

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

IVO CESAR CAPISTRANO JUNIOR

**UTILIZAÇÃO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA COMO
INSUMO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Lages – SC

2020

IVO CESAR CAPISTRANO JUNIOR

**UTILIZAÇÃO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA COMO
INSUMO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Unifacvest, como requisito para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil na área de concentração de Engenharias.

Orientador: Prof. Aldori Batista dos Anjos

Lages – SC

2020

IVO CESAR CAPISTRANO JUNIOR

**UTILIZAÇÃO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA COMO
INSUMO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Unifacvest, como requisito para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil na área de concentração de Engenharias.

Orientador: Prof. Aldori Batista dos Anjos

Aprovado em: ____/____/____.

Nota: ____.

Prof.

(Orientador)

Prof.

(Examinador)

Prof.

(Examinador)

RESUMO

As estações de tratamento de água (ETA) produzem um resíduo denominado lodo, que por apresentar substâncias altamente prejudiciais ao meio ambiente deve ter um manejo adequado. Esses resíduos geralmente são lançados em aterros, lixões ou diretamente nos corpos d'água sem nenhum tratamento prévio, culminando em grandes impactos ambientais. Diante desse cenário, órgãos ambientais passaram a exigir alternativas para a disposição desse resíduo, para que com isso seja preservado e recuperado a qualidade do meio ambiente. O presente trabalho teve com o objetivo realizar o levantamento, com base em revisão de literatura, de alternativas ambientalmente corretas para a disposição final do lodo de ETA. Os resultados mostraram a possibilidade de incorporar esse resíduo na fabricação de materiais da construção civil – como cerâmica vermelha, argamassa, concreto e solo-cimento. Tais achados contribuem para aumentar o conhecimento sobre o correto descarte e aproveitamento desse resíduo como matéria prima na cadeia produtiva da construção civil.

Palavras-chave: Estações de Tratamento. Resíduos, Aproveitamento.

ABSTRACT

Water treatment plants (ETA) produce a residue called sludge, which, due to its highly harmful substances to the environment, must be properly managed. These residues are usually released in landfills, landfills or directly into bodies of water without any previous treatment, culminating in major environmental impacts. In view of this scenario, environmental agencies started to demand alternatives for the disposal of this waste, so that the quality of the environment can be preserved and recovered. This study aimed to survey, based on a literature review, environmentally correct alternatives for the final disposal of ETA sludge. The results showed the possibility of incorporating this residue in the manufacture of construction materials - such as red ceramic, mortar, concrete and soil-cement. Such findings contribute to increase knowledge about the correct disposal and use of this waste as raw material in the civil construction production chain.

Keywords: Treatment Stations, Waste, Recovery.

LISTA DE TABELA E FIGURAS

Figura 1 - Etapas do tratamento da água bruta na ETA.....	12
Figura 2 - Geração do lodo na ETA.....	13
Tabela 1 - Característica química do lodo seco.	13
Figura 3 - Limpeza manual de lodos de decantadores.....	14
Tabela 2 - Quantidade de materiais de argamassa com diferentes proporções de lodo.	18
Figura 4 - Ensaio de compressão axial (à esq.) e diametral dos CPs.	19
Tabela 3 - Resumo do ensaio de resistência mecânica.....	19
Tabela 4 - Valores de referências para o tijolo solo-cimento.....	21
Figura 5 - Absorção de água e resistência à compressão dos tijolos com 3% de lodo	21
Figura 6 - Absorção de água e resistência à compressão dos tijolos com 5% de lodo	22
Figura 7 - Absorção de água e resistência à compressão dos tijolos com 8% de lodo	22
Figura 8 - Absorção de água e resistência à compressão dos tijolos com 10% de lodo.	23
Tabela 5 - Composição dos traços estudados.	23
Figura 9 - Resistência à compressão dos corpos de prova.....	24
Figura 10 - Resistência à compressão em função do teor de lodo de ETA, para 7 e 28 dias.....	26
Tabela 7 - Resistência à compressão axial simples dos CPs, em função da idade e da concentração de lodo.	27
Figura 11 - Corpos de prova queimados a 700, 900 e 1100°C das cerâmicas com 0 e 10% de lodo de ETA incorporado.....	27
Figura 12 - Absorção de água da massa de cerâmica vermelha em função do lodo de ETA incorporado.....	28
Figura 13 - Tensão de ruptura à flexão da massa de cerâmica função do lodo de ETA incorporado.	28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 Descrição do Problema.....	8
1.2 Justificativa	9
1.3 Objetivo Geral.....	10
1.4 Objetivos Específicos.....	10
1.5 Metodologia	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1 Estação de Tratamento de Água – ETA	12
2.2 Caracterização do Lodo Gerado na ETA.....	12
2.3 Disposição Final do Lodo de ETA.....	15
3 O EMPREGO DO LODO DAS ETAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	15
3.1 CERÂMICA VERMELHA	16
3.2 Associação ao Cimento Portland.....	17
3.2.1 Argamassa.....	17
3.2.2 Tijolo Solo-Cimento.....	20
3.2.3 Concreto	24
4 COMPORTAMENTOS FÍSICO E MECÂNICO DOS CORPOS DE PROVA	30
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
REFERÊNCIAS.....	31

1 INTRODUÇÃO

Os crescimentos populacionais vivenciados no Brasil nas últimas décadas junto com a intensa urbanização culminaram em uma ascensão significativa da construção civil no país e, conseqüentemente, seus impactos no meio ambiente. Nessas circunstâncias, o aumento da criação de resíduos sólidos e sua correta destinação configuram-se como um dos grandes desafios atuais dos profissionais da construção civil. Entre as atribuições desse setor, a distribuição de água potável a todos os moradores é de grande importância por estar ligada à qualidade de vida e saneamento básico.

O tratamento da água doce nos municípios, realizadas em Estações de Tratamento de Água (ETA), é essencial para garantir o fornecimento desse recurso com qualidade e segurança aos consumidores. A água bruta, que pode ser captada de mananciais subterrâneos e superficiais – como rios e lagos -, é submetida a intenso processo de tratamento físico-químico para alcançar os níveis satisfatórios para o consumo. As diretrizes que padronizam o grau de potabilidade desejado com o processamento da água bruta são determinadas pela portaria 2.914/2011 (BOTERO et al., 2009).

1.1 Descrição do Problema

Para alcançar as exigências de qualidade, o processo de tratamento tem utilizado concentrações cada vez maiores de produtos químicos, em função da poluição e má qualidade das águas coletadas. Assim, a quantidade de resíduos oriundos desse processo também segue o ritmo de crescimento (HOPPEN et al., 2006).

Uma das principais etapas deste processo é o estágio de floculação e coagulação, no qual as partículas em suspensão da água são removidas por meio da aplicação de uma substância coagulante. Os mais comuns utilizadas nas ETAs são o sulfato de alumínio e o policloreto de alumínio (PAC), sendo o último a opção adotada pela Estação de Tratamento de Água Guariroba, localizada em Campo Grande/MS (ÁGUAS GUARIROBA, 2017).

