

**AVALIAÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS COMPOSTOS POR LODO DE ETA
E ETE PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**
**EVALUATION OF ECOLOGICAL BRICKS COMPOSED OF ETA AND ETE
SLUDGE FOR CIVIL CONSTRUCTION**

Leonam Fritz Duarte *
Marcos Paulo de Oliveira Pinto **
Ana Flávia Ramos Cruz ***

RESUMO

O ramo da construção civil destaca-se no setor financeiro mundial, com isso o mercado fica cada vez mais competitivo. As construtoras buscam inovar a cada ano, com materiais e tecnologias, visando qualidade e economia. O objetivo do estudo é avaliar através de uma pesquisa bibliográfica a imersão do lodo gerado em estações de tratamento de água e esgoto, substituindo por uma porção de solo que é misturado ao cimento para a confecção de um tijolo ecológico. O lodo é um resíduo considerado sólido e geralmente é descartado de maneira irregular, poluindo os rios, o solo e o lençol freático. Buscou-se no estudo de casos a porção ideal para substituição de um material pelo outro, garantindo as propriedades e características do tijolo solo-cimento. De acordo com os resultados dos autores o lodo pode ser substituído pelo solo em pequena porção, garantindo as restrições da ABNT de tijolo ecológico. Entende-se que a viabilidade da confecção desse material no custo não é positiva, pela grande quantidade de cimento utilizada, comparada ao convencional. Falando em sustentabilidade, sabe-se que esse é o reaproveitamento mais indicado do lodo e é estudado a anos.

Palavras-chave: Solo-cimento. Lençol freático. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The civil construction sector stands out in the global financial sector, with this the market becomes increasingly competitive. Construction companies seek to innovate each year, with materials and technologies, aiming at quality and economy. The objective of the study is to evaluate, through a bibliographical research, the immersion of the sludge generated in water and sewage treatment plants, replacing it with a portion of soil that is mixed with cement to make an ecological brick. Sludge is considered solid waste and is usually disposed of irregularly, polluting rivers, soil and groundwater. In the case study, the ideal portion to substitute one material for the other was sought, guaranteeing the properties and characteristics of the soil-cement brick. According to the authors' results, the sludge can be replaced by the soil in a small portion, guaranteeing the restrictions of the ecological brick ABNT. It is understood that the feasibility of making this material in terms of cost is not positive, due to the large amount of cement used, compared to the conventional one. Speaking of sustainability, it is known that this is the most suitable reuse of sludge and has been studied for years. **.Keywords:** Soil cement. Groundwater. Sustainability.

* Rede de Ensino Doctum – Unidade Cataguases – leonamduarte@hotmail.com – Graduando em Engenharia Civil

** Rede de Ensino Doctum – Unidade Cataguases – marcospauloop@hotmail.com – Graduando em Engenharia Civil

*** Rede de Ensino Doctum – Unidade Cataguases – prof.ana.cruz@doctum.edu.br – Orientadora do trabalho

1. Introdução

A muitos anos a indústria da construção civil tem sido um dos maiores campos econômicos em toda a Europa, e conseqüentemente esse setor consome mais matérias-primas do que qualquer outra atividade económica. As construtoras adotam procedimentos visando o tempo de entrega da obra e o custo, que a cada obra tem que ser mais eficiente, e com isso a sustentabilidade acaba ficando de fora. Trata-se da necessidade da geração de elevadas quantidades de energia e os resíduos de construção e demolição que em grande escala e muita das vezes não são bem reutilizados, além de grandes partes desses resíduos serem vantajosos no processo de reciclagem. Porém esse procedimento muitas das vezes são evitados e os materiais são descartados em aterros ou no leito dos rios de maneira irregular. Como na Europa, o mundo inteiro possui atividades relacionadas a construção civil e sofre com o impacto ambiental na confecção desses materiais que dependem de matéria prima natural, para manter ativo o sistema construtivo. Sendo que os materiais produzidos a partir de resíduos conta com elevado nível de reciclagem, são duráveis e dependem de menos energia (TORGAL e SAID, 2007).

Entende-se que o ramo construtivo, tem a necessidade de reduzir substancialmente o gasto energético e os resíduos gerados pela construção nas fases de projeto e execução. Os construtores devem adotar critérios funcionais e sistemas tecnológicos-construtivos que podem reduzir substancialmente o gasto energético e diminuir os resíduos gerados na construção. O descarte, a reciclagem e o reaproveitamento de materiais cuidadosamente planejados podem trazer muitos benefícios para a edificação e garantir todas as condições de conforto e segurança para o cliente. Outro ramo também que vem ganhando destaque a pouco tempo, é o de saneamento em estações de tratamento de água (ETA), estações de tratamento de esgoto (ETE), no ramo agropecuário e em outros ramos do mesmo setor hídrico. Que na fase de tratamento dos efluentes é produzido um lodo que geralmente é retirado dos reservatórios, transportados e descartados em aterros.

Com o decorrer da pesquisa notou-se a necessidade da reutilização desse material que geralmente é descartado de forma incorreta no meio ambiente, além do lodo da ETA e ETE, também se utiliza resíduos da construção civil, designado como “entulho”, que são triturados e misturado ao lodo e

substituído na composição do traço. Materiais que são estudados com o intuito de sustentabilidade e otimização de custos. Entende-se que uma das principais alternativas já estudadas, é em materiais cerâmicos, que cada vez mais os autores buscam ir mais afundo nesse tema. A ideia em questão seria encontrar uma possibilidade de reaproveitamento na confecção de um material que fosse utilizado de forma benéfica na construção civil, onde é necessário garantir todas as características e propriedades citadas pelas normas regulamentadoras.

O lodo gerado na indústria de tratamento de água é enquadrado como resíduo sólido de acordo com a ABNT NBR 10.004/2004, e acaba gerando um problema por apresentar custos para a indústria além de ser maléfico ao meio ambiente. Assim como os resíduos gerados em uma construção, a junção do lodo da ETA com os resíduos traz benefícios para várias indústrias que realizam a fabricação de concretos não estruturais, tijolos e cerâmicas.

A confecção de tijolos solo cimento com uma pequena porção de lodo de ETA e ETE em substituição ao solo é uma das principais alternativas de reaproveitamento desse resíduo. Existem estudos que mostram a viabilidade técnica na qualidade, economia e sustentabilidade. O Tijolo ecológico é feito a partir da mistura da água com solo e cimento ou com outros resíduos naturais respeitando as normas de suas respectivas propriedades como a resistência a compressão e sua absorção de água, principais características que esse tipo de tijolo precisa ter para obter um controle de qualidade aceito pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Outra grande vantagem voltada a sustentabilidade é que a confecção desse tijolo não depende do processo de queima para obter forma e qualidade. Consequentemente reduzindo a emissão de gases poluentes na atmosfera. Trata-se de um dos materiais mais usados quando falamos de arquitetura sustentável.

O objetivo principal da nossa pesquisa foi avaliar trabalhos de outros autores relacionados ao nosso tema através de um estudo de casos, identificando a melhor forma de reaproveitamento do lodo que geralmente é utilizado na fabricação do tijolo ecológico. Especificamente também foi analisado todas as características de cada material, análise granulométrica, características de dimensões, umidade ótima para compactação, ensaios necessários garantir suas propriedades. Ou seja, o tijolo tem que ser confeccionado de forma que a porcentagem de incorporação de lodo em substituição do solo garanta a

resistência à compressão e a absorção de água. Com o estudo dos casos identificaremos a adequada porção do lodo no conjunto solo-cimento evitando suas principais deficiências. Além disso é possível diminuir o consumo de matéria-prima natural, pois é substituindo uma porção de solo pelo lodo gerado na estação de tratamento água e efluente otimizando custos e preservando o meio ambiente.

2. Referencial Teórico

2.1. Tijolos Solo-Cimento – Requisitos (ABNT NBR 8491/2012)

Tijolo solo-cimento, também descrito como tijolos ecológicos, segundo Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) é o resultado de uma mistura formada por solo, cimento e água em proporções adequadas, feito por prensagem manual ou hidráulica, após a prensagem são direcionados ao seu processo de cura, o tijolo deve possuir a forma externa de um paralelepípedo retangular onde sua largura (L) é maior que sua altura (H) podendo ser maciço ou vazado, sua fabricação não necessita de queima em forno, o que beneficia o meio ambiente gerando impactos inferiores aos tijolos convencionais.

Segundo Motta *et al.* (2014):

A composição tijolo ecológico, assim também chamado, é uma alternativa para suprir uma carência habitacional devido ao baixo custo da construção, uma vez que busca valorizar os materiais naturais. Além das facilidades na linha de produção é um produto de encaixe, que dispensa grandes pilares para sustentação da estrutura, o que garante mais agilidade ao longo da construção.

Pode-se constatar que o fator determinante para a qualidade do tijolo é o tipo de solo, umidade de moldagem, tipo de prensa, proporção de solo/cimento, tipo de estabilizante e o processo de cura (MOTTA *ET AL.* 2014).

O tijolo deve possuir a forma externa de um paralelepípedo retangular, as dimensões nominais que os tijolos devem seguir são as apresentadas no (Quadro 1), no entanto, pode ocorrer dimensões diferentes das estabelecidas, desde que o tijolo permaneça com a altura (H) menor que a sua largura (L), definidas a seguir:

- Comprimento do tijolo (C): Maior dimensão das faces de assentamento;
- Largura do tijolo (L): menor dimensão das faces de assentamento;
- Altura do tijolo (H): distância entre as faces de assentamento.

