

## II-533 - REÚSO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (E.T.A.) NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS CERÂMICOS

**Edvan Silva Castão<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Nove de Julho (UNINOVE).

**Amanda Lima de Castro<sup>(2)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Nove de Julho (UNINOVE).

**Arnoldo Mesquita Filho<sup>(3)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Nove de Julho (UNINOVE).

**Gercivania Avelina da Rocha<sup>(4)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Nove de Julho (UNINOVE).

**Samuel Ricardo dos Santos<sup>(5)</sup>**

Doutor em Engenharia AC: Água e Solo. Pesquisador em qualidade de água.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Dr. Adolpho Pinto, 109 - Barra Funda, São Paulo – SP - Brasil - Tel: (11) 3919-4262 - e-mail: Prof. Dr. Samuel Santos: [srsantos@me.com](mailto:srsantos@me.com); Eng. Edvan Castão: [edvancastao@hotmail.com](mailto:edvancastao@hotmail.com);

### RESUMO

As estações de tratamento de água (E.T.A.) vêm buscando soluções de reciclagem para os resíduos gerados no processo de tratamento de água os denominados de lodo de E.T.A.. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar tecnicamente a viabilidade da incorporação do lodo para a fabricação de tijolos cerâmicos. Para tanto, incorporou-se proporções de 10%, 20% e 30% (em peso) de lodo proveniente da E.T.A. Cabuçu/SAEE - Guarulhos na argila para a fabricação de tijolos cerâmicos. Corpos de prova com dimensões de (230 x 110 x 55) mm foram avaliados através de ensaios de resistência mecânica à compressão, absorção de água e retração linear. Os resultados demonstram que a retração linear da massa cerâmica diminui com o incremento de lodo. No entanto, adições superiores a 10% em peso de lodo de E.T.A., aumentam ligeiramente a absorção de água e diminuem a resistência mecânica. Os dados indicam a possibilidade de incorporação do lodo no processo de fabricação de tijolos cerâmicos com doses de até 10%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo de E.T.A., Reúso, Tratamento de Água, Tijolos Cerâmicos.

### INTRODUÇÃO

O crescimento econômico e populacional é acompanhado pela geração de resíduos sendo muitos destes lançados inadequadamente em corpos hídricos comprometendo a qualidade da água para abastecimento público. Processos convencionais de tratamento de água são executados com a adição de produtos químicos capazes de promoverem o equilíbrio do pH, geração de flocos via coagulantes promotores de agregação de partículas, soluções inativadoras de micro-organismos e oxidação de matéria orgânica, tendo como principal consequência a geração de um resíduo conhecido como lodo de estação de tratamento de água, cuja natureza depende da qualidade da água bruta a ser tratada (RICHTER, 2001).

Diversos grupos de pesquisa têm desenvolvido trabalhos visando o aproveitamento do lodo através do seu reúso apresentando alternativas para destinação final. Hoppen *et al.* (2005) avaliaram a dosagem de lodo de E.T.A. em matriz de concreto como alternativa para disposição final. Bittencourt *et al.* (2006) demonstraram a capacidade de incorporação de lodo de estação de tratamento de água juntamente com o lodo de estação de tratamento de esgoto na produção de milheto. Achon, Barroso e Cordeiro (2008) desenvolveram leito de drenagem para redução do volume de lodo gerado permitindo economia no processo de adensamento. Outros trabalhos destacam a utilização do lodo de E.T.A. como matéria prima em processos industriais (FERRARI, 2007), fabricação de cimento e concreto (HOPPEN *et al.*, 2006), cerâmica (ANDRADE, 2005) e aplicação no solo como corretor de pH (ZANCAN; TONIOLLO; MIOTTO, 2013).

Neste cenário, este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica da incorporação do lodo da E.T.A. na fabricação de tijolo de cerâmica vermelha como uma alternativa para a destinação final do resíduo.

## REVISÃO DE LITERATURA

Durante o tratamento da água são adicionados componentes químicos conduzindo a formação de resíduos que serão removidos posteriormente por sedimentação, filtração, adsorção em hidróxidos e óxidos ou carvão ativado (RICHTER, 2001). Tsutiya e Hirata (2001), descrevem estes resíduos como lodos de estação de tratamento de água (lodo de E.T.A.). Geralmente, o lodo é recolhido, desidratado e posteriormente encaminhado para aterros sanitários. No entanto, com legislações cada vez mais restritivas e altos custos com a disposição, bem como os impactos ambientais associados ao descarte inadequado, faz com que empresas de saneamento básico busquem por soluções econômicas e sustentáveis para o tratamento e disposição final de lodos gerados (DA SILVA TAKADA *et al.*, 2013).

Tsutiya e Hirata (2001), destacam que os usos benéficos mais utilizados para o lodo no Estado de São Paulo são: disposição no solo, fabricação de tijolos, fabricação de cimento, fabricação de concreto, compostagem, cultivo de grama comercial, solo comercial e plantações de cítricos.

