

ESTUDO DA ADIÇÃO DO LODO DE ETA - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

STUDY OF THE ADDITION OF ETA SLUDGE - WATER TREATMENT PLANT TO COATING MORTARS

SIBELE SILVEIRA LAURINDO | UNESC

ELAINE GUGLIELMI PAVEI ANTUNES, Dra. | UNESC

ALINE EYNG SAVI, Dra. | UNESC

JAISON ARAUJO SPECK, M.Sc. | UNESC

JORGE HENRIQUE PIVA, M.Sc. | UNESC

RESUMO

No processo de tratamento de água, mais precisamente na lavagem dos filtros e descarga dos decantadores, é produzido um resíduo conhecido como lodo. Este por sua vez, ainda é bastante negligenciado e na maioria dos casos, tem sua disposição final inadequada, sendo depositado em corpos hídricos ou em terrenos baldios, ocasionando a poluição destes locais. Nesta pesquisa, foram realizados testes com o resíduo coletado numa concessionária de abastecimento de água da região sul, caracterizando-os quanto as suas propriedades físico-químicas, e posteriormente, produzindo argamassas com 0%, 3%, 5% e 10% de adição do lodo da ETA em relação à massa do agregado. Partindo de um planejamento experimental de misturas, verificou-se a influência de traço na resistência à tração na flexão, à compressão axial, na absorção de água por capilaridade e no módulo de elasticidade, após 28 dias de cura. Os resultados indicam que as propriedades mecânicas das argamassas sofrem uma diminuição com a adição do lodo de ETA, em relação à argamassa de referência, com a sua incorporação as argamassas apresentaram menores valores de módulo de elasticidade, o que indica que estas argamassas possuem uma boa capacidade de sofrer deformações, e a adição do lodo de ETA possibilitou a diminuição da absorção de água por capilaridade das argamassas, deixando-as mais resistentes contra agentes deletérios que ocasionam patologias nas mesmas.

PALAVRAS CHAVE: Argamassa de Revestimento, Lodo de Estação de Tratamento de Água, Aproveitamento de Resíduos

ABSTRACT

In the process of water treatment, more precisely in the washing of the filters and discharge from the decanters, a residue known as sludge is produced. This, in turn, is still largely neglected and in most cases, this sludge has its final inadequate disposal being deposited in water bodies or in waste land, causing pollution of these places. In this research, tests were carried out with the waste collected in a water supply concessionaire in the southern region, characterizing its physical and chemical properties, and later, producing mortars with 0%, 3%, 5% and 10% addition of the sludge from the ETA in relation to the aggregate mass. Starting from an experimental planning of mixtures, the influence of trace on the tensile strength in flexion, axial compression, water absorption by capillarity and elasticity modulus after 28 days of curing was verified. The results indicate that the mechanical properties of mortars suffer a decrease with the addition of water treatment sludge in relation to the reference mortar, with its incorporation the mortars showed lower values of modulus of elasticity, which indicates that these mortars have a good capacity to suffer deformations, and the addition of water treatment sludge enabled the reduction of water absorption by capillarity of mortars, leaving them more resistant against deleterious agents that cause pathologies in them.

KEY WORDS: Coating Mortar, Water Treatment Plant Sludge, Waste Utilization



1. INTRODUÇÃO

As Estações de Tratamento de Água (ETA) possuem o papel de fornecer água potável a população, de forma que atenda os padrões conforme exigido pela Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde. Para que ocorra a transformação da água bruta (sem tratamento e imprópria ao consumo humano), em uma água potável, as estações de tratamento comumente adotam o sistema de tratamento de ciclo completo, que inclui os processos de: captação, coagulação, floculação, decantação, filtração e cloração (COMUSA, 2017).

Para a retirada das impurezas contidas na água bruta neste sistema de tratamento são utilizados produtos químicos, que fazem a coagulação das impurezas e estas ficam retidas nos filtros ou depositadas em decantadores. Após um período de funcionamento, essas unidades devem ser lavadas para a retirada do acúmulo dessas impurezas, gerando resíduos que são o lodo e a água de lavagem de filtros. Estes resíduos são gerados nas etapas de decantação e filtração (ACHON; BARROSO; CORDEIRO, 2013).

Segundo Teixeira et al. (2006), os lodos gerados em ETA's são classificados como resíduos sólidos devendo ser devidamente tratados e dispostos sem que provoquem danos ao meio ambiente. Ao sair da ETA, o lodo contém um grande percentual de umidade e deve, preferencialmente, passar por um processo de desidratação, diminuindo esse percentual e aumentando a concentração de sólidos.

A Lei Federal 11.445 de 5 de janeiro de 2007, estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. No inciso III do artigo 2º, traz em seus princípios fundamentais o abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente (BRASIL, 2007).

