ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

A incorporação de materiais naturais e resíduos ao tijolo de solo-cimento: uma revisão sistemática de literatura

The incorporation of natural materials and waste into soil-cement bricks: a systematic literature review

Taisa Maria Donato Lima
Universidade Federal de Alagoas | Maceió | Brasil | taisa.donato@arapiraca.ufal.br
Ricardo Victor Rodrigues Barbosa
Universidade Federal de Alagoas | Maceió | Brasil | rvictor@fau.ufal.br

Resumo

O déficit habitacional no Brasil ainda é um problema complexo, principalmente diante das errôneas estratégias empregadas para saná-lo. Além disso, produz-se uma quantidade indiscriminada de resíduos, que, por vezes, são descartados de maneira irregular. O tijolo solo-cimento é um material capaz de incorporar esses resíduos e ajudar a sanar o déficit habitacional. Sendo assim, esta pesquisa objetivou reunir e analisar estudos com materiais e resíduos incorporados ao tijolo solo-cimento, para compreender a viabilidade do ponto de vista do desempenho mecânico, além de observar quais destes abordam a caracterização térmica e qual a metodologia utilizada. A metodologia utilizada foi a de revisão sistemática de literatura nas bases *Web of Science e Scopus.* Após os critérios de inclusão e exclusão, foram selecionados 89 artigos. Dentre estes, 34 artigos possuíam aderência com o tema. Os resultados foram categorizados em dois grupos: materiais ou fibras naturais, com 9 artigos; e os resíduos e cinzas, com 25 artigos. Ao todo, 15 artigos avaliaram as características térmicas dos tijolos solo-cimento. Os resultados sinalizaram positivamente para a incorporação da maioria dos materiais estudados, o que endossa a utilização de materiais e resíduos tratados nos blocos de solo-cimento estabilizados.

Palavras-chave: Tijolo de solo-cimento. Revisão sistemática de literatura. Resíduos. Desempenho térmico.

Abstract

The housing deficit in Brazil is still a complex problem, especially given the misguided strategies employed to solve it. In addition, an indiscriminate amount of waste is produced, which is sometimes disposed of irregularly. Soil-cement bricks are a material capable of incorporating this waste and helping to solve the housing shortage. Therefore, the aim of this research was to gather and analyze studies on natural materials and waste incorporated into soil-cement bricks, to understand their feasibility from a mechanical performance point of view, in addition to observing which of these studies address thermal characterization and the methodology used. The methodology used was a systematic literature review on the Web of Science and Scopus databases. After the inclusion and exclusion criteria, 89 articles were selected. Among these, 34

Como citar:
LIMA, T. M. D.; BARBOSA, R. V. R. A incorporação de materiais naturais e resíduos ao tijolo de solo-cimento: uma revisão sistemática de literatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

articles adhered to the theme. The results were categorized into two groups: natural materials or fibres, with 9 articles; and waste and ash, with 25 articles. In all, 15 articles evaluated the thermal characteristics of soil-cement bricks. The results were positive for the incorporation of most of the materials studied, endorsing the use of treated materials and waste in stabilized soil-cement bricks.

Keywords: Soil-cement brick. Systematic literature review. Waste. Thermal performance.

INTRODUÇÃO

O déficit habitacional no Brasil ainda possui números elevados. De acordo com os dados da Fundação João Pinheiro [1], ano base 2019, o déficit está em 5,8 milhões de moradias. Essa carência habitacional refere-se às insuficiências na provisão de moradias para as famílias que delas necessitam. Tal estudo indica, ainda, que 87,7% do déficit está contido em áreas urbanas. O fator ônus excessivo com aluguel urbano representa um fator importante, pois é a maior parcela da carência habitacional – correspondendo, em 2019, a 52%. Os números do déficit para esse fator passaram de 2,814 milhões em 2016, para 3,035 milhões em 2019, e indicam tendências de aumento para os próximos anos.

