

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA SUSTENTÁVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL: TIJOLO DE SOLO-CIMENTO COM REAPROVEITAMENTO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Thainara Vitoria de Oliveira Campos (IFSP) E-mail: thaa.vitoria4@gmail.com

Eduardo Soares dos Santos (IFSP) E-mail: eduardo.itape@hotmail.com

Eduardo José Ozi (IFSP) E-mail: ozzi@ifsp.edu.br

Adriana Marques (IFSP) E-mail: adrimarks@ifsp.edu.br

Resumo: Esse trabalho visou apresentar uma pesquisa empírica de produção de tijolos ecológicos a partir do uso de lodo de uma Estação de Tratamento de Água (ETA). O lodo é um resíduo encontrado nos decantadores das estações. Contém impurezas retidas no processo e que provêm da água de captação, seu descarte acontece em aterros sanitários ou corpos hídricos, diminuindo o tempo de vida útil dos primeiros e contaminação dos segundos. Assim, esta pesquisa buscou utilizar esse lodo para uma atividade que gere valor, contribuir na sustentabilidade e elaborar um produto com custo baixo para o mercado da construção. Na fabricação foi utilizada uma mistura de lodo e cimento, com diversos traços, para posteriormente testar características físicas do produto gerado. Em todo o processo foram seguidas as normas ABNT NBR 10833:2012 e a NBR 8491:2012 para garantir a qualidade do produto e as especificações do mercado. Os tijolos produzidos com o traço 1 tiveram uma tensão de 0,16 Mpa, com o traço 2 de 1,51 Mpa e com o traço 3 de 3,56 Mpa. Após as análises determinou-se que o traço adequado foi o 2 porque teve valores conforme especificado pelas ABNT e consumo de 4 partes de cimento e 2 de lodo.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Saneamento, Resíduos, Materiais alternativos, Custos.

SUSTAINABLE TECHNOLOGICAL INNOVATION IN CIVIL CONSTRUCTION: SOIL-CEMENT BRICK WITH REUSE OF SLUDGE FROM A WATER TREATMENT PLANT

Abstract: This work aimed to present an empirical research on the production of ecological bricks from the use of sludge from a Water Treatment Plant (ETA). Sludge is a residue found in station decanters. It contains impurities retained in the process and that come from the abstraction water, its disposal takes place in sanitary landfills or water bodies, reducing the useful life of the first and contamination of the second. Thus, this research sought to use this sludge for an activity that generates value, contributes to sustainability and develops a low-cost product for the construction market. In the manufacture, a mixture of sludge and cement was used, with several traits, to later test the physical characteristics of the generated product. Throughout the process, ABNT NBR 10833:2012 and NBR 8491:2012 standards were followed to ensure product quality and market specifications. The bricks produced with mix 1 had a tension of 0.16 Mpa, with mix 2 of 1.51 Mpa and with mix 3 of 3.56 Mpa. After the analysis, it was determined that the appropriate trait was 2 because it had values as specified by ABNT and consumption of 4 parts of cement and 2 of sludge.

Keywords: Sustainability, Sanitation, Waste, Alternative materials, Costs.

1. Introdução

A construção civil no Brasil cresce constantemente, embora existam altos e baixos, e dessa forma sempre há a necessidade de novos processos e materiais que tornem os processos mais eficientes, eficazes e baratos. A alvenaria é a parte mais robusta da construção e os tijolos ocupam lugar de destaque nesse processo. Para a produção de um tijolo é necessário saber o tipo de material que será utilizado na mistura e qual o custo

do processo. O tipo de tijolo determina a resistência e compactação que uma construção precisa (ANDRADE; SILVA; OLIVEIRA, 2014).

O tijolo ecológico é utilizado quando se visa uma obra de baixo custo, considera-se que os materiais empregados na sua produção não causam prejuízo ao meio ambiente porque não há retirada de solo e o processo de cura é por evaporação sem uso de combustível fóssil para a queima. Ele também pode ser misturado com outros componentes, como é o caso do lodo da Estação de Tratamento de Água – ETA (FIAIS; SOUZA, 2017).

