



**ANDRÉ DO CARMO JÚNIOR**

**ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE LODO DE ETA NA  
FABRICAÇÃO DE TIJOLO ECOLÓGICO: UMA REVISÃO  
BIBLIOGRÁFICA**

**LAVRAS – MG**

**2021**

**ANDRÉ DO CARMO JÚNIOR**

**ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DO LODO DE ETA NA  
FABRICAÇÃO DE TIJOLO ECOLÓGICO: UMA REVISÃO  
BIBLIOGRÁFICA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.



Professor Dr. André Geraldo Cornélio Ribeiro

Orientador

**LAVRAS – MG**

**2021**

**ANDRÉ DO CARMO JÚNIOR**

**ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DO LODO DE ETA NA FABRICAÇÃO DE TIJOLO  
ECOLÓGICO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

**STUDY OF THE INCORPORATION OF ETA SLUDGE IN THE MANUFACTURE  
OF ECOLOGICAL BRICK: A BIBLIOGRAPHIC REVIEW**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 06 de abril de 2021.  
Prof. Dr. Fernando Neris Rodrigues, UEMG  
B.Sc. Mariana Lasmar Marques da Silva, UFLA

Professor Dr. André Geraldo Cornélio Ribeiro  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2021**

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer primeiramente a minha companheira Ana por seu carinho e amor em todos os momentos nesses anos.

A minha família André, Sandra e Mateus, que sempre me apoiaram e estiveram presentes em todas as fases de minha vida.

A todos meus amigos que dividiram momentos comigo em Lavras e me acompanharam nessa jornada.

Ao professor André que me orientou neste trabalho e em outros projetos lidando com maestria e paciência me conduzindo sempre ao melhor resultado possível.

Aos meus companheiros do Alojamento Universitário (Brejão) especialmente aos do Apartamento 305 Bloco 02 que me receberam e acolheram com tanta consideração, respeito e amizade.

A todos os professores e amigos que, de alguma forma, contribuíram durante todos os meus anos de UFLA, para que eu me tornasse uma pessoa melhor.

E sempre a Entidade Superior, seja ela qual for, que sempre me ajudou e guiou nessa vida.

## RESUMO

As estações de tratamento de água são unidades industriais usadas para tratamento de água doce principalmente para o consumo humano. Como consequência dos processos de tratamento, são gerados enormes volumes de resíduos denominado Lodo de ETA. No Brasil este resíduo tem sido na maioria das vezes disposto no meio ambiente de forma inadequada, causando diversos impactos ambientais. A gestão dos resíduos de saneamento e os impactos da má disposição geram uma crescente necessidade de se buscar alternativas de destinação e aproveitamento destes materiais. O descarte do lodo pode resultar em impactos ambientais de grande escala e por isso, deve-se buscar formas de agregar valor a esse resíduo e evitar seu descarte eminente. Uma maneira é a utilização como matéria-prima para a fabricação de tijolos de solo-cimento usados na construção civil. O objetivo desta revisão bibliográfica foi levantar as pesquisas que abordam o reaproveitamento do lodo proveniente de ETA, com destinação a manufatura de tijolos de solo-cimento e verificar a necessidade real de novos trabalhos, visto o grande volume já elaborado de trabalhos nessa área. Foram definidas 3(três) palavras-chaves (Lodo de ETA; Reaproveitamento; Tijolo Solo-Cimento) nos portais de busca do Periódicos da CAPES e Google Acadêmico. Após refinamento de buscas, chegou-se a 13 trabalhos relacionando o uso desse resíduo na fabricação de tijolos ecológicos. Verificou-se que no geral a presença do lodo reduz a resistência dos tijolos, aumenta sua porosidade e absorção de água, sendo então recomendado o uso do traço universal 1:0,3:5 (Cimento, Lodo e Solo) em aplicações futuras. Logo esta revisão demonstrou que há grande quantidade de estudos já realizados sobre o uso de lodo na manufatura de tijolos, o que garante que o reuso deste resíduo e suas limitações é conhecido, sendo aplicável as mais diferentes localidades. Conclui-se que a utilização deste resíduo deve vir acompanhada de outros tipos de resíduos, com granulometria mais grossa e sem presença de matéria orgânica, a fim de se alcançar uma mistura que se apresente com características a corrigir a porosidade e fragilidade da mistura solo-cimento-lodo convencional.

**Palavras-chave:** Resíduos Sólidos. Reaproveitamento. Solo-cimento. Material de Construção.

## ABSTRACT

Water treatment plants are industrial units used to treat fresh water mainly for human consumption. As a consequence of the treatment processes, huge volumes of waste are generated, called ETA sludge. In Brazil, this waste has been disposed of in the environment most of the time inappropriately, causing several environmental impacts. The management of sanitation waste and the impacts of poor disposition generate an increasing need to seek alternatives for the destination and use of these materials. Sludge disposal can result in large-scale environmental impacts and therefore, ways must be sought to add value to this waste and avoid its imminent disposal. One way is to use it as a raw material for the manufacture of soil-cement bricks used in civil construction. The purpose of this bibliographic review was to survey the research that addresses the reuse of sludge from ETA, for the manufacture of soil-cement bricks and to verify the real need for new works, given the large volume of works already elaborated in this area. 3 (three) keywords were defined (ETA sludge; Reuse; Soil-Cement bricks) in the search portals of CAPES and Google Scholar journals. After refinement of searches, 13 works were found relating the use of this residue in the manufacture of ecological bricks. It was found that in general the presence of sludge reduces the strength of the bricks, increases their porosity and water absorption, so it is recommended to use the universal feature 1: 0.3: 5 (Cement, Sludge and Soil) in future applications. Therefore, this review demonstrated that there are a large number of studies already carried out on the use of sludge in the manufacture of bricks, which guarantees that the reuse of this waste and its limitations is known, being applicable to the most different locations. It is concluded that the use of this residue must be accompanied by other types of residues, with coarser granulometry and without the presence of organic matter, in order to achieve a mixture that presents characteristics to correct the porosity and fragility of the soil-to-soil mixture. conventional sludge cement.

**Keywords:** Solid Waste. Reuse. Soil-cement. Construction material.

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>7</b>
<b>1.1</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1.1</b>	<b>Influência do lodo de ETA ao tijolo solo-cimento.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1.2</b>	<b>Desempenho ambiental e financeiro de tijolos ecológicos com lodo de ETA</b>	<b>10</b>
<b>1.1.3</b>	<b>Caracterização do lodo de ETA.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1.4</b>	<b>Referencial normativo .....</b>	<b>12</b>
<b>2.</b>	<b>PROCEDIMENTO METODOLOGICO .....</b>	<b>14</b>
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>3.1</b>	<b>Resíduos de estação de tratamento de água na produção de tijolos ecológicos: Inovação e gestão industrial sustentável (CORDEIRO, 2018).....</b>	<b>15</b>
<b>3.2</b>	<b>Avaliação da viabilidade de utilizar lodo de ETA na produção de tijolo solo-cimento como meio de destinação final (FONTANIVE; OLIVEIRA e PAULA, 2008)</b>	<b>16</b>
<b>3.3</b>	<b>Gestão de resíduo e tecnologia ambiental na fabricação de tijolos solo-cimento (SAMSON,2016) .....</b>	<b>17</b>
<b>3.4</b>	<b>Incorporação de resíduo de estação de tratamento de água de Campos dos Goytacazes em corpos cimentícios para uso em tijolo solo-cimento (PESSIN, 2012)</b>	<b>18</b>
<b>3.5</b>	<b>Incorporação de lodo de estações de tratamento de água (ETAs) em tijolos de solo-cimento como forma de minimização de impactos ambientais (SILVA, 2009)</b>	<b>20</b>
<b>3.6</b>	<b>Avaliação da incorporação do lodo da ETA UFV na manufatura de tijolos de solo-cimento (CABRAL, 2013).....</b>	<b>21</b>
<b>3.7</b>	<b>Caracterização dos resíduos da estação de tratamento de água da UFPA e aproveitamento na confecção de tijolos de solo-cimento (RODRIGUES, 2015) .....</b>	<b>23</b>
<b>3.8</b>	<b>Estudo da aplicação para lodo de estação de tratamento de água na produção de tijolos ecológicos (AKAMATSU e ROSS, 2017).....</b>	<b>24</b>
<b>3.9</b>	<b>Demais trabalhos relacionados .....</b>	<b>25</b>

<b>4. CONCLUSÃO.....</b>	<b>28</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>30</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Um grande problema enfrentado atualmente é a quantidade de resíduos gerados nos centros urbanos. Este problema está ligado na maioria das vezes, à má gestão ou falta de saneamento básico. Os resíduos das estações de Tratamento de Água (ETAs) tem sua origem principal, no processo de decantação, são enormes quantidades de lodo, sendo que atualmente as formas de descartar esse resíduo são em aterros sanitários ou lança-los nos mananciais e rios seguintes as estações. Isso ocorre devido às impurezas que são retiradas das águas naturais e dos produtos químicos utilizados como o alumínio, ferro, manganês, cromo, entre outros, o que faz com que, se não forem dispostos de forma adequada, acabam poluindo os corpos hídricos seguintes. Logo faz-se necessária a busca por alternativas de reutilização de forma a não agredir o meio ambiente.