Além disso, os resíduos sólidos ainda são um grande problema para o meio ambiente devido ao impacto que causam. O Brasil é um dos países que mais produz resíduos sólidos, dentre estes os hospitalares, radioativos, agrícolas, industriais e de mineração, além dos domiciliares, provenientes de atividades domésticas, os oriundos da limpeza urbana, classificados como resíduos sólidos urbanos (RSU), e os resíduos provenientes da construção e demolição (RCD). Segundo o panorama da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) [2], foram produzidas 81,8 milhões de toneladas, o que corresponde a 224 mil toneladas diárias, e, em média, 1,043kg diários produzidos por cada brasileiro.

Além disso, grandes impactos vêm sendo causados na natureza pela forma como a construção civil lida com sua fonte de recursos. A indústria extrai a matéria-prima não renovável da natureza, muitas vezes de modo abusivo, utiliza grandes quantidades de energia, seja na extração, processamento ou transporte desses materiais – energia produzida de modo não renovável também, como o caso dos transportes alimentados por refinados de petróleo. Além disso, o que retorna para a natureza são resíduos e grandes quantidades de gases tóxicos e poluentes, provenientes, por exemplo, da fabricação de blocos cerâmicos [3].

Considerando estes fatores, é importante que sejam desenvolvidos estudos que abordem e aprofundem materiais alternativos, capazes de mitigar o déficit habitacional sem causar tantos impactos ao meio ambiente, como é o caso do tijolo solo-cimento. Esse tipo de tijolo além de dispensar a queima, produz menos resíduos no processo de construção por reduzir a necessidade de quebras, e ainda possui alta capacidade de incorporação de resíduos.

Assim, o presente artigo objetivou realizar uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) acerca dos tipos de resíduos e tratamentos incorporados à produção de tijolo solo-cimento que tem sido estudado e desenvolvido nos últimos anos, verificar a

efetividade da aplicação desses materiais, além de identificar estudos abordaram a performance térmica do material e o método empregado.

MÉTODO

O método utilizado foi o Prisma [4], que faz uso de *checklists* e fluxogramas para apresentar a quantidade de artigos encontrados, quantos são incluídos e excluídos, bem como quantos permanecerão para análise final. A revisão sistemática de literatura foi realizada em agosto de 2023. Buscou-se com esta pesquisa responder às seguintes perguntas norteadoras:

- Quais tipos de resíduos, agregados ou tratamentos têm sido utilizados para reforçar as propriedades do tijolo solo-cimento e qual sua efetividade?
- Desses resultados, quantas pesquisas fazem análise da performance térmica do material? Quais as metodologias utilizadas?

As bases consultadas para a RSL foram a Web of Science e Scopus, a partir do seguinte *strings* de busca: *"soil-cement brick" OR "soil-cement bricks" OR "compressed earth blocks" OR "compressed earth block" OR "compacted earth block" OR "compacted earth blocks" OR "soil-cement blocks" OR "soil-cement block" OR "earth masonry"*. A busca resultou em 300 artigos encontrados na *Web of Science* e 307 artigos na *Scopus*.

Os critérios estabelecidos para a inclusão dos artigos foram: (a) artigos publicados nos últimos cinco anos, na linha temporal de 2018 a 2023, a fim de que se obtivesse um resultado mais recente e mais próximo da realidade atual; (b) artigos científicos publicados em periódicos indexados e revisados por pares, dispensando os artigos de revisão e publicados em eventos científicos; e (c) artigos publicados em língua inglesa. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão citados anteriormente, permaneceram 326 artigos.