Morita *et al.* (2002), avaliaram a possibilidade de incorporação de lodo da E.T.A. Cubatão em tijolos cerâmicos adicionando doses 25%, 20%, 12,5% e 10% de lodo na fabricação de tijolos. Testes de caracterização do lodo, ensaios de resistência à compressão, absorção de água e características dimensionais dos tijolos foram efetuados tendo sido demonstrado que as características do lodo eram compatíveis não havendo interferências significativas no processo produtivo nem nas características finais dos tijolos cerâmicos processados. Os resultados obtidos indicaram que a dose de 12,5% apresentou a melhor relação para incorporação à argila. Margem *et al.* (2005), verificaram a influência da temperatura de queima nas propriedades tecnológicas de cerâmicas vermelhas fabricadas com lodo proveniente da E.T.A. Campus Goytacazes - RJ em ensaios com 0%, 3%, 5% e 10% em peso de lodo incorporado. Os ensaios efetuados por Margem *et al.* (2005) revelaram que a adição de até 10%, aumentou a porosidade das amostras e assim, prejudicou as propriedades finais do material sinterizado tais como a resistência mecânica e absorção de água.

Estudos conduzidos por Paixão (2005), revelaram que com a incorporação do lodo na mistura de argila, os corpos cerâmicos produzidos apresentavam alterações nas propriedades mecânicas em relação aos corpos produzidos somente com argilas puras. O autor destaca ainda que, as partículas de lodo atuaram como inclusões amorfas na massa argilosa até 1000° C, o que influenciou a fratura do corpo cerâmico, diminuindo assim a resistência. No entanto, Paixão (2005) afirma que foi possível incorporar até 10% de lodo como matéria-prima na cerâmica, garantido as propriedades requeridas para a cerâmica vermelha na construção civil.

Ramires *et al.* (2005), mostraram que blocos cerâmicos fabricados com adição de 2% de lodo, da região de São Leopoldo – RS, apresentaram resultados em conformidade com as normas vigentes para este tipo de material. Aqueles autores observaram ainda um acréscimo na resistência à compressão dos blocos conformados com 2% de lodo. Já Andrade (2005), avaliou a possibilidade da adição de lodo da E.T.A. Cubatão na argila para fabricação de bloco cerâmico nas proporções de 1:4; 1:5; 1:8 e 1:10. Com os ensaios concluiu-se que a incorporação de 7% em massa de lodo não alterou consideravelmente as características de esquadro, absorção de água e de resistência dos blocos.

Porras *et al.* (2008), avaliaram a viabilidade da utilização dos lodos da cidade de Campinas juntamente com agregados reciclados na fabricação de tijolos estabilizados de cimento. O estudo procurou incorporar a máxima quantidade de lodo e minimizar a de cimento. Deste modo, foram investigadas as proporções mássicas de cimento/agregado/lodo na faixa de 5:85:10; 5:80:15; 5:75:20; 5:50:25; 10:80:10; 10:75:15; 10:70:20 e 10:65:25. Para cada uma destas proporções, variou-se, como componente principal de avaliação, o teor de umidade do lodo: 0, 50, 70 a 74% e 75 a 80%. Os resultados mostraram que a umidade do lodo influenciou significativamente na qualidade dos tijolos, sendo possível sua confecção somente com teor de umidade abaixo de 50%. Com isso, Porras *et al.* (2008), concluíram que nenhum tijolo produzido nas condições estudadas atendeu simultaneamente aos requisitos das normas brasileiras de qualidade - dimensões, absorção de água e resistência à compressão. Já Rodrigues e Holanda (2013), estudaram a viabilidade do uso de lodo como agregado na fabricação de tijolos de solo-cimento. Em testes utilizando corpos cilíndricos contendo até 5% em peso de lodo de E.T.A. em substituição parcial, os autores concluíram que até 1,25% de lodo de E.T.A. pode ser utilizado substituto parcial do solo natural.

Hegazy *et al.* (2012), investigaram o efeito da substituição completa da argila por lodo gerado em estações de tratamento de água incorporados com cinzas de casca de arroz. Foram estudadas três séries diferentes de proporções de lodo para cinza de casca de arroz, que envolveu exclusivamente a adição de 25%, 50% e 75%

de lodo em peso total na mistura lodo:cinza. Cada série de tijolo foi queimada a 900° C, 1000° C, 1100° C e 1200° C. As propriedades físicas e mecânicas dos tijolos foram analisadas e comparadas com o tijolo de controle feito inteiramente de argila. Os resultados obtidos demonstraram que a temperatura de queima interfere nas propriedades mecânicas dos tijolos. Com isso, aqueles autores concluíram que os tijolos queimados a 1200° C com 75% de adição de lodo apresentaram propriedades mecânicas superiores aos dos tijolos controle.

Victoria (2013), realizou estudos com lodo coletado na Usina de Tratamento de Água da Barragem de Usuma, localizada em Abuja na Nigéria. Foram investigadas doses de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% de lodo em peso incorporado na argila para a fabricação dos tijolos. Foram efetuados testes de caracterização das propriedades físicas, químicas e mecânicas dos tijolos confeccionados. Os resultados mostraram que a temperatura de queima e a proporção do lodo são fatores importantes que determinam a qualidade dos tijolos e, o aumento no teor de lodo melhorou a trabalhabilidade e aparência física dos tijolos. Victoria (2013), concluiu que o lodo pode ser utilizado para produzir tijolos de boa qualidade para várias aplicações na construção civil, no entanto, grandes quantidades de lodo incorporado a argila resultam em redução da resistência à compressão, diminuição da densidade e aumento da absorção de água.