Segundo Achon et. al., entre os resíduos gerados nas Estações de Tratamento de Água, os mais comuns são a água de lavagem de filtro e o lodo dos decantadores. O lodo do ETA é composto, basicamente, de água e sólidos suspensos contidos na água, somados aos produtos químicos utilizados – principalmente coagulantes (RICHTER, 2001). Essa definição é complementada por Grandin et al, que aborda a presença de resíduos sólidos orgânicos e inorgânicos, que também podem estar presentes no resíduo. Bactérias, algas, vírus, areias, argilas, magnésio, ferro são alguns dos elementos geralmente encontrados na composição do lodo de ETA. Além disso, metais pesados, de alta toxicidade, podem compor os sedimentos oriundos do despejo de poluentes urbanos ou industriais nos mananciais que alimentam as estações.

Dessa forma, a composição e a quantidade de lodo gerado dependem de vários fatores, sendo as características da água bruta e os reagentes químicos utilizados os mais relevantes. Além disso, Saron e Leite (2001) complementam que a tecnologia de tratamento adotada na ETA é determinante na qualidade do resíduo gerado e, conseqüentemente, o manejo mais indicado.

A ABNT NBR 10.004 (2004) classifica o lodo gerado no tratamento da água como “resíduo sólido”, devendo ser tratado, portanto, conforme exigência dos órgãos ambientais. No entanto, a realidade observada no Brasil difere bastante das legislações. A prática mais adotada para destinação do lodo das ETAs são os cursos de água situados próximos das estações, sem tratamento prévio (REIS et al., 2007). Os problemas ambientais gerados por tal atitude, impactam principalmente a fauna aquática local, colocam em questão a necessidade de alternativas ecologicamente corretas e ambientalmente sustentáveis.

1.2. Justificativa

A destinação final para o resíduo lodo acaba sendo uma atividade complexa, pois envolve custos de transporte e restrições ambientais. A preocupação com o destino do resíduo lodo de uma estação de tratamento de água aqui no Brasil começou nos anos 70, enquanto em alguns países desenvolvidos como Estados Unidos iniciaram os trabalhos com essa atenção na década de 30, e seus primeiros resultados apareceram na década de 40 (CORDEIRO, 1981). Diversos pesquisas

estão sendo conduzidas para a aplicação desse tipo de resíduo, contudo que haja tratamento prévio. Alguns exemplos desses estudos, tem-se a fabricação de cimento, tijolos e telhas cerâmicas, agregado leve, cultivo de grama comercial, solo comercial, uso em solos agrícolas e lançamento em ETE (Estação de Tratamento de Esgoto).

O presente trabalho tem o intuito de abordar as características desse resíduo e as tecnologias para reaproveitamento que solucionam ou amenizam o problema ambiental existente. O foco será a aplicação do lodo de ETA na construção civil, como insumo na produção de materiais amplamente utilizados, como cerâmica vermelha e concreto.

1.3 Objetivo Geral

Esse trabalho visa investigar as alternativas mais viáveis que possam minimizar os impactos causados pela geração de lodo das ETAs, com o foco da aplicação na construção civil.

1.4 Objetivos Específicos

- Abordar o funcionamento de uma Estação de Tratamento de Água, com ênfase na geração dos resíduos sólidos;
- Caracterizar a composição físico-química do lodo de ETA;
- Expor as alternativas e estudos da aplicação do lodo como insumo da construção civil;
- Investigar a viabilidade da utilização desse resíduo na construção civil e suas limitações;
- Estimular a conscientização ambiental da importância de práticas sustentáveis.

1.5 Metodologia

O presente trabalho foi elaborado por meio de um estudo de revisão da literatura do tipo descritivo-exploratório, utilizando-se de livros, manuais e artigos científicos, pesquisados em bibliotecas tradicionais e virtuais.

A pesquisa bibliográfica é considerada um levantamento da bibliografia de certa área, servindo de base para o trabalho executado, não se trata somente de uma transcrição de pequenos textos, mas também sobre discutir ideias, fundamentos, problemas e sugestões do tema selecionado (OLIVEIRA, 2001).

A pesquisa exploratória é caracterizada como a que objetiva o desenvolvimento, esclarecimento e modificação de conceitos e ideias, tendo em vista formular hipóteses pesquisáveis posteriormente, com o objetivo de mostrar amplamente determinados fatos (GIL, 2008). Ao que se refere o estudo descritivo, pretende-se descrever de forma rigorosa fenômenos de determinada realidade (TRIVINÓS, 1987).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

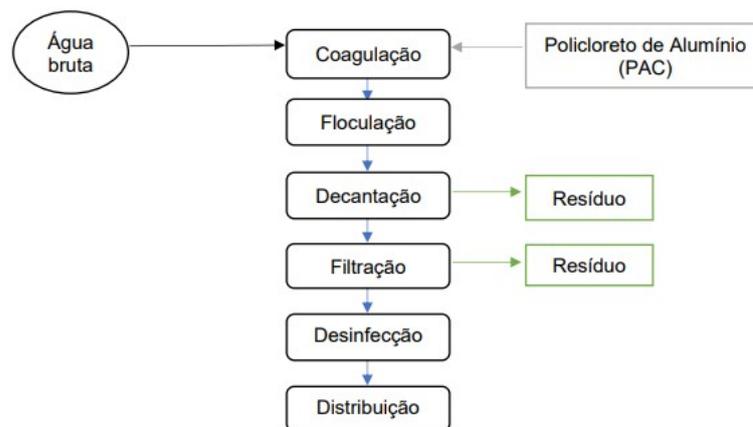
O Sistema Público de Abastecimento de Água é constituído por um conjunto de serviços e obras, onde a finalidade é de produzir e distribuir água com qualidade e quantidade necessária para a população. A água sem tratamento é inadequada para o consumo humano, sendo denominada água bruta. Essa água captada dos mananciais e transportada a um sistema de gradeamento, que tem como finalidade impedir a entrada de qualquer tipo de elementos grosseiros. Após o gradeamento, a água segue para a etapa de desarenação, onde ocorre toda a retirada de areia por meio de sedimentação. Depois é transportada para a ETA (Estação de Tratamento de Água) onde seu principal objetivo é de remover os organismos patogênicos e todas as suas impurezas químicas orgânicas e inorgânicas que podem ser prejudiciais ao ser humano (STEEL, 1966).

Para obter uma água potável de qualidade é necessário o tratamento adequado, onde ocorrem processos convencionais empregados nas ETAs (Estações de tratamento de Água) (SABESP, 2016).