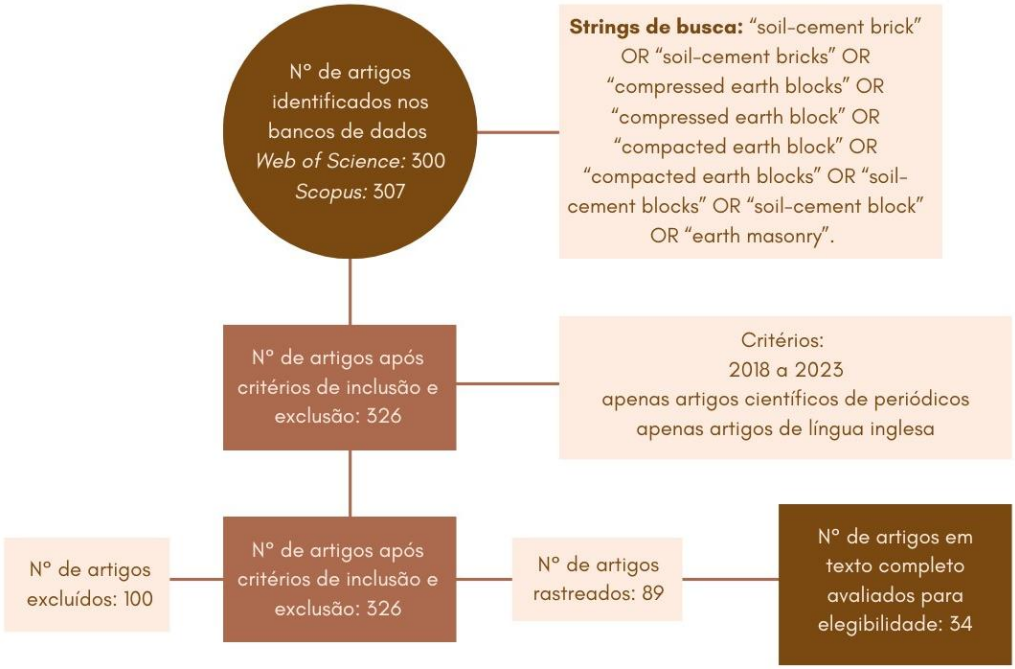
Os resultados obtidos foram exportados para a plataforma *Rayyan*, onde foram eliminados os artigos duplicados, que ao todo foram 137, e lidos os títulos e resumos dos trabalhos resultantes, para selecionar os estudos que poderiam responder às questões norteadoras desta pesquisa.

Eliminados os duplicados na plataforma Rayyan, ficaram 189 artigos. Desses, eliminou-se 100 artigos por não haver relação com o tema desta busca, restando 89 artigos que foram rastreados. Destes, o número de artigos que respondem às perguntas norteadoras é 34. A figura 1 resume as etapas metodológicas da busca.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido à diversidade de materiais encontrados, os artigos foram subdivididos em duas categorias: (1) materiais ou fibras naturais; e (2) resíduos e cinzas. Os trabalhos que estudam a incorporação de materiais ou fibras naturais somam 9 artigos, o que representa 26,47% do total. Já os estudos que avaliaram a incorporação de resíduos e cinzas, com 25 artigos, representam maioria neste estudo, com 73,52%.

Figura 1: Etapas metodológicas da revisão sistemática de literatura.



Fonte: D. Moher *et al* (2009) adaptado pela autora.

Foi possível perceber que a maior porcentagem dos artigos apresenta a possibilidade da utilização de diferentes tipos de resíduos e cinzas em blocos de solo-cimento. Isso se deve principalmente a dois fatores citados pelas pesquisas: a construção civil é um setor que consome muitos recursos naturais e gera muitos resíduos, que normalmente são descartados de maneira irregular; a alta produção de resíduos e cinzas provenientes dos mais variados materiais e processos, e que também são descartados de maneira irregular. Barbosa *et al* [17] afirmam, por exemplo, que a construção civil consome muita matéria-prima, mas não reincorpora suficientemente resíduos reciclados. Azevedo *et al* [16], Barbosa *et al* [17], Barros *et al* [18], França *et al* [25] e Gomes *et al* [26] abordam sobre a facilidade que os blocos de solo-cimento possuem para a incorporação de resíduos, aliando assim o desenvolvimento sustentável e econômico.

