

APROVEITAMENTO DE LODO ORIUNDO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO (ETE) E SUA UTILIZAÇÃO COMO MATÉRIA PRIMA NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS

USE OF SLUDGE FROM SANITARY SEWAGE TREATMENT PLANTS (S.T.P) AND THEIR USE AS RAW MATERIAL IN THE MANUFACTURE OF BRICKS

TARABAI, Monira Kansaon^{1*}; AZEVEDO, Sirlei Geraldo de²

¹ Graduada em Engenharia Civil através da Faculdade Kennedy-MG

² Engenheiro na Companhia de Saneamento Básico de Minas Gerais

**Monira Kansaon Tarabai*
e-mail: *monirakansaon@gmail.com*

Received 12 January 2019; received in revised form 21 August 2019; accepted 14 November 2019

RESUMO

O presente artigo aborda uma possível solução, quanto à destinação final do lodo oriundo de Estações de Tratamento de Esgotamento Sanitário (E.T.E), visando à preservação ambiental. O resíduo sólido gerado, após os processos de tratamento do efluente bruto é altamente contaminante e prejudicial a área na qual é depositado. Diante disso, o aproveitamento do lodo com aplicação de técnicas de reuso, torna-se pertinente, tanto sobre a ótica econômica, quanto sobre a ótica ecológica. Ao substituir o uso de agregados provenientes de jazidas minerais, a argila principal matéria prima na fabricação de produtos cerâmicos (Vieira, 2000), pelo lodo tratado de ETE teremos uma economia das fontes de materiais granulares. Objetivando sua reintegração ao ciclo produtivo através da introdução do lodo como matéria prima incorporada a massa cerâmica na fabricação de tijolos vazados, verificou-se a viabilidade de uso através de análise de desempenho, ao comparado ao tijolo testemunha fabricado em olaria, sem adição de lodo. Foram elaborados corpos de prova com três tipos de amostras: 90% de argila e 10% de lodo; 80% de argila e 20% de lodo; 70% de argila e 30% de lodo. Ensaio de perda de massa, índice de absorção de água e de resistência a compressão foram realizados. Quanto aos testes os corpos de prova com 10% e 20% de lodo foram os que tiveram maior adequação aos requisitos técnicos, mas por se tratar de um maior volume do resíduo para aplicação de técnicas de reuso o tijolo com dosagem de 20% de lodo é o mais indicado. NBR7.7171, de novembro de 1992: Bloco Cerâmico para alvenaria; Especificação NBR 6.461, de junho de 1983: Bloco Cerâmico para Alvenaria - Verificação da resistência à compressão: Método de ensaio; NBR 8.947, de novembro de 1992: Telha Cerâmica- Determinação da massa e da Absorção de Água: Método de Ensaio. Quanto aos testes, o corpo de prova com 20% de lodo foi o que teve maior adequação aos requisitos técnicos e ambientais.

Palavras-chave: *Lodo (ETE); Processamento de resíduos; Tijolos cerâmicos.*

ABSTRACT

This paper discusses a possible solution regarding the final disposal of sludge from Sanitary Sewage Treatment Stations (ET), aiming at environmental preservation. The solid waste generated after the wastewater treatment processes is highly contaminating and detrimental to the area in which it is deposited. Given this, the use of sludge with the application of reuse techniques becomes pertinent, both from the economic point of view and from the ecological point of view. By replacing the use of aggregates from mineral deposits, the main clay raw material in the manufacture of ceramic products (Vieira, 2000), by the treated sludge of WWTP we will save on the sources of granular materials. Aiming its reintegration to the production cycle through the introduction of sludge as raw material incorporated in the ceramic mass in the manufacture of hollow bricks, the viability of use was verified through performance analysis, compared to the control brick made of pottery, without the addition of sludge. Specimens were prepared with three types of samples: 90% clay and 10% sludge; 80% clay and 20% sludge; 70% clay and 30% sludge. Mass loss, water absorption index and compressive strength tests were performed. As for the tests, the specimens with 10% and 20% of sludge were the ones that had better adaptation to the technical requirements, but because it is a larger volume of the residue for the application of reuse techniques, the brick with 20% sludge dosage. is the most suitable. NBR7.171, November 1992: Ceramic Block for masonry; Specification NBR 6.461, June 1983: Masonry Ceramic Block - Compressive Strength Check: Test Method; NBR 8.947, November 1992: Ceramic Tile- Determination of Mass and Water Absorption: Test Method.

As for the tests, the specimen with 20% of sludge was the one that had the best adaptation to technical and environmental requirements. The present article approaches a possible solution regarding the destination of the sludge coming from Sanitary Sewage Treatment Stations, aiming at environmental preservation. Aiming at its reintegration into the productive cycle through applications of reuse techniques, the sludge became raw material when the ceramic mass was incorporated into the brick fabrication. Three types of samples were elaborated: 90% of clay and 10% of mud; 80% clay and 20% sludge; 70% clay and 30% sludge. As for the tests, the test specimen with 20% of sludge was the one that had more adequacy to the technical and environmental requirements.

Keywords: *Sludge (S.T.P.); Waste processing; Ceramic bricks.*

1. INTRODUÇÃO

O Resíduo sólido, denominado lodo, oriundo das etapas dos tratamentos oferecidos pelas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) é um subproduto dos processos realizados para retirar as cargas poluentes dos esgotos, processos esses, que podem ser físicos, químicos ou biológicos. Em ato contínuo, o efluente é devolvido aos corpos de água receptores como produto final, efluente tratado, em conformidade com os parâmetros, padrões e diretrizes exigidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 430/2011). O lodo de esgoto é definido pela CONAMA (375/2006) como sendo uma fonte que potencializa a proliferação de vetores e moléstias, compostos orgânicos persistentes e patógenos em concentrações nocivas à saúde pública e ao meio ambiente, podendo conter poluentes tóxicos, fenóis e os chamados metais pesados em caso de despejos industriais. O resíduo sólido, pastoso, de natureza orgânica, proveniente do pós- tratamento segue para um leito de secagem dentro da própria ETE para o desaguamento, onde diminui de volume e conseqüentemente o custo com o transporte até um aterro sanitário.

Substituir parte dos agregados provenientes de jazidas minerais finitas pelo lodo, as fontes de materiais granulares estarão sendo poupadas. A exploração deliberada e sem controle pode haurir esse recurso estratégico para o desenvolvimento das atividades econômicas. De acordo com a NBR 9935 (ABNT, 2005) todo esse processo de exploração caracteriza-se por provocar a remoção da cobertura vegetal do local de exploração, causando impactos que podem muitas vezes ser irreversíveis para todo o ecossistema da região.