O lodo de ETA é um material considerado rejeito do processo de tratamento de água, e aparentemente sem valor econômico, mas o que leva as pessoas a pensarem isso é a falta de conhecimento dos diversos usos que o mesmo pode ter. A disposição final do lodo ainda é cara para as estações de tratamento e constitui um problema ambiental, dado que é descartado nos aterros sanitários, lixões ou nos corpos hídricos.

Nesse contexto, a presente pesquisa visou utilizar o lodo de ETA para produção de tijolo ecológico, composto por lodo e cimento. Contribuindo com aspectos econômicos de mercado em relação à produção, na área de construção com novos materiais e na sustentabilidade ao evitar o descarte do lodo em aterros, diminuindo a vida útil dos mesmos.

2. Lodo em estações de tratamento e tijolo ecológico

Estações de Tratamento de Água – ETAs são espaços onde se transforma a água bruta captada em mananciais superficiais, geralmente com qualidade inadequada, em água para o consumo humano. O tratamento pode ser classificado em completo (coagulação, floculação, decantação e desinfecção), onde é utilizado coagulante sulfato de alumínio ou cloreto férrico (PAC); e o segundo é o abrandamento no qual se faz a remoção de dureza (RICHTER, 2009).

No Brasil o tratamento mais frequente inclui o uso de produtos químicos para a limpeza da água, há um mecanismo de varredura para remoção de cor e turbidez. Nele formam-se flocos para a retirada da turbidez e a água fica clara, contudo gera-se resíduo de lodo nos decantadores (RICHTER, 2001).

Para quantificar a turbidez da água existem várias fórmulas de acordo com o país de origem, a ideia das equações parte do mesmo princípio conceitual. No geral os sólidos que são gerados no tratamento da água possuem dois componentes: Primeiro, as frações de sólidos da água bruta, que são removidas no tratamento e quantificadas em sólidos de suspensão totais (SST). O segundo acontece com os produtos que são adicionados na água bruta para o tratamento, os quais podem ser adsorvidos (RICHTER, 2001).

Abaixo são apresentados três exemplos de como acontece a modificação da medição da turbidez:

a- American Water Work Association- AWWA (1978)

$$P = 3,5 \times 10^{-3} \times Tu^{0,66}$$

P- Produção de sólidos (kg de matéria seca/ m³ de água bruta tratada);

Tu- turbidez da água bruta (UT).

b- Water Research Centre- DILLON (1996)

$$P = (SS + 0,07 \times C + H + A) \times 10^{-3}$$

P- Produção de sólidos (kg de matéria seca/ m³ de água bruta tratada);

SS- Suspensão de sólidos em água bruta;

C- Cor da água bruta (UC);

H- Hidróxido de coagulante (mg/L);

A- Outros aditivos, como polímero (mg/L).

c- Association Francaise Pour L'Etude Des Eaux- AFEE (1983)

$$P = (1,2 \times Tu + 0,07 \times C + 0,17 \times D + A) \times 10^{-3}$$

P- Produção de sólidos (kg de matéria seca/ m³ de água bruta tratada);

Tu- turbidez da água bruta (UT),

C- Cor da água bruta (UC);

D- Dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)

A - Outros aditivos, como polímero (mg/L)

As características quantitativas e qualitativas de uma ETA são importantes porque permitem ter um diagnóstico do lodo gerado e a adequada gestão do mesmo. No qual interferem a qualidade da água de captação, os produtos utilizados para o tratamento dessa água e a forma de limpeza dos decantadores. A produção de uma grande quantidade de resíduos nas ETAs precisa de uma forma correta de disposição para atender a legislação ambiental (ANDRADE; SILVA; OLIVEIRA, 2014).

Para Pereira (2013), o tijolo é um material com o qual se pode construir qualquer tipo de casa independentemente do nível social. O tijolo ecológico é muito reconhecido por não degradar o meio ambiente, é sustentável e não tem agressão na sua fabricação. A produção dos tijolos ecológicos com baixo custo começou a ser conhecido no Brasil na década de 1970.