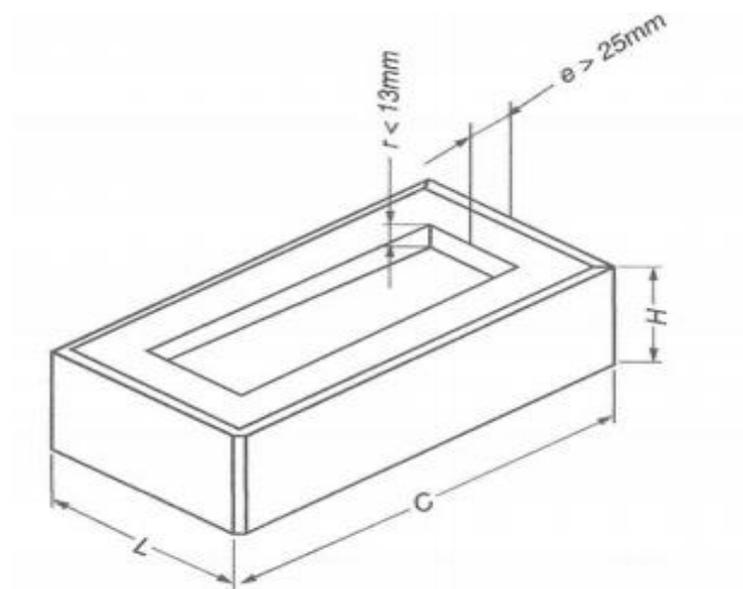
Quadro 1: Tipos e dimensões nominais.

| Tipos | Comprimento | Largura | Altura |
|-------|-------------|---------|--------|
| A | 200 | 100 | 50 |
| B | 240 | 120 | 70 |

Fonte: ABNT 8491 (2012).

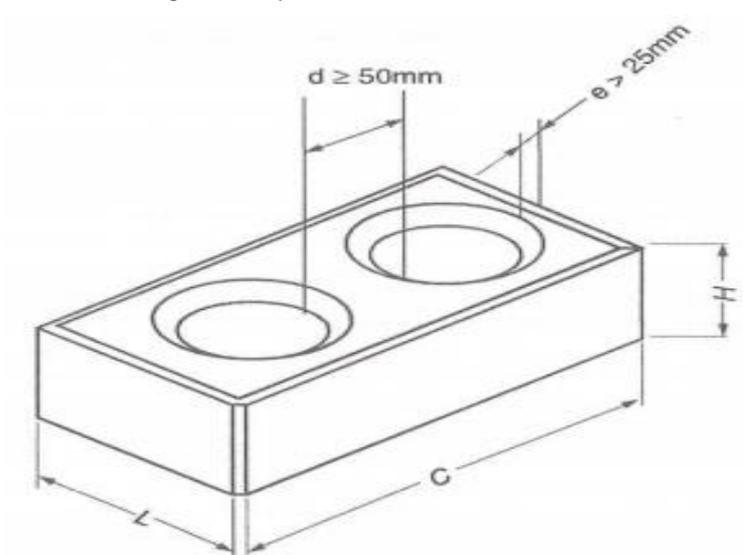
As suas dimensões podem apresentar diferenças, porem devem seguir uma análise onde a sua largura (L) deve permanecer maior que sua altura (H), os tijolos portadores de reentrâncias devem situar-se a 25 mm, no mínimo, a partir das arestas das faces das reentrâncias, e ter uma profundidade (r) máxima de 13 mm conforme a (Figura 1) abaixo:

Figura 1: Dimensões do tijolo solo-cimento.



Fonte: ABNT NBR 8491 (2012).

Figura 2: Tijolo vazado de solo-cimento.



Fonte: ABNT NBR 8491 (2012).

Se os tijolos possuírem furos (Figura 2), estes devem ter eixo perpendicular a superfície de assentamento, a espessura mínima das paredes (e) no seu entorno deve ser de 25 mm e a distância (d) mínima entre dois furos de 50 mm, conforme a figura acima.

2.2. Tijolo de Solo-cimento: Resistência à Compressão (ABNT NBR-8492/2012)

A amostra deve ser ensaiada de acordo com a ABNT NBR 8492/2012 e NBR 8491/2012, onde prescreve a média mínima de resistência a compressão de 2,0 Mpa (20 kgf/cm²) nem valor individual inferior a 1,7 Mpa (17kgf/cm²), com idade mínima de sete dias.

O ensaio segue de acordo com a NBR 8492/2012:

- Devem ser preparados sete corpos de prova;
- Cortar o tijolo ao meio, perpendicularmente a sua maior dimensão;
- Superpor, por suas faces maiores, as duas metades obtidas e as superfícies cortadas invertidas, ligando-as com uma camada fina de cimento Portland, pré-contraída (repouso de aproximadamente 30 min), com 2 mm a 3 mm de espessura, a aguardar o endurecimento. A resistência do cimento não pode ser menor que a do tijolo em ensaio;
- Quando o tijolo apresentar rebaixo, superpor suas duas metades de modo que as reentrâncias fiquem localizadas nas faces do trabalho do corpo de prova e encher as reentrâncias com cimento Portland, aguardando aproximadamente 12 horas antes de proceder a etapa seguinte;
- O corpo de prova obtido anteriormente, antes de ser submetido ao ensaio, deve apresentar suas faces planas e paralelas para que haja perfeito contato entre as superfícies de trabalho, podendo ser regularizadas por meio de retífica adequada ou capeamento com cimento Portland, com espessura máxima de 3 mm. Com uma espátula, retirar as rebarbas existentes;
- Após o endurecimento do material utilizado, os corpos de prova devem ser identificados e imersos em água por no mínimo 6 h;
- Os corpos de prova devem ser retirados da água logo antes do ensaio e enxugado superficialmente com um pano levemente umedecido. Essa operação deve ser realizada em no máximo 3 min;
- As dimensões das faces de trabalho devem ser determinadas com exatidão de 1 mm, sem o desconto das áreas de furos ou reentrâncias;
- O corpo de prova deve ser colocado diretamente sobre o prato inferior da máquina de ensaio a compressão, de maneira a ficar centrado em relação a este;
- A aplicação da carga deve ser uniforme e a razão de 500N/s (50 kgf/s);
- A carga deve ser gradativamente elevada até correr a ruptura do corpo de prova.

Os Resultados foram obtidos utilizando a equação a seguir:

$$f_t = F/S$$

Equação (1): Resistência à compressão em (Mpa).

Onde:

f_t é a resistência à compressão simples (Mpa);

F é a carga de ruptura do corpo de prova (N);

S é a área de aplicação da carga (mm²);

Considerando: 1 Mpa = 10 kgf/cm².

2.3. Tijolo de Solo-cimento: Absorção de água (ABNT NBR 8492/2012)

A amostra ensaiada de acordo com a ABNT NBR 8492/2012 não pode apresentar a medida dos valores de absorção de água maior do que 20% nem valores individuais superiores a 22% com idade mínima de sete dias.

O ensaio segue de acordo com a NBR 8492/2012:

- Os três corpos de prova restantes da amostra retirada de cada lote formam a amostra para o ensaio de absorção de água;
- Secar os corpos de prova em estufa, entre 105 °C a 110 °C, até a constância da massa, obtendo-se assim a massa (m_1) do corpo de prova seco, em gramas (g);
- Imergir o corpo de prova em um tanque durante 24 horas. A imersão deve ser feita depois dos corpos de prova atingirem a temperatura ambiente. Após retirar da água, enxugar superficialmente com um pano levemente umedecido e pesar (antes de decorridos 3 min), obtendo-se assim a massa do corpo de prova saturado (m_2) em gramas (g).

Os resultados do ensaio obtido através da equação a seguir:

$$A = [(m_2 - m_1) \div m_1] \times 100$$

Equação (2): Absorção de água em (%).

Onde:

A é a absorção de água em porcentagem (%);

m_1 é a massa do corpo de prova seco (g);

m_2 é a massa do corpo de prova saturado (g).

3. Metodologia

O presente trabalho é definido como pesquisa bibliográfica pois, segundo Pizzani *et al.* (2012), uma pesquisa bibliográfica tem como objetivo apresentar as várias etapas da arte do levantamento bibliográfico na busca do conhecimento com a intenção de facilitar o caminho percorrido pelo pesquisador até a informação desejada.

Logo, este trabalho busca através de estudo de casos verificar a eficiência do lodo de ETA e ETE na substituição de uma matéria prima natural usada na confecção de tijolos solo-cimento.

Portanto, foi criado um referencial teórico como fonte de embasamento definindo as principais características como exemplo dimensões do tijolo e as suas principais propriedades de resistência à compressão e absorção de água, normas que são rigorosamente exigidas pela regulamentação brasileira para garantir a qualidade do material.

Essa pesquisa é um estudo de casos em que trabalhos de outros autores foram pesquisados para que pudesse obter uma caracterização do tijolo solo-cimento e com a finalidade de comparar os ensaios dos autores, analisando o reaproveitamento do mesmo resíduo, o lodo, para substituição de uma porção do solo utilizado como matéria prima natural na confecção do tijolo. Os ensaios foram executados com diferentes amostras, onde variavam as porcentagens de substituição de um material pelo outro. O principal intuito é identificar a melhor imersão desse resíduo, garantindo a viabilidade técnica visando um bom custo e a qualidade do material entregue ao consumidor final.

Ademais, esse estudo busca firmar a possibilidade da reutilização desse resíduo, que dessa maneira tem sido uma das principais alternativas de reaproveitamento do lodo de ETA e ETE. De acordo com Teixeira *et al.* (2006), dentre as possibilidades de uso, a sua incorporação em massas cerâmicas para produção de tijolos e telhas tem sido avaliada em alguns trabalhos.

Afirma-se que essa pesquisa foi definida com base em fontes confiáveis que garante uma boa eficiência. Todas as buscas foram realizadas no Google Acadêmico, Periódicos Capes e SiELO, garantindo a qualidade das pesquisas através de um bom banco de dados. Obteve-se vários trabalhos que utilizavam especificamente o lodo de ETA ou o lodo de ETE como resíduo de substituição para confecção de tijolos solo-cimento, em seguida definimos quais desses trabalhos manteve os mesmos parâmetros para garantir uma padronização do tema que é bem específico, onde conseqüentemente se tem bons resultados de acordo com os cinco diferentes trabalhos comparados. Com isso se define uma boa conclusão de acordo com essas discussões dos respectivos autores citados no decorrer da pesquisa, o intuito é transformar os estudos dos diferentes autores em uma pesquisa bibliográfica que traga bons resultados para um conhecimento geral do assunto.