Almeida, Carvalho e Passig (2010) afirmam que no país, quase todas as ETA's não possuem qualquer forma de tratamento para esses resíduos, na maioria eles são lançados em corpos d'água, causando efeitos ao meio ambiente e não cumprindo as legislações ambientais.

De acordo com Megda, Soares e Achon (2005) em várias partes do mundo, o tratamento e a disposição de lodos de ETA's vêm sendo tratados como oportunidade de aumento de receita e, principalmente, redução de custos e de impactos ambientais em empresas e sistemas autônomos de saneamento básico. Uma alternativa para a disposição do lodo é o seu reaproveitamento, incorporando-o na argamassa de revestimento utilizada na construção civil.

A ABNT NBR 13281:2005 define argamassa como uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s),

aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

Santos (2008) afirma que os revestimentos argamassados são fundamentais para a durabilidade e preservação de uma edificação, tendo como função proteger os elementos de vedação da ação direta dos agentes agressivos, regularizar e servir de base para aplicação de outros revestimentos.

Dessa maneira, este trabalho teve como objetivo analisar as características físicas e propriedades mecânicas de argamassas produzidas com adição do lodo da ETA. Para tal, fez-se necessária a caracterização físico-química do lodo da ETA e, posteriormente, a avaliação da sua influência nas resistências à tração na flexão, compressão axial, módulo de elasticidade e absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade das argamassas produzidas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As principais etapas do procedimento experimental adotado neste trabalho encontram-se no fluxograma da Figura 1.

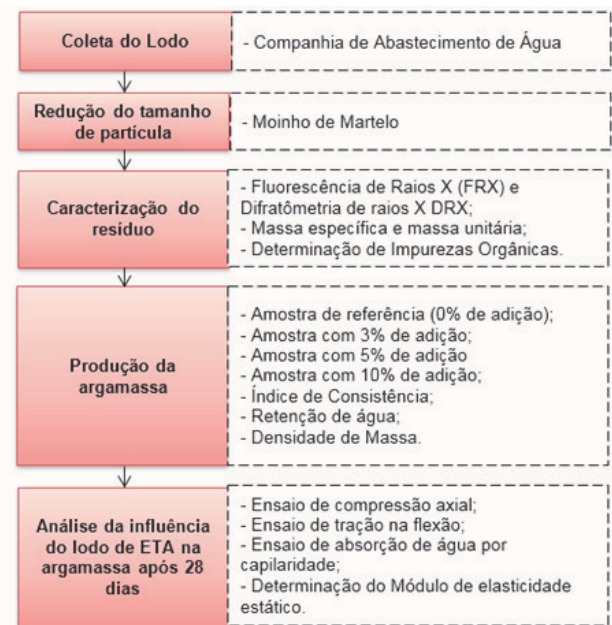


Figura 01 - Fluxograma: Etapas do trabalho.

Fonte: Autores, 2018.

2.1. Materiais

Utilizou-se cimento do tipo Portland, CP II-Z-32, conforme a classificação da ABNT NBR 11578:1991, com massa específica de 2,96 g/cm³.

A cal hidratada pertence à classe CH III, atendendo aos requisitos da ABNT NBR 7175:2003, e foi utilizada visando

a melhoria na trabalhabilidade e retenção de água das argamassas produzidas.

Para a produção de alguns traços de argamassa, utilizou-se aditivo plastificante com intuito de se manter a relação água/aglomerante. O aditivo é composto por resinas naturais, trata-se de um líquido escuro, isento de cloretos e com densidade de $1,01 \text{ g/cm}^3$.

O agregado miúdo utilizado foi a areia média lavada com módulo de finura de 2,37 e diâmetro máximo característico de 2,4 mm, verificados de acordo com a ABNT NBR NM 248:2003. A massa específica é de $2,36 \text{ g/cm}^3$, com valor determinado conforme a ABNT NBR NM 52:2009.

A água empregada em todas as etapas do trabalho foi obtida diretamente da rede de abastecimento de água da concessionária local, e segue as prescrições da ABNT NBR 15900-1:2009.

2.2. 1 Lodo de ETA

O estudo foi realizado na Estação de Tratamento de Água (ETA) de Criciúma, sul do estado de Santa Catarina, Brasil, que faz captação de 1.000 litros de água por segundo. A ETA é do tipo convencional, com a correção do pH feita através de adição do geocálcio e a coagulação pelo reagente policloreto de alumínio (PAC).

O lodo foi coletado diretamente da lagoa de decantação na ETA, e transferido para fôrmas metálicas que foram levadas à estufa e mantidas a temperatura de 100°C por 24 h. Assim que as fôrmas foram retiradas da estufa, os sólidos desidratados foram cominuídos com o auxílio de um moinho de martelos.

Para especificar a composição química foi adotada a técnica de espectrometria de fluorescência de Raios X (FRX), utilizando o espectrômetro de raios X por dispersão de comprimento de onda - WDXRF - Axios Max Panalytical.

