo Calcinado
Fonte: Autor, 2016

4.6 CORPOS DE PROVA

A produção dos corpos-de-prova foi realizada no Laboratório do CEUL/ULBRA na cidade de Palmas no Estado de Tocantins, com auxílio de formas próprias com dimensões de 100mm x 200mm e 150mm x 300mm (Figura 18).



Figura 18 - Corpos de Prova

Fonte: Autor, 2016

4.7 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS-DE-PROVAS

Conforme o cálculo de dosagem o concreto aos 28 dias terá que apresentar uma resistência de 26,6Mpa. Para realizar o ensaio utilizou-se a seguinte aparelhagem.

Munido de uma prensa para assegurar a distribuição uniforme dos esforços no corpo-de-prova (Figura 19).



Figura 19 - Prensa EMIC Capacidade 200 Toneladas
Fonte: Autor, 2016

Após tal processamento, o corpo-de-prova, pronto para ser rompido, foi colocado na prensa de modo que o seu centro de gravidade estivesse no eixo de carga.

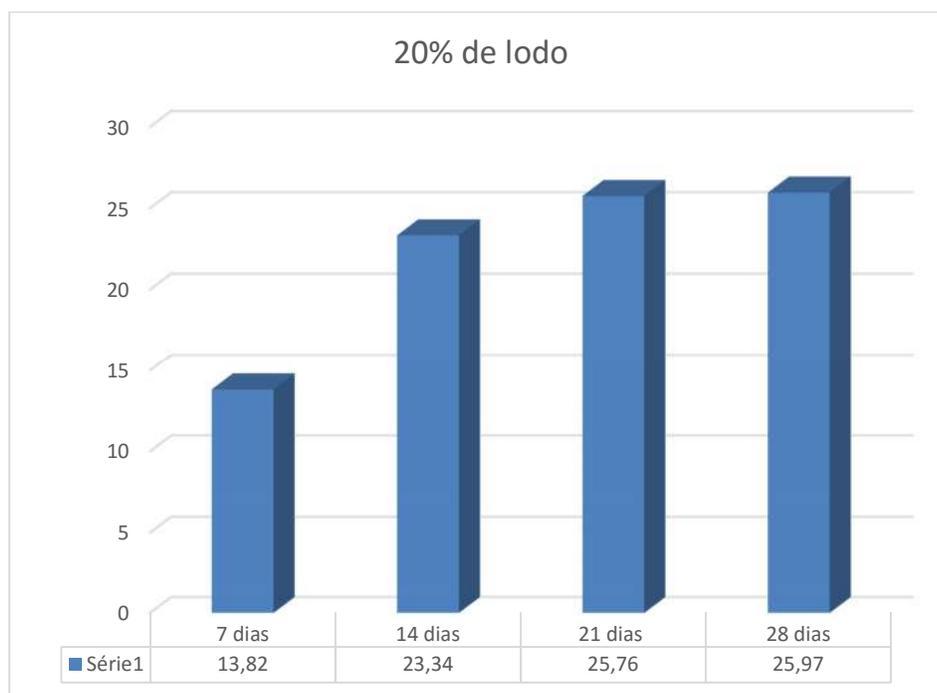
O rompimento dos corpos-de-prova apresentou os seguintes resultados: (Tabela 3)

Tabela 3 - Resistencia dos Corpos de Prova

Corpos de prova com adição de lodo				
Dias / %	Resistência em MPa			
	0%	5%	10%	20%
7 dias	13,33	13,85	15,8	13,82
14 dias	27,29	26,87	27,47	23,34
21 dias	28,87	27,70	27,82	25,76
28 dias	29,03	28,88	29,42	25,97

Fonte: Autor, 2016

Os corpos de prova de 20% de adição de lodo calcinado não apresentaram a resistência mínima de cálculo, o Fcj de 28 dias que era de 26,6 MPa, porem ficou bem próximo do resultado atingindo 97,63% deste valor. (Figura 20)

**Figura 20** - Resistência dos corpos de prova de 20% de lodo calcinado

Fonte: Autor, 2016

Os corpos de prova de 10% de adição de lodo calcinado apresentaram uma resistência superior a de cálculo atendendo assim as solicitações. (Figura 21)



Figura 21- Resistência dos corpos de prova de 10% de lodo calcinado
Fonte: Autor, 2016

Os corpos de prova de 5% de adição de lodo calcinado apresentaram uma resistência superior a de cálculo atendendo assim as solicitações. (Figura 22)