Para sua fabricação são utilizados cimento e água, não é necessário colocar ao forno. Sua vantagem é que pode ser fabricado e armazenado no próprio canteiro ou obra. A economia gerada com os tijolos ecológicos é de até 60% na construção (PEREIRA, 2013).

Além disso, se têm que a construção realizada possui 70% de sustentabilidade, ao invés de ser uma construção convencional. A distribuição de peso é de acordo com as colunas em furos e estruturas. Diminui a quantidade de madeiras a serem utilizadas em vigas e pilares. Economiza-se 70% de concreto e 50% de ferro e o acabamento é rápido (FIAIS; SOUZA, 2017).

3. Materiais e métodos

A metodologia utilizada nesta pesquisa foi de caráter qualitativa e quantitativa, incluiu visita de campo na ETA e parte experimental no canteiro de obras do Instituto Federal. Dividiu-se em quatro etapas. Na primeira, realizaram-se visitas à ETA localizada no

município de Araçoiaba da Serra, para conhecer o processo de tratamento de água e fazer as coletas de lodo. Na segunda fase, coletou-se o lodo na ETA e realizaram-se as análises no canteiro. Na terceira fabricou-se o tijolo e na quarta realizaram-se os ensaios de resistência dos tijolos fabricados. A seguir são explicadas cada uma das fases.

Na primeira fase, estudaram-se os processos para o tratamento da água com o apoio de um técnico da ETA, que explicou que a captação se localiza a 4 km da estação, do rio a água é bombeada por duas bombas (Flygt) que ficam dentro do corpo hídrico. Na captação existem baias de produtos químicos os quais são dosados na caixa de areia, sendo função das baias controlar vazamentos. Após a água do rio ser bombeada e percorrer o trajeto de tubulação, chega na caixa de água bruta onde é adicionado produto químico para ocorrer à separação da água com a sujeira, depois de ocorrer esse processo a água passa para calha Parshall onde mede-se a vazão e adiciona-se um polímero que ajuda na pré-floculação.

A turbidez da água varia entre 100 a 3.000 mil NTU, a captação joga a água para um tubo que liga à caixa desarenadora. Nessa caixa é adicionado o permanganato de potássio por um tubo fino, que serve para oxidar a água. A água sai por um tubo que liga o poço de sucção que contém duas bombas. As bombas mandam para a estação 102 L/s e tudo é controlado pela estação remotamente.

Em cima das bombas do poço há dois sensores de nível (evitam que as bombas de recalque peguem ar), no final da bomba existe o pé de crivo, que é uma peça que evita a volta da água para a caixa. As bombas se interligam a dois tubos que levam a água até a estação para o tratamento, a vazão vai de 80 L/s até 114 L/s.

Através de canos a água chega para os filtros que são compostos por pedra, carvão e areia e com ajuda de produtos químicos removem a cor, o odor e diminui a turbidez da água. O processo termina nos reservatórios, nos quais com a ajuda de bombas, a água chega até a cidade.

Nos decantadores a sujeira se deposita no final como lodo, posteriormente vai para a descarga. Para que isso ocorra é utilizada uma válvula de permissão da saída para ser encaminhado para a lagoa de lodo. A tubulação de descarga é grande para facilitar a manutenção. Na Figura 1 se apresentam os lodos e a secagem dos mesmos por evaporação.

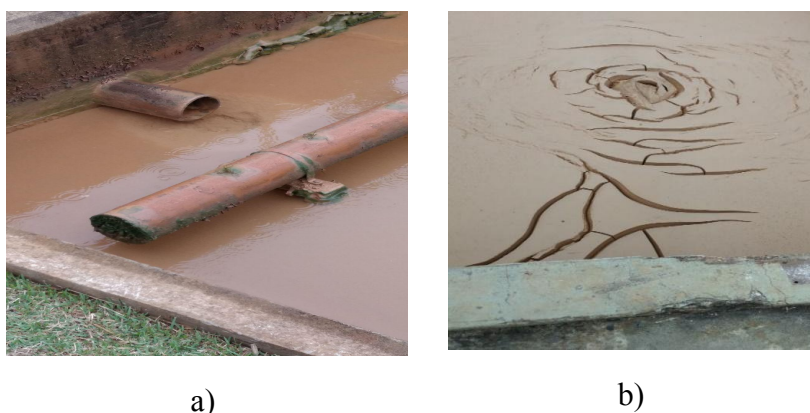


Figura 1 - a) Decantadores; b) Lodo para secagem por evaporação

A lagoa de lodo, mediante tubulações separa a parte líquida da sólida, para depois o