Considerando que o volume de lodos gerados nas E.T.A. é contínuo e os desafios para a correta destinação final bem como o reúso deste material são permanentes, este trabalho descreve os resultados obtidos com estudos de viabilidade de incorporação do lodo da E.T.A. Cabuçu/SAEE – Guarulhos/SP, na fabricação de tijolos cerâmicos com argila vermelha. Os testes foram conduzidos no laboratório de solos da Universidade Nove de Julho utilizando lodo proveniente de estação de tratamento de água com ciclo convencional e argila vermelha de jazida localizada na cidade de Jundiá – SP.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Amostras de Lodo de E.T.A.

Amostras de lodo de E.T.A. provenientes do decantador e da lavagem dos filtros foram obtidas na E.T.A. Cabuçu/SAEE – Guarulhos - SP. A E.T.A. possui ciclo convencional de tratamento com geração de lodo cujas características físico-química estão dispostas na Tabela 1. Já a Figura 1A e 1B descrevem a central de armazenamento do lodo gerado na E.T.A..



Figura 1: Central de armazenamento de lodo gerado no tratamento de água da E.T.A. Cabuçu/SAEE - Guarulhos. FONTE: Arquivo Pessoal.

**Tabela 1: Caracterização Físico-Química do Lodo.**

<b>Análise Físico-Química (Valor Máximo Permitido)</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>Resultado</b>	<b>ABNT NBR 10004/04</b>	<b>LíqQ.<sup>2</sup></b>	<b>Método Analítico</b>
Cianeto Total - CN	<1 mg/Kg ± 1,540	250 (c) mg/Kg	1	SMEWW 4500 Cn B.C.E 2012
Líquidos Livres	<1 mL/100g	n.e	1	MELAB 45 2014
Óleos e Graxas	0,17 %	n.e	0,05	SMEWW 5520 B.D 2012
pH (Suspensão 1:1) - pH	6,596 UpH	2,0 (b) a 12,5 UpH	1-14	SMEWW 4500-H+ B 2012
Porcentagem de Sólidos	22,97 % p/p	n.e	0,05	SMEWW 2540 B.E 2012
Sulfeto - S2-	<1 mg/Kg ± 0,047	500 (c) mg/Kg	1	SMEWW 4500 S2- D 2012
Umidade	77,03 % p/p	n.e	0,05	MELAB 45 2014
<b>Análise Físico-Química (Valor Mínimo Permitido)</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>Resultado</b>	<b>ABNT NBR 10004/04</b>	<b>LíqQ.<sup>2</sup></b>	<b>Método Analítico</b>
***Ponto de Fulgor	>60 °C	60 °C	40	ABNT NBR 14598 2012

Legenda:  
n.e. = Não estabelecido;  
% p/p = Porcentagem por parte;  
\*\*\* = Parâmetro subcontratado de laboratório acreditado pela Cgcre: CRL N° 0172: Ponto de Fulgor.

**FONTE: Cortesia E.T.A. Cabuçu/SAEE - Guarulhos, 2016.**

### **Amostras de Argila Vermelha**

Para a confecção dos tijolos cerâmicos foi utilizada argila proveniente da jazida localizada na cidade de Jundiá - SP cujos parâmetros físico-químicos estão dispostos na Tabela 2. As amostras foram analisadas quantitativamente por espectrometria de fluorescência de raios X com resultados expressos em porcentagem.

**Tabela 2 : Caracterização Físico-Química da Argila.**

<b>Ensaio</b>	<b>Resultados (%)</b>	<b>Ensaio</b>	<b>Resultados (%)</b>
Perda ao fogo	4,64	MgO	3,45
SiO <sub>2</sub>	61,77	Na <sub>2</sub> O	0,76
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,38	K <sub>2</sub> O	4,12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,32	MnO	0,10
TiO <sub>2</sub>	0,71	P <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	0,16
CaO	0,84	----	----