Para determinar as fases cristalinas realizou-se ensaios em difratômetro de raios X, marca Shimadzu, modelo XRD-6000, goniômetro theta theta, radiação k- α com tubo de cobre de comprimento de onda (λ) de $1,5406 \text{ \AA}$. O passo realizado nas análises foi de $2^\circ/\text{min}$. O range de medida foi de 3 a 80° , com 25 kV de voltagem e 25 mA de corrente elétrica.

A determinação da massa específica do lodo foi realizada conforme a ABNT NBR NM 52:2009, e para obter o valor de massa unitária utilizou-se a ABNT NBR NM 45:2006.

Devido a origem do material, foi necessária a determinação de impurezas orgânicas, o ensaio foi realizado seguindo a norma ABNT NBR NM 49:2001.

Com o auxílio de um microscópio metalográfico foi analisado a microestrutura dos grãos do lodo de ETA.

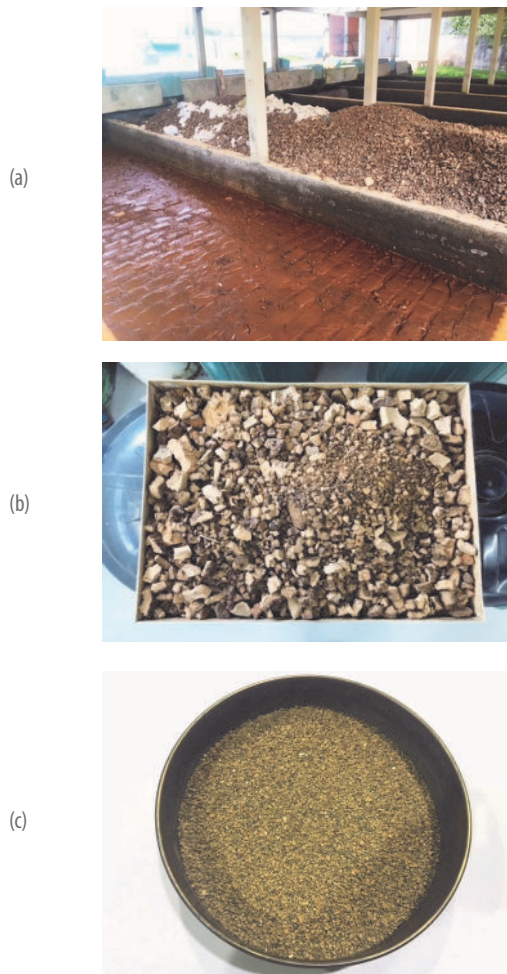


Figura 02 - (a) Lodo na ETA (b) após secagem (c) após cominuição.
Fonte: Autores, 2018.

2.2. Metodologia

Para a execução dos ensaios laboratoriais, foram produzidas quatro argamassas de revestimento seguindo os parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 7200:1998. O traço adotado para todas as argamassas foi de 1:0,5:5 (cimento: cal: areia), sendo um deles o de referência e os demais com diferentes teores de adição de lodo de ETA, como agregado. Os teores de adição foram definidos com base em pesquisas na área relacionadas a incorporação do lodo da ETA em argamassa de revestimento e concreto, por Tafarel et al. (2016), Ribeiro (2012) e Hoppen et al. (2005). De acordo com as pesquisas, os teores oscilam entre 4% e 15%, e acima de 10%. Nesse sentido, os resultados obtidos não foram satisfatórios, sendo adotados os teores de 3%, 5% e 10% para a pesquisa.

Além destes quesitos, cabe salientar que a fim de melhorar a composição granulométrica da areia utilizada como agregado nas argamassas produzidas, foi definido

uma faixa granulométrica para a incorporação do lodo. Essa utilizou-se do material passante na peneira de malha 2,36 mm e retido na peneira de malha 1,18 mm, pois era a faixa que possuía maior deficiência de material retido na areia utilizada. Buscou-se atingir uma distribuição granulométrica que se enquadrasse na zona ótima, estabelecida na Tabela 2 da NBR ABNT 7211:2005.

Foi verificado o índice de consistência conforme prescreve a ABNT NBR 13276:2016, que recomenda consistência de 260 ± 5 mm, e assim obtido a relação água/aglomerante.

A retenção de água foi avaliada segundo a ABNT NBR 13277:2005, que consiste na medida da massa de água retida pela argamassa após a sucção, realizada por meio de uma bomba de vácuo a baixa pressão em um funil de filtragem.

Para a determinação da densidade de massa, utilizou-se as orientações da ABNT NBR 13278:2005. O procedimento foi realizado para todas as misturas.