lodo ser descartado em caçambas e daí vai para o aterro sanitário (Figura 2).



a)

b)

Figura 2 - a) Lagoa do lodo; b) Descarte de lodo em caçambas

Na segunda fase, coletaram-se amostras de lodo das lagoas e levaram-se para o canteiro de obras onde determinou-se o traço. Em ambas amostras foi determinada a umidade inicial do lodo na ETA.

Na Tabela 1 se apresentam informações sobre as duas amostragens realizadas e a caracterização do lodo.

Tabela 1 - Caracterização do lodo

Amostra 1	Massa Inicial	Massa Final	Sólido em %	Data	Amostra 2	Massa Inicial	Massa Final	Sólido em %
Lodo 1	0.816g	0.180g	22,06	01/06/17	Lodo 1	1.472 g	0.328 g	22,27
Lodo 2	1.041 g	0.182 g	17,50	18/08/17	Lodo 2	0.497 g	0.105 g	21,05

Fonte: Dos autores

Na terceira fase fabricaram-se os tijolos, foi necessário pesar cada recipiente a utilizar na tara. O recipiente pesava 1.232 kg e o cimento 1,348 kg. Para que um tijolo fique firme e com uma boa compactação para seu uso na construção, é necessário achar o traço correto. Dessa forma, nessa pesquisa se realizaram três traços. O método de fabricação foi o determinado na norma ABNT NBR 10.833:2012 e adaptado devido ao material utilizado, ou seja, o lodo. Na Tabela 2 se apresentam dados das medidas dos tijolos.

Tabela 2 - Caracterização dos tijolos

Tijolos	Dimensões			Traços
1	H- 7,00: 7,00	L- 12,5: 12,5	C- 25: 25	Cimento: 3,122 Lodo: 3
2	H- 6,06: 6,02	L-12,5: 12,5	C- 25: 24,9	Cimento: 4 Lodo: 2
3	H- 6,06: 7,03	L- 12,5: 12,5	C-24,9: 24,9	Cimento: 5 Lodo: 1

Fonte: Dos autores

Na Figura 3 se apresentam os tijolos elaborados no laboratório com o lodo coletado.

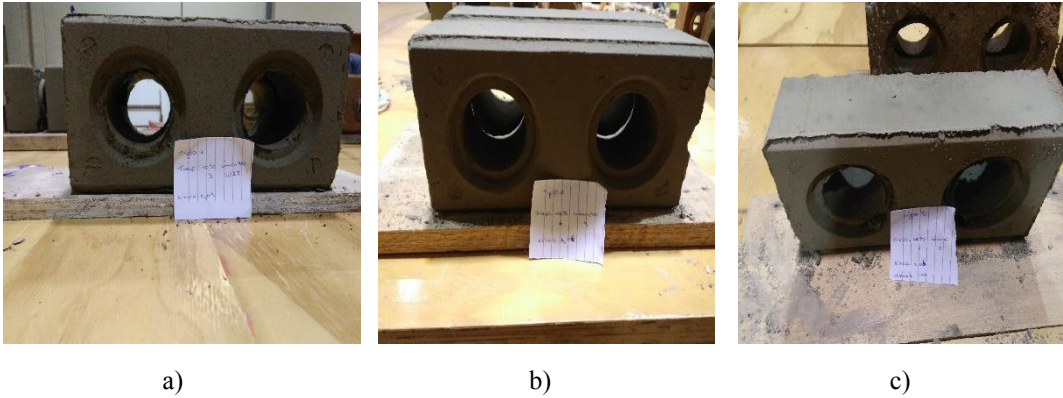


Figura 3- a) primeiro tijolo; b) segundo tijolo; c) Terceiro tijolo

Os traços foram elaborados seguindo os parâmetros da ABNT NBR 6136:2006. Os tijolos secaram por 7 dias para a secagem, após esse período foram molhados, e se esperou novamente por 14 dias para realizar o processo de cura em água. Com cada traço foram elaborados dois tijolos, sendo assim no total fabricaram-se seis (Figura 4).