**FONTE: Dados gentilmente fornecidos pela Cerâmica Ermida, 2016.**

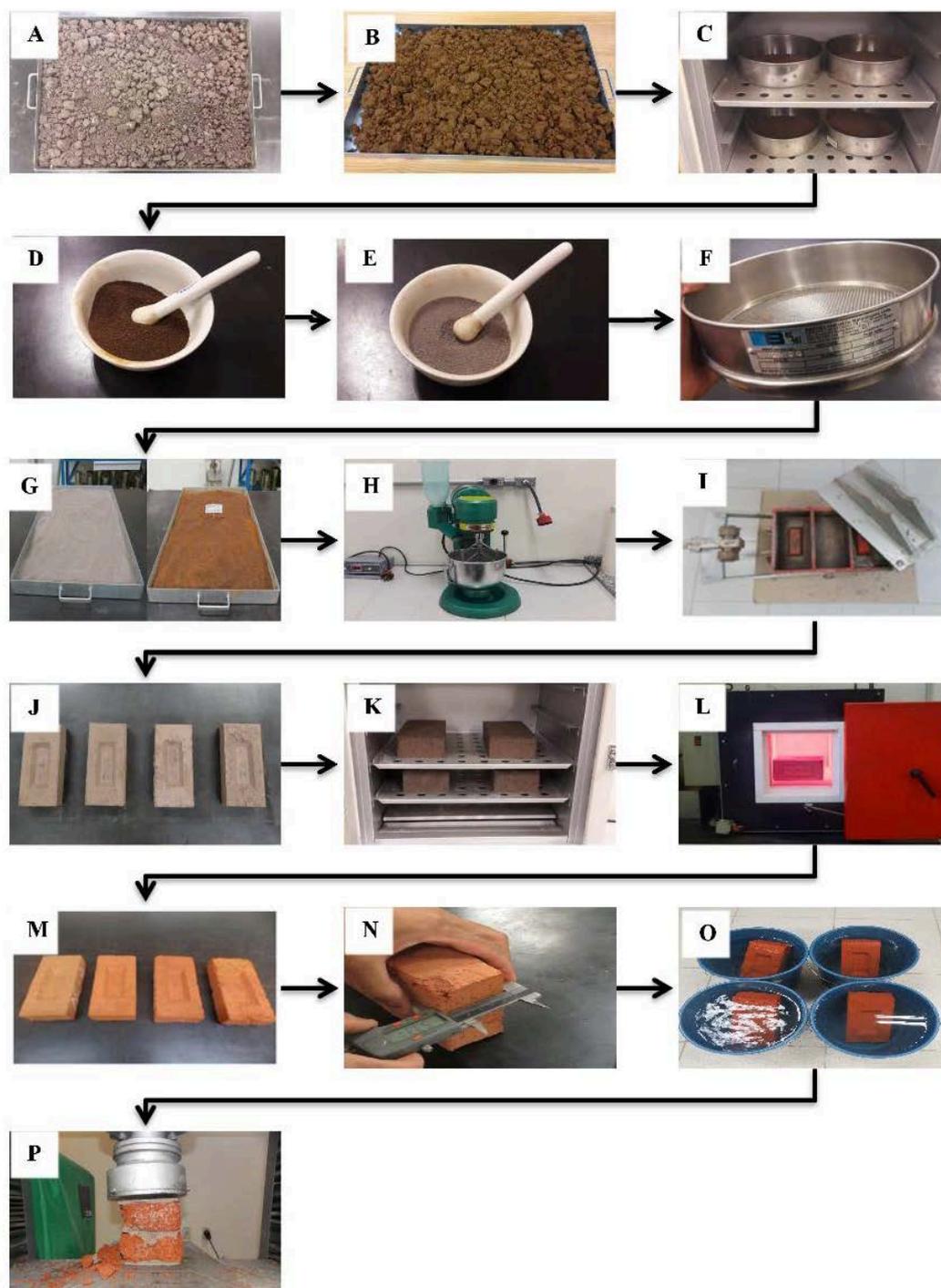
### **Modelagens dos Tijolos**

Os tijolos foram fabricados no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Nove de Julho. Foram testadas proporções de 10%, 20% e 30% (em peso) de lodo incorporado à massa de argila na fabricação dos tijolos cerâmicos. Para cada composição determinada, foram confeccionados 4 tijolos (Corpos de Prova – Cp's) com o objetivo de representar estaticamente os resultados obtidos nos ensaios.

Foram preparadas quatro amostras com mesma massa (2500 g), porém composições diferentes A0, A1, A2 e A3. Sendo que A0 apresenta 2500 g de argila (tijolos testemunhos), A1 indica tijolos com 2250 g de argila e 250 g de lodo (10%), A2 descreve 2000 g de argila e 500 g de lodo (20%) e A3 representa 1750 g de argila e 750 g de lodo (30%).

O teor de umidade foi determinado através de testes com amostras de argila e lodo/argila. Foram moldados corpos de prova com teores de umidade de 19%, 20% e 21%. As amostras com 19% e 21% de umidade apresentaram, respectivamente, características quebradiças e baixa consistência, tornado as amostras difíceis de moldar. Já as amostras com 20% de teor de umidade apresentaram características plásticas ideais para moldar os tijolos. Com isso, adotou-se 20% como teor de umidade para todas as amostras.

Na Figura 2 está descrito o procedimento adotado para a fabricação dos tijolos cerâmicos de argila bem como a incorporação do lodo de E.T.A. para a execução dos ensaios.



**Figura 2: Procedimento experimental para a confecção dos tijolos cerâmicos para execução dos ensaios com lodo de E.T.A.:** (A) amostras de argila úmida provenientes de jazida localizada na cidade de Jundiá – SP; (B) amostras de lodo de E.T.A. provenientes da central de armazenamento da E.T.A. Cabuçú – Guarulhos – SP; (C) secagem do lodo em estufa a 100° C por 24 horas; (D) lodo destorroado com o auxílio de um almofariz e mão de gal; (E) argila destorroada com o auxílio de um almofariz e mão de gal; (F) peneira com 2 mm de malha para peneirar os materiais; (G) amostras de argila e o lodo de E.T.A. secos; (H) agitador mecânico-orbital para homogeneização dos materiais; (I) prensa manual para conformação dos tijolos; (J) tijolos após a conformação: da esquerda para direita doses de 0%, 10%, 20% e 30% de lodo incorporado; (K) processo de secagem dos tijolos em estufa a 50° C por 24 horas; (L) queima dos tijolos em forno elétrico a 800° C por 24 horas. (M) tijolos após a queima: doses de 0%, 10%, 20% e 30% de lodo incorporado; (N) ensaio de retração linear de queima; (O) ensaio de absorção de água; (P) ensaio de resistência à compressão.