Visando à preservação ambiental através da aplicação de técnicas de reuso o lodo se tornará matéria prima ao ser incorporado à massa cerâmica, agregando valor a algo que até então gerava custos para ser dispensado.

A indústria cerâmica tem grande aceitação

em agregar novos materiais em sua composição, uma alternativa promissora de disposição correta desse resíduo é a incorporação à massa cerâmica (ARAÚJO/2008). O lodo que pode ser adicionado ao processo de preparação da massa cerâmica para auxiliar na correção da umidade (ANDREOLI et al.,2006).

1.1 Referencial Teórico

1.1.1 *Tratamentos de Esgotamento Sanitário*

O efluente é constituído em média de 99,9% de água e 1% de sólidos, desses sólidos 75% é matéria orgânica em decomposição que proliferam microrganismos advindos de fezes humanas e dependendo da saúde da população, pode conter patógeno (NUVOLARI et al., 2011). Apesar da maior concentração do esgoto ser composto por água, ele é altamente contaminante, devido à matéria orgânica presente.

Segundo Azevedo Neto (1973) as águas pluviais com matéria orgânica, devido à lavagem das ruas e campos deveriam passar por um tratamento adequado antes de ser lançadas aos corpos de água, problema recorrente nos dias atuais em conformidade com o artigo de Pacheco Jordão (2015). Ele acrescenta que, apenas 54% da população Brasileira tem acesso às redes coletoras e 46% lançariam seus efluentes diretamente nos corpos de água. Nos períodos de maior índice pluviométrico, onde se esperaria que a qualidade das águas melhorasse ocorre o inverso, a qualidade das águas dos rios piora, pois com a deficiência na coleta e tratamento de esgoto, o carreamento de cargas poluidoras das ruas e campos, aumentam a carga difusa depositadas nas águas.

Von Sperling (2014), elucida sobre os processos de tratamentos de Esgotamento Sanitário, onde o efluente bruto, em ato contínuo passa por vários níveis de tratamento dependendo da qualidade do esgoto e da qualidade que se espera que esse efluente tenha

no após tratamento. O primeiro processo é o Tratamento Preliminar considerado físico, onde são retidos os sólidos grosseiros por meio de gradeamento. O segundo processo é o Tratamento Primário também considerado físico, que reduz uma parte significativa da matéria orgânica e sólidos sedimentáveis. Esse método tem eficiência também na remoção dos sólidos flutuantes, principalmente óleos e graxas. O terceiro tratamento é o Tratamento Secundário, onde é removida a matéria orgânica e os sólidos dissolvidos na massa líquida dos esgotos através de reações biológicas, realizadas por micro-organismos: bactérias, protozoários e fungos no processo aeróbio. No anaeróbio, essas reações são realizadas praticamente por apenas bactérias. O quarto tratamento denominado Tratamento Terciário, remove poluentes específicos (micronutrientes), outros poluentes que não foram retidos nos tratamentos primário e secundário, obtendo um tratamento de qualidade superior para os esgotos. Nesse tratamento, compostos como nitrogênio e fósforo são removidos através da desinfecção com adição de radiação ultravioleta, ozônio ou cloro.

De acordo com Maziviero (2011. 106p), com o progressivo aumento populacional, os problemas ambientais resultantes da geração de resíduos das atividades humanas exigirão ações que viabilizem o equilíbrio entre consumo e reuso. No caso do lodo de esgoto não é diferente, pois além do grande volume que exigirá cada vez maiores locais para descarte, existe ainda o problema ambiental, onde a ausência de um tratamento adequado causa sérios danos à área onde é depositado.

1.1.2 Descarte do Resíduo Sólido gerado

No Brasil, a CONAMA (resolução 375/2006), seção VIII, preconiza que a estocagem do lodo numa propriedade deve ser feita em local com declividade máxima de até 5%, com distância mínima de segurança de rios, poços, lagos, minas e afins que varia de 15 a 100m e por período máximo de 15 dias. Proíbe. Também que a estocagem seja feita diretamente sobre o solo. O manuseio e carregamento de caminhões na área de estocagem poderão ser feitos com pás carregadeiras de rodas ou retroescavadeiras com caçambas frontais (BRASIL, 2004).

Von Sperling (2001) afirma que, enquanto o lodo permanecer na unidade gerenciadora, ele deverá ser armazenado em local coberto para evitar encharcamento e diminuir o problema de

odor. O local deve possuir piso de concreto armado ou asfalto impermeabilizado, de modo a evitar a infiltração do lodo no solo, deve possuir também estruturas de coleta de chorume e de águas pluviais.

Em conformidade com Ferreira et al. (1999), após o tratamento adequado por digestão aeróbia ou anaeróbia o lodo de esgoto pode ser enviado para aterros sanitários (exclusivos ou comuns); para áreas de landfarming, que consiste na degradação biológica do resíduo em uma camada superior, que é periodicamente revolvida para haver aeração; para incineração ou para reciclagem agrícola. A disposição oceânica foi descartada visto que, em países com maior avanço nas tecnologias de disposição de lodo, ela é uma prática totalmente proibida.

Consoante Andrade (1999) a técnica de landfarming, apesar de ser uma alternativa de menor custo, também exige grande disponibilidade de área semelhante à dos aterros.

Estima-se que no Brasil, as alternativas de reuso do lodo gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto, seriam pouco utilizadas e teria sua destinação final nos aterros sanitários (WAKI/2016). O processo e a disposição final do lodo representam até 60% do custo operacional de uma ETE (VON SPERLING/2001). O que encarece a reutilização do lodo no que diz respeito à disposição final, são o transporte e o manejo, entretanto através de uma visão sistêmica e planejada é possível identificar os veículos e equipamentos mais adequados em cada etapa do processo, buscando um sistema logístico organizado e eficaz (GODOY/2013).

Nuvolari (2011, 43p) cita em sua obra, que a preocupação com o descarte correto do lodo de esgotos é algo relativamente recente no Brasil. Os processos que englobam a disposição final de 90% do lodo produzido no mundo são: incineração, disposição em aterros e caleação.