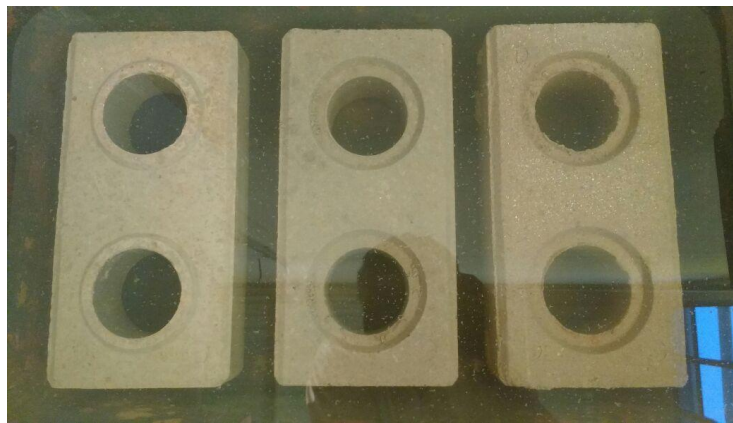


Figura 4 - Processo de cura

Após retirar os tijolos da água, realizaram-se as medições e foi possível perceber que as dimensões tinham mudado (tamanho, largura, comprimento). As medições foram realizadas com paquímetro, conforme determinado na norma NBR 8492:2012. Na Figura 5 se ilustra o processo de medição do primeiro traço, sendo que o mesmo foi repetido para os três traços.



a)

b)

Figura 5- a) primeiro traço após a cura; b) Primeiro traço pesagem

4. Resultados e discussões

Verificou-se que no primeiro traço mudou a altura, no segundo traço não houve mudança e no terceiro traço o comprimento aumentou 1 mm. Os dados da medição dos tijolos são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3- Medição após processo de cura

Tijolos	Dimensões	Traços
1	H- 6,9 L- 12,5 C- 25 P- 2,468	Cimento: 3,122 Lodo: 3
2	H- 6,6 L-12,5 C- 25 P- 2,660	Cimento: 4 Lodo: 2
3	H- 6,6 L- 12,5 C-25 P- 3,012	Cimento: 5 Lodo: 1

Fonte: Dos autores

Na pesquisa de Akamatsu e Ross (2017), só houve mudança da dimensão de altura, porque dependia da força usada no momento de compactação, contudo os autores mencionaram que conforme a norma NBR 10833:2012 e a NBR 8491:2012, a altura pode ter variação se o tijolo permanece com a altura menor que a largura.

Conforme a norma NBR 10834 a qualidade dos tijolos solo-cimento para uso na construção civil após cura de 28 dias é fortemente influenciada pelas propriedades de absorção de água e resistência à compressão. Os valores médios para absorção de água são: 20% e resistência à compressão: 2 MPa. Em estudo realizado em 2013 foram alcançadas com adição de 1,25% em peso de lodo de ETA em substituição parcial ao solo. Sendo assim, o lodo de ETA apresenta dificuldade para ser incorporado em grande quantidade na mistura solo-cimento (RODRIGUES; HOLANDA, 2013).

Os resultados anteriores são compatíveis com os obtidos nesta pesquisa, onde o melhor traço na fabricação do tijolo foi com 4 partes de cimento e 2 de lodo. Por tanto é uma contribuição na diminuição do consumo de matéria-prima natural, como bem ressaltam Rodrigues e Holanda (2013).