Os lodos das ETAs têm composições diferenciadas entre si, mesmo com a utilização do sistema convencional. Isso ocorre por vários fatores como: qualidade da água bruta, concentração e tipos dos produtos químicos utilizado para coagulação, tipo de decantador, a forma de limpeza dos filtros, polímeros empregados na etapa de desaguamento, entre outros. Segundo a NBR-10004 (ABNT, 2004) os lodos de ETA são classificados como resíduos sólidos devendo, portanto, ser assim tratados e dispostos. Devido à essa grande variação da composição do lodo de ETA, o real impacto causado pela sua disposição final inadequada não é muito diversificado. Estimava-se que 2.000 toneladas de lodo por dia são lançadas nas águas brasileiras sem nenhuma forma de tratamento (CORDEIRO, 1993), no entanto, esse cenário não se alterou atualmente visto que em São Paulo, estado com maior geração de lodo no país, 86% das ETAs dispõem seu lodo sem tratamento aos corpos hídricos seguintes (ACHON; CORDEIRO, 2015).

Em geral, o volume de lodo gerado em ETAs representa 0,2% a 5,0% do volume tratado de água (ANDREOLI et al., 2001), e a quantidade de lodo originária dos decantadores representava cerca de 60% a 95% da quantidade total de resíduos produzidos na ETA, sendo o restante oriundo do processo de filtração, isso enquanto a limpeza dos filtros consome de 4 a 10% do volume de água tratado por dia (Di BERNARDO et al., 1999). Contudo, como a grande maioria das ETAs existentes pelo país, ainda utilizam do método convencional de tratamento e não buscaram formas de modernizar sua produção, os valores de lodo gerados se mantem, tendo aumentado proporcionalmente ao aumento do consumo de água pelas cidades.

Sendo o crescimento populacional causador do conseqüente aumento do consumo de água tratada, ele também é responsável pelo aumento no volume de lodo produzido nas ETAs,

juntamente com a necessidade por novas moradias e materiais para a construção civil para alocação dessa crescente população. Analisando esses dois pontos cruciais, a necessidade de moradia somada a grande quantidade de lodo produzido, surgiram diversos estudos avaliando possíveis aplicações na construção civil do lodo gerado nas estações de tratamento.

No Brasil, a alvenaria convencional é extremamente difundida e é uma das principais responsáveis pelo desperdício e geração de resíduos de obras, ela é caracterizada como elementos de vedação da estrutura, ou seja, não possuem a função estrutural (LOPES; TIMBÓ, 2014). Para realização da vedação, podem-se utilizar materiais específicos como blocos cerâmicos, blocos de concreto, blocos sílico-calcários, blocos de concreto celular auto clavados, blocos de solo-cimento e tijolos de vidro (MARINOSKI, 2011).

Souza (2012) propõe que a ampla preferência e grande utilização de blocos cerâmicos e de concreto no país é justificada pela cultura brasileira de construção arcaica e remanescente dos europeus que aqui se instalaram, a qual leva em consideração a realidade nacional, ou seja, o amplo conhecimento das técnicas construtivas utilizando a alvenaria convencional, mas que apesar do constante uso, esses materiais seguem a provocar problemas na construção. Isso, pois a mão de obra não especializada junto a deficiências na execução, leva a um aumento de custos e geração de resíduos. Logo, percebe-se a necessidade de mudança nas práticas construtivas, buscando novas alternativas para promover a redução do impacto ambiental provocado por esses materiais e a inserção de técnicas e produtos ecológicos às obras.

Justificando a necessidade de um sistema construtivo de baixo custo e que reduza a geração de resíduos, o tijolo solo-cimento surge como uma alternativa para a solução dessa problemática. Os tijolos solo-cimento também podem ser chamados de tijolos ecológicos porque em sua fabricação não é necessária a etapa de queima, eliminando a emissão de gases poluentes (CHAGAS et al., 2015). A partir daí inúmeros estudos foram realizados para avaliar o desempenho de tijolos ecológicos na prática.

Ao se associar cimento com solo e pouca água tem-se uma mistura com aparência de farofa. Depois de prensada, umedecida e endurecida, assume a forma de um tijolo que, no final do processo, adquire grande resistência e durabilidade, além de possuir excelente aspecto e formato diferenciado. A esse produto final dá-se o nome de Tijolo solo-cimento (BERALDO; FREIRE, 2003). Segundo a NBR 8491 (ABNT, 2012), o tijolo de solo-cimento é definido como: Componente de alvenaria constituído de uma mistura homogênea, compactada e endurecida de solo, cimento Portland, água e, eventualmente, aditivos e/ou pigmentos em proporções que permitam atender aos requisitos desta norma, cuja altura (H) seja menor que sua largura (L). Pode ser maciço ou vazado, nos levando a imaginar as muitas vantagens

ambientais que a adição de pequena porcentagem do lodo de ETA a mistura do tijolo de solo-cimento traria a uma construção já tão sustentável e barata.

Dentre estudos, destacam-se os trabalhos práticos e científicos desenvolvidos considerando a reutilização do lodo de ETA como agregado na manufatura de tijolos de solo-cimento. Porém, tais estudos convergem a resultados muito similares, o que faz levantar a questão se é mesmo necessária a realização de mais estudos tratando apenas da incorporação deste tipo de resíduo sem variações ou incrementos de outros resíduos que possam convergir em resultados que atendam os critérios mínimos para fabricação desses tijolos.

Portanto o presente trabalho busca fazer uma síntese e análise das obras existentes, que abordam o reaproveitamento do lodo proveniente de ETA com destinação a manufatura de tijolos de solo-cimento, em diversas regiões do país, e verificar a necessidade real de novos estudos nesse seguimento.

## **1.1 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **1.1.1 Influência do lodo de ETA ao tijolo solo-cimento**

Rodrigues e Holanda (2013) fizeram uma análise microestrutural de tijolo solo-cimento com incorporação de lodo de ETA, e verificaram que a presença do lodo influencia diretamente suas propriedades estruturais, concluindo que o tipo de solo mais adequado para fabricação de tijolo solo-cimento é o arenoso, pois favorece a liberação de maior quantidade de cimento para ligar as partículas menores, levando, portanto, a substituição parcial do solo pelo lodo de ETA a aumentar o consumo de cimento. Por outro lado, o lodo de ETA também incrementa matéria orgânica na mistura, a qual, segundo os autores, influencia negativamente as reações de hidratação do cimento. Os autores também constataram que o comportamento da resistência mecânica é similar as demais propriedades físicas sendo que o efeito da adição do lodo é o de reduzir a resistência mecânica dos corpos cimentícios, uma vez que o lodo modifica a hidratação do cimento.

Assim Rodrigues e Holanda concluíram, com base nos resultados obtidos, que o lodo de ETA pode ser uma matéria-prima alternativa de baixo custo, podendo ser realizada uma substituição parcial de até 1,25% em peso de solo na fabricação de tijolo solo-cimento. Ainda foi demonstrado que o lodo de ETA e o solo apresentam características muito distintas. A incorporação do lodo provocou alterações significativas nas propriedades mecânicas (absorção de água, massa específica bulk e resistência compressão) dos corpos cimentício de solo-cimento. O lodo de ETA tende a alterar as características de hidratação do cimento, principalmente por aumentar o teor de partículas finas (principalmente de caulinita), matéria orgânica e plasticidade da mistura solo cimento. Concluindo que a utilização do lodo de ETA em tijolo solo-cimento torna-se muito limitado.