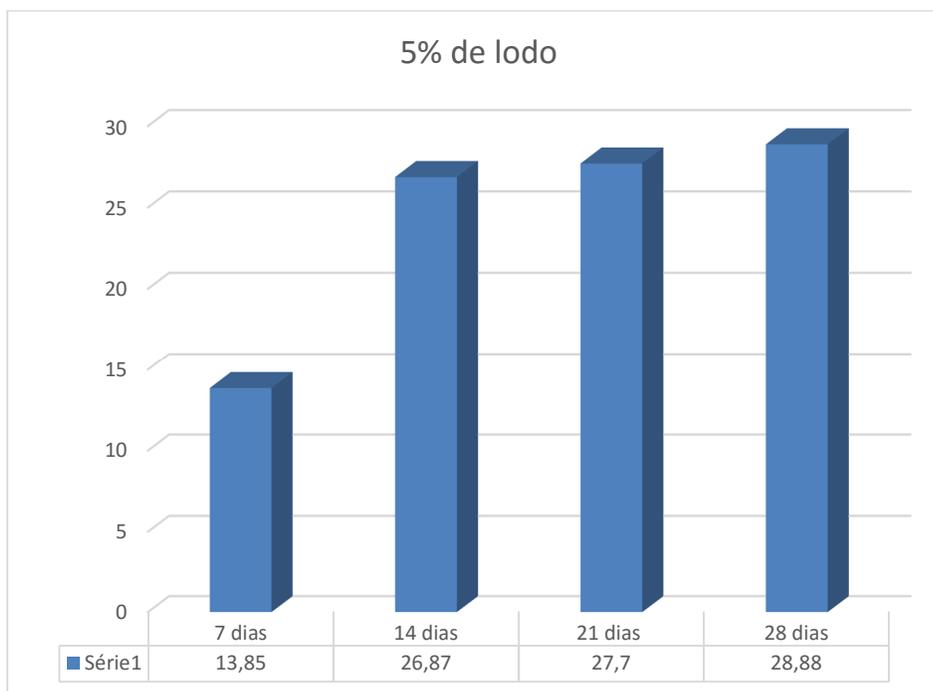


Figura 22 - Resistência dos corpos de prova de 5% de lodo calcinado
Fonte: Autor, 2016

Os corpos de prova de 0% de lodo calcinado apresentam resistência necessária de projeto a partir dos 14 dias, apresentando ganho de resistência aos 28 dias. (Figura 23)

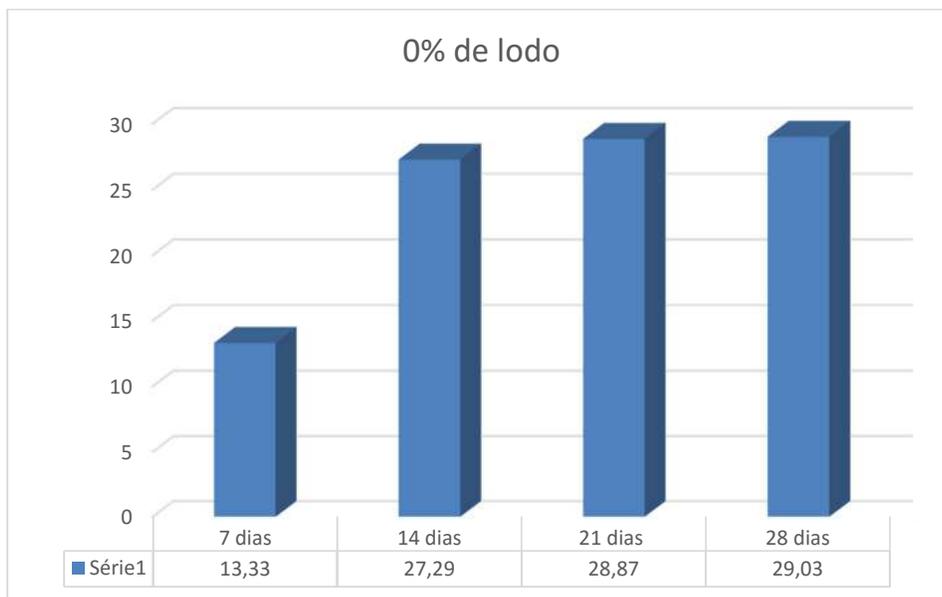


Figura 23- Resistência dos corpos de prova de 0% de lodo calcinado
Fonte: Autor, 2016

Os corpos de prova aos 28 dias com 0%, 5% e 10% de lodo calcinado apresentaram resultados satisfatórios em sua resistência ficando acima da resistência de cálculo. Já os corpos de prova de 28 dias com 20% de lodo calcinado apresentaram resistência inferior ao esperado e estão reprovados no quesito resistência mecânica a compressão. (Figura 24)