Após o processo de cura e medições se realizaram os testes de rompimento com cada um dos traços. Antes de romper cada tijolo, o mesmo foi cortado ao meio com serra, a máquina utilizada para teste de pressão foi a Emic que suporta até 2.000 KN. Na Figura 6 se apresenta o equipamento e um dos tijolos cortado. A análise das dimensões,

resistência à compressão e absorção de água seguiu a norma ABNT NBR 8492:2012.

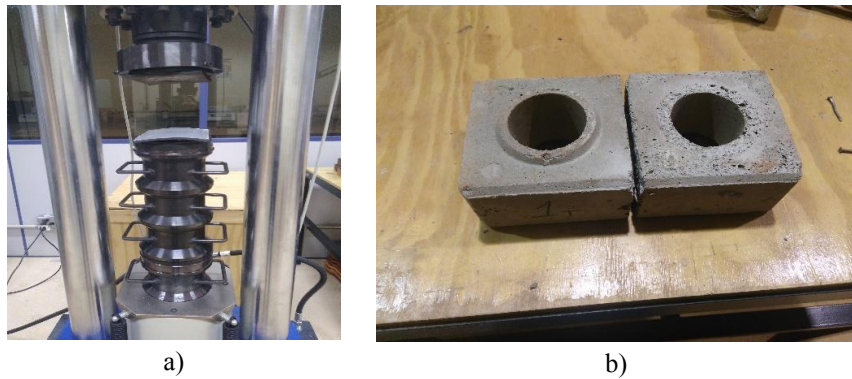


Figura 6- a) Máquina Emic; b) Primeiro traço cortado

No dia do rompimento se notou a resistência de cada traço, contudo o traço 3 obteve a maior resistência pela quantidade de cimento que tinha. Esse tijolo ficou mais compactado e com uma cor relativamente branca. Na Figura 7 se apresentam os tijolos na máquina de rompimento.

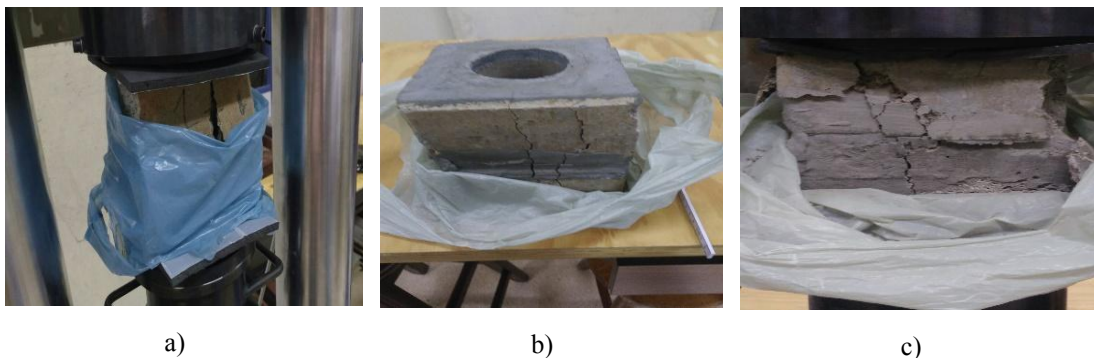


Figura 7- a) primeiro tijolo; b) segundo tijolo; c) Terceiro tijolo

Na Tabela 4 são apresentados os dados do rompimento dos três tijolos.

Tabela 4 - Dados de rompimento dos três tijolos

Tijolo traço 1	Tijolo traço 2	Tijolo traço 3
Lado 1- 107,00 mm	Lado 1- 107,00 mm	Lado 1- 107,00 mm
Lado 2- 107,00 mm	Lado 2- 107,00 mm	Lado 2- 107,00 mm
Taxa inc. Tensão- 0 Kpa/s	Taxa inc. Tensão- 0 Kpa/s	Taxa inc. Tensão- 0 Kpa/s
Força máxima- 1769,66N	Força máxima- 17275,23 N	Força máxima- 40702,12 N
Tensão máxima- 0,16 Mpa	Tensão máxima- 1,51 Mpa	Tensão máxima- 3,56 Mpa