2.1 Estação de Tratamento de Água – ETA

O serviço público de abastecimento de água, integrante da política federal de saneamento básico, por meio da Lei Federal 11.445, conta com o sistema de tratamento de água como uma de suas etapas. Segundo o IBGE, o Brasil possui mais de 200 milhões de habitantes e aproximadamente 5.500 municípios, representando demandas de grandes volumes de água tratada. Por conseguinte, o número de Estações de Tratamento de Água (ETAs) supera 7500 unidades, sendo a maioria usuária do sistema convencional de tratamento, sendo composto: coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção (Figura 1) (ACHON et al, 2008).

Figura 1- Etapas do tratamento da água bruta na ETA.

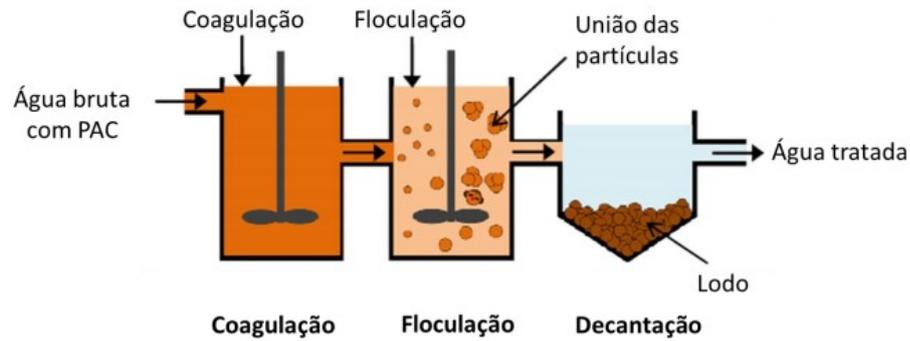


FONTE: GODOY et al (2017).

2.2 Caracterização do Lodo Gerado na ETA

Os resíduos gerados da ETA (Estação de Tratamento de Água), ocorrem nos processos de decantação, das lavagens dos filtros, das descargas e lavagens dos tanques de preparação (RIVERA, 2000). Como abordado anteriormente, o lodo surge principalmente na etapa de decantação, sendo o esquema da sua formação representado abaixo:

Figura 2 - Geração do lodo na ETA.



FONTE: TEH et. al (2016).

A característica do resíduo lodo gerado nas ETAs varia, pois são influenciadas por fatores como as partículas presentes na água bruta captada, que conferem a turbidez e sua cor, a concentração de produtos químicos durante o seu tratamento, eficiência do sistema de tratamento e do método de remoção, forma de limpeza, e o tempo de permanência do resíduo lodo nos tanques (CORNWELL, 1999).

Segundo Porras (2007), o resíduo lodo das ETAs é basicamente constituído de argilas, areia, substâncias húmicas, silte e organismos. Oliveira e Holanda (2008) acrescentam a composição semelhante às das argilas comum utilizada em cerâmicas vermelhas, pela abundância em argilominerais. O lodo tem uma característica similar aos solos, do que comparado com o lodo de ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) (AWWA, 1995).

Chao (2006) complementa a característica dos lodos em serem compostos por óxidos, sendo ferro e alumínio os principais. A caracterização química do lodo de ETA desidratado pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Característica química do lodo seco.

Parâmetro	Valores (%)
SiO ₂	20,4
Al ₂ O ₃	4,37
Fe ₂ O ₃	2,64
CaO	62,9
MgO	2,7
SO ₃	2,2
Na ₂ O	0,13
K ₂ O	0,95
MnO	<0,10
TiO ₂	0,29
P ₂ O ₅	<0,10
Perda ao fogo	3,16

FONTE: Adaptado de GASTALDINI (2016).

Como o tipo de coagulante utilizado reflete diretamente nas características físico-químicas dos lodos, deve-se levar em conta esse fator na análise do material. Levando em consideração a predominância da escolha de coagulantes à base de sais de ferro e alumínio (CORDEIRO, 2003), seus respectivos lodos apresentam características semelhantes. Possuindo coloração marrom e consistência que lembram chocolate líquido. A Figura 3 demonstra o processo de limpeza manual do lodo acumulado nos decantadores.

Figura 3 - Limpeza manual de lodos de decantadores.



FONTE: SABESP (2016).

Outra característica observada no resíduo é a concentração de metais usualmente superior aos limites impostos pelo padrão de emissão (CORDEIRO, 1993; 2001; BARROSO & CORDEIRO, 2002). Isso compromete ainda mais as condições de despejo do lodo em corpos d'água, potencializando seu caráter negativo ao meio ambiente

A frequência de remoção do resíduo nos decantadores de ETA de ciclo completo pode chegar a intervalos de seis horas, gerando acúmulo de lodo com elevada taxa de contaminantes e dificultar a sua remoção. Dessa forma, em algumas estações se faz necessário o uso de água de alta pressão e raspadores manuais para facilitar a retirada do resíduo, induzindo ao contato direto com os funcionários (ACHON, 2008).

2.3 Disposição Final do Lodo de ETA

Esses resíduos contêm produtos químicos, matéria orgânica e inorgânica, microrganismos, necessitando de tratamento antes de serem dispostos. A maioria dos projetos de ETA (Estação de Tratamento de Água) não preveem o descarte adequado desses resíduos, trazendo altos custos financeiros e ambientais (ANDREOLI, 2001).

A disposição irregular dos resíduos gerados em ETAs, como o lançamento em corpos d'água, pode ser considerado crime ambiental em função dos danos diretos causados ao ambiente receptor, em especial à fauna aquática. A legislação que criminaliza essa prática encontra-se no artigo 54 da Lei 9.605/98 (ACHON, 2013).

A partir dos resultados de vários autores, o lodo de ETAs pode ser classificado como Resíduo Classe II – Não Inerte (NBR-10.004). Essa denominação indica que sua disposição deve ser evitada, pois causa um impacto negativo ao meio ambiente (MARGEM, 2008). Além de existir resistência e dificuldade na obtenção dos dados sobre a destinação, os números coletados demonstram a predominância em dispor dos resíduos em corpos d'água próximos, sem prévio tratamento (MORITA et al, 2002).

3 O EMPREGO DO LODO DAS ETAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A construção civil é uma das principais áreas de reaproveitamento de resíduos, vista sua significativa diversidade de materiais como também a quantidade que é necessária para consumo, visando atender a demanda cada vez maior por matéria-prima (RAUPP-PEREIRA et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2006).

O emprego direto dos resíduos das ETAs na construção civil, além de reduzir o impacto ambiental, traz como vantagem a redução do consumo de agregados naturais e do cimento (HOPPEN et al, 2006). O setor consome aproximadamente 50% de todos os recursos naturais extraídos do mundo, sendo, no Brasil, um consumo superior a 210 milhões de toneladas de agregados em 2000 (JOHN, 2001). A seguir serão apresentados alguns trabalhos e pesquisas feitas dentro da literatura, visando à aplicação de lodo na construção civil. Com ênfase em cerâmica vermelha

e concreto.