Percebe-se então, que a construção de tijolos com adição de lodo apresenta limitações, como queda na resistência devido a seu comportamento durante a hidratação cimentícia. Porém, a utilização de pequenas porcentagens do lodo ainda se mantem como uma saída sustentável ao descarte de tal rejeito.

### **1.1.2 Desempenho ambiental e financeiro de tijolos ecológicos com lodo de ETA**

Segundo Castro *et. al.* (2016), que analisaram a relação dos custos da utilização de alvenaria convencional frente ao uso do tijolo solo-cimento, o tijolo ecológico tem vantagem no desempenho ambiental, visto que não emite gases em sua fabricação, possui matéria prima abundante, dispensa o uso de formas de madeira e produz menor quantidade de resíduos. Do

ponto de vista financeiro, utilizando tijolos de solo-cimento ao invés de alvenaria de blocos cerâmicos, eles alcançaram um custo de até 67% menor que os blocos. Os autores apresentam também que o uso da construção ecológica (com o tipo de tijolo analisado) sobre a convencional traz muitas consequências positivas como a dispensa de argamassa de assentamento, facilidade de passagem de fios e demais instrumentos e melhor isolamento térmico e acústico devido a presença da furação e encaixes que podem ser feitos ao tijolo e sua maior resistência de até seis vezes a convencional.

Rosa (2020) verificou o volume e a viabilidade de lodo em tijolos solo-cimento na construção de uma residência de baixo padrão (45m<sup>2</sup>) contrapondo seus custos com a construção com tijolos solo-cimento convencional, tijolos de solo-cimento-lodo e tijolos cerâmicos. Segundo o autor, os tijolos solo-cimento convencionais trazem uma redução de 36,93% no custo se comparados com tijolos cerâmicos e economia de 1.100 quilogramas de matéria prima natural (solo usado na elaboração do elemento de vedação). Com a utilização de lodo de ETA na fabricação de 9.240 tijolos, a economia financeira foi de 37,13% se comparado com tijolos cerâmicos. A autora conclui em seu trabalho que, se toda a quantidade de lodo gerada fosse reutilizada para a fabricação de tijolos solo-cimento-lodo, a economia com a obra ficaria em torno de R\$17.500,00 mensais.

Sousa *et. al.* (2019) trazem em seu trabalho um comparativo entre tijolos ecológicos e blocos de concreto, em um estudo de caso para uma residência de médio padrão (100m<sup>2</sup>). Segundo os autores, a utilização de tijolos ecológicos permite uma redução de 45% nos custos quando comparado com os blocos de concreto, sendo a principal margem presente no custo da mão de obra por ser uma construção mais eficiente e rápida devido ao sistema modular de execução, tendo o custo com a produção um pouco mais significativo comparado com o do bloco de concreto.

Associando os estudos é possível notar que a aplicação do lodo de ETA ao tijolo solo-cimento é algo imensamente benéfico, pois, além de proteger e preservar o meio ambiente, reduz custos e tempo de execução das obras. Além disso, a utilização desse resíduo permite o investimento em técnicas e materiais de reuso, que são menos agressivos ao meio ambiente, se colocando como alternativa frente às construções tradicionais e poluidoras, podendo criar mão de obra técnica para execução dessas obras.

### **1.1.3 Caracterização do lodo de ETA**

Um passo importante presente em todos os estudos a se considerar seria a caracterização do lodo de ETA para que assim fosse possível se determinar suas necessidades (correções granulométricas para estabilidade das misturas futuras) e possibilidades de aplicação.

A partir da coleta do lodo das lagoas ou dos leitos de secagem e posterior trituração do mesmo em casos em que o resíduo se apresenta em torrões maiores, observando então os procedimentos descritos pela NBR 6457 (ABNT, 2016) chega-se em uma amostra do resíduo pronta para caracterização. Como o Lodo é considerado um resíduo sólido o mesmo deve ser caracterizado com normalização aplicada para solos, inicialmente deve-se realizar uma análise granulométrica do lodo, seguindo-se o estabelecido pela NBR 7181 (ABNT, 2018), realizada por uma combinação entre peneiramento e sedimentação devido ocorrer na maioria dos casos parte do resíduo ou todo ele ser passante na peneira de 2mm, determina-se também limite de liquidez (LL), o limite de plasticidade (LP) e a umidade da amostra baseados respectivamente nas normas NBR 6459 (ABNT,2017), NBR 7180 (ABNT,2016) e NBR 16097 (ABNT,2012).

Para determinação do potencial poluidor dos tijolos de solo-cimento-lodo com até 10% de lodo incorporado realiza-se o estudo da microestrutura, através de ensaios de lixiviação e solubilização dos metais de acordo com as normas NBR 10.005 (ABNT, 2004) que trata dos requisitos exigíveis para a obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, visando diferenciar os resíduos classificados pela NBR 10004 (ABNT, 2004) como classe I (perigosos) e classe II (não-perigosos) e NBR 10.006 (ABNT, 2004) onde obtém-se requisitos exigíveis para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, visando diferenciar os resíduos classificados na NBR 10004 (ABNT, 2004) como classe II A (não-inertes) e classe II B (inertes).

### **1.1.4 Referencial normativo**

Para que o tijolo de solo-cimento fabricado seja considerado próprio para uso (sem função estrutural), ele deve atender aos requisitos presentes nas normas: NBR 8491 (ABNT, 2012) e NBR 10836 (ABNT, 2013). Assim a amostra ensaiada deve apresentar valores de resistência a compressão maior que 1,7 MPa (17 kgf/cm<sup>2</sup>) para valores individuais e 2,0 Mpa (20 kgf/cm<sup>2</sup>) para valores médios, com idade mínima de sete dias. Os valores de absorção de água devem estar abaixo de 22% para valores isolados e de 20% de absorção para valores médios, também com idade mínima de sete dias.

Para execução de alvenaria, os tijolos devem ter no mínimo 14 dias de idade.

Para incorporação de resíduos em materiais de construção deve-se consultar a norma NBR 10004 (ABNT, 2004), que traz a classificação dos resíduos sólidos quanto ao risco potencial ao meio ambiente e à saúde pública e gerenciamento adequado.

## **2. PROCEDIMENTO METODOLOGICO**

O presente trabalho trata-se de uma revisão bibliográfica e consiste em uma busca e avaliação de pesquisas publicadas em artigos, monografias, teses dissertações e afins, abordando tecnologias de reaproveitamento do lodo de ETA na elaboração de tijolos de solo-cimento.

Primeiramente definiu-se as palavras-chaves a serem utilizadas individualmente no Portal de Periódicos da CAPES e no Google Acadêmico, sendo estas: Lodo de ETA, Reaproveitamento e Tijolo solo-cimento. Em seguida, utilizou-se a junção das palavras nos portais de busca, refinando a pesquisa para trabalho após o ano de 2008, a fim de obter textos que já considerassem as atuais tecnologias existentes e formas de ensaio.

Após a seleção prévia, seguido a metodologia descrita acima, foi realizada uma leitura dos resumos para definir a lista final dos trabalhos que foram utilizados na presente revisão bibliográfica. A seleção final pautou-se a estudos que envolvessem a incorporação de resíduos de lodo de ETA, além da mistura com outros resíduos, na fabricação de tijolo solo-cimento. Além disso, levou-se em consideração estudos em diferentes regiões do país, para avaliar as particularidades e tipos de lodo e solo, de forma a obter uma análise mais representativa e aplicável da incorporação deste resíduo na manufatura de tijolos ecológicos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo a metodologia de busca descrita anteriormente, o número de trabalhos encontrados no Portal Periódicos CAPES, para cada palavra-chave proposta foi:

- Lodo de ETA – 134 trabalhos científicos;
- Reaproveitamento – 796 trabalhos científicos;
- Tijolo-Solo-Cimento – 34 trabalhos;

Utilizando o portal Google Acadêmico foram encontrados para cada palavra-chave:

- Lodo de ETA – 19.800 trabalhos científicos;
- Reaproveitamento – 62.700 trabalhos científicos;
- Tijolo Solo-Cimento – 2.810 trabalhos;

Utilizando as três palavras-chave simultaneamente foram encontrados 448 trabalhos científicos. Após a metodologia descrita anteriormente para a seleção final dos trabalhos, chegou-se em 8 (oito) trabalhos que lidam diretamente com a adição do resíduo de ETA nos tijolos e 5 (cinco) trabalhos que abordam uma visão complementar da influência do lodo em tijolos.