Outro fato que foi possível observar é que diante desta possibilidade do uso de resíduos e cinzas nos blocos de solo-cimento, 100% dos artigos com adição de resíduos e cinzas objetivam testar a durabilidade e a resistência dos blocos adicionados, para que se comprove de fato a efetividade desta aplicação. Além disso, foi possível perceber que, apesar da tendência do uso de resíduos em blocos de solo-cimento, alguns ainda são pouco abordados, a exemplo da borracha de pneu, um material perigoso para o meio ambiente, tendo em vista que pode causar doenças devido ao acúmulo de água, como dengue, Zika e Chikungunya, e que pode levar 600 anos para se decompor, fazendo-se assim indicar uma lacuna, algo que necessita ser mais investigado, principalmente no que se refere à caracterização térmica.

No que se refere aos blocos com adição de materiais e fibras naturais, percebeu-se que os artigos possuíam em comum a tendência de utilizar estes materiais com o

intuito de melhorar as propriedades do bloco de solo-cimento, além da redução de custos associada com o desenvolvimento sustentável, principalmente por se tratar de materiais que são facilmente encontrados nas proximidades da construção, o que auxilia na mitigação dos danos causados pelas atividades da construção civil. Além disso, dentre esses 9 artigos, 7 estudam o uso de fibras naturais no bloco de solo-cimento, o que mostra uma tendência de uso desses materiais devido à sua abundância, redução de custos e impactos na construção e capacidade de reforçar as propriedades mecânicas dos blocos. Dieudonne *et al* [6] verificou, por exemplo, a possibilidade de reforçar os blocos de solo-cimento com fibras naturais disponíveis na região com o intuito de reduzir o uso de cimento e ainda assim manter a durabilidade dos blocos. E assim, foi possível perceber também que, com exceção de Ouma *et al* [10], que verificaram apenas a caracterização acústica dos blocos, todos os outros 8 estudos, que empregaram materiais ou fibras naturais, testaram a durabilidade e a resistência mecânica dos blocos.

Outro ponto relevante que se percebeu foi uma tendência de que os estudos que apresentaram caracterização térmica possuíssem origem em países cujo clima é quente e apresentam elevadas temperaturas em parte ou na totalidade do ano. Como é o caso do Marrocos [7], México [13], Omã [14] e Brasil [26]. Isso se deve ao fato de que é importante analisar e verificar como esses blocos com adições se comportam diante das variações de temperatura, principalmente em climas quentes. No entanto, apesar deste fato, das 34 pesquisas estudadas, 10 são provenientes do Brasil. Destas, apenas duas avaliaram a caracterização térmica, o que ainda é pouco e sinaliza algo que precisa ser mais explorado.

ADIÇÃO DE MATERIAIS OU FIBRAS NATURAIS

A pesquisa [5] avaliou a adição de fibra vegetal Doum palm, um tipo de palmeira; já [6] estudaram a adição de fibras de bambu com cimento como estabilizante; os investigadores [7] avaliaram fibra de sisal com cal estabilizante; já [9] avaliaram também a fibra de sisal, mas juntamente com resíduo de tijolo reciclado; já [12] estudaram a adição de fibra de seda de milho ao bloco de solo cimento, enquanto [13] estudaram a inserção de fibras de coco com aloe vera e cal como estabilizantes. Os resultados sinalizaram positivamente a indicação do uso dessas fibras, pois quando estabilizadas para não enfraquecer a matriz cimentícia, aumentam a resistência à tração e à compressão, além de melhorar o desempenho térmico, o que mostra a viabilidade destas para a produção de tijolos de solo-cimento.

A pesquisa [8] estudou a adição de látex natural e solo laterítico, enquanto [11] avaliaram o uso materiais lignocelulósicos (bambu, casca de arroz e casca de café). Como resultados, [8] sinalizaram que a presença do látex diminuiu a absorção de água e aumentou a resistência mecânica, além de reduzir a condutividade térmica. Já [11] indicaram que, no geral, a presença de resíduo lignocelulósico no bloco de solo-cimento reduziu sua resistência mecânica e aumentou a porosidade e a absorção de água. No entanto, os blocos produzidos com adição de 1,5% de casca de arroz obtiveram a mais alta resistência à compressão e bons resultados do ponto de vista térmico.