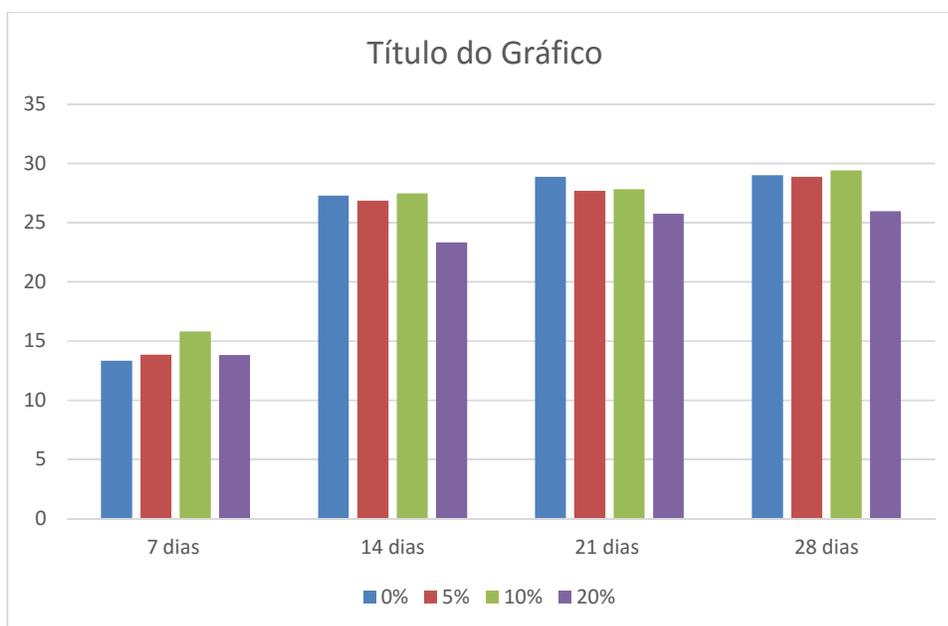


Figura 24- Resistência a compressão dos corpos de prova
Fonte: Autor, 2016

4.8 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ABSORÇÃO D'ÁGUA

O índice de absorção de água é dado pela média da diferença da massa seca e massa úmida dos corpos de prova e dividida pela massa seca.

$$AA (\%) = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100$$

Tabela 4- Índice de absorção d'água

CP's/ABSORÇÃO	BLOCO SATURADO (g)	BLOCO SECO (g)	% DE ABSORÇÃO
0% de lodo	3633,33	3610,00	0,64
5% de lodo	3608,33	3583,67	0,68
10% de lodo	3624,00	3590,67	0,92
20% de lodo	3569,67	3539,00	0,86

Fonte: Autor, 2016

Todos apresentam porcentagem de absorção de água abaixo de 1%, não apresentando grande índices de vazios, no cálculo da dosagem os índice de incorporação de ar é de 2% atendendo assim as demandas de cálculos. (Tabela 4)

4.9 DETERMINAÇÃO DA RETRAÇÃO VOLUMETRICA

Os corpos de prova não apresentaram variação quanto ao seu volume e medidas, apresentando assim no quesito retração um índice satisfatório.

4.10 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECIFICA APARENTE

A média dos pesos dos bloco dividida pelo seu volume resulta na massa especifica aparente. Tem-se como resultado que os corpos de prova com adição de lodo apresentam uma massa especifica aparente mais leve, porem este resultado não é tão significativo.

A tabela 5 mostra a variação dessas massas:

Tabela 5 - Massa específica aparente

CORPOS DE PROVA	Peso (g)	Volume (cm ³)	Massa específica aparente (g/cm ³)
0% de lodo	3610	1570	2,30
5% de lodo	3583,67	1570	2,28
10% de lodo	3590,67	1570	2,29
20% de lodo	3539	1570	2,25

Fonte: Autor, 2016

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram confeccionados corpos de prova de concreto com função estrutural com incorporação de lodo calcinado proveniente da Estação de Tratamento de Água do município de Palmas TO.

As principais conclusões obtidas a partir dos resultados foram as seguintes:

Os corpos de prova de 0% por se tratar do traço “zero” será a referência do trabalho, para a comparação dos resultados obtidos com a adição do lodo calcinado ao concreto convencional, tendo em vista que o trabalho tem como finalidade o aproveitamento deste material que a priori seria descartado.