Os trabalhos selecionados são de diferentes regiões do país: sudeste (trabalhos desenvolvidos no Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais), sul (trabalhos desenvolvidos no Paraná), nordeste (trabalhos desenvolvidos na Paraíba) e norte (trabalhos desenvolvidos no Tocantins).

#### 3.1 Resíduos de estação de tratamento de água na produção de tijolos ecológicos: Inovação e gestão industrial sustentável (CORDEIRO, 2018)

Segundo Cordeiro (2018), o lodo para este estudo foi retirado da ETA que atende o Polo de Inovação do Instituto Federal Fluminense, situada à margem direita do Rio Paraíba do Sul, no município de Campos dos Goytacazes-RJ, posicionada nas coordenadas geográficas de latitude de 21°44'22.0" Sul e longitude de 41°12'26.2" Oeste, na BR 356, Km 158, norte estado do Rio de Janeiro. Neste trabalho foi utilizado o cimento Portland tipo CP III- 40RS para fabricação dos tijolos, por apresentar resistência aos meios agressivos sulfatados como os presentes no lodo inserido na mistura.

O autor escolheu a formulação de 1:10 para a relação cimento-solo, aplicando a variação de lodo de estação de tratamento de água (LETA) na porcentagem de solo (2,5%; 5% e 7,5%)

e mantendo fixo os valores de cimento em 300g. O autor realizou ensaios comparativos de absorção de água e ensaios de resistência à compressão simples para avaliar a possibilidade de uso dos tijolos em obras civis, e as principais considerações foram:

- Traços com porcentagem acima de 7,5 % não obtiveram consistência mínima para formação do bloco na prensa manual. Estimou-se a quantidade de lodo seco da ETA do Polo de Inovação, a quantidade encontrada de 533 gramas em 30 dias aparentou ser baixa para fins de produção, mas suficiente a necessidade de produção de tijolos experimentais.
- Para o ensaio de absorção de água, o autor constatou que quanto mais lodo é colocado na massa, mais água o tijolo retém, características de blocos porosos. Foram confeccionados tijolos com os percentuais 2,5; 5 e 7,5 de lodo, sendo os contendo 7,5% em massa de LETA reprovados conforme especificado pela NBR10836 (ABNT, 2013).
- No ensaio de compressão simples, todos os tijolos foram reprovados, e foi possível observar que a pressão de ruptura diminui a medida de se aumenta o percentual de LETA.

Cordeiro (2018) conclui em seu trabalho que a produção de tijolos ecológicos com o solo de IFFluminense do Campus Macaé e adição de LETA, não atenderam todos os critérios da NBR 10836 (ABNT, 2013), não sendo, portanto, uma produção viável, deixando de sugestão a troca do solo utilizado e mudança no traço de experimentação.

### **3.2 Avaliação da viabilidade de utilizar lodo de ETA na produção de tijolo solo-cimento como meio de destinação final (FONTANIVE; OLIVEIRA e PAULA, 2008)**

Utilizando o resíduo da ETA de Carapina – Vitória (ES), Fontanive, Oliveira e Paula (2008) buscaram uma destinação mais sustentável e funcional para lodo gerado na estação de tratamento. Foram realizados ensaios de granulometria do solo e do lodo individualmente e também misturados, nos quais os autores obtiveram, para os dois materiais, características silto e arenoso, propondo-se assim a fabricação de tijolos com essa mistura.

Neste estudo os tijolos de solo-cimento com adição de lodo de ETA não foram satisfatórios em nenhum traço, uma vez que não se alcançou uma liga apropriada, o que proporcionou tijolos quebradiços e sem condições de se sustentar em teste de resistência à compressão e absorção de água.

As hipóteses apontadas pelos autores foram:

1. Alta porcentagem de silte encontrada no lodo, que é um material fino é pouco permeável, proporcionando o armazenamento de água durante o processo de produção, mas liberação durante o processo de cura, o que pode ter tornado o tijolo “desidratado”, facilmente quebradiço e fragmentado. Além disso, solo siltoso é susceptível à erosão, além de ter pouca coesão, pois não se agrega como as partículas de argila.
2. Presença das micropartículas orgânicas existentes no lodo, podem ser responsáveis por reações com o cimento que impedem a consolidação do tijolo. Porém devido à falta da caracterização do lodo não se pôde provar tal hipótese.

### **3.3 Gestão de resíduo e tecnologia ambiental na fabricação de tijolos solo-cimento (SAMSON,2016)**

Samson (2016) elaborou uma pesquisa onde caracterizou e posteriormente utilizou o lodo de ETA da estação de Gramame em João Pessoa/PB na confecção de tijolos solo-cimento. Seu estudo foi dividido em três capítulos, sendo:

- Capítulo I: Caracterização do lodo de ETA com análises de Fluorescência de Raio-X (FRX), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Sólidos Totais, Fixos e Voláteis dos materiais utilizados.
- Capítulo II: Caracterização do lodo, do solo e da mistura (solo + lodo), a fim de se determinar a possibilidade de uso para elaboração de tijolos solo-cimento. Para tanto realizou ensaios de Granulometria e Limites de Consistência, para verificar a viabilidade de incorporação do resíduo nas proporções de 0%; 1%; 3%; 5%; 7% e 10%.
- Capítulo III: Análise da eficiência do lodo caracterizado na matriz de construção de tijolos solo-cimento, moldando-se 36 tijolos com as proporções estudadas no Capítulo II, avaliando a compressão simples aos sete e vinte e oito dias de cura, as proporções de solo-lodo e cimento foram de 10:1.

Os seguintes resultados foram alcançados nesse trabalho:

1. A composição química do resíduo e do solo foi muito semelhante. O resultado do ensaio de FRX mostrou pouca variação de óxidos em sua estrutura, predominando silte, alumínio e ferro.
2. Nas análises de DQO e DBO, úmidos e secos, a autora notou uma diminuição da matéria orgânica presente no lodo seco e ainda constatou que o resíduo desta ETA

apresenta grande concentração de Alumínio, que pode ser resultado do processo de floculação que utiliza do Sulfato de Alumínio.

3. Segundo a autora, a secagem do lodo ao ar livre que não elimina a matéria orgânica presente no resíduo e poderia ser a causa de possíveis dificuldades na cura e resistência dos tijolos confeccionados.
4. O solo e o lodo foram classificados como arenosos, e os valores do Índice de Plasticidade, para diferentes porcentagens propostas, ficaram abaixo do limite normativo. Logo o resíduo, o solo e a mistura (solo + lodo) atenderam os parâmetros determinados pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e foram considerados aptos para serem utilizados na manufatura de tijolos de solo-cimento.
5. Aos sete dias de cura, os tijolos com 1 e 3% de lodo, obtiveram valor mínimo de resistência individual (1,7Mpa), estipulado pela NBR 8491 (ABNT, 2012), para as demais proporções os valores ficaram inferiores e foram descartados. Já para o tijolo padrão (0%), ou seja, sem lodo, a resistência foi suficiente e o material poderia ser usado como material não estrutural.
6. Aos vinte e oito dias de cura, apenas o tijolo padrão (0%) e com 3% de lodo, atingiram o mínimo de resistência exigido, demonstrando que a introdução do lodo de ETA prejudica e reduz consideravelmente a resistência de tijolos solo-cimento não sendo então viável a sua utilização nessa prática para os dados analisados.

Analisando este estudo nota-se novamente o problema da resistência à compressão do tijolo, após período de cura, corroborando com os estudos anteriores. Como exposto pela autora, a concentração de matéria orgânica provoca uma maior absorção de água do que o sem lodo, o que reduz sua resistência.

### **3.4 Incorporação de resíduo de estação de tratamento de água de Campos dos Goytacazes em corpos cimentícios para uso em tijolo solo-cimento (PESSIN, 2012)**

Pessin (2012) utilizou o lodo retirado da empresa Águas do Paraíba, da estação de tratamento do município de Campos dos Goytacazes-RJ. O lodo, o solo arenoso e cimento Portland CP III-40RS foram caracterizados quanto a difração de raios-X, composição química, análise térmica, análise granulométrica, análise morfológica e plasticidade. Foram produzidos tijolos com quatro misturas, sendo as proporções de lodo em substituição ao solo de: 0; 1,25; 2,50 e 5,00%. Os tijolos foram confeccionados utilizando uma prensa hidráulica e mantidos em

uma câmara úmida para cura por vinte e oito dias. Os tijolos foram então caracterizados em relação à absorção de água, massa específica bulk e resistência à compressão simples.