1.1.3 Descontaminação e Reuso do lodo

O processo de caleação consiste em misturar a cal virgem (CaO) em proporções que variam em função do peso seco do lodo, de modo a promover o aumento do pH numa reação exotérmica que inativa até 90% dos organismos patogênicos e acelera o processo de evaporação, podendo atingir temperaturas de até 80 °C.

De acordo com os estudos desenvolvidos por Passamani (2001) a higienização do lodo anaeróbio através da caleação por cal virgem hidratada, com dosagens que variaram entre 10 a

60%, teores de sólidos totais da ordem de 30% e período de estocagem dos produtos correspondentes a 24 horas, observou-se que essas condições foram suficientes para inviabilizar 100% de ovos de helmintos presentes no lodo.

O tratamento térmico implica no aquecimento do lodo por um determinado período a fim de higienizar e estabilizar o insumo. A temperatura em que o lodo será submetido dispensa o tipo de fonte, sendo eficaz qualquer fonte energética. O método é bastante eficaz na inativação de helmintos, uma vez que as enzimas, que fazem parte da constituição dos microrganismos, diminuem ou percam totalmente sua capacidade funcional, devido à modificação de sua estrutura pelo efeito térmico. Ovos de helmintos e vírus quando inativados termicamente não se tornam viáveis novamente (Hay, 1996).

Em seus estudos Andreolli et al. (2000, 281-312p) obteve um grande êxito em reduzir de forma considerável ovos de helmintos, ao fazer uso de uma estufa, submetendo o lodo a uma temperatura de 80°C por um período de 5 minutos. Em contrapartida Lima (et al., 2005) concluíram que, se aquecerem lodo por 10 minutos a uma temperatura de 70 °C, haverá a eliminação quase que total dos ovos.

As ETE's como solução viável podem fazer uso do biogás produzido no sistema para a higienização térmica de todo o lodo produzido, alcançando a completa inviabilização dos ovos de helmintos.

“No processo de desinfecção para reutilização do resíduo, a queima em fornos ou aplicação da cal são bastante onerosos, mas os benefícios ambientais justificam os custos do tratamento. O desenvolvimento de um trabalho que verifique a possibilidade de utilização do lodo como matéria prima alternativa na indústria cerâmica é uma pesquisa plausível devido aos resultados de pesquisas anteriores com a reutilização do lodo em materiais de construção ter sido satisfatórios [...]. O uso de lodos procedentes de ETE como matéria prima cerâmica pode ser uma alternativa viável, tanto econômica como técnica, reduzindo custos ambientais relacionados à disposição final desses materiais. Além disso, as operações inerentes à indústria cerâmica (fornos com altas temperaturas) fazem com que os riscos sanitários se

reduzam ao mínimo (INGUNZA, 2008, p. 2).”

Diante disso, podemos deduzir que ao realizar a queima de tijolos cerâmicos com percentuais de lodo tratado com cal, a uma temperatura de 900° Celsius em altos fornos de uma olaria, pelo período de sete dias, ou com a utilização da Mufla pelo período de quatro horas, todos os contaminantes foram eliminados. Ressaltamos ainda, o processo de secagem em estufa, na qual foram submetidos pelo período de quarenta e oito horas.

1.1.4 Características do Lodo

Para implementar uma Estação de Tratamento de Esgotamento Sanitário é necessário fazer um estudo local, levando em consideração vários fatores para adotar o tratamento apropriado. Deve-se avaliar se a área é residencial ou industrial, investigar os hábitos da população, a situação econômica, social, pois todos esses fatores influenciam na composição do efluente bruto e na qualidade do lodo que será produzido no pós-tratamento. A característica do lodo depende da qualidade do esgoto e do processo de tratamento utilizado. O resíduo de esgoto em geral apresenta 40% de matéria orgânica, 4% de nitrogênio e 2% de fosforo; macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e micronutrientes (Cu, Zn, Mn e Fe) e componentes tóxicos. Com base no peso seco, no Brasil o lodo é composto por sólidos voláteis, nutrientes [...] e a presença de metais pesados em maior quantidade (BETTIOL & CAMARGO/2006).

1.1.5 Características da Argila

As argilas em geral são caracterizadas pela alta resistência plástica quando se adiciona água na quantidade certa. São materiais terrosos naturais de granulometria fina. As argilas possuem em sua constituição os chamados argilominerais que são os silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio. Além dos argilominerais, as argilas contêm outros elementos e minerais, tais como matéria orgânica, sais solúveis e partículas de quartzo, pirita, mica, calcita, dolomita e outros minerais residuais, podendo conter também, minerais não cristalinos ou amorfos. (SOUZA SANTOS, 1989).

De acordo com Vieira (2000) a argila é a principal matéria-prima utilizada na fabricação de

produtos cerâmicos, devido a sua alta plasticidade, a resistência mecânica após ser submetida a queima adequada, pela possibilidade da utilização de aplicações e técnicas simples e por ter grandes quantidades à disposição.

Souza Santos (1989) definiu que a argila plástica caulínica ou em camadas mistas com matéria orgânica, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, como sendo a mais indicada para a fabricação de blocos e tijolos maciços. As argilas com estas características são geralmente encontradas em margens de rios, lagos ou várzeas (CARVALHO et al., 2000).

1.1.6 Incorporação do lodo a massa cerâmica

De acordo com Andreoli (2001, 287p) a adição do lodo de esgoto de forma homogeneia, após devida desinfecção seria uma matéria-prima de excelência na fabricação de produtos cerâmicos, como telhas, tubos, tijolos e lajotas. Sua utilização tem-se mostrado uma alternativa viável de destinação adequada. Ainda, segundo Andreoli (2001, 28p) o lodo é adicionado ao processo durante a etapa de preparação da massa cerâmica e auxilia na correção de umidade já que o lodo é um resíduo expansivo na presença de água, isso pode ser feito manualmente, com pás carregadeiras, ou em olarias mais tecnificadas, utilizando-se equipamentos apropriados.

De acordo com Campregher (2006), através de prensagem mecânica, a dosagem de 5% de lodo em base seca e utilizando temperaturas de 950°C, foram obtidos corpos-de-prova que atendem a legislação brasileira nos quesitos absorção, porosidade e resistência à compressão.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Método de abordagem

O projeto de pesquisa tem como finalidade verificar a viabilidade do lodo oriundo do Tratamento de Esgotamento Sanitário através de uma análise de desempenho, ao ser incorporado a massa cerâmica na fabricação de tijolos e comparado ao tijolo testemunha fabricado pela Olaria, sem adição de lodo. Será feito um estudo de viabilidade em relação ao percentual que pode ser acrescido à massa cerâmica na busca por soluções, a fim de dar uma destinação ecologicamente correta para o resíduo. Realizado

para fins experimentais o projeto proposto servirá de parâmetro para estudos mais complexos.