Denominaram-se as argamassas de acordo com o percentual de adição, por exemplo, o traço com 3% de adição é chamado de T3 (traço com adição de 3% de lodo em relação a areia) e assim, respectivamente para os demais, conforme apresenta a Tabela 01.

Amostra	Traço (Cimento: Cal: Areia: Lodo)	% de adição
T0	1:0,5:5:0	0
T3	1:0,5:5:0,03	3
T5	1:0,5:5:0,05	5
T10	1:0,5:5:0,10	10

Tabela 01 - Caracterização das argamassas produzidas.
Fonte: Autores, 2018.

Os ensaios de resistência à compressão e à tração na flexão foram realizados conforme estabelece a ABNT NBR 13279:2005. Moldaram-se três corpos-de-prova prismáticos com seção transversal de 4 cm x 4 cm e 16 cm de comprimento para cada tipo de mistura, e respeitou-se o tempo de cura de 28 dias. Para a realização do ensaio de compressão, foram utilizadas as metades dos corpos de prova resultantes do ensaio de tração na flexão, conforme descreve a ABNT NBR 13279:2005.

O equipamento utilizado no ensaio de compressão para romper os corpos de prova foi a prensa EMIC, modelo PC200CS, aplicando uma velocidade de carregamento de $(0,25 \pm 0,05)$ MPa/s, e para o ensaio de tração na flexão foi a prensa EMIC, modelo DL10000, com uma velocidade de $(0,05 \pm 0,02)$ MPa/s.

O módulo estático de elasticidade à compressão foi realizado conforme prescreve a ABNT NBR 8522:2008, porém o ensaio realizado foi adaptado para as argamassas.

Adaptações estas relativas aos ciclos de carga e descarga. Foram confeccionados 3 corpos de prova cilíndricos com 5 cm de diâmetro e 10 cm de comprimento, para cada tipo de argamassa produzida, e após os 28 dias de cura executado o ensaio. O equipamento utilizado para este ensaio foi uma prensa hidráulica da marca EMIC PC200CS, juntamente com um extensômetro elétrico.

O ensaio para determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade seguiram os procedimentos descritos na ABNT NBR 15259:2005. Foram utilizados três corpos de prova para cada dosagem definida. Após a determinação da massa inicial (m_0) em gramas, para cada corpo de prova, os mesmos prova foram posicionados com sua face quadrada no local do ensaio. O nível de água permaneceu constante a (5 ± 1) mm acima da face em contato com a água, determinando-se a massa, em gramas, de cada corpo de prova aos 10 minutos (m_{10}) e aos 90 minutos (m_{90}). A absorção de água por capilaridade, calculada para cada tempo, foi expressa em gramas por centímetro quadrado (g/cm^2), consistindo na razão entre a variação de massa pela área da seção transversal do corpo de prova em contato com a água.

Neste artigo, para a análise de variância nos ensaios de resistência a compressão axial, a tração na flexão e módulo de elasticidade foi utilizada a ANOVA, que consiste numa técnica estatística em que três ou mais amostras distintas são comparadas, analisando assim se há uma diferença significativa entre as médias e se os fatores influenciam alguma variável dependente. Por fim, o teste de Tukey avaliou em quais traços havia diferenças estatisticamente significativas quando ao teor de lodo de ETA adicionado. Estes testes têm nível de confiança de 95%. E para se constatar que há diferença significativa entre as variáveis, o valor P deve ser inferior a 0,05. Os testes foram executados no software Microsoft Excel.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Caracterização do Resíduo

Com a caracterização físico-química do lodo de ETA, foi possível definir os parâmetros para a sua incorporação na argamassa. Realizados os ensaios de massa unitária solta e massa específica, obtiveram-se os valores de $0,82 g/cm^3$ e $2,59 g/cm^3$, respectivamente. As características químicas do lodo da ETA são descritas na Tabela 2.

Elementos	Teor (%)	Elementos	Teor (%)
SiO ₂	31,76	K ₂ O	1,35
Al ₂ O ₃	24,97	CaO	0,64

Fe2O3	9,65	Na2O	0,46
TiO2	0,39	SO3	1,49
MnO	0,22	P2O5	0,29
MgO	0,28	PF	28,50

Tabela 02 - Análise química do lodo da ETA.
Fonte: Autores, 2018.

Do ponto de vista químico, o resíduo é constituído em sua maior parte por SiO₂ (dióxido de silício), Al₂O₃ (óxido de alumínio) e Fe₂O₃ (óxido de ferro) que correspondem à cerca de 66,38%. É possível perceber uma elevada porcentagem de Perda ao Fogo (PF), segundo Paschoal (2004 apud MÁZ, 2002) a elevada perda ao fogo se caracteriza pela elevada quantidade de matéria orgânica presente no material.