Os seguintes resultados foram alcançados nesse trabalho:

1. O lodo estudado era composto basicamente de caulinita associado com sílica, gibsitita e goetitita, algo comum para os resíduos de ETA nesta região, enquanto o solo arenoso é formado basicamente de quartzo e caulinita sendo então em termos físicos totalmente distintos. Este resultado contraria o encontrado por Samson (2016), cujo solo e lodo apresentaram características similares.
2. Na análise granulométrica o resíduo apresentou-se como silte-argiloso enquanto o solo como areno-siltoso, e no ensaio do Índice de Plasticidade o resíduo apresentou valor consideravelmente alto (25,4%) sendo aconselhável seu uso em pequenas quantidades na mistura de preparação dos tijolos. Em relação aos riscos ambientais, o resíduo de ETA estudado não apresenta periculosidade, podendo ser classificado como um resíduo de Classe II (Não perigoso), conforme a NBR 10004 (ABNT, 2004).
3. Na análise microestrutural notou-se que a presença do lodo reduziu a pasta de cimento formada na mistura, uma vez que o lodo absorve a água, prejudicando a hidratação do cimento. Essa característica também pode ter levado a formação de poros na mistura prejudicando a resistência da mesma significativamente. Tal fato também foi observado por Samson (2016) e Fontanive; Oliveira e Paula, (2008).
4. Em relação às propriedades dos corpos curados, o autor observou que a massa específica bulk dos tijolos com mistura, foi ligeiramente menos densa que as peças de referência. Para resistência a compressão, todos os corpos foram aceitos pelo limite normativo individual (1,7MPa) e médio (2,0MPa) sendo a proporção de 1,25% de lodo o mais resistente, sendo notável a queda na resistência em função do aumento da porcentagem de resíduo na mistura. Por fim a presença de lodo fez a absorção de água ser totalmente alterada, sendo que as misturas a partir de 2,5% de lodo já não atendiam aos limites normativos, vedando então seu uso a porcentagens inferiores a 1,25%.

Os resultados experimentais indicaram que para as condições estudadas, foi constatado que é possível incorporar até 1,25 % em peso de resíduo de ETA em corpos cimentícios para uso em tijolo solo-cimento.

Em outro trabalho publicado pela autora (RODRIGUES e HOLANDA, 2013), os autores concluíram que após 5% de incorporação do resíduo já se observava a redução da resistência a compressão e aumento da absorção de água, confirmando como o resíduo de ETA causa modificações notáveis nas propriedades tecnológicas da matriz cimentícia padrão.

### **3.5 Incorporação de lodo de estações de tratamento de água (ETAs) em tijolos de solo-cimento como forma de minimização de impactos ambientais (SILVA, 2009)**

Silva (2009) utilizou o resíduo da estação de tratamento de água (ETA) de Carapina, situada em Vitória - ES, que atende à demanda do norte de Vitória, Serra e litoral de Fundão, para fabricação de tijolos ecológicos. Nesse trabalho foi realizada a caracterização das propriedades físico-químicas do solo e do lodo coletado na ETA, utilizados na fabricação dos tijolos de solo-cimento-lodo. Além disso, foram determinados também as propriedades físico-químicas dos tijolos de solo-cimento-lodo, fabricados em prensa manual incorporando à massa dos tijolos os teores de 3%, 5%, 8% e 10% de lodo da ETA. O autor também avaliou a absorção de água e a resistência à compressão dos tijolos para os diferentes teores de lodo.

Os seguintes resultados foram alcançados nesse trabalho:

1. O lodo estudado era composto predominantemente de materiais finos como areia média e fina, silte e argila. O solo também se apresenta como um material de textura média e fina, com predominância de areia média e fina, silte e argila.
2. O lodo apresentou Limite de Liquidez (LL) de 57%, valor acima do normatizado para tijolos (45%), sendo então inviável seu uso sem uma correção granulométrica.
3. Na análise química de difração de raios-x o lodo foi constatado que o lodo formado basicamente de quartzo e de argilomineral do grupo da montmorilonita, o que novamente indica sua inviabilidade como matéria prima para tijolos ecológicos. No mesmo ensaio o solo apresentou predominância do argilomineral do grupo da caulinita, o que também o torna descartável quanto ao uso em tijolos.

Logo, tanto o solo quanto o lodo apresentavam características desfavoráveis a fabricação de tijolos, o que levou o autor a optar pela introdução de uma areia grossa para se evitar porosidades muito acentuadas, promovendo assim uma correção granulométrica do solo.

Para isso, foram adicionados 40%, em massa, de areia grossa na mistura de solo-cimento-lodo para diminuir a porosidade do compósito, e em consequência, diminuir a absorção de água e aumentar a resistência à compressão do tijolo.

4. Os resultados dos ensaios de lixiviação e solubilização ficaram abaixo do limite exigido pela norma NBR 10.004 (ABNT, 2004). Dessa forma, é possível classificar o material como resíduo Classe II-B inerte, podendo ser empregado para fins construtivos sem nenhum impacto negativo ao meio ambiente, o que corrobora com o descrito por Pessin (2012).
5. Os ensaios de absorção de água e de resistência à compressão dos tijolos foram realizados aos 7, 14 e 28 dias de cura foram realizados com quatro tijolos para cada período e para cada lote (3%, 5%, 8% e 10%). Analisando-se todos os resultados, o autor recomendou, para um período de 28 dias de cura, a incorporação de até 5% de lodo na fabricação de tijolos solo-cimento. Conforme abordado por Samson (2016), quando o solo e lodo apresentam características similares, há benefícios a mistura e possibilidade de estabilização mesmo com limites de incorporação ainda baixos.

### **3.6 Avaliação da incorporação do lodo da ETA UFV na manufatura de tijolos de solo-cimento (CABRAL, 2013)**

Cabral (2013) estudou a possibilidade de incorporação de lodo da ETA na manufatura de tijolos de solo-cimento, com o delineamento experimental de misturas (solo-lodo). Foram avaliados vários traços de composições solo-cimento-lodo, sendo o solo, com características arenosas, proveniente da jazida Nô Silva, na microrregião de Viçosa-MG; lodo utilizado proveniente do decantador da ETA da Universidade Federal de Viçosa (UFV) adicionado a mistura na porcentagem máxima de 15%, e cimento utilizado foi Portland tipo CP III-40-RS resistente a sulfatos presentes devido aos ativos inseridos no processo de coagulação que forma o lodo. Foi utilizado traço de 1:14 que traz 7% de cimento a mistura. O lodo foi caracterizado de forma física (granulometria e limites de Atterberg, dentre outras), mineralógica (difração de raios-X), química (análise de raios-X por dispersão de energia – EDS) e morfológica (microscopia eletrônica de varredura – MEV).

Após a fabricação dos tijolos e ensaios de resistência e absorção de água, Cabral (2013) obteve, dentre outros, os seguintes resultados:

1. O lodo estudado era composto por partículas de tamanho reduzido, com diâmetro médio (D50) de 0,03 mm, enquanto o solo era formado por partículas maiores, com diâmetro médio próximo de 0,3 mm, sendo então classificados texturalmente como franco siltoso e franco arenoso, respectivamente.
2. A composição granulométrica encontrada para o lodo (65% de finos) sugere gastos elevados de cimento para estabilização, sendo composto, principalmente pelos minerais caulinita, quartzo, gibsita e goetita.
3. A variação da umidade de prensagem da massa não causou variação na resposta de resistência à compressão. A umidade da massa, ficou no intervalo de  $\pm 4\%$  da umidade ótima do traço, o que não interfere na resistência mecânica dos tijolos de solo-cimento fabricados.
4. A incorporação de lodo piorou a resistência mecânica dos tijolos de solo-cimento, sendo que oito das treze misturas avaliadas atenderam ao limite inferior individual (1,7 MPa) da norma NBR 8491 (ABNT, 2012). A massa específica aparente dos tijolos também decresceu com o incremento de lodo na mistura. Assim, o autor conclui que traços com maior porcentagem de lodo, tendem a consumir proporcionalmente mais cimento para obter incremento de resistência mecânica, comparado ao tijolo solo-cimento convencional, ou seja, sem o resíduo.