3.1 CERÂMICA VERMELHA

A incorporação de resíduos sólidos em argilas para fabricação de produtos de cerâmica tem sido bastante investigada por ser considerada uma destinação ambiental correta, além de possibilitar a inertização dos elementos tóxicos (DONDI et al., 1997). Outro fator que contribui para a inserção dos resíduos na indústria da cerâmica vermelha é a capacidade da argila de tolerar a presença de diversos tipos de materiais, ainda que em elevadas quantidades. Dessa forma, economiza-se na quantidade de argila utilizada, poupando a extração da jazida desse recurso não-renovável (JONKER & POTGIETER, 2005).

O sucesso da utilização do lodo na indústria de cerâmica depende, também, da proximidade entre a estação de tratamento de água com a indústria de fabricação, as características físicas e químicas dos resíduos, os coagulantes e outros produtos químicos que são utilizados durante o processo de tratamento de água, além dos impactos que este resíduo pode causar nas operações da indústria cerâmica (Cornwell, 2000).

Os teores de resíduo, utilizados na mistura com a massa argilosa, podem atingir níveis extremamente elevados – superiores a 50% - e, ainda assim preservar as características mecânicas apropriadas do corpo cerâmico aplicados na produção de tijolos. Evidencia-se a possibilidade de obter produtos com menos absorção de água e maior resistência, caso a temperatura de queima seja mais elevada (MENEZES, 2002).

Estudo feito por Andrade (2005) na ETA de Cubatão, o lodo de ETA pode substituir as misturas de argilas na cerâmica, com uma adição de 7%, onde não alterou em nada as suas características, como esquadro, absorção de água e resistência mecânica. No entanto, com o acréscimo superior a 20%, os blocos apresentaram trinca e rachaduras após a secagem.

Paixão (2005) realizou ensaios com adição de lodo de ETA em massa cerâmica vermelha, onde se teve resultados satisfatórios como: contribuição na redução das suas propriedades plásticas, os valores de retração e de contração

linear, além da tensão de ruptura estar dentro dos parâmetros estabelecidos para a utilização na construção civil.

Teixeira (2004) avaliou a incorporação de lodo em massa cerâmica em Presidente Prudente (SP), e concluiu que o lodo incorporado na massa cerâmica apresentou resistência mecânica a flexão no qual se torna adequado para a produção de tijolos. Adicionando 15% à massa cerâmica, dependendo da sua temperatura e do mês da coleta, pois a textura do lodo pode variar em períodos de chuva e de estiagem.

Estudos realizados por Cornwell, (2000), cidades como Cary e Apex, que se localizam na Carolina do Norte, fizeram um acordo com indústrias cerâmicas localizadas na região, assim substituindo a disposição do resíduo lodo em aterros para o uso na produção de materiais para a construção civil. De acordo com a indústria e a estação ambas concordaram que essa aplicação era ambientalmente correta.

3.2 Associação ao Cimento Portland

3.2.1 Argamassa

A baixa concentração de sílica, ferro e alumínio nas propriedades do cimento, tornam a adição de lodo de ETA interessante na sua fabricação. Assim, o lodo torna-se uma opção viável a ser incorporado ao cimento para a produção de argamassa (TSUTIYA et al, 2002).

Sales et al. (2002) investigaram a incorporação de lodo de ETA com restos moídos de resíduos da construção civil (RCC), para aplicação em argamassa e concreto de cimento Portland. Observou-se que a utilização de até 3% de lodo em relação aos agregados apresentou uma resistência mecânica semelhante comparada ao concreto usual, demonstrando a viabilidade desse resíduo.

A incorporação do lodo de ETA em até 7% na matriz de concreto apresentou trabalhabilidade desejável pelo teste de abatimento de tronco de cone. Os corpos de prova apresentaram uma resistência mecânica superior a 20 MPa. No entanto, pelo desconhecimento das interações a longo prazo entre o lodo e o concreto,

recomenda-se que não seja utilizado como concreto estrutural (HOPPEN et al, 2006).

Ribeiro (2012) realizou o estudo da aplicação de resíduos de ETA da cidade de Campo Mourão/MS, cujo coagulante adotado é o Policloreto de Alumínio (PAC). Os resíduos são oriundos da limpeza dos decantadores, com destinação final usual os corpos d'águas mais próximos.

O lodo foi recolhido e transferido para formas metálicas, onde passaram pelo processo de secagem por 24 horas à uma temperatura de 110° C, ficando apenas os sólidos do resíduo. Em seguida, houve a trituração dos torrões para análise de sua granulometria e características físico-químicas (RIBEIRO, 2012).

A NBR 7215:1996 foi adotada para o preparo da massa, a confecção dos corpos de prova (CP) e a determinação da resistência à compressão (ABNT, 1996). A incorporação do lodo da ETA foi feita nas proporções de 5, 10 e 15% como substituição da areia. O traço utilizado foi de 1:7:2 de cimento, cal e areia, respectivamente. A quantidade em gramas de cada material utilizado para cada teor de lodo foram relatados na Tabela 2 (RIBEIRO, 2002).

Tabela 2 - Quantidade de materiais de argamassa com diferentes proporções de lodo.

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

FONTE: RIBEIRO (2012).

Os corpos de prova foram confeccionados em moldes metálicos de 50 x 100 mm. Para cada teor de lodo de ETA (0%, 5%, 10% e 15%), 12 moldes foram feitos, totalizando 48 corpos de prova (RIBEIRO, 2012).

A desmoldagem foi feita após 24h, sendo os CPs levados para câmaras úmidas e imersos em tanques de água por 14 dias, de acordo com a NBR 9479:1994 (ABNT, 1994). Após esse período, os corpos de prova foram submetidos

ao ensaio de compressão axial e diametral, obtendo as respectivas resistências (RIBEIRO, 2012).

Figura 4 - Ensaio de compressão axial (à esq.) e diametral dos CPs.



FONTE: RIBEIRO (2012).

Ribeiro (2012) sintetizou dos resultados das compressões e do módulo elasticidade são expostos na Tabela 3. Observa-se que a resistência à compressão cai significativamente após a concentração de 10%.

Tabela 3 - Resumo do ensaio de resistência mecânica.

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

FONTE: RIBEIRO (2012).

Portanto, a adição de até 10% de lodo de ETA além de reduzir a absorção de água do corpo de prova, incrementou sua resistência à compressão significativamente. No entanto, com o acréscimo de lodo para 15%, as propriedades da mistura tornaram-se insuficientes de acordo com as Normas, inviabilizando seu uso (RIBEIRO, 2012).

3.2.2 Tijolo Solo-Cimento

Os estudos relacionados à aplicação do lodo de ETA no setor da cerâmica têm crescido nos últimos anos devido a característica desse material. Como a natureza das massas cerâmicas são heterogêneas, o resíduo surge como uma alternativa viável a ser incorporada. No entanto, as pesquisas relacionadas à incorporação do lodo de ETA na fabricação de tijolos solo-cimento têm sido bem tímidas (RODRIGUES, 2012).