O experimento consistiu na fabricação de tijolos cerâmicos vazados, contendo 0%, 10%, 20%, 30% de lodo, com as dimensões de 8,8 x 7,1 x 3,5 mm, foram moldados utilizando-se uma prensa mecanizada em olaria e queimados em forno industrial tipo Hoffman. A fabricação dos corpos de prova seguiu os parâmetros de rotina da indústria cerâmica. Duas unidades de cada corpo de prova foram recolhidos ainda úmidos e encaminhados ao laboratório de materiais de construção da Faculdade Kennedy, para a realização de testes pertinentes e complementadores.

2.1.1 Produção dos Corpos de Prova:

- a) Destorroamento das matérias-primas, conforme Figuras 03 e 04;
- b) Determinação das quantidades de matérias-primas citadas no item 3.2;
- c) Peso de cada mistura em balança digital para inferir se todas totalizaram 3.000g, conforme figura. 05;
- d) Homogeneização das matérias-primas;
- e) Modelagem mecanizada dos corpos de prova;
- f) Verificação de peso e dimensões de todos os corpos de prova úmidos;
- g) Secagem no tempo e em estufa;
- h) Verificação do peso e dimensões de todos os corpos de prova secos;
- i) Queima em forno Hoffman e Mufla;
- j) Verificação de peso e dimensões de todos os corpos de prova queimados;
- k) Ensaaios pertinentes.

2.2 Coletas das Matérias-Primas

O lodo utilizado como matéria-prima na modelagem dos corpos de prova foi recolhido do leito de secagem de uma ETE, em forma de torrões secos, proveniente do tratamento anaeróbio UASB. O resíduo foi armazenado em caixa térmica, devidamente lacrada e identificada.

O subproduto utilizado no experimento foi submetido à desinfecção dentro da própria ETE com aplicação da cal. Para um manuseio seguro, foram utilizados equipamentos de proteção individual.

Foram utilizados dois tipos de argila, denominadas argila de várzea, uma rica em dióxido de ferro e outra rica em alumínio, ambas advindas do pátio da própria Olaria, onde foram moldados os corpos de prova.

Para a realização do ensaio de umidade foram

recolhidas amostras da argila e do lodo na aquosidade em que foram utilizados. Ambos foram embalados em saco plástico, identificados e encaminhados ao laboratório de materiais de construção da Faculdade Kennedy, para a realização dos devidos ensaios.

2.3 Destorroamento e Quantificação de Matéria-Prima a ser utilizada

Para a modelagem dos corpos de prova o lodo seco foi umedecido e destorroado manualmente e com a utilização de um misturador elétrico. A argila foi destorroada manualmente com a utilização de uma espátula. Todo o procedimento foi realizado em local apropriado, sem risco de ação de intempéries nas dependências da olaria.

2.4 Confeção dos Tijolos

Definido o percentual de lodo a ser acrescido em cada amostragem, às matérias-primas foram dosadas e pesadas para posterior modelagem dos tijolos em três dosagens de lodo, além dos tijolos sem adição de lodo chamado de tijolo-testemunha.

Os tijolos foram moldados com porcentagens diferentes de lodo totalizaram 3.000g de mistura de argila e lodo. As amostras continham: 2700g de argila e 300g de lodo; 2400g de argila e 600g de lodo; 2100g de argila e 900g e 100% de argila de 0% de lodo, a fim de realizar os testes pertinentes em que são submetidos os tijolos convencionais.

Homogeneizados e posteriormente moldados com a utilização de uma prensa mecanizada, denominada marombinha (equipamento com as mesmas funcionalidades da maromba utilizada na produção em larga escala de tijolos padrões) em caráter experimental, pois as dimensões dos corpos de prova não são padronizadas para a utilização na construção civil. Os tijolos úmidos foram pesados e medidos, para serem submetidos a ensaios posteriores.

Uma parte dos corpos de prova foi seca por um período de quatorze dias ao ar livre em pátio coberto na Olaria, e duas amostras com cada porcentagem de lodo incluindo os tijolos testemunhas, foram levadas ao laboratório de materiais de construção da Faculdade Kennedy, para serem secos com a utilização da estufa por um período de 24 horas a uma temperatura de 105^o Celsius, a fim de eliminar toda a umidade das peças. Para certificar de que realmente os corpos

de prova perderam toda a umidade, após a medição e pesagem, ambos foram novamente submetidos ao processo de secagem por mais 24 horas na estufa a mesma temperatura anterior, totalizando 48 horas. Após o período de secagem os tijolos foram pesados, medidos novamente confirmando a perda de umidade.

Todos os corpos de prova foram timbrados para determinar a dosagem de lodo em sua formulação. Número 01: 10% de lodo, número 02: 20% de lodo, número 03: 30% de lodo e o tijolo sem numeração: 0% de lodo.

A queima dos tijolos se deu de duas formas, a maior parte no forno industrial da indústria e os oito corpos de prova encaminhados ao laboratório foram queimados na Mufla. Os Tijolos que ficaram na Olaria foram queimados em forno industrial Hoffman, a uma temperatura de 900^o. Célsius pelo período de sete dias, cujo resfriamento se deu no interior do próprio forno. Os tijolos que foram encaminhados ao Laboratório de química, foram queimados utilizando a Mufla. Em um primeiro momento, o equipamento foi manuseado periodicamente para variar a temperatura, a fim de observar se haveria alguma alteração relevante. Foram colocadas quatro unidades de corpos de prova, um de cada dosagem de lodo incluindo o testemunha. A queima durou quatro horas a temperaturas variáveis e o resfriamento se deu dentro da própria Mufla. No segundo momento os últimos quatro corpos de prova foram inseridos na Mufla e sujeitos a temperatura de 900^o. C pelo período de uma hora e meia. O resfriamento também se deu dentro da própria estufa. Após a queima todos foram pesados e medidos.

2.5 Considerações para os Ensaio

Cada tijolo é considerado um corpo de prova. Dentre os tijolos fabricados, de forma aleatória foram escolhidos treze exemplares para a realização dos ensaios, respeitando o que preconiza a norma NBR 15270 (ABNT, 2005). Mesmo se tratando de tijolos fora dos padrões de dimensionamento comercial a norma foi respeitada.