Os resultados alcançados por Cabral (2013) atestam que o lodo estudado não atua como um estabilizante ou ligante, logo não pode substituir o cimento, tendo função apenas de enchimento, assim como o solo. Além disso, por interferir nas reações do cimento, para produção de tijolos de solo-cimento com incorporação de lodo o autor recomenda aumentar o teor de cimento na mistura, como ocorre na estabilização de solos argilosos e já atestado pelos autores apresentados anteriores.

Cabral (2013) indica ainda, para fabricação em campo, o uso de um traço mais conservador: 18% de cimento, 6% de lodo e 76% de solo, que corresponde ao traço 1:0,3:5. Quando comparado ao traço convencional de solo-cimento (1:10), a relação solo e cimento do tijolo com adição de lodo, corresponde à metade da proporção de traço convencional.

Observa-se com o trabalho de Cabral (2013), uma proposta de traço que não segue o padrão tradicional para tijolos solo-cimento, sendo os resultados comparativamente muito semelhantes aos encontrados por Sansom (2016) e Pessin (2012).

### **3.7 Caracterização dos resíduos da estação de tratamento de água da UFLA e aproveitamento na confecção de tijolos de solo-cimento (RODRIGUES, 2015)**

Rodrigues (2015), estudou a utilização do resíduo gerado pela ETA localizada no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA)-MG. O objetivo foi quantificar os resíduos gerados no tratamento e confeccionar tijolos de solo-cimento com diferentes porcentagens, em massa, do lodo desidratado incorporado em sua mistura. As amostras de resíduos foram coletadas, adensadas por gravidade e desidratadas em leito de secagem. Diferentes frações mássicas (0%, 3%, 5%, 8% e 10%) foram inseridas na matriz de tijolos de solo-cimento perfazendo os tratamentos T0, T1, T2, T3 e T4. Os tijolos foram ensaiados, no 14º e 28º dia de cura, quanto à absorção de água e à resistência à compressão, seguindo as normas técnicas brasileiras. O solo utilizado foi coletado no próprio campus da universidade sendo que todo o material utilizado passou na peneira de 2mm, e depois de caracterizado apresentou um teor de areia de 20%. Assim, o autor também relatou a necessidade de se fazer uma correção para 60% de areia para atender os valores recomendados (entre 50 e 70%) para produção de tijolos solo-cimento. O cimento utilizado foi do tipo Portland- CP II-E-32.

Rodrigues (2015), alcançou os seguintes resultados:

1. O Limite de Liquidez (LL) do resíduo (70,8%) foi bastante superior ao recomendado da norma (45%), indicando que apenas o resíduo não deve ser utilizado para confecção dos tijolos. Já os limites de liquidez dos demais tratamentos ficaram menores que 45% (entre 34,2 e 37,2), atendendo à normativa, corroborando o encontrado por Silva (2009) e Cabral (2013), o que demonstra similaridades dos resíduos situados na região sudeste do país.
2. Os resultados dos Índices de Plasticidade (IP) de todos os tratamentos utilizados na confecção dos tijolos se enquadram na normativa (IP < 18%). O resultado do IP do resíduo (21,8%) não se enquadrou na normativa, mais uma vez indicando que apenas o resíduo não deve ser utilizado na confecção dos tijolos solo-cimento, sendo necessário ser incorporado a um material mais granular.
3. Como resultado do ensaio de compactação, antes da fabricação dos tijolos, o autor encontrou uma massa específica seca máxima de 1.708kg/m<sup>3</sup> e umidade ótima de 18% para produção dos tijolos.
4. O autor observou que a adição de resíduo da ETA na mistura de solo-cimento proporcionou aumento na absorção de água, e que apenas os tratamentos T1 e T2, após 28 dias de cura, apresentaram-se dentro do estabelecido pela NBR

8491(ABNT, 2012), ou seja, menor ou igual a 20%. Ressalta-se, conforme já observado em outros trabalhos, que os tratamentos T1 e T2, com 3 e 5% de resíduos da ETA, respectivamente, apresentaram os melhores resultados, comprovando que o uso acima de 5% desses resíduos de ETA influencia na estrutura física dos tijolos de solo-cimento, mas ainda podem ser utilizados.

5. Foi observado nesse trabalho um aumento médio de 27% na resistência à compressão dos tijolos em todos os tratamentos entre o 14º dia e o 28º dia após a confecção dos tijolos. Porém, nenhuma proporção atendeu em sua média o valor de 2 MPa exigido pela NBR 8491(ABNT, 2012). Segundo o autor, quanto maior a proporção de lodo inserida na mistura, menos resistente a mesma se torna, implicando no aumento de cimento na mistura, algo já relatado em demais estudos apresentados. Uma hipótese para a baixa resistência foi o uso de uma prensa manual para a produção dos tijolos, prejudicando a homogeneização dos tijolos prensados, uma vez que nem mesmo o tijolo padrão (sem uso de lodo) teve resistência mínima alcançada.

O trabalho foi inconclusivo quanto o uso do resíduo de ETA como material para confecção de tijolos, uma vez que o mesmo T0 não atingiu a resistência à compressão mínima exigida pela normativa, indicando que outros fatores externos também interferiram nas propriedades físicas e mecânicas dos tijolos. Todavia, tendo como base os resultados apresentados, observa-se semelhança aos encontrados pelos demais autores citados no presente trabalho, em especial ao de Cordeiro (2018), cujos valores foram bem correspondentes e os resultados convergiram para a mesma rejeição ao uso do resíduo.

### **3.8 Estudo da aplicação para lodo de estação de tratamento de água na produção de tijolos ecológicos (AKAMATSU e ROSS, 2017)**

Akamatsu e Ross (2017) avaliaram a utilização do lodo produzido da ETA Alagados/Pitangui da SANEPAR em Ponta Grossa-PR, como matéria-prima para fabricação de tijolo ecológico. O solo utilizado na mistura foi coletado na região de Ponta Grossa-PR, tendo coloração avermelhada e aspecto argiloso. Devido à granulometria do solo, houve necessidade de uma correção granulométrica com a incorporação de um saibro proveniente de jazidas de granizo de Ponta Grossa, com coloração amarelada e partículas sensorialmente grossas. Por fim na mistura se utilizou do cimento Portland CP-II-F-32. Foram feitas quatro misturas em proporções distintas de lodo para análise (0,00; 1,25; 2,50 e 5,00%), e para a confecção dos

tijolos os autores utilizaram uma prensa manual. Os tijolos foram moldados e armazenados por sete dias para processo de cura. Após esse período, os tijolos foram ensaiados para análise de absorção de água e resistência à compressão simples.

Os seguintes resultados foram alcançados nesse trabalho:

1. Foram obtidos altos valores de absorção de água (médias de 18 a 20%), embora os tijolos fabricados atendessem a especificação da norma. O alto teor de absorção pode ser atribuído, segundo os autores, a utilização de areia (saibro) na fabricação dos tijolos e a presença de lodo que acabou aumentando a sua porosidade, comportamento também justificado por Silva (2009) a fim de tornar a mistura mais própria a construção de tijolos.
2. Quanto ao ensaio de Compressão Simples, o lote de tijolos de referência e os lotes com adição parcial do lodo a mistura apresentaram resistências muito abaixo da resistência normativa (média dos valores  $> 2$  MPa e os valores individuais não devem ser inferiores a 1,7 MPa), não podendo, portanto, ser considerados tijolos de solo cimento para construção. Os autores acreditam também que a porosidade dos tijolos foi a responsável pelo baixo desempenho, mas alegam que a utilização de uma prensa manual pode ter prejudicado, pois não há como medir e padronizar a compressão feita na mistura a cada tijolo produzido, sendo variante até mesmo nas partes do próprio tijolo (bordas, meios e arestas). Tal fato, leva a refletir sobre o uso de prensa manual para fabricação dos tijolos, uma vez que essa análise corrobora com o apontado por Rodrigues (2015), que também relata sobre a influência negativa e massiva do tipo de prensa no processo de produção.

### **3.9 Demais trabalhos relacionados**

A seguir são apresentados alguns trabalhos que apresentam estudos para fabricação de tijolos de solo-cimento, mas com adição de outro resíduo, além do lodo de ETA, ou análise diferenciada sobre o tema que se mostraram interessantes de serem discutidos no presente trabalho.