Quadro 2: Pesquisa bibliográfica, base de dados.

| | Título da pesquisa | Autores | Ano de publicação |
|----------|---|--|--------------------------|
| 1 | Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento. | Holanda e Rodrigues. | 2013 |
| 2 | Avaliação da incorporação do lodo da ETA UFV na manufatura de tijolos solo-cimento. Reuso de lodo de estação de tratamento de água (ETA) na fabricação de tijolos cerâmicos. | Cabral | 2013 |
| 3 | Estudo da incorporação do lodo de esgoto gerado em estações de tratamento de esgotos na formulação de tijolos ecológicos de solo-cimento. | Lopes, Menezes, Oliveira Junior e Soares Junior. | 2016 |
| 4 | Reuso de lodo de estação de tratamento de água (ETA) na fabricação de tijolos cerâmicos. | Castão, Castro, Mesquita Filho, Rocha e Santos. | 2017 |
| 5 | Estudo e formulação de tijolos ecológicos de solo cimento produzidos a partir do lodo gerado em estações de tratamento de esgoto: um modelo de gerenciamento de resíduo sólido aplicado a ideia de tecnologia social. | Oliveira, Menezes Junior e Soares Junior | 2018 |

Fonte: Google acadêmico (2021).

O (Quadro 2) acima, foi inserido com objetivo principal obter uma base de dados citando os diferentes cinco trabalhos que foram escolhidos por atenderem os padrões exigidos por definição da norma de confecção de tijolos solo-cimento. Diante das diferentes metodologias e resultados, nota-se uma discussão dos demais ensaios e estudos realizados pelos autores com intuito de obter bons resultados. O ano de publicação da conclusão da pesquisa também foi abordado definindo melhor a pesquisa bibliográfica.

4. Resultados e Discursões

As Estações de Tratamento de Água (ETA) e Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) são utilizadas em grande escala em todo o mundo. A ETA tem o objetivo de fornecer água com qualidade satisfatória para o consumo humano de acordo com o padrão de água potável. E a ETE tratar a água bruta com os efluentes para obter uma água tratada ao ponto de descarte em rios sem prejudicar ao meio ambiente. Todos esses processos de tratamento químico e físico da água bruta são rigorosos, responsáveis pela produção de uma quantidade significativa de lodo de ETA e ETE

(resíduo). Devido ao descarte irregular desse resíduo buscou-se inovações, com intuito de reaproveitamento do lodo. E a principal ideia foi buscar pesquisas agregam e comprovam essa viabilidade, avaliando o comportamento das principais propriedades de resistência à compressão e absorção de água, seguindo a ABNT NBR 10834/2012 e a partir de pesquisas de outros autores relatados neste capítulo.

A NBR 10834/2012 (bloco de cimento sem função estrutural) limita a absorção de água (AA) e resistência à compressão (RC), propriedades que definem a qualidade de tijolos solo-cimento para uso na construção civil após cura durante 28 dias. Os corpos de prova precisam seguir os valores médios especificados que são: AA 20% e RC 2 Mpa e também os valores individuais dos corpos cimentício devem apresentar AA 22% e RC 1,7 Mpa semelhante a ABNT NBR 8491/2012 e NBR 8492/2012.

4.1. Pesquisa de Holanda e Rodrigues (2013)

- Caracterização dos materiais utilizados;

Em geral cada material utilizado no processo de fabricação do tijolo solo-lodo-cimento é muito importante para garantir um produto com qualidade de acordo com as especificações. Os autores dessa pesquisa utilizam o lodo de ETA com características químicas e físicas preocupantes, devido a isso o solo passa por ensaios para obter um material com mais benefícios construtivos garantindo as propriedades exigidas pela norma, o lodo é prejudicado nos processos unitários e produtos químicos aplicados no tratamento da água, razão que influencia as características do resíduo.

O tamanho das partículas do lodo de ETA e solo utilizados no ponto de vista granulométrico, são considerados muito diferentes. O lodo de ETA apresenta 35% das partículas na faixa de tamanho fração argila ($< 2 \mu\text{m}$), 62% de silte ($2 \mu\text{m} \leq x < 63 \mu\text{m}$) e 3% de areia fina ($63 \mu\text{m} \leq x < 600 \mu\text{m}$). Deve-se ressaltar que o alto teor de fração argila do lodo de ETA é problemático para a etapa de homogeneização da mistura solo-cimento e hidratação do cimento.

Segundo Holanda e Rodrigues (2013):

O lodo de ETA é um material de resíduo não biodegradável, rico em minerais de silicatos e matéria orgânica, acrescidos dos produtos resultantes dos reagentes químicos aplicados à água bruta durante o tratamento. No ponto de vista ambiental, o lodo de ETA é classificado como sendo resíduo Classe IIA - Não Inerte.

O solo foi coletado em uma empresa de cerâmica local como barro “fraco” rico na fração de areia, ou seja, quartzo livre. Possui 22,4% da composição de argila,

28,4% de silte e 49,2% de areia. Verifica-se alto percentual de areia no solo apresentado neste estudo, característica muito importante na preparação da mistura solo-cimento com cimento Portland tipo CP III-40RS composto com adição de escória de alto forno proporcionando mais resistência e impermeabilidade

- Programa experimental;

Neste trabalho os autores prepararam quatro traços de solo-cimento com o lodo de ETA, desprezando o primeiro traço que não utilizou o lodo. Apresentou-se uma amostra convencional apenas com a utilização dos materiais convencionais, ou seja, solo e cimento para comparação com as demais amostras que também tem o lodo na sua composição. No segundo traço substituiu-se 1,25% de solo, porção de matéria prima natural que é preservada na utilização do lodo de ETA. No terceiro adotou-se 2,5% do resíduo e finalizou com a última amostra contendo 5% de lodo de ETA em substituição parcial do solo (Quadro 3).

Quadro 3: Composição dos traços estudados pelos autores (% em peso).

| Traço | Cimento | Solo | Lodo de ETA |
|--------------|----------------|-------------|--------------------|
| 1 | 10,00 | 90,00 | 0,00 |
| 2 | 10,00 | 88,75 | 1,25 |
| 3 | 10,00 | 87,50 | 2,50 |
| 4 | 10,00 | 85,00 | 5,00 |

Fonte: Holanda e Rodrigues (2013).

O traço padrão utilizado é de 10:1 (solo: cimento), recomendado pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABNT). Neste caso foi substituído somente as porções de solo pelas mesmas porções de lodo em cada amostra, porção de cimento não foi alterada.

Segundo Holanda e Rodrigues (2013):

A amostra de lodo utilizada foi coletada na ETA de Campos dos Goytacazes, RJ. O lodo de ETA in natura apresentava-se na forma de lama. Após secagem a 110 °C durante 48 h, o lodo seco foi destorroado e peneirado para a fração < 35 mesh (425 µm). Na preparação dos traços foi utilizado um solo proveniente da região de Campos dos Goytacazes, RJ, o qual foi submetido à secagem a 110 °C durante 24 h, destorroado e peneirado para fração < 4 mesh (4,8 mm). Ainda, foi usado cimento portland tipo CP III-40RS.

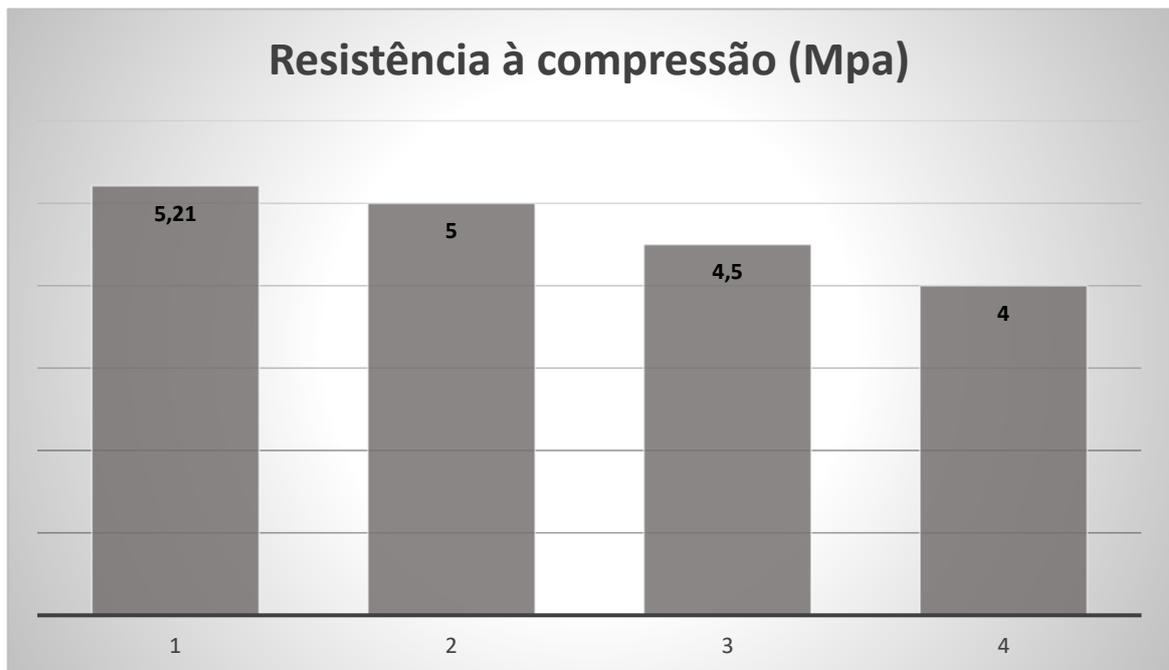
De acordo com o trabalho foi realizado uma análise granulométrica das matérias-primas, determinada por combinação de procedimentos de peneiramento e sedimentação de acordo com a NBR 7181/1984. Também foi determinada a massa específica real dos grãos de acordo com a NBR 6508/1984.

As matérias-primas secas em suas proporções dadas no (Quadro 3), foram misturadas em um misturador cilíndrico de laboratório durante 30 minutos. Em seguida as misturas de solo-lodo de ETA-cimento foram umidificadas com 16% de água. Após a mistura dos materiais os corpos de prova foram preparados com forma cilíndrico com diâmetro de 37,17 mm e prensados no processo uniaxial a 18 MPa. Após conformação, os corpos de solo-cimento foram curados numa câmara úmida sob condições de 95% de umidade a 24° C por 28 dias.

As seguintes propriedades tecnológicas dos corpos cimentício foram determinadas utilizando-se procedimentos padronizados: resistência à compressão e absorção de água.

- Resultados de resistência à compressão;

Gráfico 1: Resultado dos ensaios de resistência á compressão.



Fonte: Holanda e Rodrigues (2013).