### Ensaio técnico para os Corpos de Prova

Os ensaios realizados após a queima dos corpos de prova foram: retração linear, absorção de água e resistência mecânica à compressão. Todos os ensaios seguiram as determinações constantes nas normas da ABNT:

- NBR 6460:1983 – Tijolo Maciço Cerâmico para Alvenaria - Verificação da Resistência à Compressão (Método de Ensaio);
- NBR 7170:1983 – Tijolo Maciço Cerâmico para Alvenaria (Especificação);
- NBR 8041:1983 – Tijolo Maciço Cerâmico para Alvenaria - Forma e Dimensões (Padronização);
- NBR 15270-3:2005 – Componentes Cerâmicos - PARTE 3: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação (Métodos de ensaio).

#### a) Retração Linear (RL)

Antes da secagem e após a queima, os corpos de prova foram medidos com paquímetro, para determinar a retração linear. Os dados foram analisados com o emprego da equação 1.

$$RL (\%) = \frac{L_o - L_f}{L_o} \times 100 \quad (1)$$

onde:

RL = Retração linear de queima (%);

$L_o$  = Comprimento do corpo de prova pré-queima (mm)

$L_f$  = Comprimento do corpo de prova pós-queima (mm)

#### b) Absorção de Água (AA)

Este parâmetro mede a percentagem em peso de água absorvida pelo corpo de prova seco. Os ensaios foram conduzidos conforme a norma ABNT NBR 15270-3:2005. Para determinar a massa seca, os corpos de prova foram submetidos à secagem em estufa a temperatura de 110° C até a estabilização da massa. Para determinar a massa úmida, os corpos de prova foram imersos em água destilada por 24 horas, em seguida, os corpos de prova foram removidos e o excesso de água superficial foi retirado com o auxílio de um pano. Em seguida mediu-se as massas dos corpos de prova em balança eletrônica com sensibilidade de 0,1 g. Os valores de absorção foram calculados de acordo com a equação 2.

$$AA (\%) = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (2)$$

onde:

AA = Absorção de água (%);

$M_u$  = Massa do corpo de prova úmido (g);

$M_s$  = Massa do corpo de prova seco (g).

#### c) Resistência Mecânica à Compressão

A resistência à compressão, mínima, dos tijolos maciços de vedação, está relacionada à área bruta e, deve atender aos valores indicados na Tabela 3.

**Tabela 3 - Resistência mínima à compressão em relação à categoria.**

Categoria	Resistência à compressão (MPa)
A	1,5
B	2,5
C	4,0

FONTE: (ABNT NBR 7170:1983).

Cada tijolo da amostra foi ensaiado conforme os parâmetros determinados pela norma ABNT NBR 6460:1983. Os tijolos foram submetidos a ação de uma carga progressivamente até o rompimento de sua estrutura, sendo registrados os valores máximos de compressão no momento do seu rompimento.

A resistência à compressão para cada corpo de prova foi obtida dividindo-se a carga máxima, em N, observada durante o ensaio, pela média das áreas das duas faces de trabalho, conforme observado na equação 3.

$$\tau \text{ (MPa)} = \frac{F}{A} \quad (3)$$

Onde:

$\tau$  = Tensão máxima de ruptura (MPa);

F = Força aplicada (N);

A = Área de trabalho (m<sup>2</sup>).

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos nos ensaios de retração linear, absorção de água e resistência mecânica à compressão foram analisados com base nos parâmetros definidos pelas normas da ABNT. Os dados foram analisados em seus parâmetros estatísticos com base na média e desvio padrão amostral dos ensaios com corpos de prova A0, A1, A2 e A3 (n = 4).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Retração Linear de Queima (RL)

No teste de retração linear foram verificadas as porcentagens de redução na peça cerâmica após a queima; a Figura 3 descreve o comportamento da adição de lodo na retração linear dos corpos de prova. Segundo Borlini (2002), quando a cerâmica apresenta-se porosa, ela é caracterizado por baixa retração, na ordem de 3%, já a semi-porosa pode apresentar retração de 4% a 6% e a cerâmica gresificada ou pouco porosa é definida por uma retração linear de cerca de 8%.