A resistência a compressão do concreto com adição de lodo calcinado apresentou condições satisfatórias nas porcentagens de 5 e 10%, ficando assim dentro dos padrões de cálculos do Fcj de 28 dias de 26,6 Mpa.

O concreto com a porcentagem de 20% de lodo calcinado não apresentou resistência mínima de cálculo, ficando abaixo dos 26,6 Mpa, tendo que ser reprovado no quesito resistência a compressão.

O Slump teste do concreto com adição nas porcentagens de 5 e 10% apresentaram índices satisfatórios quanto a sua trabalhabilidade ficando dentro dos padrões de cálculos.

Já o Slump teste do concreto com adição de 20% se mostrou pouco trabalhável ficando com um abatimento fora do calculado, tendo que ser reprovado no quesito Slump teste.

Todos os corpos de prova apresentaram pouca absorção de água, ficando abaixo do calculado.

Todos os corpos de prova não apresentaram variação volumétrica tendo assim suas dimensões bem definidas.

Há pouca variação no que diz respeito a massa específica dos corpos de prova, porem o concreto com adição de lodo calcinado apresenta uma massa específica menor se comparado com o concreto sem a adição.

6 REFERENCIAS

ABCP – Associação Brasileira Cimento Portland.

ANDREOLI, C. V. **Alternativas de Uso de Resíduos do Saneamento.**

ANDREOLI, C. V. (coord). **Usos Alternativos de Lodos de Estações de Tratamento de Água e Estações de Tratamento de Esgoto.** Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, 2006.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT - **Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento NBR 12655 – 2015**

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT - **Agregados para concreto - Especificação NBR 7211 – 2009**

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT - Agregados - **Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman - Método de ensaio NBR 9776 – 1987**

BARBOSA, R. M.; POVINELLI, J.; ROCHA, O. & ESPÍNDOLA, E. L.G. **A toxicidade de despejos (lodos) de estações de tratamento de água: daphnia similis (cladocera, crustácea).** In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.

BAUER, L.A FALCÃO, **Materiais de Construção.** Editora LTC, Vol 01. Rio de Janeiro 2000.

BIDONE, F.; SILVA, A. P.; MARQUES, D.M. **Lodos Produzidos nas Estações de Tratamento de Água (ETAs) – Desidratação em Leitos de Secagem e Codisposição em Aterro Sanitário.** In: ANDREOLI, C.V. (Org), 2000.

CASTRO Mayra Aires de - **Acadêmica do curso de Gestão Ambiental. IMPORTÂNCIA DO TRATAMENTO DE ÁGUA ETA 006 SANEATINS PALMAS-TO. CATÓLICA DO TOCANTINS, 2010.**

CASTRO Cesar Eduardo Carvalho - **INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS - MESTRADO PROFISSIONAL, 2014.**

CORDEIRO, J. S. **Importância do Tratamento e Disposição Adequada dos lodos de ETAs.** In: REALLI, M.A.P. (coord) **Noções Gerais de tratamento de Disposição Final de Lodos de ETA.** Rio de Janeiro: ABES/PRSAB, 1999.

CORDEIRO, J. S. **Processamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água (ETA's).** In: ANDREOLI, C. V. (coord.) **Aproveitamento do Lodo Gerado em Estações de Tratamento de Água e Esgotos Sanitários, Inclusive com a Utilização de Técnicas Consorciadas com Resíduos Sólidos Urbanos.** Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, 2001.

CORDEIRO, J. S. **Gerenciamento de Lodo de ETA's – Remoção de água, através de leitos de secagem e codisposição da fase solida em matrizes de cimento e resíduos da construção civil.** São Carlos: UFSCAR/ FINEP: 2000.

DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C.C.S.; HELLER, L. **Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas. PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico.** Rio de Janeiro ABES, 1999.

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

ODEBRECHT AMBIENTAL/SANEATINS. Disponível em:
www.odebrechtambiental.com/tocantins. Acesso em: Agosto 2016.

REIBER, S.; WALTER, K.; STANDISH-LEE, P. **Drinking water aluminum and bioavailability.** Journal. American Water Works Association, 1995.

Resíduos Sólidos do Saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: RIMA, ABES, 2001.

RICHTER, C. A. **Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água.** Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo. 2001.

SABESP. **Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo**
Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=47>.
Acesso em: Agosto 2016.

SARON, A.; LEITE, V. M.B. **Quantificação de Lodo em Estação de Tratamento de Água.** In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, 21. 2001, João Pessoa. Anais.

7 ANEXOS

RELATÓRIO DE ENSAIO DE CORPO DE PROVA