2.6 Ensaio para Determinação do Percentual de Umidade do Lodo e da Argila

As amostras de lodo e argila, enviadas ao laboratório de materiais de construção da Faculdade Kennedy, conforme citado no item 3.1, foram destorroadas manualmente e inseridas em

cápsulas que foram pesadas anteriormente. De posse da tara das cápsulas foi registrado o peso de todas as amostras úmidas que foram secas na estufa por vinte e quatro horas. Passado o tempo de secagem todas as amostras foram pesadas novamente. Para certificar de que as amostras perderam toda a umidade, ambas foram submetidas a mais vinte e quatro horas de estufa e confirmado o peso seco.

As Tabelas 1 e 2 foram organizadas para demonstrar a quantidade de umidade contida em cada matéria prima utilizada na confecção dos corpos de prova. Além da umidade, de posse dos resultados da amostragem, podemos determinar com exatidão a quantidade de massa seca da argila e do lodo que foi utilizado na confecção dos corpos de prova. Esse estudo serve de parâmetro para novos experimentos, ao utilizar a massa seca de cada matéria-prima e dosar a umidade ideal para a confecção de corpos de prova.

2.7 Ensaio de Perda de Massa

Para o quesito perda de massa, não há normatização, mas mostra-se pertinente sua análise quanto à homogeneidade das matérias-primas. O percentual de perda de massa (PM) se dá pela Equação 1.

$$PM = \frac{Maq - Mdq}{Mdq} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde Maq é a massa do corpo de prova seco antes da queima e Mdq é a massa depois da queima.

2.8 Ensaio de Índice de Absorção de Água (AA)

A NBR 15270 (ABNT, 2005) item: 5.6 adverte que o índice de absorção não deve ser inferior a 8% nem superior a 22%.

No proposto estudo adotamos a metodologia de submergir os tijolos cerâmicos vazados já queimados em um tanque com água limpa e fria, pelo período de 24 horas. Lembrando que, os tijolos foram pesados antes de serem submergidos para a realização dos cálculos subsequentes referente à absorção de água.

Passado o tempo de imersão os tijolos foram retirados da água e reservados a fim de eliminar o excesso. O percentual de Absorção de Água (AA) é obtido pela Equação 2.

$$AA = \frac{Múmido - Mseco}{Mseco} \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde M úmido é o massa do tijolo saturado e a M seco é a massa do tijolo após a queima.

2.9 Ensaio de Resistência à compressão (RC)

As resistências à compressão dos blocos cerâmicos são normatizadas pela NBR15270 (ABNT, 2005), onde os resultados devem atender aos valores mínimos de $\geq 1,5$ Mpa para ensaios na horizontal e $\geq 3,0$ MPa para ensaios na vertical.

Os corpos de prova forma capeados com argamassa no traço de 1x1, utilizando areia lavada fina peneirada, cimento CPV ARI e água o suficiente. Uma placa metálica plana foi untada com óleo para evitar que a argamassa grudasse na placa. Em seguida a argamassa foi espalhada sobre a placa e os tijolos assentados na horizontal. Passados vinte e quatro horas os tijolos foram descolados da placa e repetido o capeamento no outro lado das peças. Após o endurecimento da pasta de argamassa os corpos de prova foram imersos em um tanque contendo água fria pelo período de vinte e quatro horas.

Pouco antes do ensaio, os corpos de prova foram retirados do tanque e superficialmente enxugados.

A Resistência à compressão é dada pela Equação 3, onde F é a Força de ruptura observada no equipamento para o rompimento do corpo de prova, em Kgf, e \bar{A}_p é a média das áreas das duas faces do corpo de prova cerâmico, em centímetro quadrado. Ao efetuar a equação se obtém a tensão de ruptura. A unidade de medida pode ser expressa em Mpa (Mega Pascal)

$$RC = \frac{F}{\bar{A}_p} \times 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

3. Resultados e discussões

3.1 Avaliação dos Tijolos quanto aos Aspectos Físicos

A Tabela 3 expõe uma ementa quanto aos aspectos dos tijolos com adição de lodo em comparação ao tijolo-testemunha.

Em comparação ao tijolo testemunha, os tijolos com percentual de lodo tiveram alteração de odor apenas na fase úmida. Quanto à deformação, apenas algumas peças com porcentagem de 30% apresentaram arestas

quebradas e fissuras superficiais, o que leva a deduzir que houve uma homogeneidade irregular. Os tijolos que queimaram no forno industrial por uma semana, a uma temperatura de 900°C e na Mufla com variação de temperatura pelo período de quatro horas, queimaram de forma regular não apresentando alteração de cor e nem patologias. Os tijolos queimados na Mufla a uma temperatura de 900º Celsius pelo período de uma hora e trinta minutos apresentaram fissuras. Em relação ao peso e dimensões não houve nenhuma variação significativa. Observou-se que a variação aconteceu de acordo com o percentual de lodo adicionado a massa.

3.2 Avaliação dos Tijolos quanto a Dimensão

A Tabela 4 demonstra as médias das dimensões dos tijolos, considerando que a dimensão do tijolo testemunha é de 88x70x35 mm. Em destaque estão os valores que extrapolaram a variação máxima permitida pela NBR 15270/2005 (3 mm para mais ou para menos).

Neste parâmetro os tijolos com 10% de lodo foram reprovados, pois apresentaram variação de comprimento superior ao limite estabelecido pela norma. Esse resultado é um indicativo de que o lodo não tem influência significativa na variação dimensional dos tijolos, o que implica que essa variação se deu devido ao método de fabricação, que não foi padronizado. O método apesar de mecanizado apresentou variações no momento do corte.

3.3 Avaliação dos Tijolos quanto a Perda de Massa

O Gráfico 1, demonstra a massa dos tijolos após a queima em comparação com o tijolo testemunha. A perda de massa é determinada pela variação de dosagens do lodo.

Analisando o gráfico podemos constatar que os tijolos com 10 e 20% de lodo são estatisticamente semelhantes e que a perda de massa está relacionada à adição de lodo que é um resíduo leve, que torna o tijolo mais fácil de ser manuseado o que não implica em variação dimensional. Um menor peso está relacionado com menor densidade resultando em melhor isolamento acústico e maior economia no projeto estrutural.