As características dos resíduos das ETA's variam de uma estação para outra, pois dependem das características do manancial, dos produtos químicos utilizados e do tipo de processo de tratamento empregado, mas de forma geral os lodos são compostos por substâncias sólidas, orgânicas e inorgânicas, provenientes da água bruta e de coagulantes e floculantes utilizados no tratamento, sendo os coagulantes mais utilizados no Brasil os sais de alumínio e ferro (BITTENCOURT et al., 2012).

Na Figura 03, encontra-se o resultado do ensaio de impurezas orgânicas. A análise desse ensaio se faz por meio da comparação entre a coloração da solução após contato com o material utilizado e a solução padrão de acordo com a ABNT NBR NM 49:2001. A cor mais escura que a solução padrão indica a possibilidade do agregado ser portador de compostos orgânicos nocivos.



Figura 03 - Determinação de impurezas orgânicas, (a) Solução após contato com o lodo de ETA (b) Solução padrão.
Fonte: Autores, 2018.

3.2. Propriedades no estado fresco da argamassa

O traço que necessitou de menor quantidade de água para atender a consistência especificada pela ABNT NBR 13276:2016 de 260 ± 5 mm, sem aditivo, foi o T0, a partir dele foi fixada a relação água/aglomerante em 0,62.

A Tabela 03 demonstra que o índice de consistência das argamassas produzidas com percentuais 0% e 3% de adição do lodo de ETA mantiveram-se constante, com os percentuais de 5% e 10% foi encontrado dificuldade de atingir a consistência especificada pela norma sem adicionar mais água ao traço, porém com o intuito de manter a relação água/aglomerante para todas as argamassas iguais, optou-se pelo uso de um aditivo plastificante, e assim atender a consistência sem adicionar mais água.

Amostra	Relação água/aglomerante	Aditivo (g)	Consistência (mm)
T0	0,62	0	263,00
T3	0,62	0	261,00
T5	0,62	0,15	255,00
T10	0,62	0,84	263,00

Tabela 03 - Relação água/aglomerante e índice de consistência.
Fonte: Autores, 2018.

A análise microscópica do grão do lodo de ETA indicou que o mesmo se trata de um material poroso, e segundo Neville e Brooks (2013) o material fino não deve estar presente em grande quantidade, pois devido a sua finura e conseqüentemente grande área superficial, aumentam a demanda de água necessária para a molhagem de todas as partículas da mistura.

A Tabela 04 apresenta os valores de retenção de água e densidade de massa no estado fresco das argamassas produzidas.

Amostra	Retenção de Água (%)	Densidade (g/cm ³)
T0	84	2.13
T3	98	2.11
T5	93	2.03
T10	95	1.86

Tabela 04 - Valores de Retenção de Água e Densidade.
Fonte: Autores, 2018.

A retenção de água é uma propriedade que está associada à capacidade da argamassa fresca manter a sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água de amassamento, seja por evaporação, seja pela absorção de água da base (CARASEK, 2007). A retenção permite que as reações de endurecimento da argamassa se tornem mais gradativa, promovendo a adequada hidratação do cimento e conseqüente ganho de resistência.

Nota-se que com a incorporação do lodo na argamassa, os valores de retenção de água aumentaram, em relação à argamassa de referência (T0), utilizando 3% de

adição do lodo de ETA (T3) a retenção de água aumentou 15%, a T5 resultou em um acréscimo de 10% e a T10 um aumento de 12%.

Esse é um aspecto positivo da adição do lodo de ETA na argamassa de revestimento, sendo esse aumento possivelmente ocasionado pela porosidade dos grãos do lodo de ETA. No momento da mistura, esses vazios são preenchidos com água, saturando-os e fazendo com que a argamassa diminua sua retenção visto que possui água enclausurada nela.

Em relação à densidade de massa, cabe ressaltar que a partir dos valores obtidos, existe uma tendência de quanto maior a incorporação do lodo de ETA, menor os valores de densidade de massa. Quanto mais leve for a argamassa, mais trabalhável será em longo prazo, o que reduz o esforço do operário na sua aplicação, resultando em um aumento de produtividade ao final da jornada de trabalho.

3.3. Propriedades no estado endurecido da argamassa

3.3.1 Resistência à tração na flexão e à compressão

Os valores médios de resistência à tração por flexão e à compressão axial estão situados na Tabela 05.

As médias deste ensaio para cada percentual de adição do lodo de ETA demonstram que a argamassa sofreu reduções de suas propriedades mecânicas conforme o aumento do teor adicionado, sofrendo uma queda acentuada em sua resistência à tração por flexão e à compressão axial.

Resistência (28 dias)	Tração por flexão	Compressão Axial
Amostras	Média ± DP* (MPa)	Média ± DP* (MPa)
T0	3.45a** ± 0,15	12.72a ± 0,58
T3	2.51b ± 0,25	9.51b ± 0,51
T5	2.41b ± 0,07	9.12b ± 0,07
T10	1.99c ± 0,12	6.89c ± 0,37

*Desvio Padrão
** médias seguidas pela mesma letra, em uma mesma coluna, não apresentam diferenças significantes, ao nível de significância de 5%, pelo Teste de Tukey.