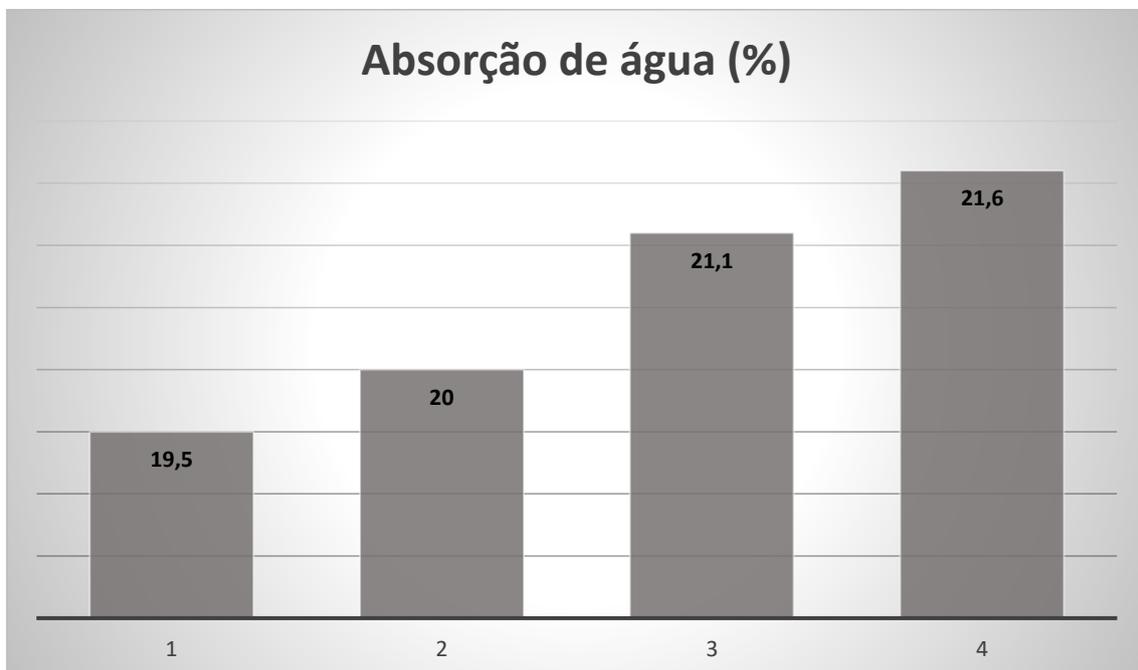
O lodo da ETA interferiu na resistência mecânica dos corpos cimentícios que foram testados nos ensaios, porém nenhum deles chegou a ultrapassar o limite da norma que é no mínimo 2 Mpa de resistência à compressão. Observa-se que o comportamento é bem correlacionado com as demais propriedades físicas. O efeito da adição do lodo de ETA provavelmente influencia na hidratação do cimento quando os silicatos de cálcio hidratados, são os principais responsáveis pela resistência mecânica durante o processo de cura.

A traço 4 com a substituição de 5% do lodo atingiu o pior resultado próximo a 4 Mpa, o dobro de resistência que a NBR 10834/2012 permite. Ou seja, o lodo diminui a resistência mecânica do corpo de prova mais não comprometeu as suas características.

- Resultados de absorção de água;

Observa-se que é fortemente influenciada a absorção de água devido a adição do lodo de ETA, de acordo com os autores a única substituição aceita, foi a de 1,25% de resíduo. Essa amostra de número dois apresentada no (Quadro 3) obteve o resultado permitido pela NBR-10834/2012 que é 20% de absorção de água. Dois fatores são as principais influências para esse comportamento do material, não atingindo as propriedades. Que é o aumento da fração de finos na mistura com incremento de partículas de argilomineral e também a adição de matéria orgânica no conjunto solo-cimento. Fatores que dificultam a homogeneização da mistura dos materiais. Ressalta-se que o solo arenoso é o tipo de solo mais adequado para fabricação de tijolo solo-cimento pois favorece a liberação de maior quantidade de cimento para ligar as partículas menores, impermeabilizando melhor o tijolo.

Gráfico 2: Resultado dos ensaios de absorção de água.



Fonte: Holanda e Rodrigues (2013).

Neste estudo as especificações para tijolo solo-cimento foram alcançadas somente com adição de 1,25% em peso de lodo de ETA em substituição parcial ao solo (HOLANDA e RODRIGUES, 2013).

4.2. Pesquisa de Cabral (2013)

- Caracterização dos materiais utilizados;

O solo foi coletado da jazida Nô Silva, localizada na microrregião de Viçosa-MG. Em seguida foi peneirado e armazenado de acordo com a ABNT no laboratório de engenharia civil da UFV até a realização do experimento para evitar perda de água. Foi retirada uma amostra para as análises de caracterização e determinação do teor de umidade de acordo com norma NBR 6457/1986.

O cimento utilizado na pesquisa foi o cimento Portland do tipo CP III-40-RS (cimento Portland com adição de escória granulada de alto forno).

E o lodo é proveniente da estação de tratamento de água da UFV. ETA que é abastecida por um manancial superficial de reduzida vazão conhecido por Ribeirão São Bartolomeu.

- Programa experimental;

O lodo passou por um processo de secagem, após depositado em bandejas de metal utilizadas para a secagem de solo e deixado secar ao ar até obter aspecto seco. Em seguida foi necessária a moagem mecânica do material, onde passou por peneiras e foi acondicionado em recipientes fechados conservando as características do lodo.

Sabe-se a importância dos ensaios de granulometria, índice de plasticidade, teor de umidade para uma boa compactação e moldagem do conjunto solo-cimento com o lodo de ETA. Com os teores de umidade analisados em cada material, foi realizado a mistura dos materiais secos para garantir uma boa homogeneização do conjunto. Depois a autora obteve a umidade ótima através de ensaios de compactação de acordo com a NBR 12023/2012. Nos ensaios foram testadas três composições da mistura solo-cimento-lodo (75/10/15), (85/10/5) e (80/15/5) onde ficaram definidos os umidade ótima de prensagem (19%, 15% e 14,5%) respectivamente.

A ABNT NBR 8491/2013 estabelece requisitos de qualidade de tijolos de solo-cimento em termos de dimensões, resistência à compressão e absorção de água. De acordo com a autora a qualidade dos tijolos no experimento das misturas (Quadro 4) foi avaliada somente em termos de padrões dimensionais e de resistência à compressão. Pois os ensaios de umidade de prensagem inferiram-se que a absorção de água não seria fator limitante na escolha do traço para fabricação dos tijolos de solo-cimento-lodo.

Quadro 4: Composição dos traços estudados pela autora (% em peso).

| Traço | Cimento | Solo | Lodo de ETA |
|-------|---------|-------|-------------|
| 1 | 07,50 | 92,50 | 00,00 |
| 2 | 07,50 | 87,50 | 05,00 |
| 3 | 12,50 | 87,50 | 00,00 |
| 4 | 07,50 | 82,50 | 10,00 |
| 5 | 12,50 | 82,50 | 05,00 |
| 6 | 17,50 | 82,50 | 00,00 |
| 7 | 07,50 | 77,50 | 15,00 |
| 8 | 12,50 | 77,50 | 10,00 |
| 9 | 17,50 | 77,50 | 05,00 |
| 10 | 22,50 | 77,50 | 00,00 |
| 11 | 10,00 | 87,50 | 12,50 |
| 12 | 10,00 | 80,00 | 10,00 |
| 13 | 17,50 | 80,00 | 02,50 |

Fonte: Cabral (2013).

De acordo com Cabral (2013) nenhum tijolo apresentou problema de variação das dimensões nominais, mantendo-se sempre, em todos os traços avaliados, dentro do limite de tolerância especificado na norma NBR 8491/2013.

- Resultados de resistência à compressão;

Sabe-se que a resistência mecânica à compressão mínima individual exigida pela ABNT NBR 8491/2013 é de 1,7 Mpa. Oito das treze misturas do (Gráfico 3) avaliadas atenderam o limite inferior estabelecido pela norma. Em geral, o aumento da incorporação de lodo e a baixa injeção de cimento piorou a resistência mecânica dos tijolos de solo-cimento. As outras cinco amostras apresentaram um comportamento bem inferior comparada com a mínima adição do lodo de ETA em outras. Todos os tijolos do traço se mostraram demasiadamente frágeis (baixa resistência mecânica) e se romperam durante a manipulação para preparação do corpo-de-prova para o ensaio (capeamento, corte e colagem das faces), portanto, antes de serem ensaiados.

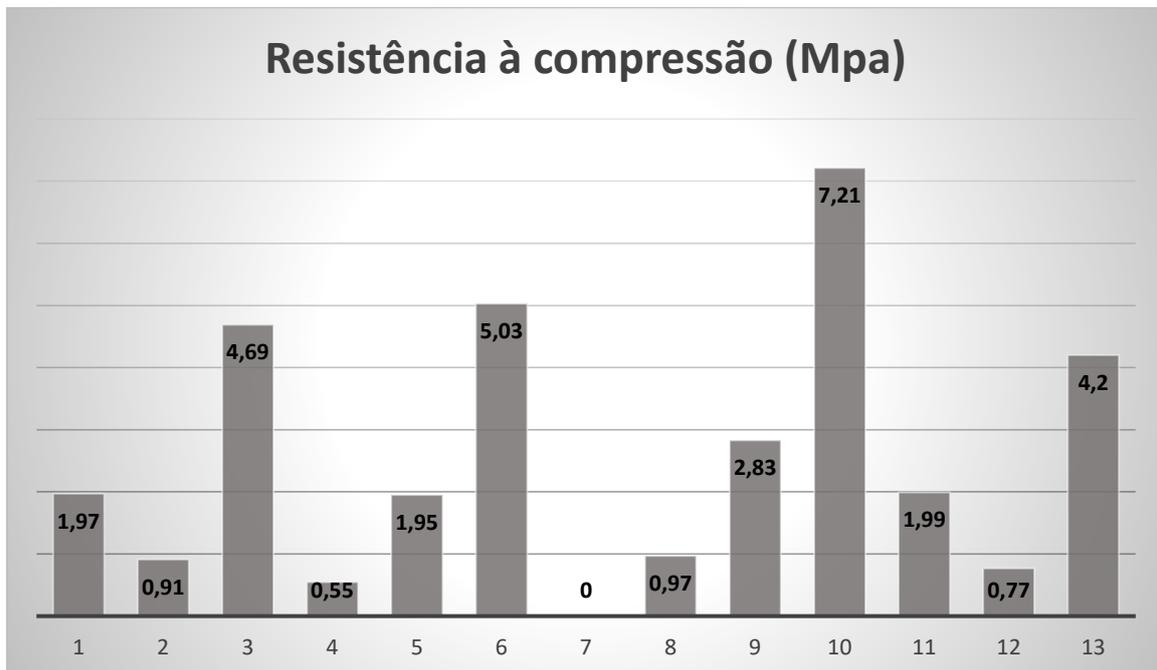
Segundo Cabral (2013):

É possível fabricar tijolos com resistência média que atenda ao requisito mínimo da norma NBR 8491, utilizando, porém, traços com no máximo 6% de lodo. Sugere-se o traço de 1:0,3:5 para a produção em campo de tijolos de solo-cimento-lodo. Trata-se de um traço com

proporção elevada de cimento e por isso, com custo mais alto de produção do que o solo-cimento convencional.