3.4 Avaliação dos Tijolos quanto a Absorção de Água (AA)

O Gráfico 2 representa a média de Absorção de água dos tijolos fabricados com diferentes dosagens de lodo.

O gráfico mostra uma relação diretamente proporcional entre o aumento da dosagem de lodo e o aumento da Absorção. De acordo com a norma, a absorção de água deve estar entre 8 e 22%. Sendo assim, apenas os tijolos com 30% de lodo não foram reprovados.

Analisando as amostragens em conformidade com a norma os tijolos testemunhas e os com percentuais de lodo com dosagem de 10 e 20%, foram aprovados. A absorção dos tijolos é distinta entre si. Isto implica que há realmente um incremento significativo da absorção quando ao aumento da dosagem de lodo.

4.5 Avaliação dos Tijolos quanto Resistência a Compressão (RC)

Os resultados obtidos na prensa representam a Força de Ruptura em kgf (Quilograma-força). Utilizando a fórmula do item 3.9, encontrou-se a Resistência a Compressão em Mpa (Mega Pascal).

Os valores de Resistência à Compressão dos corpos de prova com percentuais de lodo foram diferentes dos tijolos testemunhas. Os resultados obtidos pelos tijolos com adição de 10%, 20% e 30% de lodo foram diferentes entre si e estatisticamente próximos ou maiores em comparação aos tijolos testemunhas. Isto significa que houve uma redução insignificante da resistência dos tijolos quanto ao aumento da dosagem de lodo, sendo assim os tijolos com 10 e 20% de lodo em sua composição alcançaram os maiores valores de resistência à compressão.

O Gráfico 3 apresenta a variação de resistência dos tijolos em porcentagens. Constatou-se que, apenas os tijolos com 30% de lodo perderam 13% de resistência, os tijolos com dosagem de 10 e 20% de lodo tiveram um percentual de RC acima do tijolo testemunha, respectivamente 45 e 54%.

4. CONCLUSÃO

Em relevância a todos os ensaios realizados e em comparação com o Tijolo testemunha, cujo percentual é de 0% de lodo, constatou-se que: os tijolos não tiveram alteração de odor após a queima; em nenhuma das dosagens constatou-se variações de dimensões consideráveis; os tijolos com 30% de lodo apresentaram fissuras superficiais; os tijolos encaminhados ao laboratório, que passaram pela queima na Mufla a 900º Celsius pelo período de

uma hora e trinta minutos apresentaram fissuras em todas as dosagens de lodo e os com queima na Mufla com variações de temperatura entre 700 e 900 °C pelo período de quatro horas, não apresentaram nenhuma deformação visual; todos os tijolos apresentaram boa resistência mecânica; a adição de lodo não acarretou em perda significativa na massa dos tijolos; a absorção de água está diretamente ligada à dosagem de lodo; os tijolos fabricados com lodo em todas as dosagens absorveram mais água do que o tijolo-testemunha, mas se mantiveram no parâmetro de tolerância; a resistência à compressão foi significativamente aumentada com a adição de lodo nos tijolos de 10 e 20% em comparação ao tijolo testemunha.

Para as condições especificadas neste experimento pode-se concluir que, as dosagens máximas que podem ser incorporadas a massa cerâmica na fabricação de tijolos vazados atendendo aos requisitos técnicos são de 10 e 20% de lodo.

Diante da necessidade de utilizar um volume maior do resíduo, a fim destina-lo de forma ecologicamente correta com aplicação das técnicas de reuso, o tijolo com dosagem de 20% de lodo é o mais indicado.

Em relação às normas ambientais, devido à dificuldade operacional para a realização de análises laboratoriais, visando à determinação de concentrações de metais pesados nas amostras, não classificaremos nos requisitos referentes à classe de periculosidade descrito na NBR10006 (ABNT, 2004c), mas estudos realizados demonstraram que os tijolos maciços após a queima, em caso de demolição estão inseridos na classe II A- não perigosos e inertes (DUARTE/2008).

5. REFERÊNCIAS:

1. NBR 7170/83-Tijolo maciço cerâmico para alvenaria—Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1983b. 4p.
2. NBR 15270-1 2005 – bloco vazado cerâmico para alvenaria – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1983b. 4p.
3. NBR 6.461, de junho de 1983: Bloco Cerâmico para Alvenaria - Verificação da resistência à compressão: Método de ensaio.
4. NBR 8.947, de novembro de 1992: Telha Cerâmica- Determinação da massa e da Absorção de Água: Método de Ensaio.
5. NBR 7171 – Bloco Cerâmico para Alvenaria – Especificação. Rio de Janeiro:

- ABNT, 1992. 8 p.
6. ANDRADE NETO, C. O.; ALEM SOBRINHO, P.; MELO, H. N. S.; AISSE, M. M. Decanto-digestores. 117-138 p. In: CAMPOS, J. R. (coord.) Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. 1. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 464 p.
7. ANDREOLI, C.V. et al. Gestão pública do uso Agrícola do lodo de esgoto. In: BERTOL, W. & CAMARGO, O. A. Impactos ambientais de uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, São Paulo: EMBRAPA Meio ambiente, 2000. 281-312p.
8. ANDREOLI, C.V. et al. Alternativas de uso de resíduos do saneamento. Rio de Janeiro: Abes, 2006. 417 p.
9. ANDREOLI, C. V.; PINTO, M. A. T. Introdução. In: ANDREOLI, C. V. Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: Rima Artes e Textos, 2001. 287 p. (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB, 2).
10. ARAÚJO, F. S. D. Influência do lodo de ETE na massa para fabricação de massa vermelha. 2008. 76f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de (Materiais)-Centro de Ciências exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008).
11. ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – ABNT. NBR 6460/83 -Tijolo maciço cerâmico– Verificação da resistência à compressão– Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1983 a. 3p.
12. BETTIOL, W. ; CAMARGO, O. A. A (coord.). Lodo de esgoto: Impactos ambientais na Agricultura. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. Disponível em: www.jaguariuna.cnpm.embrapa.br/ Acesso em: 18 dez.2016.
13. CAMILO GODOY, C. A logística na destinação do lodo de esgoto. São Paulo: Revista Científica Online-Tecnologia-Gestão-Humanismo-ISSN 2238-5819 Disponível em:< <https://www.a+logística+na+destinação+d o+lodo+de+esgoto>> Acesso em 01 jan.2017.
14. CAMPREGHER, N. Estudo da viabilidade da incorporação do lodo da Estação de Tratamento de Efluentes da indústria de papel, celulose e aparas em material