Também conhecido como tijolo ecológico, o tijolo solo-cimento é definido como uma mistura de solo arenoso, cimento Portland e água, sob compactação e apresentando teor de umidade ótima. O resultado é um material de alta resistência e durabilidade e baixo custo, sendo uma alternativa sustentável e desejável na construção civil (FREIRE, 1976). Dentre os fatores que afetam a qualidade final é: tipo de solo, teor de cimento, teor de umidade, idade e homogeneidade da mistura (ABCP, 1999).

Segundo Souza (2006), o tijolo solo-cimento torna-se uma opção vantajosa de alvenaria por: ser mais prático, reduzindo o tempo total da obra por dispensar o acabamento; reduz a geração de resíduos; dispensa a quebra de alvenaria em função das tubulações. O próprio tijolo apresenta furos que servem de passagem para as canalizações.

Os solos mais adequados para a confecção do solo-cimento são os arenosos, pois requerem menos consumo de cimento e resultam em tijolos de melhor qualidade. A argila tem função essencial por garantir a coesão necessária da mistura após a compactação (SOUZA, 2006).

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2002), é recomendável moldar os tijolos com as proporções de volume de cimento e solo de 1:10, 1:12 e 1:14. O traço mais adequado deve ser o que necessite menor consumo de cimento, sem afetar as propriedades mecânicas exigidas pelas normas.

Tabela 4 - Valores de referências para o tijolo solo-cimento.

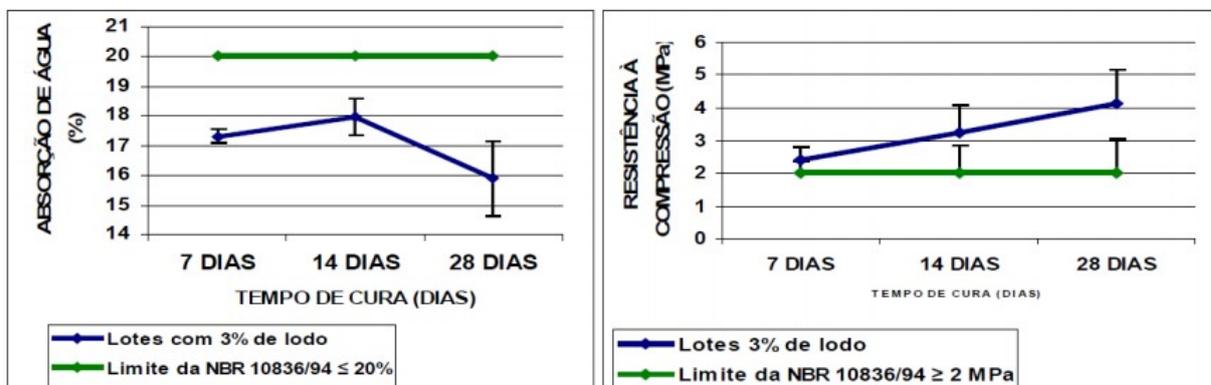
Valores-limite (aos 28 dias)	Média	Individual
Resistência à compressão (MPa)	$\geq 2,0$	$\geq 1,7$
Absorção de água (%)	$\leq 20,0$	$\leq 22,0$

FONTE: ABNT (1994).

Os resíduos de ETA de Carapina/ES foram estudados para incorporação de solo-cimento por Silva (2009). O lodo e solo foram caracterizados em todas as propriedades importantes da análise: física, química e mineralógica. Foram acrescentados os teores de 3, 5, 8 e 10% de lodo na massa, sendo o cimento 10% em todos os traços.

Quando houve a adição de 3% de lodo, os valores de absorção de água e de resistência à compressão permaneceram inferiores ao limite exigido pelas normas em todo o período analisado - 7, 14 e 28 dias (Figura 8). No entanto, observou-se um aumento da absorção de água entre 7 e 14 dias e a seguinte melhora dessa propriedade aos 28 dias. Em relação à resistência à compressão, aos 7 dias, o tijolo apresenta uma resistência próximo à crítica, portanto, recomenda-se seu uso após 14 dias (SILVA, 2009).

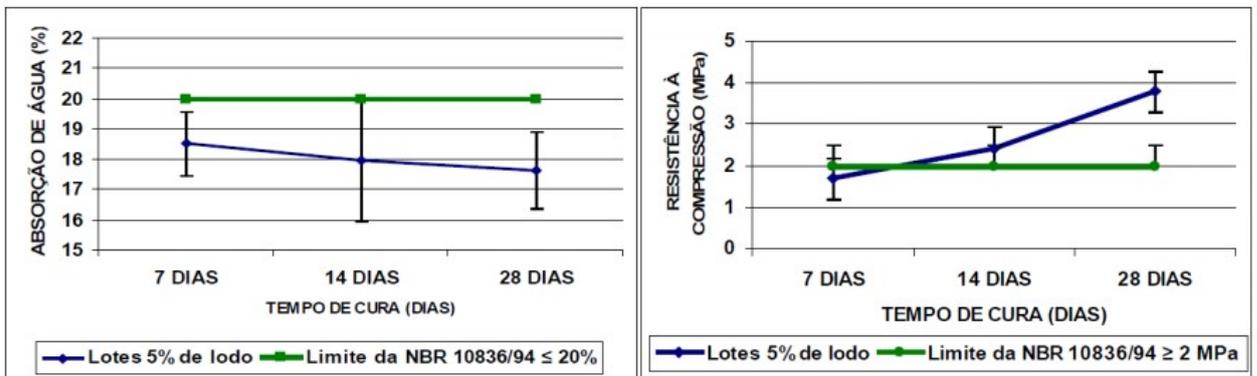
Figura 5 - Absorção de água e resistência à compressão dos tijolos com 3% de lodo.



FONTE: Silva (2009).

Com a adição de 5% de lodo de ETA (Figura 9), Silva a absorção de água manteve-se dentro dos limites aceitáveis por norma. No entanto, a resistência à compressão não alcançou o mínimo requerido aos 7 dias, alcançando um valor aceitável somente após 28 dias. Isto se deve ao tempo de cura do cimento, contribuindo ao incremento de resistência da peça. Recomenda-se a utilização do tijolo solo-cimento feito com o teor de 5% somente após 28 dias (SILVA, 2009).