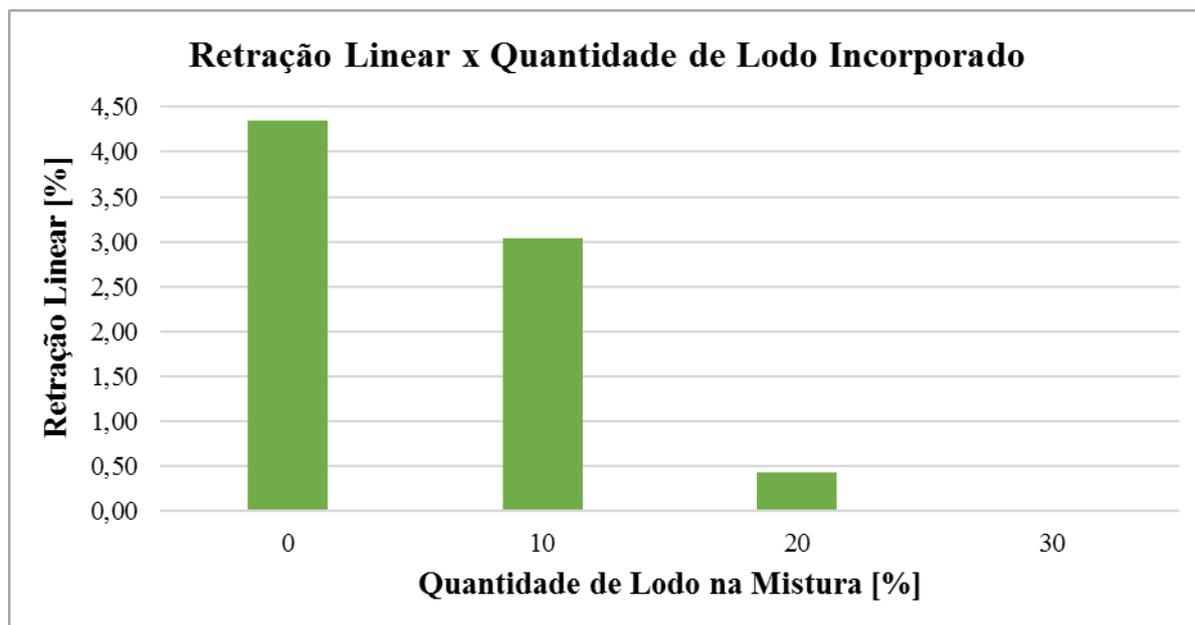


Figura 3 - Comportamento da Adição de Lodo na Retração Linear dos Corpos de Prova.

De acordo com a classificação descrita por Borlini (2002), os tijolos fabricados sem incorporação de lodo são caracterizados como semi-porosos, e os tijolos com 10%, 20% e 30% de lodo incorporado são classificados como porosos. Os resultados indicaram que o aumento na adição de lodo na massa cerâmica, nas porcentagens de 10% e 20%, faz diminuir a retração linear de queima dos corpos de prova em 3,04% e 0,43%, respectivamente. Já os corpos de prova fabricados com 30% de lodo não apresentaram redução em nenhuma de suas dimensões. Porém, os mesmos mostraram-se mais porosos e friáveis que os demais. Os corpos de prova fabricados sem adição de lodo retraíram 4,35%.

Segundo Vieira e Pinheiro (2011), a retração nos tijolos sem adição de lodo ocorre devido à grande quantidade de caulínica presente na argila, o que é comprovado conforme os dados exibidos na Tabela 2. Já nos tijolos

com lodo incorporado, notou-se redução nos valores de retração linear e isto é atribuído a maior presença de areia na composição em função da adição de lodo na mistura. Isso significa que o lodo pode ser utilizado para ajustar a plasticidade/trabalhabilidade da argila, além de, corrigir a retração linear nas peças cerâmicas.

O fenômeno de retração linear é consequência da eliminação de água utilizada para a modelagem do produto. A água, após ser eliminada, deixa vazios que permite a aproximação de partículas argilosas devido as forças de atração eletrostáticas gerando aglomeração. Após a queima, a retração torna-se consequência dos mecanismos de sinterização (aproximação das partículas) que ocorre por difusão no estado sólido, uma vez que nessa temperatura não ocorre fusão dos minerais componentes, ou seja, a eliminação de uma parcela dos poros existentes na mistura seca (FERRARI, 2007).

### Absorção de Água (AA)

Para o ensaio físico de absorção de água, foram obtidos os valores médios das concentrações de água retida nos corpos de prova após 24 horas submersos em água. A Figura 4 ilustra o comportamento médio da absorção de água na massa dos tijolos. Observa-se que o aumento da dose de lodo na massa cerâmica causa elevação na taxa de absorção de água pelos corpos de prova da ordem de 15% (tijolos controle) para cerca de 40% (tijolos com 30% de lodo), refletindo na queda da qualidade dos tijolos confeccionados. Todavia, a incorporação de 10% de lodo na conformação dos tijolos apresentou melhores resultados quando comparado com o tijolo controle.