ADIÇÃO DE RESÍDUOS E CINZAS

As pesquisas [10], [15], [22], [27], [30], [33], [34], [35] e [36] estudaram, a incorporação de cinzas nos blocos de solo-cimento. Segundo [15], a cinza da casca de arroz reduziu a resistência à compressão e aumentou a absorção de água, mas os resultados cumprem com os parâmetros exigidos por norma, o que indica a viabilidade do uso da cinza da casca de arroz como substituta parcial do cimento Portland. Já [22] avaliaram a presença de cinzas volantes em uma solução com hidróxido de sódio nos blocos de solo-cimento junto de sedimentos dragados; em [30] foram avaliados blocos com uso de solo laterítico e cinzas de fundição; já [33] avaliaram a adição de cinza de casca de arroz e resíduo de carbeto de cálcio; no caso de [34], avaliou-se a adição de cinzas volantes e resíduo industrial. Todos estes estudos sinalizaram resultados positivos, aumento de resistência à compressão e bom desempenho no geral, tudo dentro dos parâmetros estabelecidos por norma. Em [10] avaliou-se as propriedades acústicas dos blocos de solo cimento com adição de cinza de jacinto-de-água e cal, ambos como aglutinantes, e sinalizou que a cal obteve melhores resultados do que a cinza de jacinto-de-água.

A pesquisa [27] avaliou a inserção de cinzas do bagaço da cana de açúcar sem qualquer tratamento. Os resultados encontrados não foram satisfatórios, tendo em vista que a ausência de tratamento nas cinzas permite a presença de impurezas e granulometria variada, o que reduz a qualidade das misturas. Isso resultou em blocos com maior porosidade, o que aumentou a absorção de água, e uma resistência à compressão inferior ao estabelecido pela norma brasileira ABNT NBR 8491:2012. Assim, [27] não indicaram a adição de cinzas do bagaço da cana de açúcar sem tratamento para a produção de blocos de solo-cimento.

O estudo [19] avaliou a presença da fibra de borracha de pneu e fibra de vidro nos blocos; enquanto [21] estudaram a incorporação dos resíduos de construção civil; avaliaram a adição de resíduo de polietileno tereftalato (PET); Já [26] e [38] estudaram a incorporação de rejeitos de mineração; e [28] observou a incorporação de resíduo de tijolo e lama de produção de fibrocimento. Assim como os anteriores, estes materiais também apresentaram resultados em consonância com as normas do ponto de vista das propriedades mecânicas. Além disso, nos blocos em que foram avaliadas as propriedades térmicas, as incorporações desses resíduos indicaram melhorias, o que será abordado mais profundamente a seguir.

CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA

No que se refere à caracterização térmica, ao todo 15 pesquisas utilizaram algum tipo de metodologia para avaliar as características térmicas do tijolo solo-cimento. A pesquisa [14] utilizou duas células-teste, com dimensões de 2,4m x 2,4m x 2m, uma com solo do campo de Petróleo Marmoul (Omã), e outra com solo de outro campo de petróleo, Nimr (Omã), com data loggers no interior e no exterior para coletar dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar, além da radiação solar captada por estação próxima. Depois, a célula-teste de Nimr foi selecionada para validação do modelo em simulação no *EnergyPlus.*

Já [21], mediu a condutividade térmica por meio de um medidor de transferência de calor entre superfícies portátil, o ISOMET 2114. Foi determinada por meio de um método dinâmico de impulsos em que um fluxo de calor é gerado por meio de um impulso térmico em equilíbrio térmico com o ambiente circundante.

As pesquisas [5], [7], [9], [24], [31] utilizaram a metodologia *CT-meter* ou *hot wire method*, que mede as propriedades térmicas, como a condutividade, por meio de dois elementos que são responsáveis por gerar o poder calorífico, assim um fluxo de calor é aplicado ao material, e por interpretar a curva de subida da temperatura do material testado e do protótipo que emite o fluxo de calor.