Como na análise sobre a manufatura de tijolos de solo-cimento com adição de lodo de ETA e resíduos de construção e demolição (RCD), Porras, Issac e Morita (2008), que fabricaram tijolos utilizando uma prensa manual e com umidade ótima pré-determinada, obtida pelo de ensaio de compactação (NBR 7182/2020). Os autores mostraram que a umidade do

lodo influenciou na qualidade dos tijolos, sendo possível sua confecção somente com umidade abaixo de 50% e que nenhum tijolo produzido nas condições estudadas atendeu simultaneamente aos requisitos das normas brasileiras de qualidade: dimensões, absorção de água e resistência à compressão.

Machado e Araújo (2014) também caracterizaram e determinaram a umidade ótima e massa específica seca da mistura para confecção de tijolos utilizando prensa manual. Os autores estudaram tijolos ecológicos com lodo de ETA e RCD, avaliando-os quanto resistência à compressão e absorção de água. Os tijolos obtiveram ótimos resultados em relação à absorção de água, em conformidade com a NBR10836 (ABNT, 2013), mas não atenderam a norma quanto a compressão evidenciando que a presença de lodo prejudica significativamente misturas para fabricação de tijolos de solo-cimento.

Pode-se observar, com esses estudos, que o RCD não supre as necessidades que surgem ao se adicionar lodo a mistura de tijolos ecológicos, e estudos futuros que visassem incorporar tais materiais deveriam ser feitos considerando quantidades baixas dos mesmos perto a de solo a fim de se alcançar algum resultado positivo.

Outro trabalho relacionado seria o de Neto (2018) que abordou o desenvolvimento de um bloco de alvenaria de solo-cimento realizado a partir da substituição de parte do solo por uma combinação de resíduos: vidros oriundos do descarte de garrafas não retornáveis de vidro e de vidraçarias, além de lodo proveniente da Estação de Tratamento de Água de Palmas/TO (ETA 06). Ainda, foram empregados na fabricação: cimento resistente a sulfato, solo arenoso e água. O autor avaliou a resistência mecânica e a absorção de água dos blocos de solo-cimento, estabelecendo uma combinação de lodo de ETA e vidro processado, que permitiu uma substituição de 41% em massa de solo por resíduos no bloco de alvenaria de solo cimento usando apenas 16% de cimento e uma proporção de 14% de lodo de ETA. A resistência mecânica alcançada foi de  $2,69 \pm 0,43$  e a absorção de água de  $10,33 \pm 5,03\%$ .

Segundo o autor, a proposta atende as especificações técnicas, utilizando a maior quantidade de resíduos e a menor quantidade de cimento possível por bloco, podendo ser utilizado como material de alvenaria de vedação em construções de forma em geral. Tal fato reforça que com uma quantidade superior de cimento e adição de outros materiais (vidros), que garantam o preenchimento dos vazios deixado pelo lodo, a incorporação desse resíduo de ETA se mostra mais eficiente do que quando utilizado de forma isolada na composição de tijolos solo-cimento, conforme observado nos diversos estudos anteriores, uma vez que sua

incorporação no trabalho de Neto (2018) chegou a 14%, algo impraticável segundo outros estudos.

Em um trabalho desenvolvido por Silva e Fungaro (2011), foi realizada a caracterização e utilização do lodo de ETA juntamente com cinzas de carvão na fabricação de tijolos de solo-cimento. Nenhum dos tijolos fabricados, em nenhuma porcentagem ou configuração, foi aprovado pelas normas brasileiras. Os autores explicam a baixa resistência devido a granulometria do lodo ser inadequada e o teor de cimento ter sido abaixo do necessário, uma vez que se manteve o uso do traço convencional como nos casos de Cordeiro (2018), Fontanive; Oliveira e Paula (2008), entre outros. Um fator importante a se levantar é que o resíduo de ETA e as cinzas apresentaram características semelhantes, sendo então ambas negativas aos tijolos. Em misturas de resíduos deve-se buscar a complementação de um pelo outro e nesse caso a correção dos vazios deixados pela presença do lodo pode explicar a baixa resistência alcançada, como ocorreu no trabalho de Neto (2018).

Em outro posicionamento, Santos e Campos (2018) utilizaram o resíduo de ETA (Estação de Tratamento de Água Vieira de Mello (ETA-VM)) na fabricação de blocos para uso na construção civil (cimento, areia, água e lodo no traço 1,0:3,7:0,85:0,28 respectivamente) e seus resultados comprovaram a adequação do lodo para este uso, evidenciando que a correção de cimento em misturas de lodo traz resultados positivos e promissores. Segundo os autores, essa proposta é uma saída econômica e ambientalmente adequada e que pode ser estendida para outras Estações de Tratamento de Água.

#### 4. CONCLUSÃO

Na maioria dos trabalhos fez-se uso de traços conservadores e singelos para que os tijolos se adequassem aos parâmetros normativos exigidos. Observou-se que a proporção de 10:1 de solo-cimento é a mais utilizada, mas não a que trouxe melhor resultando, ficando em inúmeros casos evidente a necessidade de uma quantidade mais significativa de cimento na mistura ao se adicionar o lodo, isso pelo fato que o lodo absorve parte da água na mistura (mas não atua como ligante como o cimento, apenas com volume como o solo), prejudicando a hidratação do cimento, reduzindo sua pasta e aumentando a porosidade da mistura, o que influencia massivamente na resistência à compressão dos corpos.

Em todos os estudos que este parâmetro foi analisado, os tijolos produzidos se enquadraram como possível resíduo Classe II-B inerte, sendo então esse material seguro e sem restrições para uso em obras civis.

A fim de se criar um valor universal e replicável em qualquer situação, apoiado nos resultados das pesquisas apresentadas, o traço adequado da mistura seria de 1:0,3:5 (18% de cimento, 6% de lodo e 76% de solo), considerando uma fabricação dos tijolos para atender os limites normativos. O tipo de cimento indicado é o CP III-40-RS, por apresentar melhores qualidades frente a presença dos ativos químicos do lodo.

Nos ensaios de compressão simples, foi possível observar que a resistência diminui à medida que se aumenta o percentual de lodo na mistura, uma vez que o tijolo com altas porcentagens de lodo se torna mais poroso e quebradiço, sendo está, na maioria dos estudos a causa para rejeição do lodo para essa finalidade.

Devido ao aumento de vazios no elemento final, observou-se que os valores de absorção de água aumentaram proporcionalmente ao acréscimo de lodo na mistura, todavia de maneira geral se mantendo dentro dos limites normativos para o traço convencional de solo-cimento e uma adição inferior ou igual a 5% de lodo, recomendando-se a adição de areia grossa em sentido a corrigir a granulometria da mistura e melhor enquadrar a fabricação de tijolos.

Em suma, para o tijolo convencional de solo-cimento (10:1), recomenda-se a incorporação de 1,25% de lodo na mistura, a fim de se garantir a resistência normativa e seu uso na construção civil.

Um fator negativo a se destacar foi o uso da prensa manual, que se apresentou como fator na redução da qualidade dos tijolos produzidos com essa ferramenta, sendo até mais significativa do que a própria presença do lodo em alguns trabalhos. Logo, verifica-se a necessidade de maiores investimentos em equipamentos (prensa hidráulica mecanizada) e na fase de produção, locais corretos para alocação e cura dos tijolos. Ressalta-se também a

importância das condições dos materiais a serem utilizados na mistura, pois conforme observado nos trabalhos, estes implicam diretamente na qualidade dos tijolos produzidos. Diante dessas recomendações, reforça-se a discussão do uso de lodo na fabricação de tijolos ecológicos, que por definição deveriam ser materiais de construção de baixo custo.

Com base em tudo que foi exposto no presente trabalho, conclui-se que não há mais a necessidade de novos estudos abrangendo apenas o uso de lodo de ETA na manufatura de tijolos de solos cimento, mesmo que o resultado de alguns trabalhos analisados tenham sido positivos e de outros negativos, a margem de trabalho para os quais alcançaram o êxito foi muito pequena (incorporação de pouco mais de 6% para o resultado mais animador) ficando então que a destinação para produção de tijolos é uma saída real e possível mas limitada e que deve ser feita com mais cuidado (uso de prensa mecanizada) do que ocorre na produção de tijolos de solo cimento tradicionais, sendo possível expandir o resultado do traço universal (1:0,3:5) para todos os casos onde se queira dar esse tipo de destinação ao resíduo.

Como sugestão a trabalhos futuros, recomenda-se a incorporação de outros resíduos a mistura de solo-cimento-lodo que não tenham origens ou matéria orgânica em sua composição, que não apresentem granulometria fina, tendo então esses resíduos a função de corrigir a granulometria da mistura (solo-lodo), como por exemplo a areia grossa e fibra de vidro, apontados em alguns estudos.