Fonte: Dos autores

Os resultados indicaram que o traço 2 é mais eficaz para a fabricação dos tijolos ecológicos composto por lodo. O primeiro traço teve uma resistência muito baixa em relação aos outros dois traços, pois ele teve uma quantidade pequena de cimento e por

isso não houve adequada compactação e firmeza para ser usado em uma estrutura. O traço dois teve uma resistência relevante pois foi bem compactado, para uma estrutura e economia na área da construção civil é recomendado. O traço três não é indicado apesar de ser muito resistente pela quantidade de cimento usado para sua elaboração, dado que gera custos relevantes em relação ao cimento e a força máxima foi superior ao indicado pela norma.

Estudo realizado para analisar a aplicação de lodo de ETA na produção de tijolo ecológico determinou que as análises de resistência à compressão realizadas mostraram que há perda de resistência dos tijolos, devido à porosidade existente, falta de uniformidade na compactação e o procedimento de cura (AKAMATSU; ROSS, 2017).

5. Conclusões

Com base nos dados obtidos verificou-se que o reaproveitamento do lodo para a fabricação de tijolos de solo-cimento diminui custos para a empresa, diminui o impacto ambiental e gera lucro. A proposta é utilizar esse lodo para tijolos ecológicos. O traço com maior eficiência teve a proporção de quatro partes de cimento e dois de lodo.

Mesmo que os tijolos tenham um elevado uso de cimento, eles continuam com o custo baixo quando comparados com os existentes no mercado. Compensa utilizar esse tipo de material dada sua resistência com o traço correto. Para o comércio pode gerar uma relação de custo benefício positiva pois o produtor não precisa comprar e pode realizar parcerias com as empresas administradoras das ETAs.

Outro ponto positivo é que o tijolo fabricado por este método não requer uso de queima para sua produção podendo aproveitar condições climáticas para a secagem.

Referências

AKAMATSU, C. & ROSS, N.C.M. *Estudo da aplicação para lodo de estação de tratamento de água na produção de tijolos ecológicos*. 2017. 55 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Departamento Acadêmico de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/16556>. Acesso em: 20 maio 2020.

ANDRADE, C.F.; SILVA, C.M.; OLIVEIRA, F.C. *Gestão ambiental em saneamento: uma revisão das alternativas para tratamento e disposição do lodo de eta e seus impactos na qualidade das águas*. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 5, 2014, Belo Horizonte. ANAIS - CONGRESSOS BRASILEIROS DE GESTÃO AMBIENTAL. Belo Horizonte: Ibeas, 2014. v. 1, p. 1-11. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/congresso5.htm>. Acesso em: 20 maio 2020.

FIAIS, B.B.; SOUZA, D.S. *Construção sustentável com tijolo ecológico*. Revista Engenharia em Ação Unitoledo, Araçatuba, v. 2, n. 1, p. 94-108, 01 mar. 2017. Semestral. Disponível em: <http://ojs.toledo.br/index.php/engenharias/article/view/2559>. Acesso em: 20 maio 2020.

PEREIRA, V.C. *Confecção de tijolos ecológicos como alternativa para reutilização dos resíduos produzidos por centrais dosadoras de concreto*. In: 14 CONGRESSO NACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - CONIC SEMESP, 2013, Campinas. Anais do Congresso Nacional de Iniciação Científica. Campinas: Conic Semesp, 2013. V. 1, p. 1-9. Disponível em: <https://conic-semesp.org.br/anais/anais-conic.php?ano=2013&act=autores>. Acesso em: 20 maio 2020.

RICHTER, C.A. *Água: métodos e tecnologias de tratamento*. São Paulo: Blücher, 2009.

RICHTER, C.A. *Tratamento de lodos de estações de tratamento de água*. 1 ed. São Paulo: Blücher. 102 p., 2001.

RODRIGUES, L.P.; HOLANDA, J.N.F. *Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento*. *Cerâmica*, Rio de Janeiro, v. 59, p. 551-556, 01 dez. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/sjkRXDdqdBhT5DnnHBPYZL/?lang=pt#>. Acesso em: 10 set. 2021.