Os estudos [8] e [22] utilizaram o *hot disk method*, que consiste em verificar a condutividade térmica do material por meio de um sensor que é colocado entre duas amostras, que ao mesmo tempo emite calor e registra o aumento o aumento da temperatura no material, o que permite extrair a condutividade e a efusividade térmica do material.

As pesquisas [26] e [38] utilizaram um espectrômetro para determinar a absortância e o *hot box method* para medir a transmitância térmica, e, através desses resultados, conseguiram calcular outros parâmetros por meio de equações. O *hot box method* consiste em uma câmara produzida com painéis de MDP (aglomerado de partículas de média densidade) e camadas de revestimento para isolar o ambiente externo. No interior da câmara, na parte inferior, encontra-se uma fonte de calor (lâmpada incandescente) ligada a um termostato que mantém a temperatura em 323,15 K. Na parte superior da câmara e entre as amostras (tijolos), foram colocados sensores capazes de captar as respostas obtidas durante o ensaio. Estas foram armazenadas em Dataloggers e enviadas para o computador para comparação e armazenamento de dados.

Já [13] e [30] utilizaram o instrumento KD2 PRO, cujo princípio consiste em um controlador portátil e os sensores que podem ser inseridos na amostra do material. Esses sensores são capazes de medir a condutividade térmica, a resistividade, a capacidade térmica específica e a difusividade térmica.

A pesquisa [11], com o intuito de avaliar o isolamento térmico do material, utilizou um módulo com atuadores de calor para manter a temperatura a 45ºC e sensores para leitura das temperaturas colocados no topo do módulo, ou seja, a temperatura que atravessa o tijolo, em todos os módulos havia materiais de isolamento térmico. A taxa de aquecimento foi de 1ºC/min e o ciclo de ensaio para cada tratamento foi de 7 horas e 30 minutos.

Já [28] utilizaram o *hot plate method*, em acordo com a norma ASTM C177. Este método mede a taxa de fluxo de calor através das amostras, levando em consideração a sua espessura total e o gradiente de temperatura ao longo dessa espessura. O teste envolve a colocação de dois espécimes do material analisado em cada lado de um instrumento de placa quente com proteção. Nesta disposição, os aquecedores de proteção - ou auxiliares - minimizam a transferência de calor lateral do aquecedor principal - ou da placa quente - e ajudam a concentrar o fluxo de calor nas amostras que estão montadas paralelamente fora do aquecedor principal.

É válido observar que dos 15 artigos que possuíam metodologia para caracterização térmica, apenas 3 são de origem brasileira, e concentram-se nas regiões sudeste e centro-oeste, nos estados de Minas e Mato Grosso. Outros 6 artigos oriundos de países africanos, como Marrocos, Argélia e Burquina Fasso. De origem asiática foram encontrados mais 3 artigos, oriundos de Omã, Índia e Tailândia. Mais 2 artigos oriundos do continente europeu – Portugal e França, e um oriundo do México. Percebeu-se assim, que apesar da diversidade climática brasileira, há ainda uma lacuna a ser preenchida com estudos de caracterização térmica de tijolos de solo-cimento com adição de materiais e resíduos voltados, principalmente, à região nordeste do país, que apresenta médias de temperatura altas o ano inteiro, e em que o material empregado na vedação vertical das edificações é de fundamental importância diante das estratégias de conforto ambiental.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta revisão sistemática de literatura foi possível observar diferentes materiais agregados, resíduos, materiais e fibras naturais adicionados aos blocos de solo-cimento compactados. Isso se deve ao fato de o solo-cimento ser um material capaz de agregar esses materiais. Além disso, percebeu-se as diferentes metodologias empregadas para avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos blocos de solo-cimento com materiais incorporados. Foi perceptível que a maior parte dos estudos encontrados estudavam a incorporação de resíduos, isso se deve, principalmente, à busca pela disposição sustentável desses resíduos, reincorporando-os a um novo ciclo de vida de um material diferente. Já dentre os que estudam a incorporação de insumos e fibras naturais, percebeu-se a busca por materiais capazes de melhorar as propriedades dos blocos, mas com baixo custo e utilizando materiais abundantes na região.