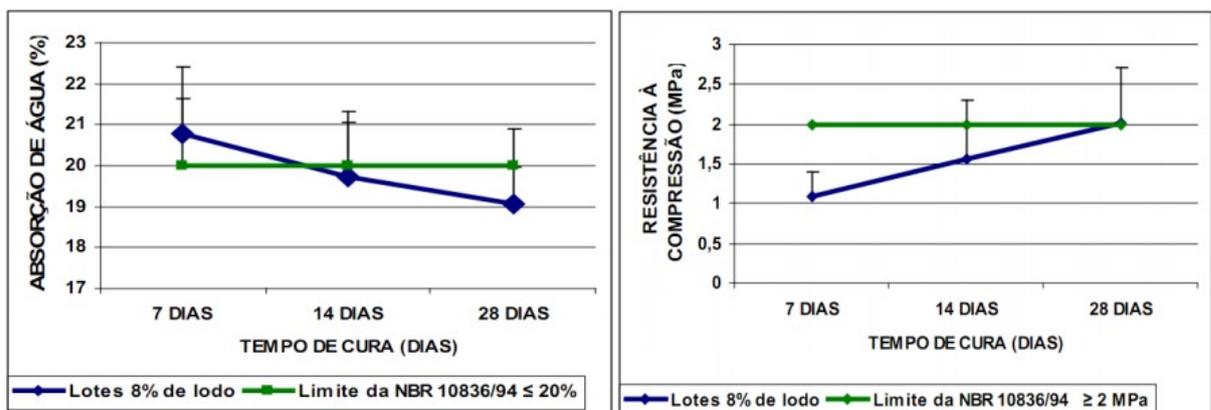
Figura 6 - Absorção de água e resistência à compressão dos tijolos com 5% de lodo.



FONTE: Silva (2009).

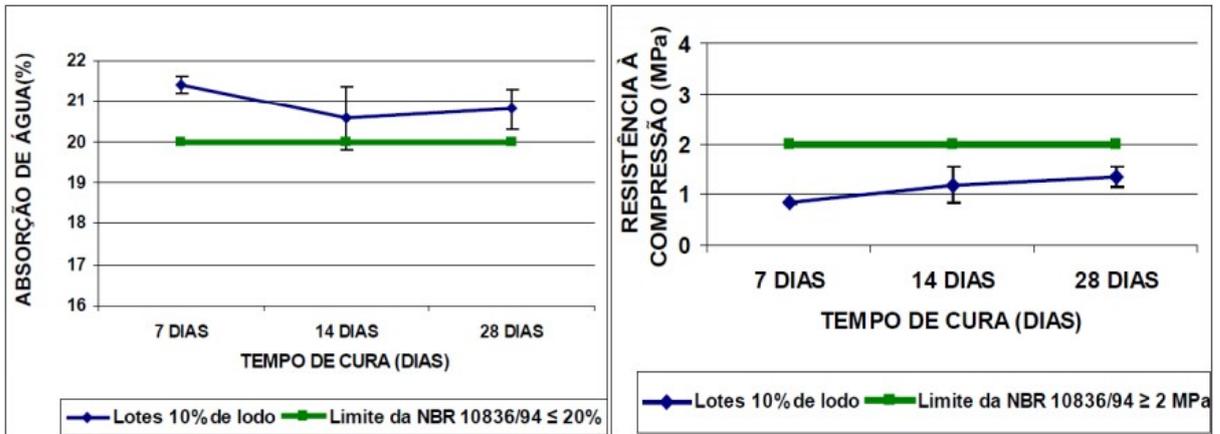
Silva (2009) observou que com teores de lodo de ETA superiores a 8% (Figura 10 e Figura 11), o tijolo solo-cimento começa a apresentar comportamentos mecânicos inferiores ao exigidos por normas. Houve um aumento na absorção de água nos teores de 8 e 10%, além de diminuição na resistência à compressão, tornando-se inadequada para a adoção em obras.

Figura 7 - Absorção de água e resistência à compressão dos tijolos com 8% de lodo.



FONTE: Silva (2009).

Figura 8 - Absorção de água e resistência à compressão dos tijolos com 10% de lodo.



FONTE: Silva (2009).

Rodrigues e Holanda (2013) também estudaram o incremento desse resíduo na produção de tijolo solo-cimento. Foram selecionadas quatro dosagens com diferentes teores de lodo de ETA, variando de 0 a 5%. O resíduo foi coletado da ETA de Campo dos Goytacazes/RJ, passando por uma secagem de 48h a 110°C. O solo utilizado também é proveniente da mesma região e foi submetido à secagem por 24h a 110°C. A composição dos traços pode ser verificada abaixo:

Tabela 5 - Composição dos traços estudados.

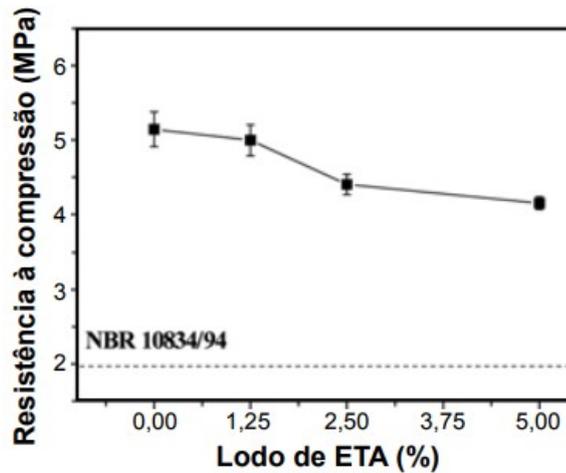
Traços	Cimento	Solo	Lodo de ETA
ML1	10,00	90,00	0,00
ML2	10,00	88,75	1,25
ML3	10,00	87,50	2,50
ML4	10,00	85,00	5,00

FONTE: Rodrigues e Holanda (2013).

As propriedades tecnológicas encontradas nas amostras após 28 dias são mostradas nas figuras seguintes. Observa-se que a adição de lodo de ETA teve uma influência considerável na absorção de água do solo-cimento, sendo apenas o teor de 1,25% de lodo enquadrado no limite da NBR 10834/94. Essa mudança pode ser explicada pelo incremento à mistura de partículas finas e compostas de matéria orgânica (RODRIGUES E HOLANDA, 2013).

Analisando a resistência à compressão, chegou-se a resultados esperados do acréscimo de lodo de ETA na mistura e seu efeito em reduzir a resistência. No entanto, todos os valores encontrados cumprem o valor mínimo da norma. (RODRIGUES E HOLANDA, 2013).

Figura 9 - Resistência à compressão dos corpos de prova.



FONTE: Rodrigues e Holanda (2013).

Assim, observa-se que os resultados obtidos em relação ao incremento do resíduo divergem, tendo o estudo de Silva (2009) alcançado o teor máximo de 8% para conservação das propriedades da mistura segundo as normas. Já Rodrigues e Holanda (2013), registraram um máximo de 1,25% do resíduo na mistura, sendo limitado pela absorção de água na mistura. Em suma, ambos apontaram um efetivo e viável uso da aplicação do lodo de ETA como uma das matérias-primas do solo-cimento. Deve-se aprofundar os estudos e pesquisas nessa área para chegar a números mais precisos e confiáveis para garantir credibilidade dessa prática às empresas, incentivando sua adoção.

3.2.3 Concreto

Após a criação do concreto, este material tem sido o mais utilizado na construção civil. No início para a sua produção eram necessárias apenas três

matérias: agregado, água e cimento. Ao longo do tempo, foram adicionados outros minerais a essa mistura de concretos e argamassas, resultando em testes ainda mais satisfatórios em vários aspectos (BATTAGIN, 2009).