O aumento da incorporação do lodo aumentou também a composição de argila no conjunto solo-cimento, com isso a massa específica dos sólidos diminui também. De acordo com Cabral (2013) devido à alteração da composição granulométrica do material, essa variável não está relacionada apenas com o grau de compactação da massa, mas também com sua composição, não sendo um bom indicador da estabilização mecânica por prensagem.

Gráfico 3: Resultado dos ensaios de resistência à compressão.



Fonte: Cabral (2013).

- Resultados de absorção de água;

O lodo da ETA apresenta composição predominante fina (65% passante na peneira n° 200) e limites de consistência elevados, portanto, deve ser incorporado em proporções controladas para não comprometer a qualidade dos tijolos de solo-cimento. O solo já apresenta características adequadas para o emprego na fabricação de tijolos de solo-cimento por conter uma maior porção de material granular.

Segundo Cabral (2013):

Os resultados dos ensaios para avaliação da umidade de prensagem inferiram-se que a absorção de água não seria fator limitante na escolha do traço para fabricação dos tijolos de solo-cimento-lodo e, assim, a qualidade dos tijolos no experimento de mistura foi avaliada somente em termos de padrões dimensionais e de resistência à compressão.

Todos os corpos de prova atenderam as especificações exigidas pela ABNT NBR 8491/2013 não ultrapassando o limite de 20% de absorção de água.

4.3. Pesquisa de Soares Junior *et al.* (2016)

- Caracterização dos materiais utilizados;

O solo utilizado é proveniente de movimentações de terra e foi coletado, nas imediações do Instituto Federal de Alagoas – IFAL, no município de Palmeira dos Índios – AL.

Quanto ao cimento, utilizou-se cimento Portland composto CPIIZ-32 em observância a NBR 11578/2018. O CP II-Z é composto de 6% a 14% de pozolana e a sua classe de resistência é 32 Mpa. Permitindo maior impermeabilidade e durabilidade aos corpos de prova.

O lodo foi coletado seco a partir do processo de coleta e secagem do lodo que a CASAL (Companhia de Saneamento de Alagoas) faz no seu processo do Sistema de Esgotamento Sanitário do município de Santana do Ipanema – AL.

- Programa experimental;

Após a coleta de todos os materiais e processo de secagem por 48 horas na temperatura de 40° C em estufa seguindo a NBR 7181/1984 essas matérias primas passam por ensaios de granulometria, densidade real e também foi feito uma análise da plasticidade do solo. Todos esses ensaios foram realizados seguindo suas respectivas normas regulamentadoras. Também foi observada a umidade ótima garantindo uma boa compactação.

Segundo Soares Junior *et al.* (2016):

O método adotado partiu, em nível de embasamento, do ensaio de Proctor Normal e modificado ensaiado a partir da NBR-7182, baseado no método descrito na ASTM D-698/2004. Esse ensaio consiste na relação entre teores de umidade para respectivos pesos específicos seco, buscando determinar o teor de umidade ótima. São utilizados um cilindro metálico de volume conhecido e um soquete de 2,5kg que é solto de 30,5cm de altura. Para isso, mistura-se solo com umidade higroscópica a certa quantidade de água conhecida, já admitindo seu limite de plasticidade para que fique cerca de 5% abaixo da umidade ótima.

Sabe-se que é importante seguir a metodologia de mistura do solo, lodo de esgoto e cimento, na qual é definida pela norma simplificada de dosagem. Este processo foi feito manualmente de acordo com as dosagens mostradas no (Quadro 5) compondo a mistura adequada para cada traço, em seguida, foi adicionado água tratada, aos poucos, a fim de se conseguir um material mais homogêneo possível.

Logo depois a massa produzida foi introduzida a prensa manual comprimindo o corpo na forma de um tijolo. Os tijolos, recém-produzidos, da prensa foram para uma superfície plana e lisa, e após 6 horas os corpos de prova começaram a ser umedecidos com um borrifador com um intervalo de duas horas por sete dias.

Quadro 5: Composição dos traços estudados pelos autores (% em peso).

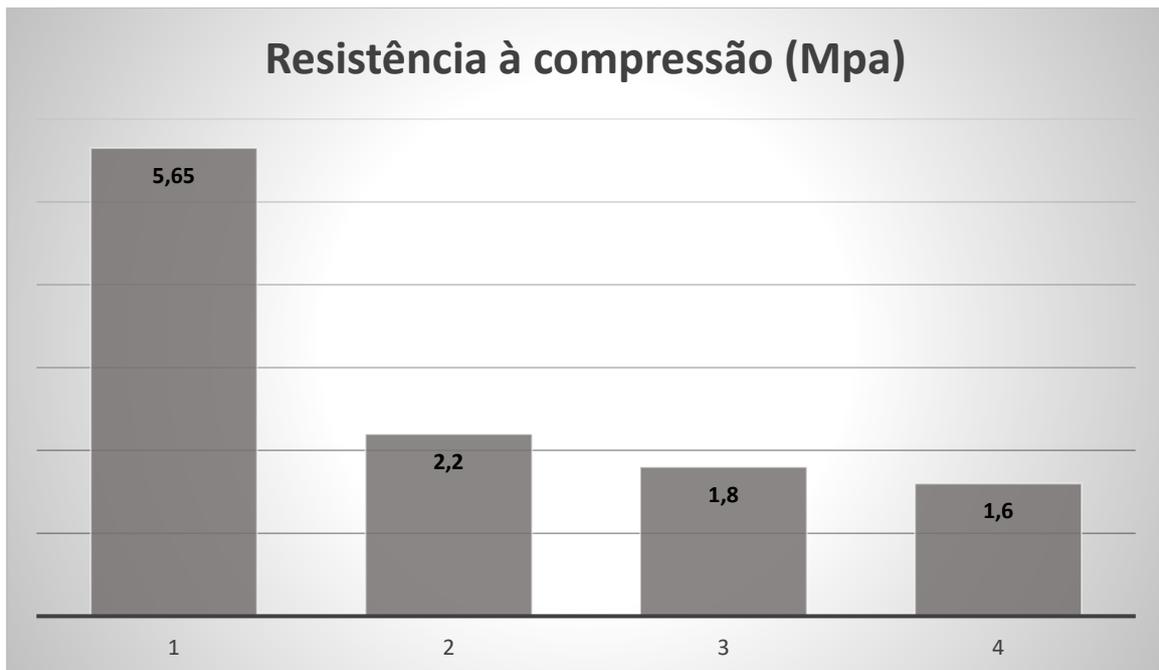
| Traço | Cimento | Solo | Lodo de ETE |
|-------|---------|-------|-------------|
| 1 | 10,00 | 90,00 | 00,00 |
| 2 | 10,00 | 85,00 | 05,00 |
| 3 | 10,00 | 80,00 | 10,00 |
| 4 | 10,00 | 75,00 | 15,00 |

Fonte: Soares Junior *et al.* (2016).

- Resultados de resistência à compressão;

O (Gráfico 4) desenvolvido denota a resistência mecânica dos tijolos de solo-cimento de acordo com a NBR 8492/2012 que foram ensaiados com as dosagens de 0%, 5%, 10% e 15% respectivamente. Apenas os corpos de prova com 5% de lodo de ETE obteve a resistência média acima de 2 Mpa exigido pela norma. As amostras com 10% e 15% podem atingir melhores resultados através de um estudo mais criterioso da dosagem solo, cimento e resíduo, pois individualmente em alguns corpos de prova apresentam resistência superior a 1,7 Mpa rompidos ao sétimo dia.

Gráfico 4: Resultado dos ensaios de resistência à compressão.



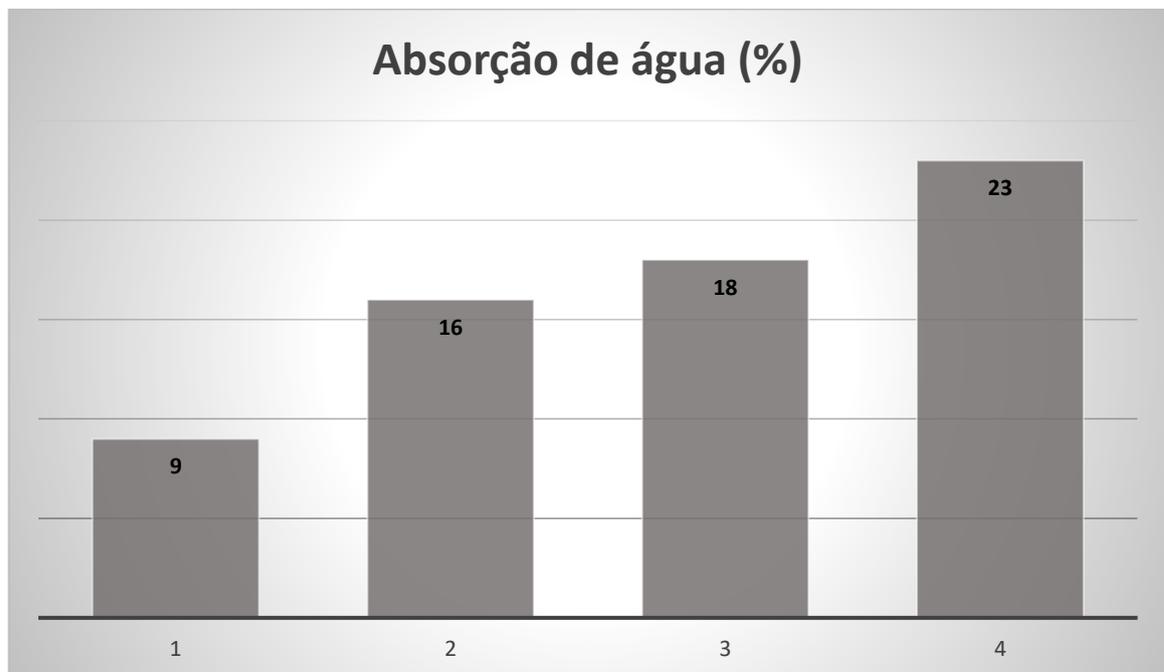
Fonte: Soares Junior *et al.* (2016).