Observou-se ainda que algumas pesquisas buscaram avaliar as propriedades térmicas dos blocos de solo-cimento com materiais incorporados. Em 15 estudos que abordaram a caracterização térmica, foi possível encontrar 8 metodologias diferentes, mas os objetivos eram similares. No geral, os resultados sinalizaram positivamente para a incorporação desses materiais aos blocos de solo-cimento, o que endossa ainda mais a sua viabilidade.

Por fim, percebeu-se que há ainda lacunas na literatura que precisam ser preenchidas, como a diversificação dos tipos de resíduos aplicados nos blocos de solo-cimento, como a borracha de pneu, principalmente por este ser uma fonte de problemas, bem como sobre a caracterização térmica dos blocos com adições, pois muitos estudos ainda não a fazem.

REFERÊNCIAS

[1] PRADO, Cláudio. Déficit habitacional reflete a desigualdade do país. Fundação 1° de Maio, 20 ago. 2021. Disponível em: ttps://www.fundacao1demaio.org.br/artigo/deficit-habitacional-reflete-a-desigualdade-do-pais/. Acesso em: 25 jun. 2022

[2] ABRELPE (2022). Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. Disponível em: https://abrelpe.org.br/download-panorama-2022/https://abrelpe.org.br/panorama-2021/. Acesso: 14 mai. 2023.

[3] ROTH, C. D. G.; GARCIAS, C. M. Construção civil e a degradação ambiental. Desenvolvimento em Questão, v. 7, n. 13, p. 111-128, 2009.

[4] MOHER, David et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. Annals of internal medicine, v. 151, n. 4, p. 264-269, 2009.

[5] BOUGTAIB, K. et al. Compressed earth blocks reinforced with fibers (doum palm) and stabilized with lime: manual compaction procedure and influence of addition on mechanical properties and durability. JP Journal of Heat and Mass Transfer, v. 26, p. 157–177, 2022b.

[6] DIEUDONNE, A. et al. Physical, Mechanical and Hygroscopic Behaviour of Compressed Earth Blocks Stabilized with Cement and Reinforced with Bamboo Fibres. INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH IN AFRICA, v. 59, p. 29–41, 2022.

[7] JAMIL, Y. et al. The effect of the sisal fiber content of agave and/or lime on the mechanical and thermal characterizations of soil-based compressed earth blocks from the province of rehamna in morocco. JP Journal of Heat and Mass Transfer, v. 24, n. 2, p. 207–226, 2021.

[8] JOSE, A.; KASTHURBA, A. K. Laterite soil-cement blocks modified using natural rubber latex: Assessment of its properties and performance. Construction and Building Materials, v. 273, 2021.

[9] LABIAD, Y.; MEDDAH, A.; BEDDAR, M. Performance of sisal fiber-reinforced cement-stabilized compressed-earth blocks incorporating recycled brick waste. Innovative Infrastructure Solutions, v. 8, n. 3, 2023.

[10] OUMA, J. et al. Acoustical properties of compressed earth blocks: Effect of compaction pressure, water hyacinth ash and lime. Case Studies in Construction Materials, v. 18, 2023.

[11] SABINO, T. P. F. et al. Lignocellulosic materials as soil-cement brick reinforcement. Environmental Science And Pollution Research, v. 29, n. 15, p. 21769–21788, ago. 2022.

[12] TRAN, K. Q.; SATOMI, T.; TAKAHASHI, H. Improvement of mechanical behavior of cemented soil reinforced with waste cornsilk fibers. Construction And Building Materials, v. 178, p. 204–210, ago. 2018.

[13] VELASCO-AQUINO, A. A. et al. Compressed earth block reinforced with coconut fibers and stabilized with aloe vera and lime. Journal of Engineering, Design and Technology, v. 19, n. 3, p. 795–807, 2020.