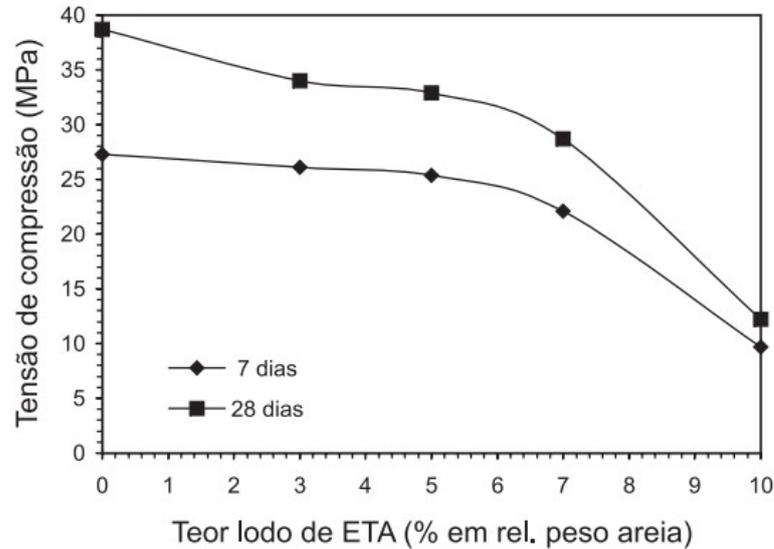
Dentre as opções de aditivos do concreto, o lodo de ETA surge como uma alternativa ambientalmente correta, e que apresenta características interessantes quando aplicadas com certos limites. Várias literaturas abordam a análise do concreto com adição desse tipo de resíduo, sendo que a adoção dessa prática serviria para amenizar os problemas de manejo do lodo de ETA.

Hoppen et al (2006) utilizou os resíduos da Estação de Tratamento de Água Passaúna, na região metropolitana de Curitiba/PR. O lodo de ETA *in natura* foi analisado em relação à perda de fogo, primeiramente, pelo processo de taxa de aquecimento de 10°C por minuto até a temperatura de 1500°C. Observou-se a perda de massa média em 87%, através da eliminação da água, oxidação da matéria orgânica.

Os corpos de prova foram confeccionados de acordo com os diferentes teores de lodo de ETA – 0, 3, 5, 7 e 10%. Entre as considerações de trabalhabilidade, o abatimento do tronco de cone reduziu acentuadamente com a gradual adição do lodo, chegando a ser nula com o teor de 10%. Isto se deve ao fato do resíduo ser rico em finos, requerendo mais água para o adensamento (HOPPEN et al, 2006).

Em relação à resistência à compressão, Hoppen et al (2006) verificou que o acréscimo de lodo reduziu sutilmente essa propriedade até o teor de 7%, mantendo a resistência superior a 20 MPa. No entanto, quando a mistura de 10% de lodo de ETA foi testada, o valor médio obtido foi inferior a 15 MPa, mesmo aos 28 dias.

Figura 10 - Resistência à compressão em função do teor de lodo de ETA, para 7 e 28 dias.



FONTE: HOPPEN et al (2006).

Baseado nos resultados obtidos, Hoppen et al (2006) adotou os teores de lodo de 4 e 8% para estudos complementares, sendo a última escolhida pelo grande potencial na aplicação de concreto utilizado em barragens de usinas hidrelétricas e pavimentos de concreto. Na Tabela 7, são apresentadas as características do concreto fresco com os teores adotados.

A trabalhabilidade dos concretos ficou em 36 mm para o traço de 4% e 18 mm para o de 10%, em relação ao abatimento do tronco de cone. Segundo Mehta e Monteiro (1994), 18mm é considerado concreto seco, podendo ser utilizado em obras de concreto armado ou protendido. Já o abatimento de 36 mm, para o teor de 4%, é classificado como concreto rijo, podendo ser adotado em estruturas.

A redução dos demais agregados e do cimento foi considerável com o incremento do lodo de ETA. Para o teor de 8%, houve a redução de 3% de cimento, 11% de agregados miúdos e 2,5% de agregados graúdos (HOPPEN et al, 2006). Essa economia é interessante, tanto economicamente, como ambientalmente, pois poupa a extração desse material nas jazidas, além de reaproveitar o resíduo das estações de tratamento.

Em relação às resistências à compressão, os valores obtidos são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7 - Resistência à compressão axial simples dos CPs, em função da idade e da concentração de lodo.

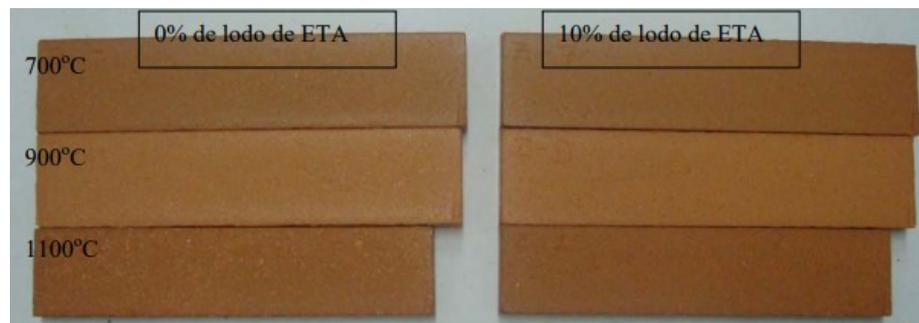
Resistência (MPa)	0% de lodo	4% de lodo	8% de lodo
7 dias	28,40	25,00	21,45
14 dias	28,40	28,40	25,85
28 dias	38,90	28,25	27,05
91 dias	43,80	32,00	29,90

FONTE: HOPPEN et al (2006).

4 COMPORTAMENTOS FÍSICO E MECÂNICO DOS CORPOS DE PROVA

Na Figura 4, os corpos de prova analisados, queimados a 700, 900 e 1100°C das cerâmicas com adição de lodo de ETA com 0 e 10%. Pela aparência, as duas misturas demonstram-se semelhantes. No entanto, em relação às características mecânicas, observa-se um acréscimo da porosidade da mistura com lodo, influenciando o desempenho do material em outras propriedades (MARGEM, 2008).

Figura 11 - Corpos de prova queimados a 700, 900 e 1100°C das cerâmicas com 0 e 10% de lodo de ETA incorporado.

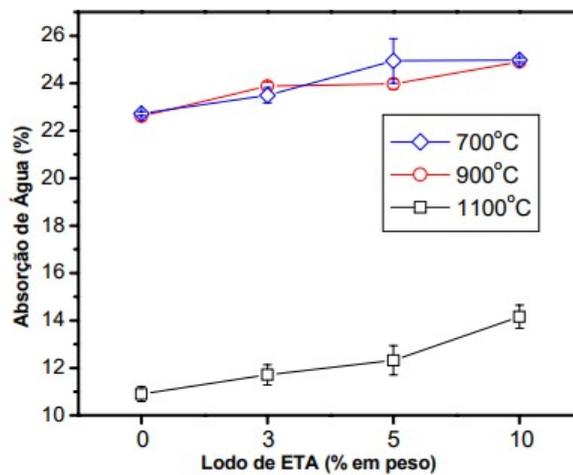


FONTE: MARGEM, 2008.