- cerâmico. Florianópolis, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). UFSC. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp102787.pdf> Acesso em: 12 mar. 2017.
15. CARVALHO, O. O.; SOUZA, L. C.; REGO, J. M.; LEITE, J. Y. P. Perfil da Indústria de Cal no Rio Grande do Norte. Relatório: FIERN/SENAI. Natal, 2000. CD-ROM COPASA (companhia de Saneamento de Minas Gerais) – métodos de tratamento do efluente bruto. Disponível em: <http://copasa.com.br/media2/PesquisaE_scolar/COPASA_Esgoto.pdf> Acesso em: 18 ago. 2016.
 16. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº375/2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em 28 jun. 2016.
 17. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº430/11, alterando parcialmente e complementando a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. Art. 1º. Dispõe sobre condições do lançamento de efluentes em corpos de água receptores. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legi_abre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 18 ago. 2016
 18. Duarte, A. da C. L. incorporação do lodo de esgoto a massa de cerâmica para fabricação de tijolos maciços: uma alternativa para disposição final do resíduo. Natal/RN, 2008. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: [file:///C:/Users/Sony/Downloads/Dissertacao_Anaxsandra%20Lima%20Duarte%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Sony/Downloads/Dissertacao_Anaxsandra%20Lima%20Duarte%20(1).pdf)> Acesso em: 28 ago. 2016.
 19. DURANTE-INGUNZA, M. P.; ANDREOLI C. V, NASCIMENTO, R. M.; TINOCO, J.D.; HOPPEN, C.; PEGORINI, E. S. Uso de resíduos do saneamento na fabricação de cerâmica vermelha. 283-359 In: Andreoli C. V (coord.) Alternativas de Uso de Resíduos do Saneamento. Rio de Janeiro: ABES 2006. 471 p.
 20. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. Biosolids technology fact sheet: centrifuge thickening and dewatering. Washington, DC.: Environmental Protection Agency, Sept. 2000. 8 p.
 21. FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V.; JURGENSEN, D. Produção e características dos biossólidos. 17-25 p. In: ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I. (org.) Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999. 97 p.
 22. INGUNZA, M. P. D. et. al. Uso de lodo de ETE como matéria prima para fabricação de tijolos na região Açú/RN/Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, [2008]. Disponível em: www.bvsde.paho.org/bvsaidis/uruguay30/BR05431_Durante_Ingunza.pdf Acesso em: 11 jan. 2017.
 23. LIMA, E. P. C. et al. Estudo da termo resistência de ovos de helmintos, coliformes Termotolerantes e *Escherichia Coli*. In 23º. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, 2005 Anais, Campo Grande/MS, 2005. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologia Ambiental. Disponível em: <<file:///C:/Users/Sony/Downloads/8792-34688-1-PB.pdf> > Acesso em: 28 ago. 2016.
 24. MAZIVIERO, G.T. Avaliação do potencial citotóxico, genotóxico e mutagênico de lodo de esgoto por meio dos sistemas – teste *allium cepa* e *tradescantia pallida*. 2011. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas). UNESP/Rio Claro/SP/2011.
 25. MOTTA, J. F. M; ZANARDO, A; CABRAL JR, M. As Matérias-primas Cerâmicas. Parte I: O Perfil das Principais Indústrias Cerâmicas e Seus Produtos. Cerâmica Industrial. 6 (2): 28-39p., 2001
 26. NUVOLARI, A. et al. Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. 2ª ed. Revista, atualizada e ampl.-São Paulo: Blucher, 2011. 43p.
 27. PEREIRA, K.L.A. Estabilização de um solo com cimento e cinza de lodo para uso em pavimentos. 2012. 102f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil). UFRN/Natal/RN/2012.
 28. HAY, J. C. Pathogen destruction na biosolid composting. BioCycle, Emmaus, v. 37, n. 6, p.67-76, jun 1996. HAYS, B. D.

- Potential for parasitic disease transmission with land application of sewage.
29. SOUZA SANTOS, P. Ciência e tecnologia de argilas. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 1989. 499 p.
 30. PASSAMANI, F. R. F.; GONÇALVES, R. F. Higienização de lodos de esgotos. In: GONÇALVES, R. F. (coord.). Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas. Rio de Janeiro: PROSAB/ABES, 1999, cap. 7, p.63-67.
 31. PATRICK LWAKI, G. PORTAL DE TRATAMENTO DE ÁGUA. Destinação final de Disponível em: <tratamentodeagua.com.br/artigo/destinacao-final-de-lodos-de-et-as-e-etes>. Acesso em 20 ago.2016.
 32. VIEIRA, C. M. F.; HOLANDA, J. N. F. de; PINATTI, D. G. Characterization of red ceramic body used in the production of bricks in the region of Campos dos Goytacazes - RJ. Cerâmica 46(297), 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 20 de junho de 2007.
 33. VON SPERLING, M. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484p.
 34. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; 2014. 264-327p.
 35. SILVA, M. O. S. A. Manual de operação da ETE Arrudas. Belo Horizonte: Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA, 2002. 7 v.



Figura 1. Lodo recolhido do leito de secagem



Figura 2. Argila recolhida do pátio da olaria



Figura 3. Destorroamento do lodo



Figura 4. Destorroamento da argila



Figura 5. 90% de Argila-2.700g



Figura 6. Maromba utilizada na produção da Indústria



Figura 7. Marombinha



Figura 8. Modelagem mecanizada dos tijolos



Figura 9. Pesagem dos corpos de prova



Figura 10. Tijolos moldados



Figura 11. Corpo de prova timbrado- 10% de lodo



Figura 12. Tijolos na Estufa para serem secos



Figura 13. Tijolos secos dos na Estufa

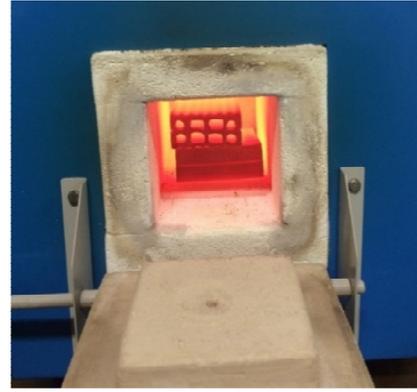


Figura 14. Tijolos queimados na Mufla



Figura 15. Tijolos queimando no forno industrial



Figura 16. Tijolo após a queima sendo medido



Figura 17. Tijolo após a queima sendo pesado teste



Figura 18. Amostra de Argila para realização de teste



Figura 19. Amostra de lodo para realização de teste



Figura 20. Cápsulas numeradas com amostras

Figura.21-Tijolo pesado antes da queima



Figura 21. Tijolo pesado antes da queima

Figura.22-Tijolo pesado após a queima



Figura 22. Tijolo pesado após a queima



Figura 23. Tijolo imerso em água por 24 horas



Figura 24. Peso do tijolo após imersão em água por 24 horas

Figura.26-Preparo da argamassa



Figura 25. Preparo da argamassa

Figura.27-Capeamento



Figura 26. Capeamento



Figura 27. Capeamento em ambas as faces face



Figura 28. Capeamento dos tijolos em uma



Figura 29. Pressa utilizada para romper corpos de prova **Figura 30.**Corpo de prova sendo comprimido