[14] AL-JABRI, K. et al. Structural and thermal performance of sustainable interlocking compressed earth blocks masonry units made with produced water from oilfields. Case Studies in Construction Materials, v. 17, 2022.

[15] ROCHA, J. H. A. et al. Compressive Strength Assessment of Soil–Cement Blocks Incorporated with Waste Tire Steel Fiber. Materials, v. 15, n. 5, 2022.

[16] AZEVEDO, A. R. G. et al. Assessing the potential of sludge generated by the pulp and paper industry in assembling locking blocks. Journal of Building Engineering, v. 23, p. 334–340, 2019.

[17] BARBOSA, M. F. L. et al. Rice husk and water treatment plant sludge incorporated into soil–cement brick. Asian Journal of Civil Engineering, v. 20, n. 4, p. 563–570, 2019.

[18] BARROS, M. M. et al. Ecological bricks from dimension stone waste and polyester resin. Construction and Building Materials, v. 232, 2020.

[19] BEKHITI, M.; GHRIEB, A.; ZAITRI, R. Effects of tyre rubber fibre and glass fibre on physical and mechanical properties of compressed earth block (C.E.B) based on local materials. Journal of King Saud University - Engineering Sciences, 2021.

[20] BELAYALI, F. et al. Compressed Earth Blocks Using Sediments and Alkali-Activated Byproducts. Sustainability (Switzerland), v. 14, n. 6, 2022.

[21] BOGAS, J. A.; SILVA, M.; GLÓRIA GOMES, M. Unstabilized and stabilized compressed earth blocks with partial incorporation of recycled aggregates. International Journal of Architectural Heritage, v. 13, n. 4, p. 569–584, 2019.

[22] BRAHIM, M. et al. Valorization of Dredged Sediments in Manufacturing Compressed Earth Blocks Stabilized by Alkali-Activated Fly Ash Binder. Buildings, v. 12, n. 4, 2022.

[24] DJADOUF, S.; CHELOUAH, N.; TAHAKOURT, A. The influence of the addition of ground olive stone on the thermo-mechanical behavior of compressed earth blocks. Materiaux & Techniques, v. 108, n. 2, ago. 2020.

[25] FRANÇA, B. R. et al. Durability of soil-Cement blocks with the incorporation of limestone residues from the processing of marble. Materials Research, v. 21, 2018.

[26] GOMES, A. C. F. et al. Thermal characterization of soil-cement bricks using mining tailings. REM - International Engineering Journal., v. 75, n. 1, p. 19–26, 2022.

[27] JORDAN, R. A. et al. Manufacture of soil-cement bricks with the addition of sugarcane bagasse ash. Engenharia Agricola, v. 39, n. 1, p. 26–31, 2019.

[28] KONGKAJUN, N. et al. Soil-cement bricks produced from local clay brick waste and soft sludge from fiber cement production. Case Studies in Construction Materials, v. 13, 2020.

[29] LARBI, S. et al. Formulation of compressed earth blocks stabilized by glass waste activated with naoh solution. Sustainability (Switzerland), v. 14, n. 1, 2022.

[30] LAWANE, A. et al. Mechanical and physical properties of stabilised compressed coal bottom ash blocks with inclusion of lateritic soils in Niger. Scientific African, v. 6, 2019.

[31] MOHAMED, T. et al. Thermal, mechanical and physical behavior of compressed earth blocks loads by natural wastes. International Journal of Civil Engineering and Technology, v. 9, n. 6, p. 1353–1368, 2018.

[32] NASCIMENTO, E. S. S. et al. Soil-cement brick with granite cutting residue reuse. Journal Of Cleaner Production, v. 321, ago. 2021.

[33] NASCIMENTO, E. S. S. et al. Soil-cement brick with granite cutting residue reuse. Journal Of Cleaner Production, v. 321, ago. 2021.

[34] RAJURKAR, V.; CHITADE, A. Experimental Study of Industrial Waste in CSCE Block. HELIX, v. 9, n. 6, p. 5742–5747, 2019.