Tabela 05 - Valores de resistência de tração na flexão e à compressão axial.
Fonte: Autores, 2018.

Ao analisar os resultados obtidos na tração por flexão, entre as amostras com 0% de adição do lodo de ETA (T0) e com 3% (T3), houve um decréscimo de 27,25%, entre a T0 e T5 uma queda de 30,14% e entre T0 e T10 a diminuição foi de 42,31%, sendo a mais significativa entre elas.

Com a análise estatística de variância (ANOVA) para os valores de resistência a tração por flexão, foi possível comprovar que há uma diferença significativa entre as amostras, obteve-se valor de $P= 2,7196 E-5 < 0,05$.

O teste de Tukey apontou que as médias de T3 e T5 não diferem significativamente entre si, isso demonstra que ao adicionar 3% ou 5% de lodo de ETA na argamassa, ela não altera a sua resistência tração na flexão, entre os outros grupos há disparidades significativas.

Com base nos valores obtidos pelo ensaio de compressão axial, quando comparada à média das amostras observa-se uma disparidade expressiva entre as amostras. Em relação à argamassa de referência (T0), a T3 diminuiu 25,21%, a T5 sofre uma queda de 28,31% e a T10 um decréscimo de 45,86%.

Por meio da análise de variância (ANOVA), com os valores de resistência à compressão axial foi comprovada que existe uma diferença existente entre os dados das amostras, ao obter-se um valor de $P= 1,4478 E-6 < 0,05$, porém somente com o Teste de Tukey que é possível afirmar quais as amostras diferem ou não entre si, e por meio dele constatou-se que as amostras T3 e T5 não possuem diferença significativa entre si para resistência à compressão axial, nos demais grupos há diferença.

Através dos resultados obtidos, pode-se observar que a adição do lodo de ETA nas argamassas influencia de forma similar nas resistências à tração na flexão e compressão axial, ocasionando uma redução nas mesmas.

A diminuição das propriedades mecânicas da argamassa pode estar diretamente ligada com a grande quantidade de matéria orgânica presente no lodo de ETA. Segundo Neville e Brooks (2013) os agregados naturais podem ser suficientemente fortes e resistentes ao desgaste e mesmo assim, não serem adequados para a produção do material cimentício caso contenham impurezas orgânicas que interfiram no processo de hidratação do mesmo.

3.3.2 Módulo de elasticidade

Os resultados obtidos no ensaio de Módulo de Elasticidade das argamassas produzidas encontram-se na Tabela 06.

Amostra	Módulo de Elasticidade ± DP* (GPa)
T0	18,95a** ± 3,28
T3	12,29b ± 1,62
T5	13,32b ± 1,15
T10	12,40b ± 2,24

*Desvio Padrão
** médias seguidas pela mesma letra, em uma mesma coluna, não apresentam diferenças significantes, ao nível de significância de 5%, pelo Teste de Tukey.

Tabela 06 - Valores de Módulo de Elasticidade.
Fonte: Autores, 2018.

De acordo com Silva (2014), a propriedade mecânica que quantifica a capacidade de uma argamassa em se deformar sem que ocorra ruptura, é o módulo de elasticidade. Trata-se de uma propriedade mecânica fundamental no estudo da fissuração de revestimentos argamassados, sendo desejável um módulo de elasticidade menor em relação a outros materiais cimentícios tradicionais, de forma a minimizar a possibilidade de ocorrência de fissuração. Por outro lado, se a argamassa apresentar um módulo de elasticidade muito inferior ao do suporte, poderá afetar a durabilidade do revestimento.

Ao analisar a Tabela 06, é possível perceber que com a adição do lodo de ETA na argamassa, o módulo de elasticidade diminui, quando comparado a argamassa sem adição do lodo de ETA.

Em relação à argamassa de referência (T0), a amostra T3 teve uma queda de 35,14%, a amostra T5 reduziu 29,71% enquanto a T10 obteve um decréscimo de 34,56%.

Por meio da análise estatística de variância (ANOVA), foi comprovado que existe diferença significativa entre as médias com diferentes percentuais de adição, resultando num valor de $P=0,018 < 0,05$. O Teste de Tukey demonstrou que as médias de T3, T5 e T10 não possuem diferença significativa entre si, somente o T0 em relação aos outros grupos.

Pode-se observar que as argamassas com menor resistência mecânica apresentam menores módulos de elasticidade, e conseqüentemente maior capacidade de absorver deformações, sendo um aspecto proveitoso para as argamassas com adição do lodo de ETA.