## REFERÊNCIAS

ACHON, Cali Laguna; CORDEIRO, João Sergio. **Destinação e disposição final de lodo gerado em ETA - LEI 12.305/2010**. In: **XIX Exposição de Experiências Municipais em Saneamento**, 24 a 29 de maio de 2015, Poços de Caldas-MG.

AKAMATSU, Claudio; ROSS, Natiéli Cristina Mendes. **ESTUDO DA APLICAÇÃO PARA LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA PRODUÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS**. 2017. 55p. Trabalho de Conclusão de Curso do Departamento Acadêmico de Engenharia Química-Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa-PR.

ANDREOLI, C. V. (coord). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RIMA, ABES, 2001. (Projeto PROSAB).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro-RJ, 2004. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólido. Rio de Janeiro-RJ, 2004. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro-RJ, 2004. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10836**: Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio. Rio de Janeiro-RJ, 2013. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16097**: Solo — Determinação do teor de umidade — Métodos expeditos de ensaio. Rio de Janeiro-RJ, 2012. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6457**: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro-RJ, 2016. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 6459**: Esta versão corrigida da ABNT NBR 6459:2016 incorpora a Errata 1, de 24.04.2017. Confirmada em 10.08.2020. Rio de Janeiro-RJ, 2017. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 7180**: Solo — Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro-RJ, 2016. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 7181**: Esta Errata 2 de 28.05.2018 corrige à ABNT NBR 7181:2016. Rio de Janeiro-RJ, 2018. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7182: Esta versão corrigida da ABNT NBR 7182:2016 incorpora a Errata 1, de 22.01.2020. Confirmada em 10.08.2020. Rio de Janeiro-RJ, 2020. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1+

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 8491**: Tijolo de solo-cimento – Requisitos. Rio de Janeiro-RJ, 2012. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

BERALDO, Antonio Ludovico (Coord.); FREIRE, Wesley Jorge. Tecnologia e materiais alternativos de construção. Campinas, SP: UNICAMP, 2003. p. 331.

CABRAL, Vivian Ane Lopes. **AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DO LODO DA ETA UFV NA MANUFATURA DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO**. 2013. 175p. Dissertação do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

CASTRO, Aline Antônia; SAMUEL, Andressa Quimquim; KEPP, Gabriel Braun; SANTOS, Juliana Freitas; JACOBSEN, Karina Raasch; GRONER, Luana Launett. **A construção civil e seus impactos ambientais**: uma análise sobre a possibilidade do uso de tijolos ecológicos para a redução da produção de resíduos. 2016. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo. Coordenadoria do Curso Técnico em Edificações. Campus Nova Venécia. Nova Venécia – ES. Brasil.

CHAGAS, Marcela Aleixo; GONÇALVES, Gabrielle Cristina; LUCAS, Taiza de Pinho Barroso; MAGESTE, Jalson Luiz; MORAIS, Paola Waleska Pereira; MOTTA, Jessica Campos Soares Silva; ROCHA, Glayce Nayara; TAVARES, Joicimara da Costa.

Chávez, Álvaro, Lima Isaac, Ricardo de, Morita, Dione **INCORPORAÇÃO DO LODO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA E AGREGADO RECICLADO DE RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM ELEMENTOS DE ALVENARIA - TIJOLOS ESTABILIZADOS COM CIMENTO**. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. 2008, 18(2), [fecha de Consulta 15 de Enero de 2021]. ISSN: 0124-8170. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91100201>

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

CORDEIRO, Rafael da Silva. **RESÍDUOS DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA PRODUÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS: INOVAÇÃO E GESTÃO INDUSTRIAL SUSTENTÁVEL**. 2018. 54p. Dissertação do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental-Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Macaé-RJ.

DI BERNARDO, L.; SCALIZE, P. S.; SOUZA FILHO, A. G. Água de lavagem de filtros rápidos. In: REALI, M. A. P. (coordenador). *Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água*. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 143-167 (Projeto PROSAB).

FONTANIVE, Andréa R.; OLIVEIRA, Mariângela D.; PAULA, Reginaldo R.C. **AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE UTILIZAR LODO DE ETA NA PRODUÇÃO DE TIJOLO SOLO-CIMENTO COMO MEIO DE DESTINAÇÃO FINAL**, Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo, p. 122-123, 2008.

LOPES, Raynner Cursino de Oliveira; TIMBÓ, Leonardo Araújo Parente. *Análise comparativa entre alvenaria estrutural e alvenaria convencional*. Brasília, DF, 2014. Disponível em: < [goo.gl/csZtv4](http://goo.gl/csZtv4) >. Acesso em: 15 de dezembro de 2020.

MACHADO, Amanda Ozório; ARAUJO, Joice Andrade. **Avaliação de Tijolos Ecológicos Compostos por Lodo de Eta e Resíduos da Construção Civil**. In: *XI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia*, 2014, 13p.

MARINOSKI, Deivis. Alvenarias: conceitos, alvenaria de vedação, processo executivo. Florianópolis, SC, 2011. Disponível em: < [goo.gl/fhbxTC](http://goo.gl/fhbxTC) >. Acesso em: 15 de dezembro de 2020.

NETO, Trajano Machado Gontijo. **ALVENARIA ECO EFICIENTE: ESTUDO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE BLOCOS DE ALVENARIA COM RESÍDUOS INORGÂNICOS EM SUA CONSTITUIÇÃO**. 2018. 81p. Trabalho de conclusão de curso do Curso Superior de Engenheiro Civil-Instituto Federal do Tocantins, Campus Palmas-TO.

PESSIN, Lara Rodrigues. **INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE CAMPOS DOS GOYTACAZES EM CORPOS CIMENTÍCIOS PARA USO EM TIJOLO SOLO-CIMENTO**. 2012. 108p. Dissertação de Mestrado do Centro de Ciência e Tecnologia-Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes-RJ.

RODRIGUES, Fernando Neris. **CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DA UFLA E APROVEITAMENTO NA CONFECÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO**. 2015. 118p. Dissertação do Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos-Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG.

RODRIGUES, L. P.; HOLANDA, J.N.F. Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, p. 551 a 556, 2013.

ROSA, Gustavo. **ESTUDO COMPARATIVO DE CUSTOS, ENTRE O TIJOLO DE SOLO-CIMENTO, TIJOLO DE SOLO-CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA E O TIJOLO CERÂMICO**. 2020. 58p. Trabalho de Conclusão de Curso-Engenharia Civil, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2020.

SAMSON, Bárbara Pereira. **Gestão de resíduo e tecnologia ambiental na fabricação de tijolos solo-cimento**. 2016. 82p. Dissertação do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente-Universidade Federal da Paraíba-UFPB, João Pessoa-PB.

SANTOS, S. S. A.; CAMPOS, V. P. Utilização de Resíduo Sólido de Estação de Tratamento de Água (lodo), como Matéria Prima para Confecção de Elementos da Construção Civil. **RVq – Revista Virtual de Química**, 15p. Data de publicação na Web: 17 de abril de 2018.

SILVA, M. V.; FUNGARO, D. A. **Caracterização de Lodo de Estação de Tratamento de Água e Cinzas de Carvão Visando sua Utilização na Manufatura de Tijolo.** *In: 3rd International Workshop Advances in Cleaner Production*, 2011, São Paulo-SP, 10p.

SILVA, Manuel Rodrigues. **INCORPORAÇÃO DE LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETAs) EM TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COMO FORMA DE MINIMIZAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS.** 2009. 98p. Dissertação do Programa de Mestrado Profissional em Tecnologia Ambiental-Faculdade de Aracruz, Aracruz-ES.

SOUSA, Suzana Simões; BORGES, Camila Brandão Nogueira; SILVEIRA, Éder Baroni. **COMPARAÇÃO DA VIABILIDADE TECNOLÓGICA DO TIJOLO ECOLÓGICO EM RELAÇÃO AO BLOCO DE CONCRETO.** *Revista Científica UMC.* Edição Especial PIBIC, outubro 2019.

SOUZA, Laurilan Gonçalves. **Análise comparativa do custo de uma casa unifamiliar nos sistemas construtivos de alvenaria, madeira de lei e Wood Frame.** Florianópolis, SC, 2012. Disponível em: < [goo.gl/rAzkXb](http://goo.gl/rAzkXb) >. Acesso em: 15 de dezembro de 2020.