- Resultados de absorção de água;

A ABNT NBR 8492/1984 instrui que os tijolos devem ser secos em estufa por 24 horas até eliminar-se toda a umidade presente, onde se obteve o peso seco da amostra. Em seguida, os tijolos foram imersos em um tanque com água e respectivamente submetidos a uma nova pesagem para obtenção do seu peso úmido. Sabe-se que o cálculo de absorção de água utilizou-se a (Equação 2) apresenta na metodologia desse trabalho.

A absorção de água dos corpos de prova é verificada no (Gráfico 5) onde os tijolos fabricados com lodo, em todas as dosagens absorveram mais água do que o tijolo sem adição do resíduo. Porém as dosagens de 5% e 10% de lodo de ETE atendem a NBR 8492/2012) onde tem seu limite de absorção de água igual a 20%.

Gráfico 5: Resultado dos ensaios de absorção de água.



Fonte: Soares Junior *et al.* (2016).

4.4. Pesquisa de Castão *et al.* (2017)

- Caracterização dos materiais utilizados;

O lodo utilizado no ensaio é proveniente da central de armazenamento da ETA de Cabuçu – Guarulhos – SP. A ETA possui ciclo convencional de tratamento com geração de lodo com suas respectivas características físico-química.

A argila vermelha foi coletada em uma jazida localizada na cidade de Jundiaí – SP, onde será aplicada na confecção dos tijolos cerâmicos. As amostras foram analisadas quantitativamente por espectrometria de fluorescência de raios X.

- Programa experimental;

Os tijolos solo-cimento com a composição do lodo de ETA foram fabricados no laboratório de mecânica dos solos da Universidade Nove de Julho. De acordo com (Quadro 6) foram testadas proporções de 10%, 20% e 30% (em peso) de lodo incorporado à massa de argila na fabricação dos tijolos cerâmicos. Cada traço determinado, foram confeccionados quatro corpos de prova, os traços foram nomeados pelos autores, sendo A0 apresenta 2500 g de argila (tijolos testemunhos), A1 sendo 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%).

Quadro 6: Composição dos traços estudados pelos autores (% em peso)

| Traço | Cimento | Solo | Lodo de ETA |
|--------------|----------------|-------------|--------------------|
| A0 | 10,00 | 90,00 | 00,00 |
| A1 | 10,00 | 80,00 | 10,00 |
| A2 | 10,00 | 70,00 | 20,00 |
| A3 | 10,00 | 60,00 | 30,00 |

Fonte: Castão *et al.* (2017).

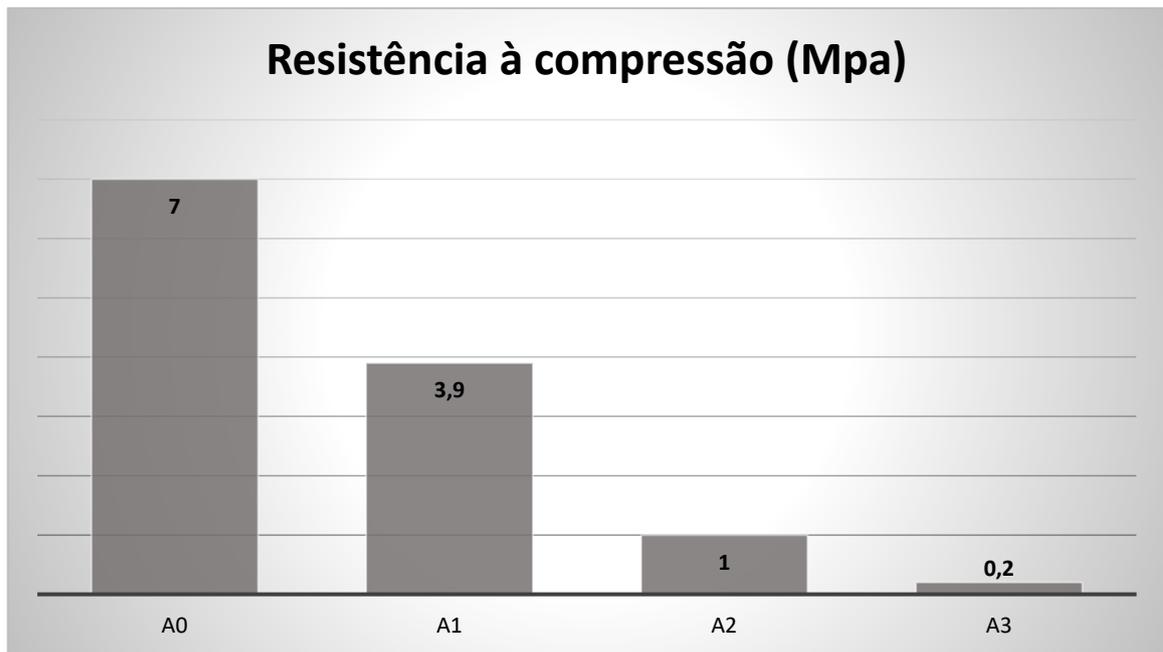
Os corpos de prova foram moldados com teores de 19%, 20% e 21%, onde os teores de 19% e 21% dificultou o processo de moldagem das amostras devido à baixa consistência. Adotou-se o teor de umidade de 20% para todas as amostras por ter apresentado características plásticas adequadas para moldar o tijolo.

A argila foi coletada úmida e o lodo proveniente da central de armazenamento de ETA passou por um processo de secagem em estufa por 24 horas a 100°C. Em seguida o lodo e a argila foram destorroados com o auxílio de um almofariz e mão de gral, após foi usado a peneira com 2mm de malha para peneirar os materiais secos. Os materiais foram homogeneizados em um agitador mecânico-orbital para prensagem manual para conformação dos tijolos. Após a confecção os tijolos passam por um processo de secagem em estufa a 50° C por 24 horas sequencialmente passa para o processo de queima em forno elétrico a 800°C por 24 horas saindo para cura.

- Resultados de resistência à compressão;

Demostrou-se de acordo com (Gráfico 6) que o aumento da massa de lodo na mistura lodo/argila diminui a resistência mecânica dos corpos de prova de 7,01 Mpa para 0,39 Mpa (tijolos com 30% de lodo de ETA) deixando o mesmo mais frágil. 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.

Gráfico 6: Resultado dos ensaios de resistência à compressão.



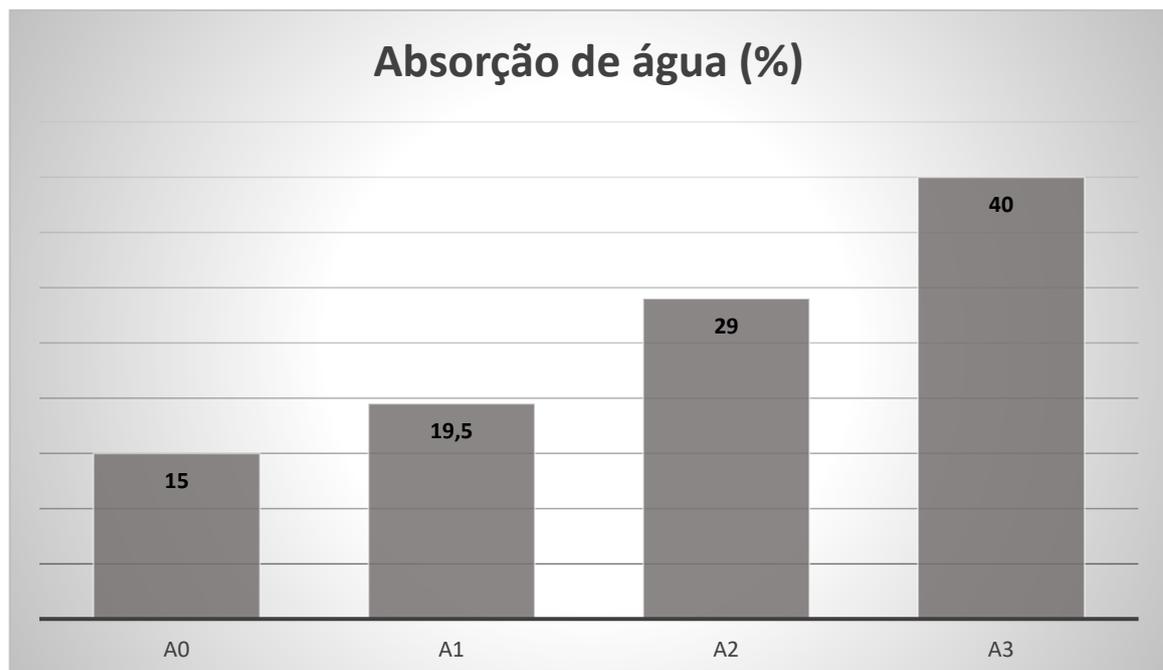
Fonte: Castão *et al.* (2017).

Segundo Castão *et al.* (2017):

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.

- Resultados de absorção de água;

Gráfico 7: Resultado dos ensaios de absorção de água.



Fonte: Castão *et al.* (2017).

Após 24 horas submersos em água os corpos de prova são retirados e é observado a absorção de água média das amostras. Observa-se que com a elevação da porção do lodo de ETA na mistura do solo-cimento, provoca um aumento na absorção de água na massa dos tijolos respectivamente (Gráfico 7). De acordo com os autores os corpos de prova da ordem de 20% e 30% de lodo refletiram na queda da qualidade dos tijolos confeccionados. Já a incorporação de 10% de lodo na conformação dos tijolos apresentou melhores resultados quando comparado com o tijolo que não utilizou o lodo em sua composição (traço A0).