3.3.3 Absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade

A absorção de água capilar é medida pelo coeficiente de capilaridade, que é descrito como a capacidade que a argamassa endurecida tem de absorver água. A determinação deste coeficiente define a velocidade com que a água é absorvida pelo material (PASCOA, 2012).

Quanto menor a taxa de absorção de água, mais resistente será o material frente à entrada de agentes deletérios do meio ambiente, que podem levar o material (concreto ou argamassa) a sofrer com problemas de durabilidade (KIRCHHEIM et al., 2004).

O ensaio demonstrou que a amostra T10 apresentou o resultado mais satisfatório, com uma redução no teor de absorção de 52,94% aos 10 minutos e 56,41% aos 90 minutos em relação ao traço de referência T0, seguido do traço T5 que obteve uma redução de 35,29% aos 10 minutos e 38,46% aos 90 minutos e a amostra T3 que não sofreu alteração da absorção aos 10 minutos e aos 90 minutos teve uma queda de 7,69%.

De acordo com Dias e Carasek (2003), a maior incidência de manifestações patológicas nos revestimentos argamassados é a umidade, destacando a importância da análise de absorção de água e da permeabilidade para os mesmos.

Os resultados encontrados demonstraram que com a incorporação do lodo na argamassa, a absorção de água por capilaridade e o coeficiente de capilaridade decrescem, reforçando o que foi constatado no ensaio de retenção de água, isso pode ocorrer devido a porosidade dos grãos do lodo de ETA, esses poros já preenchidos com água, diminuem a absorção quando comparados com a argamassa convencional.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos com o estudo da incorporação do lodo de ETA na argamassa de revestimento, foi possível analisar a aplicabilidade desse tipo de argamassa.

A adição do lodo de ETA nas argamassas contribuiu com o aumento da sua retenção de água, e com a redução da absorção de água por capilaridade, comparada com a argamassa convencional. Esses resultados demonstram que o lodo de ETA traz benefícios para a argamassa de revestimento, tornando-a mais estanque e resistente contra agentes deletérios que possam causar a sua deterioração.

Para os ensaios de tração na flexão, compressão axial e módulo de elasticidade, a adição do lodo de ETA nas argamassas resultou em uma diminuição nas propriedades das mesmas. Porém não foi descartado a sua aplicabilidade devido à ênfase da pesquisa não ter sido a melhoria das mesmas. Para os mesmos, o teste de ANOVA e teste de Tukey comprovou esta disparidade entre amostras com diferentes teores de adição do lodo de ETA.

Ao considerar todas as propriedades estudadas pode se verificar que uma porcentagem de adição de 3% e 5% do lodo de ETA contribui satisfatoriamente para a argamassa de revestimento, além de trazer sustentabilidade, destinando o resíduo que seria descartado no meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- ACHON, Cali Laguna; BARROSO, Marcelo Melo; CORDEIRO, João Sérgio. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. Eng. Sanit. Ambient., São Paulo, v. 18, n. 2, p.115-122, jun. 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v18n2/a03v18n2>. Acesso em: 24 jun. 2018.
- ALMEIDA, Ana Paula Verona de; CARVALHO, Karina Querne de; PASSIG, Fernando Hermes. Caracterização Quantitativa do Lodo Gerado na Estação de Tratamento de Água de Campo Mourão PR. Revista Técnico-científica do IFSC, Florianópolis, v. 1, n. 1,

p.36-41, 5 jul. 2010. Disponível em: <https://periodicos.ifsc.edu.br/index.php/rtc/article/viewFile/206/149>. Acesso em: 11 set. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11578: Cimento Portland composto – Especificação. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7175: Cal hidratada para argamassas – Requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15900-1: Água para amassamento do concreto – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7200: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8522: Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de

água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

BITTENCOURT, S; SERRAT, B.M; AISSE, M.M, et al; Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. Engenharia Sanitária e Ambiental. vol.17 no.3 Rio de Janeiro. Julho/Setembro. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v17n3/v17n3a08>. Acesso em: 24/06/2018.

BRASIL. Congresso. Câmara dos Deputados. Lei nº 11445, de 5 de janeiro de 2007. Brasília, Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2007/lei-11445-5-janeiro-2007-549031-norma-actualizada-pl.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2018.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, Geraldo Cechella. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais. São Paulo: Arte Interativa, 2007. Cap. 26, p. 863-904.

COMUSA - Serviços de Água e Esgoto de Novo Hamburgo (Rio Grande do Sul). Tratamento de Água. 2017. Disponível em: <http://www.comusa.rs.gov.br/index.php/saneamento/tratamentoagua>. Acesso em: 15 maio 2018.

DIAS, Letícia Almeida; CARASEK, Helena. Avaliação da permeabilidade e da absorção de água de revestimentos de argamassa pelo método do cachimbo. V simpósio brasileiro de tecnologia. P. 543-555. 2003.