Figura 32. Corpo de prova rompido

Tabela 1. Determinação do Teor de Umidade do Lodo

Teor de Umidade				
Determinação	Nº.	01	02	03
Cápsula	Nº.	85	54	84
Peso bruto úmido	g.	22,04	25,95	24,91
Peso bruto seco	g.	14,90	16,59	16,24
Peso da água	g.	7,14	9,36	8,67
Tara da cápsula	g.	9,58	9,79	9,87
Peso do solo seco	g.	5,32	6,80	6,37
Teor de umidade	%	134,21	137,65	136,11

Média de umidade: 135,99%

Fonte: Dados coletados a partir da realização dos ensaios.**Tabela 2.** Determinação do Teor de Umidade da Argila

Teor de Umidade				
Determinação	Nº.	01	02	03
Cápsula	Nº.	40	55	41
Peso bruto úmido	g.	29,62	28,94	25,50
Peso bruto seco	g.	24,30	23,86	21,05
Peso da água	g.	5,32	4,63	4,45
Tara da cápsula	g.	7,36	9,49	7,51
Peso do solo seco	g.	16,94	14,37	13,54
Teor de umidade	%	31,40	32,22	32,87

Média de umidade: 32,16%

Fonte: Dados coletados a partir da realização dos ensaios.**Tabela 3.** Características dos tijolos de acordo com a dosagem de lodo

Características/aspectos	Dosagem de lodo em porcentagem		
	10%	20%	30%
Arestas, fissuras	1	1	2
Coloração	1	1	1
Queima homogenia	1	1	1
Facilidade de corte	1	1	1
Homogeneidade da massa	1	1	1
Odor – tijolo úmido	2	2	2
Odor – tijolo seco	1	1	1
Odor – tijolo queimado	1	1	1
Peso	2	2	2
Regularidade na forma	1	1	1

Legenda: 1 - semelhante ao TT; 2 - pequena alteração; 3 - grande alteração; 4 - deformação completa.

Fonte: Tabela formulada pela própria autora, mediante análise estética dos corpos de prova 2017.

Tabela 4. Variações das dimensões dos tijolos.

Tijolos	Δ comprimento (mm)	Δ largura (mm)	Δ espessura (mm)
Testemunha 1	0	0	0
Testemunha 2	0	0	0
10% de lodo	5	0	2
20% de lodo	1	0	1
30% de lodo	2	1	1

Fonte: Tabela formulada pela própria autora, mediante análise estética dos corpos de prova 2017.

Perda de Massa (PM)

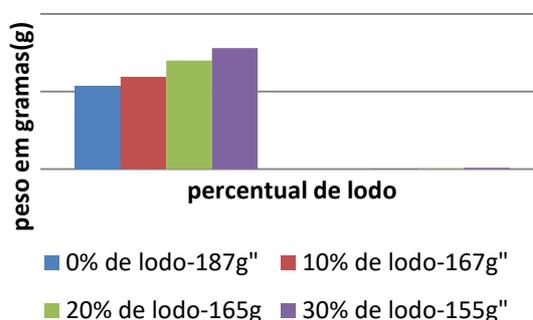


Gráfico 1: Perda de massa dos tijolos após a queima - percentuais de 0% de lodo, 10% de lodo, 20% de lodo e 30% de lodo .

Percentual de Absorção de água (AA)

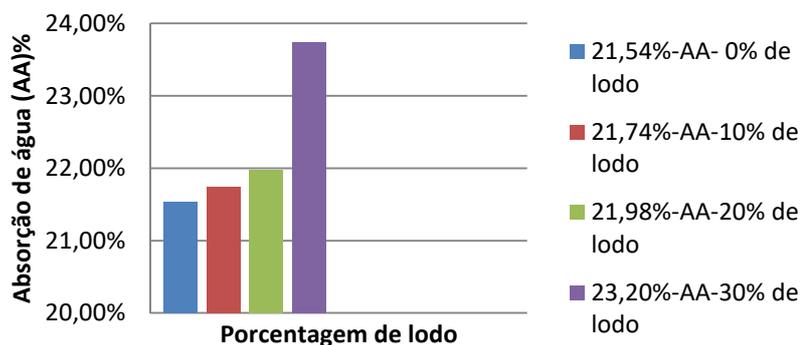


Gráfico 2 Percentual de absorção de água dos tijolos, após imersão em água.

RC em comparação ao Tijolo Testemunha

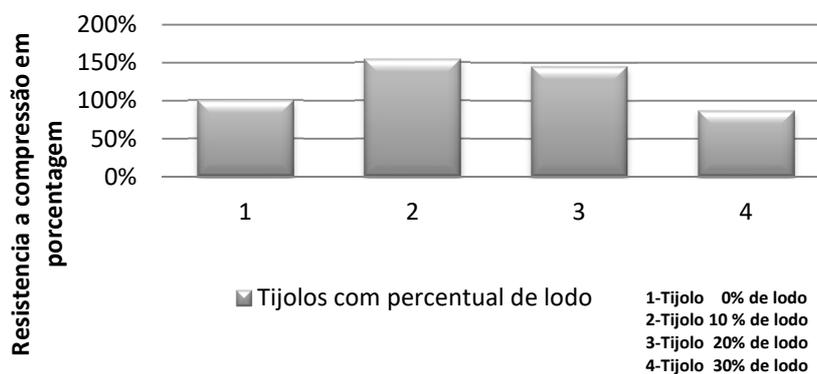


Gráfico 3. Aumento da Resistência a Compressão dos tijolos com 10 e 20% de lodo em relação ao tijolo testemunha.