4.5. Pesquisa de Oliveira, Menezes Junior e Soares Junior (2018)

- Caracterização dos materiais utilizados;

O solo utilizado vindo da movimentação de terra foi coletado nas imediações do Instituto Federal de Alagoas, no município de Palmeira dos Índios – AL. Quanto ao cimento, utilizou-se Cimento Portland composto CPII-Z-32 de acordo com a NBR 11578/2018.

O lodo já em estado seco utilizado pelos autores foi coletado através da CASAL que opera um Sistema de Esgotamento Sanitário do município de Santana do Ipanema – AL.

- Programa experimental;

O lodo foi coletado em formas de torrões secos e destorroados manualmente para ensaio de granulometria e limite de consistência. Já o solo de acordo com a NBR 7181/1984 passou por um processo de secagem por 48 horas na temperatura de 40°C em estufa. Em sequência a secagem utiliza-se o quarteamento conforme a NBR NM27/2001.

Segundo Oliveira, Menezes Junior e Soares Junior (2018):

A dosagem de tomada foi pautada nos métodos de fabricação dos tijolos de solo-cimento, preconizadas pela ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland- Boletim Técnico 112, 1988, assim como no Estudo Técnico 35, 1986. Evidentemente salvadas as necessárias formulações, já que se pretende adicionar a mistura solo-cimento um novo composto com propriedades a pouco conhecidas. Todavia, considerou-se a metodologia definida pela Norma Simplificada de dosagem, metodizada conforme parâmetros antagônicos de classificação.

Com um estudo das matérias primas além da análise granulométrica e análise de plasticidade do solo foi realizado alguns ensaios de caracterização dos materiais como densidade real e teor de umidade ótima para garantir uma boa compactação. A dosagem dia traços foram definidas (Quadro 7) em 0%, 5%, 10% e 15% de lodo de

ETE em substituição do solo e o cimento Portland foi definido com 10% da porção total do tijolo.

Quadro 7: Composição dos traços estudados pelos autores (% em peso)

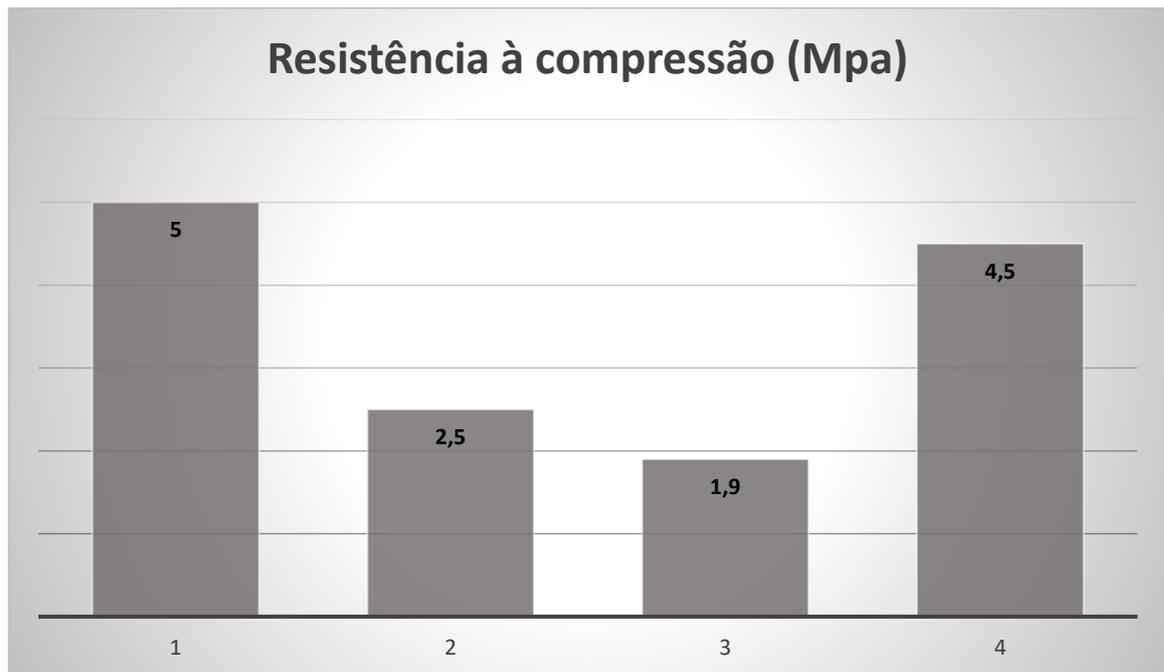
| Traço | Cimento | Solo | Lodo de ETA |
|-------|---------|-------|-------------|
| 1 | 10,00 | 90,00 | 00,00 |
| 2 | 10,00 | 85,00 | 05,00 |
| 3 | 10,00 | 80,00 | 10,00 |
| 4 | 10,00 | 75,00 | 15,00 |

Fonte: Oliveira, Menezes Junior e Soares Junior (2018).

Sabe-se que a moldagem dos tijolos ecológicos é feita com a compactação da mistura bem homogênea, de acordo com a umidade ótima obtida do ensaio de compactação. Sendo a energia adotada a mesma do Método SC-1 (ABCP,1986).

- Resultados de resistência à compressão;

Gráfico 8: Resultado dos ensaios de resistência à compressão.



Fonte: Oliveira, Menezes Junior e Soares Junior (2018).

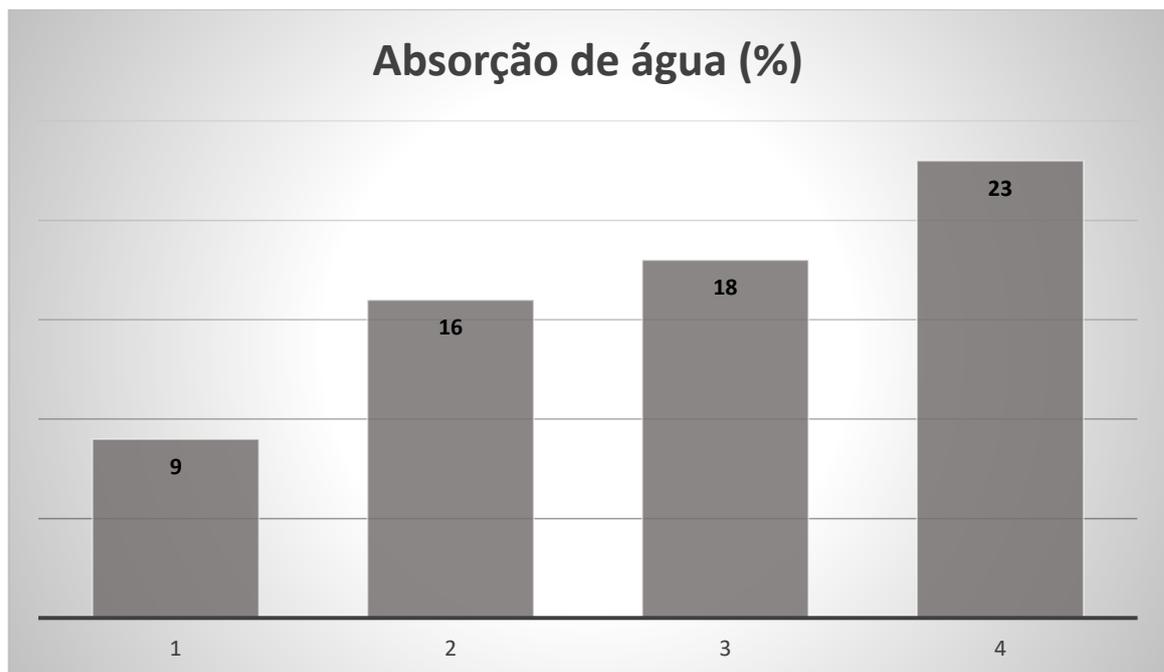
A resistência mecânica à compressão dos tijolos foi influenciada como as demais propriedades testadas através de ensaios realizados devido à imersão do lodo. Nota-se no (Gráfico 8) que apenas os tijolos com 5% do resíduo atenderam as especificações da NBR 8492/2012 que exige mínima resistência de 2 Mpa de média dos corpos de prova. As adições de 10% e 15% apresentaram resultados bem parecidos, porém abaixo da resistência mecânica média exigida. Alguns corpos de prova dessas porções obtiveram resultados individuais aceitáveis de 1,7 Mpa de

adição de lodo o que denota uma resistência muito próxima a mínima exigida pela norma, carecendo talvez, de um estudo mais criterioso da dosagem solo-cimento-resíduo

- Resultados de absorção de água;

Observa-se no (Gráfico 9) que todos os corpos de prova foram influenciados em relação à absorção de água com a substituição do lodo pelo solo em suas diversas porções 5%, 10% e 15% do resíduo. Essa absorção é devido a perda de massa dentro dos padrões especificados na norma, que atribui uma perda máxima de massa para o tijolo de solo-cimento de 5%. Sabe-se que NBR 8492/2012 prescreve que a absorção máxima de água é de 20%, assim as amostras de 5% e 10% de lodo de ETE atenderam o limite da norma. Nota-se ainda, que quanto mais se aumenta à quantidade de lodo, mais aumenta a perda de massa por imersão do tijolo para cada dosagem considerada de solo-cimento.

Gráfico 9: Resultado dos ensaios de absorção de água.



Fonte: Oliveira, Menezes Junior e Soares Junior (2018).