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

HOPPEN, Cinthya et al. Uso de Lodo de Estação de Tratamento de Água Centrifugado em Matriz de Concreto de Cimento Portland para reduzir o Impacto Ambiental. Química Nova, São Paulo, v. 29, n. 1, p.79-84, 08 set. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v29n1/27861.pdf>. Acesso em: 29 maio 2018.

SANTOS, Heraldo Barbosa dos. Ensaio de Aderência das Argamassas de Revestimento. 2008. 50 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <http://pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg1/Monografia>

Heraldo Barbosa.pdf. Acesso em: 11 set. 2017.

MEGDA, Cláudia Regina; SOARES, Leonardo Vieira; ACHON, Cali Laguna. Propostas de Aproveitamento de Lodos Gerados em ETA's. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23, 2005, Campo Grande. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/l-019.pdf>. Acesso em: 11 set. 2017.

KIRCHHEIM, Ana Paula et al. Estudo da Absorção Capilar em Argamassas de Cimento Portland Branco Estrutural com Diferentes Teores de Adições Pozolânicas. In: Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004, Porto Alegre. Anais. São Paulo: Antac - Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 2004. p. 1 - 11. Disponível em: ftp://ip20017719.eng.uff.br/Public/AnaisEventosCientificos/ENTAC_2004/trabalhos/PAP0940d.pdf. Acesso em: 13 jun. 2018.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J.. Tecnologia do Concreto. 2. ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2013. 466 p.

PASCHOAL, J.A.A. Estudos de parâmetros de qualidade para a cerâmica estrutural vermelha. 2004. 188 p. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

RIBEIRO, Rodolfo Faquini. Estudo de dosagem de lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) em argamassa. 2012. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2012. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1890/1/CM_COEAM_2012_1_16.pdf. Acesso em: 29 maio 2018.

SILVA, Tiago Rodrigues da. Comportamento Mecânico de Argamassas de Reboco com Regranulado Negro de Cortiça. 2014. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Técnico Lisboa, Lisboa, 2014. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/563345090412722/Dissertacao.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2018.

TAFAREL, Nathann Francisco et al. Avaliação das propriedades do concreto devido à incorporação de lodo de estação de tratamento de água. Revista Matéria, Rio de Janeiro, v. 21, n. 4, p.974-986, dez. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rmat/v21n4/1517-7076-rmat-21-04-00974.pdf>. Acesso em: 29 maio 2018.

AUTORES

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4074-5985>

SIBELE SILVEIRA LAURINDO | Universidade do Extremo Sul Catarinense | Curso de Engenharia Civil | Criciúma, Santa Catarina, Brasil | Correspondência para: Av. Universitária, 1105 - Bairro Universitário CEP: 88806-000 - Criciúma-SC | Email: sibeleslaurindo@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9698-1100>

ELAINE GUGLIELMI PAVEI ANTUNES, Dra. | Universidade do Extremo Sul Catarinense | Curso de Engenharia Civil | Criciúma, Santa Catarina, Brasil | Correspondência para: Av. Universitária, 1105 - Bairro Universitário CEP: 88806-000 - Criciúma-SC | Email: elainegpa@unes.net

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6114-8725>

ALINE EYNG SAVI, Dra. | Universidade do Extremo Sul Catarinense | Curso de Arquitetura e Urbanismo | Criciúma, Santa Catarina, Brasil | Correspondência para: Av. Universitária, 1105 - Bairro Universitário CEP: 88806-000 - Criciúma-SC | Email: arquiteta.alinesavi@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5785-5913>

JAISON ARAUJO SPECK, M.Sc. | Universidade do Extremo Sul Catarinense | Curso de Engenharia Civil | Criciúma, Santa Catarina, Brasil | Correspondência para: Av. Universitária, 1105 - Bairro Universitário CEP: 88806-000 - Criciúma-SC | Email: jspeck@casan.com.br

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1753-4944>

JORGE HENRIQUE PIVA, M.Sc. | Universidade do Extremo Sul Catarinense | Curso de Engenharia Civil | Criciúma, Santa Catarina, Brasil | Correspondência para: Av. Universitária, 1105 - Bairro Universitário CEP: 88806-000 - Criciúma-SC | Email: jhpiva@unes.net

COMO CITAR ESTE ARTIGO

LAURINDO, Sibeles Silveira; ANTUNES, Elaine Guglielmi Pavei; SAVI, Aline Eyng; SPECK, Jaison Araujo; PIVA, Jorge Henrique. Estudo da Adição do Lodo de ETA - Estação de Tratamento de Água em Argamassas de Revestimento. **MIX Sustentável, [S.l.], v. 6, n. 4, p. 19-28, ago. 2020.** ISSN 24473073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia mês. ano. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n4.19-28>.

DATA DE ENVIO: 14/11/2019

DATA DE ACEITE: 02/06/2020