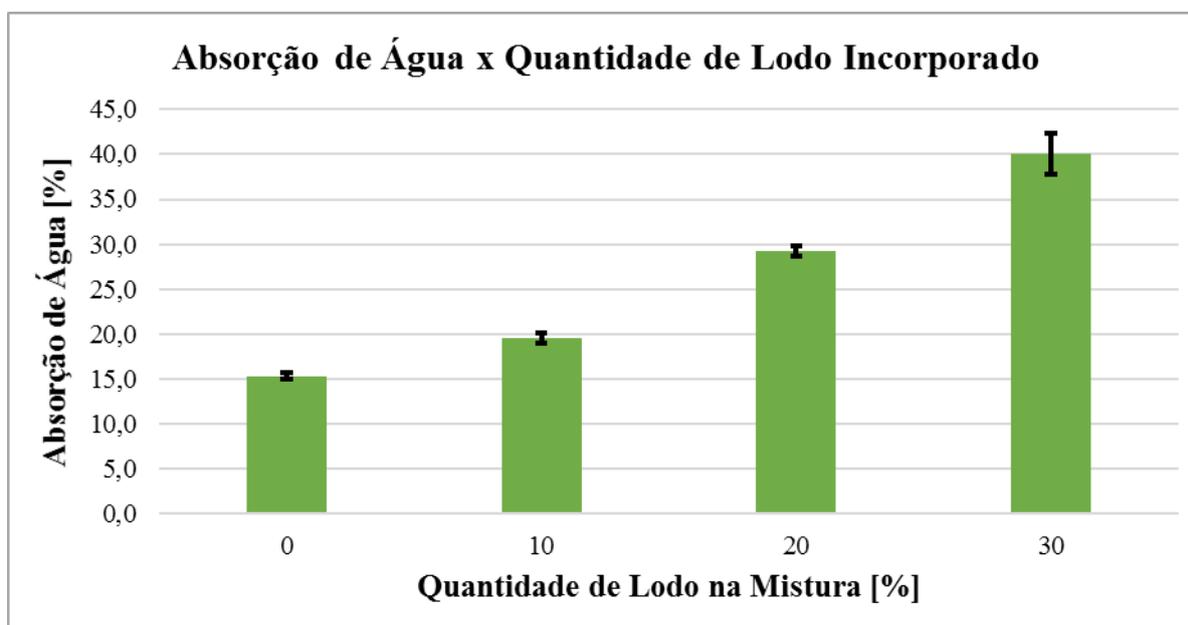


Figura 4 - Resultado das Médias da Absorção de Água em Função da Incorporação de Lodo.

### Resistência Mecânica à Compressão

O resultado do ensaio de resistência à compressão demonstrou que o aumento da massa de lodo na mistura lodo/argila faz com que os corpos de prova fiquem mais frágeis, ou seja, a adição do lodo diminui a resistência à compressão do tijolo, de 7,01 MPa (tijolos controle) para 0,39 MPa (tijolos com 30% de lodo). Na Figura 5, pode ser observado o comportamento médio da variação da porcentagem de lodo incorporada à argila em função da resistência de ruptura à compressão dos tijolos.

De acordo com a ABNT NBR 7170:1983 a resistência mínima que o tijolo cerâmico deve possuir é de 1,5 MPa para assegurar sua utilização, o que torna inviável a adição de 20% e 30% de lodo na argila, pois reduziu consideravelmente a resistência mecânica do produto final, dificultando até o seu manuseio no momento dos testes. Contudo, a incorporação de 10% de lodo apresenta valores aceitáveis pela referida norma.

Paixão (2005), analisou lodos provenientes da E.T.A. do sistema COMPASA/RIO MANSO; Morita *et al.* (2002), avaliaram lodos gerados na E.T.A. Cubatão e Victoria (2013) estudou lodos gerados na Usina de Tratamento de Água na Nigéria. Os referidos autores observaram, respectivamente, que a adição de até 10%,

12,5% e 10% de lodo em peso na massa cerâmica não causa interferências significativas no processo produtivo e nem nas características finais do produto. Esses resultados são próximos aos observados no presente trabalho e indicam a possibilidade de utilização do lodo de E.T.A. na fabricação de cerâmica vermelha.

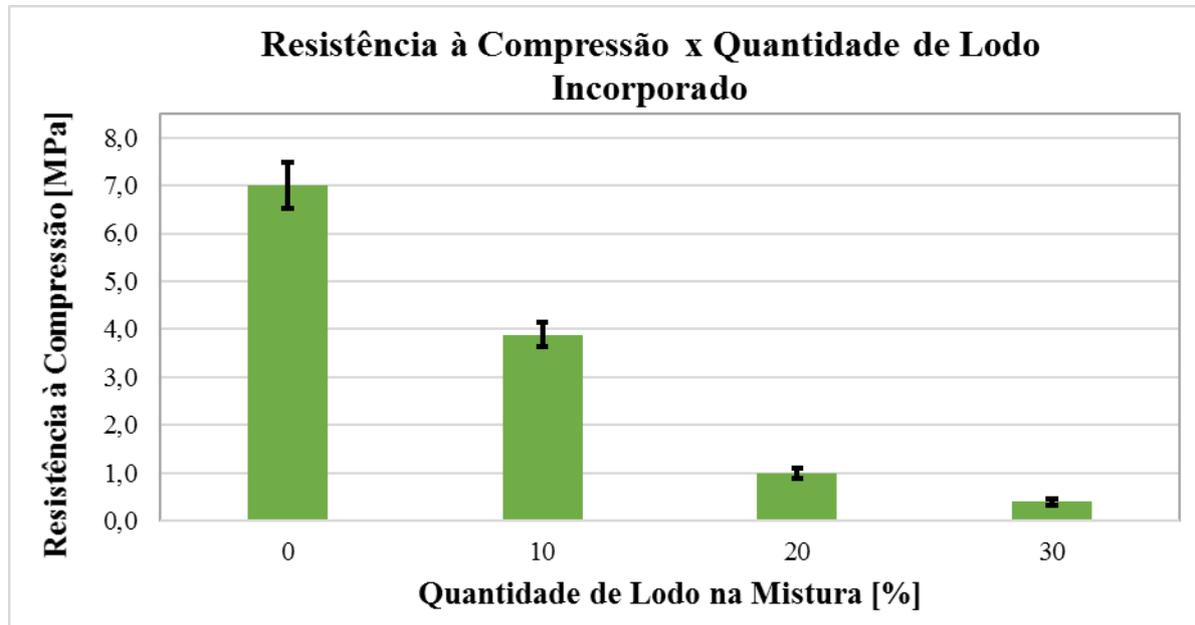


Figura 5 - Resultado das Médias das Tensões Máximas de Ruptura em Função da Incorporação de Lodo.