4.6. Comparativo das propriedades das pesquisas

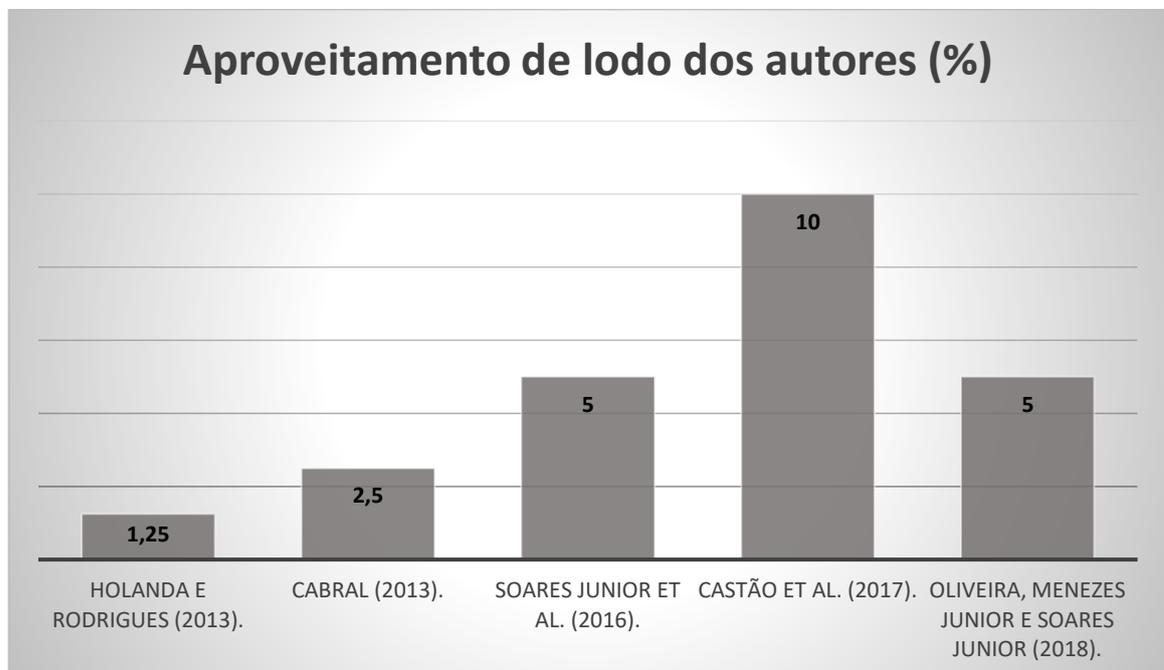
O lodo da ETA de Campos de Goytacazes dos autores do trabalho 1 interferiu nas principais propriedades do tijolo solo-cimento, porém em relação a resistência à compressão atendeu os requisitos que a norma exige. Onde sua amostra com maior composição de 5% do lodo, obteve resistência mecânica de 4Mpa o dobro que a NBR 8491/2012 exige. Já a absorção de água foi mais influenciada, apenas a porção de 1,25% do resíduo conseguiu resultados inferiores a 20% de absorção.

A pesquisa de Cabral (2013) mostrou que é possível sim, garantir a resistência mecânica dos tijolos com a utilização do lodo de ETA, porém com uma composição máxima de 6% do resíduo. Os ensaios de umidade de prensagem inferiram-se que a absorção de água não seria fator limitante na escolha do traço, com isso todas as amostras atenderam os requisitos da norma.

De acordo com Soares Junior et al. (2016) no trabalho 3 a resistência à compressão só foi alcançada com a mínima substituição do lodo de ETE de 5%, as outras proporções com maior teor do resíduo podem alcançar melhores resultados através de um estudo mais criterioso da dosagem solo. A absorção de água dos tijolos também foi prejudicada, porém as substituições de 5% e 10% atenderam os requisitos máximos de 20% de absorção exigido pela norma.

Segundo Castão et al. (2017) o lodo agrediu gravemente a resistência mecânica dos corpos de prova de 7,01Mpa para 0,39Mpa. A amostra com 10% de lodo apresentou melhores resultados. Sabe-se também que máximo de absorção de água aceitável é 20% de permeabilidade, onde apenas 10% de substituição do resíduo mostrou eficiência comparados as substituições de 20% e 30% do resíduo.

Gráfico 10: Traço dos autores com as propriedades aprovadas exigidas pela ABNT.



Fonte: Google Acadêmico (2021).

A pesquisa 5 mostra que através dos ensaios dos autores foi possível observar que somente com a imersão de 5% de lodo em substituição do solo foi possível atingir a resistência mínima exigida pela NBR 8491/2012, os demais corpos chegaram a

resultados individuais bem próximos. Já em função da absorção de água, as porções de 5% e 10% apresentaram resultados aceitáveis pela norma.

5. Considerações Finais

Diante do aumento da geração de resíduos decorrente de processos construtivos ou melhoria na qualidade de vida do ser humano, busca-se ideias sustentáveis de reaproveitamento dos diversos resíduos que geralmente são descartados de maneira irregular provocando graves consequências ao meio ambiente.

O processo de tratamento de água e esgoto a cada ano que passa cresce, devido a aberturas de ETA e ETE com finalidade de tratar a água para saúde pública. Porém esse processo químico e físico para o tratamento da água gera um lodo que ao ser acumulado nos reservatórios devem ser removidos e descartados. Onde muitas das vezes são depositados em leito de rios ou em aterros sanitários, ou seja, incorretamente descartados.

O presente estudo abordou o lodo de estações de tratamento de água e esgoto como componente da mistura que é utilizada para a confecção de tijolos solo-cimento. O objetivo geral foi avaliar trabalhos de outros autores onde buscam a mesma fonte de embasamento onde a criação de tijolos sustentáveis buscará atender as principais propriedades de resistência à compressão e a absorção de água de acordo com as principais normas aplicadas.

Buscou-se analisar todas as características dos materiais utilizados nas composições dos traços como a granulometria, homogeneização, plasticidade, umidade ótima para compactação, moldagem e ensaios de resistência e absorção. Notou-se que a substituição do solo ou cimento pelo lodo de ETA ou ETE em grandes quantidades interferem drasticamente nas propriedades dos blocos cimentícios. Assim como também a imersão de pequena quantidade de cimento pode ser influenciar em seus resultados.

Entende-se com estudos apresentados acima o traço da mistura solo-cimento tem uma composição de 10% de cimento e 90% de solo. Sendo somente permitido a substituição de 5% a 6% de lodo de ETA ou ETE nos 90% de solo. Ou seja, aproximadamente uma porção de 85% de solo, 10% de cimento e 5% de lodo de acordo com a ABNT NBR 8492/2012 atendendo as propriedades de resistência à compressão e absorção de água.

Recomenda-se para estudos futuros, uma exploração mais criteriosa do solo, sendo que quanto mais granular, ou seja, quanto maior a composição de areia no conjunto de solo, melhor são os resultados das principais características de resistência mecânica e impermeabilidade do tijolo. Sabe-se que quanto mais granular o conjunto de solo, maior será o volume do índice de vazios possibilitando a entrada do cimento garantindo assim qualidade ao produto. Por outro lado, a quantidade de cimento para garantir qualidade do tijolo é ainda exagerada consequentemente gera maior custo na produção do mesmo.

REFERÊNCIAS

WIKIPÉDIA. **Engenharia civil: tecnologia de construção civil**. Disponível em: https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Engenharia_civil. Acesso em: 20 jul. 2021.

TORGAL, PACHECO; SAID, JALALI. **Construção sustentável: o caso dos materiais de construção**. [S. l.], 2007. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/7542>. Acesso em: 15 jul. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro. 31/mai/2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8492: Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e de absorção de água – Método de ensaio. Rio de Janeiro. 11/dez/2012.

JÚNIOR, Antônio Ramos Soares; OLIVEIRA, Israel Correia. **ESTUDO E FORMULAÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS DE SOLO CIMENTO PRODUZIDOS A PARTIR DO LODO GERADO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS: UM MODELO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUO SÓLIDO APLICADO A IDEIA DE TECNOLOGIA SOCIAL**. Alagoas. Maio 2018. Disponível em: <https://www.saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2019/08/tijolos-ecologicos.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2021.

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. **DOSAGEM DAS MISTURAS DE SOLO-CIMENTO NORMAS DE DOSAGEM E MÉTODOS DE ENSAIOS**. São Paulo, 2004. Disponível em: https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2016/01/ET-35_Solo_cimento_Normas_dosagem_metodos_ensaios.pdf. Acesso em: 22 jun. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 27: Agregados- Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro. Mai 2001.

UFSC. Cimento. *In*: **CIMENTO**. [S. l.], S.D. Disponível em: <https://materioteca.paginas.ufsc.br/cimento/>. Acesso em: 22 jun. 2021.

MOTTA, Jessica Campos Soares Silva; MORAIS, Paola Waleska Pereira; ROCHA, Glayce Nayara; TAVARES, Joicimara da Costa; GONÇALVES, Gabrielle Cristina; CHAGAS, Marcela Aleixo; MAGESTE, Jalson Luiz; LUCAS, Taiza de Pinho Barroso. **TIJOLO DE SOLO-CIMENTO: ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E VIABILIDADE ECONÔMICA DE TÉCNICAS CONSTRUTIVAS SUSTENTÁVEIS.** [S. l.], 2014. Disponível em: <https://revistas.unibh.br/dcet/article/view/1038>. Acesso em: 20 jun. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo Análise Granulométrica – Método de Ensaio. Rio de Janeiro. Dez 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11578: Cimento Portland Composto. Rio de Janeiro. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7170: Tijolo Maciço Cerâmico para Alvenaria. S.d. Disponível em:< <https://ecivilufes.files.wordpress.com/2011/04/nbr-7170-tijolo-macic3a7o-cerc3a2mico-para-alvenaria.pdf>> Acesso em: 20 jul. 2021

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12023: Solo-Cimento – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro. Abril 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8491: Tijolo de solo-cimento – Requisitos. Rio de Janeiro. 10 de dez 2012.

RODRIGUES, LP; HOLANDA, J N F. **Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento.** [S. l.], dez 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/sjkRXDdqdFBhT5DnnHBPYzL/?lang=pt>. Acesso em: 20 jan. 2021.

CASTÃO, Edvan Silva; CASTRO, Amanda Lima de; FILHO, Arnaldo Mesquita; ROCHA, Gercivania Avelina da. **REÚSO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (E.T.A.) NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS CERÂMICOS.** s.d. Trabalho de Pesquisa (Graduação) - ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental AESABESP - Associação dos Engenheiros da Sabesp, [S. l.], s.d. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento36/TrabalhosCompletoPDF/II-533.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2021.

CABRAL, VIVIAN ANE LOPES. **AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DO LODO DA ETA UFV NA MANUFATURA DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO.** [S. l.], 2013. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/3819/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2021.