Margem (2008) constatou o aumento na absorção de água (figura 5), bem como a diminuição da tensão de ruptura à flexão (figura 6) da massa cerâmica em

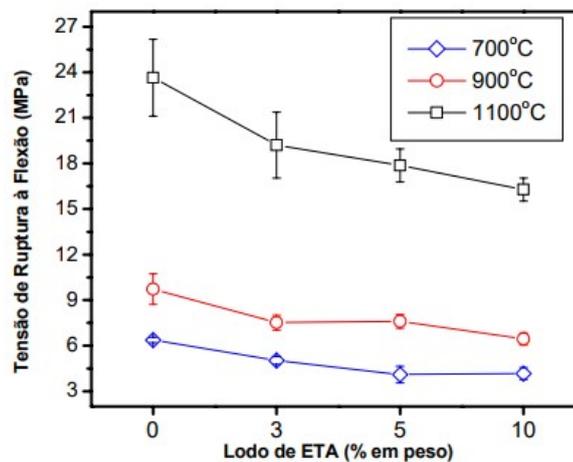
todas as temperaturas investigadas. Tais alterações foram mais significativas, entretanto, no caso de 1100°, na qual a oxidação de matéria orgânica se intensifica, aumentando o surgimento de poros no corpo de prova. Além disso, observa-se que o efeito de acréscimo da porosidade acompanha o aumento de teor de lodo de ETA na mistura, refletindo a influência do resíduo nas características mecânicas da cerâmica.

Figura 12 – Absorção de água da massa de cerâmica vermelha em função do lodo de ETA incorporado.



FONTE: MARGEM (2008).

Figura 13 – Tensão de ruptura à flexão da massa de cerâmica função do lodo de ETA incorporado.



FONTE: MARGEM (2008).

Portanto, pode-se observar, de acordo com as pesquisas e estudos realizados, que as variadas características do lodo produzido nas estações de tratamento podem influenciar na qualidade do material que irá ser produzido. Caso a incorporação não seja de forma correta, não se aplicando à metodologia adequada, a cerâmica produzida pode-se tornar pouco resistente, fazendo com que surjam trincas e pequenas deformações nas peças. Assim, o material torna-se muito absorvente, com uma perda de qualidade significativa (FILHO e VIANA, 2012)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atual gestão dos resíduos gerados pelas empresas de estações de tratamento de tem negligenciado sua significância e impactos ao meio ambiente. A partir do momento os estudos encontram barreira para obter dados sobre a quantidade do lodo gerado, e principalmente as características deste material, observa-se o descaso das autoridades para esse cenário. Além disso, a maioria das ETAs analisadas situam-se em cidades de médio a grande porte, com infraestrutura adequada na maior parte de sua gestão, fato contrastado com o verificado quando se trata do lodo de ETA.

Verificou-se que entre as opções analisadas para disposição final desse material, a aplicação em subprodutos torna-se a mais indicada ambientalmente, e economicamente, na maioria dos casos. A aplicação do lodo na cerâmica vermelha, por exemplo, com até 15% de concentração, não prejudicou as características desse material significativamente, além de contribuir para a redução de argila extraída das jazidas para a confecção desse material.

Em associação com o cimento Portland, o resíduo também obteve um comportamento satisfatório na fabricação de argamassa, concreto e solo-cimento. No caso da argamassa, as características mecânicas foram otimizadas na incorporação de 10% do lodo à mistura, representando resultados promissores. Quando aplicado no concreto, o lodo implicou minimamente no desempenho desse material até a concentração de 7%, sendo uma opção viável nesse caso. Em relação ao solo-cimento, o acréscimo de 1,25% de lodo de ETA na fabricação de tijolos não afetaria seu desempenho negativamente, estando de acordo com as Normas.

Ainda que a aplicação na indústria de cerâmica vermelha tenha sido a mais promissora nos resultados obtidos, com a possibilidade de aplicação de até 10%, todas as alternativas abordadas se mostraram adequadas, com suas devidas limitações. No entanto, há a necessidade de maiores estudos para analisar o comportamento desse resíduo a longo prazo, para garantir sua eficiência como insumo dos subprodutos sem comprometer a qualidade dos materiais.

Os lodos das ETAs podem ser utilizados de forma econômica e eficaz na construção civil, economicamente pois se trata de uma forma de disposição final barata e adequada. Contribuindo, assim, para uma diminuição nos impactos ambientais causados pelo seu descarte inadequado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABADE, A. K.: projeto piloto ou grande mercado. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE TRATAMENTO DE ÁGUA E SEUS. DESAFIO DA REESTRUTURAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL**, 7, 1996, Rio de Janeiro Anais... Rio de Janeiro:UFRJ,1996. p 347-357.

REALI, M.A.P. (1999) **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: Abes, 250 p.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Secretaria de Inspeção do Trabalho. Departamento de Segurança e Saúde no Trabalho. **Manual de auxílio na interpretação e aplicação da norma regulamentadora n.35 - trabalhos em altura: NR-35 comentada**. Brasília: SIT/DSST, 2012.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

MARINOSKI, D. L.; SALAMONI. I. T.; RUTHER, R. **Reaproveitamento de resíduos gerados em estações de tratamento de água**: Estudo de caso do edifício do CREA-SC. I Conferência Latino Americana de Construção Sustentável. X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo. SP. 2004.

MINAYO, M. C. S. **O Desafio da Pesquisa Social**. In: MINAYO, M. C. S. (Org.). Pesquisa Social: teoria, método e criatividade. 33º ed. Petrópolis-RJ: Vozes, 2013.

MINAYO, M. C. S. **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde**. 8 ed. São Paulo: Hucitec; Rio de Janeiro: Abrasco, 2004. 255 p.

TESTON, S. A. **Utilização de tijolos ecológicos no campus sede da universidade federal da fronteira sul** – (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil). Universidade Federal de Lavras – MG, 2011.

CORDEIRO, J.S. (1993) **O problema dos lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de águas**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 342 p.

CORDEIRO, J.S. (2001) **Gerenciamento Integrado de Resíduos de Estações de Tratamento de Águas**. Anais... 20° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, cd, I – 062.

MORITA, D.M; SAMPAIO, A.O.; MIKI, M.K.; DAVID, A.C. (2002) **Incorporação de Lodos de Estações de Tratamento de Água em Blocos Cerâmicos**. Revista SANEAS, v. 14, p. 7-12.

São Paulo. REALI, M.A.P. (1999) **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: Abes, 250.