## CONCLUSÃO

Os resultados dos experimentos realizados com os tijolos cerâmicos confeccionados a partir da incorporação do lodo de E.T.A., permitiram concluir que este tipo de lodo pode ser reciclado no processo de fabricação de tijolos cerâmicos. Entretanto, a sua incorporação deve ser feita em até 10% a fim de evitar danos durante o processamento e na qualidade final do tijolo produzido. A retração linear da massa cerâmica diminui com o incremento de lodo, no entanto, adições superiores a 10% em peso de lodo de E.T.A., aumenta ligeiramente a absorção de água e diminui a resistência mecânica à compressão.

## RECOMENDAÇÕES

Dispondo dos resultados obtidos, futuros trabalhos podem ser realizados a fim abordar a viabilidade da aplicação desta técnica em escala real. Outros trabalhos podem utilizar a metodologia proposta neste projeto em diferentes produtos cerâmicos, a saber: pastilhas cerâmicas, telhas, azulejos, dentre outros.

## AGRADECIMENTOS

À E.T.A. Cabuçu/SAAE – Guarulhos, pelo fornecimento de amostras de lodo de E.T.A. À Cerâmica Ermida, pelo fornecimento de amostras de argila vermelha. Cordiais agradecimentos são dados ao Prof. Tiago Santim e a Letícia Niveloni pelo apoio e valorosa contribuição para a execução deste trabalho. Ao Laboratório de Ensaios Tecnológicos da Groupe Egis pelo apoio prestado na execução dos ensaios de compressão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6460: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria – Verificação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1983.
2. \_\_\_\_\_. NBR 7170: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1983.
3. \_\_\_\_\_. NBR 8041: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria forma e dimensões. Rio de Janeiro, 1983.
4. \_\_\_\_\_. NBR 15270-3: Componentes cerâmicos: Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.
5. ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Leito de drenagem: sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 13, n. 1, p. 54–62, 2008.
6. ANDRADE, P. DE S. Avaliação do impacto ambiental da utilização de resíduos de estações de tratamento de água em indústrias de cerâmica vermelha: Estudo de caso. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, 2005.
7. BORLINI, M. C. Cerâmicas preparadas a partir de argila sedimentar com adição de cinzas da matéria orgânica do lixo e celulignina do processo de pré hidrólise de biomassas: propriedades mecânicas e inertização de metais pesados. Dissertação de Mestrado. Engenharia de Materiais. Faculdade de Engenharia Química de Lorena, São Paulo, 2002.
8. DA SILVA TAKADA, C. R.; SERRA, J. C. V.; MAFRA, W. A.; BORBA, K. C. A. Aproveitamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água no município de Palmas – TO. 2013.
9. FERRARI, T. N. Incorporação do lodo da estação de tratamento de água (ETA II) do município de Rio Claro-SP, na argila, para produção de cerâmica vermelha. 2007.
10. HEGAZY, B. E. E.; FOUAD, H. A.; HASSANAIN, A. M. Brick manufacturing from water treatment sludge and rice husk ash. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, v. 6, n. 3, p. 453–461, 2012.
11. HOPPEN, C. et al. Estudo de dosagem para incorporação do lodo de ETA em matriz de concreto, como forma de disposição final. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais... Campo Grande - MS, 2005.
12. HOPPEN, C. 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*, v. 29, n. 1, p. 79, 2006.
13. MARGEM, J. I. et al. Incorporação de um lodo de estação de tratamento de água em cerâmica vermelha. In: Anais do 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica, v. 6, 2005.
14. MORITA, D. M.; SAMPAIO, A. O.; MIKI, M. K.; DAVID, A. C. Incorporação de lodos de estações de tratamento de água em blocos cerâmicos. *Revista Saneas*, v. 1, n. 14, 2002.
15. PAIXÃO, L. Aproveitamento de Lodo de Estação de Tratamento de Água em Cerâmica Vermelha. 2005. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto - MG, 2005.
16. PORRAS, Á. C.; DE LIMA ISAAC, R.; MORITA, D. M. Incorporação do lodo das estações de tratamento de água e agregado reciclado de resíduo da construção civil em elementos de alvenaria - Tijolos estabilizados com cimento. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, v. 18, n. 2, 2008.
17. RAMIRES, M. V. V.; DOS SANTOS, I. S. S.; DE SOUZA KAZMIERCZAK, C. Uso de lodo de estação de tratamento de água para produção de blocos cerâmicos. In: Anais do 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica, v. 6, 2005.
18. RICHTER, C. A. Tratamento de lodo de estação de tratamento de água. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 2001.
19. RODRIGUES, L. P.; HOLANDA, J. N. F. Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento. *Cerâmica*, v. 59, n. 352, p. 551–556, 2013.
20. TSUTIYA, M. T.; HIRATA, A. Y. Aproveitamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água do estado de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, p. 46, 2001.
21. VIEIRA, C. M. F.; PINHEIRO, R. M. Avaliação de argilas caulínicas de Campos dos Goytacazes utilizadas para fabricação de cerâmica vermelha (Evaluation of kaolinitic clays from Campos dos Goytacazes used for red ceramic fabrication). *Cerâmica*, v. 57, p. 319–323, 2011.
22. VICTORIA, A. N. Characterisation and performance evaluation of water works sludge as bricks material. *International Journal of Engineering*, v. 3, n. 3, p. 8269, 2013.
23. ZANCAN, N. P.; TONIOLLO, M.; MIOTTO, N. Reaproveitamento de resíduos de ETAs, uma alternativa para o desenvolvimento sustentável. *Centro*, v. 139, p. 105, 2013.