XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Condutividade térmica do material construtivo solo-cimento: um estudo bibliométrico

Thermal conductivity of the soil-cement building material: a bibliometric study

Mayara Tartarotti Cardozo da Silva
UFMS | Campo Grande | Brasil | mayaratartarotti@gmail.com
Ana Paula da Silva Milani
UFMS | Campo Grande | Brasil | ana.milani@ufms.br

Resumo

Os sistemas construtivos com terra carecem de normas brasileiras específicas para desempenho térmico. Logo, o objetivo foi realizar um estudo bibliométrico sobre a condutividade térmica do solo-cimento e as demais propriedades físicas que a afetam. Executou-se um levantamento de dados com foco em dois sistemas construtivos: blocos de terra comprimido (BTC) e taipa de pilão. Constatou-se um intervalo para condutividade térmica variando entre 0,7 a 1,1 (W/m.K). O parâmetro de engenharia que exerceu maior influência foi a forma de moldagem do material, que acarreta em mudanças da massa específica e da capacidade térmica do componente construtivo.

Palavras-chave: Bloco de solo-cimento. Propriedades térmicas. Taipa de pilão. Análise térmica.

Abstract

Earth building systems lack specific Brazilian standards for thermal performance. Therefore, the objective was to carry out a bibliometric study on the thermal conductivity of soil-cement and the engineering parameters that affect this property. A data survey was executed focusing on two construction systems: compressed earth blocks (CEB) and rammed earth. A range for thermal conductivity ranging from 0.7 to 1.1 (W/m.K) was observed. And the engineering parameter that exerted the greatest influence was the form of molding of the material, which leads to changes in the specific mass and the thermal capacity of the constructive component.

Keywords: Soil-cement block. Thermal properties. Rammed earth. Thermal analysis.

Como citar:
SILVA, M. T.C.; MILANI, A. P. S. Condutividade térmica do material construtivo solo-cimento: um estudo bibliométrico. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

INTRODUÇÃO

Materiais não-convencionais, no geral, ainda são poucos utilizados em comparação com os materiais construtivos tradicionais. Giesekam et al. [21] realizaram uma pesquisa no Reino Unido entre profissionais da área de construção civil juntamente com pesquisadores, investidores e clientes para descobrir as principais causas da baixa adoção de sistemas construtivos considerados não-convencionais. Com relação a sistemas construtivos com terra, a pesquisa englobou: taipa de pilão, BTC, adobes e cob. Entre as barreiras citadas pelos entrevistados, as duas respostas mais predominantes foram a falta de conhecimento técnico e a percepção negativa sobre a técnica construtiva.

Portanto, é preciso conhecer o material com o qual se está trabalhando, de modo que seja possível identificar as fraquezas e corrigi-las a partir do desenvolvimento de tecnologias simples e eficazes. Dessa forma, cria-se ferramentas para uma mudança na consciência das pessoas que lideram o setor da construção, a fim de consolidar o uso dos materiais com terra.

Os materiais e métodos adotados na fase de projeto impactam consideravelmente a envoltória da edificação, estando diretamente relacionados ao desempenho e consumo energético da residência, bem como ao conforto do usuário. Lamberts et. al. [28] defendem que é possível obter uma edificação mais eficiente energeticamente que outra, quando a obra proporciona as mesmas condições ambientais com um consumo energético reduzido. Assim, eficiência energética está diretamente relacionada ao aperfeiçoamento dos sistemas já existentes, de modo a consumir menos energia na execução de atividades rotineiras.

Nota-se a importância do estudo das propriedades térmicas dos materiais, uma vez que para aproveitar as estratégias passivas de conforto térmico e otimizar os resultados é preciso dominar as propriedades do material utilizado. Contudo, ao utilizar o material solo-cimento é difícil estimar os valores corretos das propriedades na fase de projeto.

Salienta-se que há normas que regem a produção e métodos de ensaio BTC [2], adobes [6] e recentemente uma norma para execução da taipa de pilão [7]. Contudo, nenhuma aborda a questão das propriedades térmicas específicas do material.

Para que um projeto seja bem dimensionado é essencial que haja a adoção de valores precisos das propriedades térmicas dos materiais, de modo que seja possível executar um dimensionamento mais assertivo da envoltória da edificação. Ocorreram avanços relacionados à pesquisa e atualização do banco de dados em termos globais, mas ainda há divergências nos resultados obtidos (Tabela 1).

Tabela 1: Valor da condutividade térmica do solo cimento como material de construção

Referência	Condutividade térmica [W/m.K]
[3]	0,30 - 1,33
[1]	0,46 - 0,81
[9]	1,00 - 1,40
[31]	0,35 - 0,70
[33]	0,75 - 1,15

Fonte: o autor.

Os intervalos obtidos possuem uma alta amplitude de valores, ressaltando a necessidade da determinação de um intervalo mais preciso. Portanto, a intenção desta pesquisa é preencher tal lacuna, analisando os trabalhos publicados acerca do tema e verificando qual a maior frequência de valores da condutividade térmica. Dessa forma, será possível contribuir para a consolidação do uso de solo na construção civil, disponibilizando um valor de referência para projetistas definirem as melhores estratégias na fase de projeto da edificação.

Assim, o objetivo desta pesquisa foi realizar um estudo bibliométrico sobre a condutividade térmica do solo como componente construtivo e as demais propriedades físicas que afetam essa propriedade.

METODOLOGIA

Para a pesquisa, adotou-se um processo exploratório e descritivo que visa analisar a produção científica nacional e internacional sobre as propriedades térmicas do solo como material de construção. As principais ferramentas de buscas para o levantamento bibliométrico foram: a plataforma dos periódicos da CAPES, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e Google Acadêmico. As palavras chaves adotadas foram uma combinação dos seguintes termos: solo-cimento, propriedades térmicas, condutividade térmica, bloco solo comprimido, taipa. Assim como a versão em inglês: *cement soil, thermal properties, thermal conductivity, compressed earth blocks, rammed earth*.

Esta seleção resultou em uma base de dados composta por 35 publicações [1],[9],[10], [12] a [20], [23] a [27], [29], [30], [33], [34], [36], [37], [41], [43] a [50], [51] a [54]. As publicações foram classificadas segundo as seguintes informações: região geográfica na qual o ensaio foi realizado, classificação do solo (arenoso, siltoso ou argiloso), presença ou não de cimento (caso haja, o valor da porcentagem), forma de moldagem do componente construtivo, teor de umidade durante aplicação dos ensaios, tipo de ensaio térmico efetuado e propriedades físico-químicas e térmicas disponíveis (massa específica, condutividade térmica, calor específico, difusividade térmica e efusividade térmica).

Somente alguns artigos citam todas as informações listadas, logo, há uma presença de não informados (NI) no decorrer das análises. Em uma primeira etapa, realizou-se um estudo qualitativo da base de dados, a fim de gerar um panorama sobre o estudo da terra como material de construção no contexto mundial. Esta análise foi realizada pelo software Excel e englobou os seguintes parâmetros: região geográfica, tipo de solo do componente, forma de moldagem do componente e método de ensaio térmico.

Na segunda etapa, executou-se uma análise estatística por meio do programa RStudio [40]. Selecionando a condutividade térmica como variável independente, aplicou-se o teste de correlação de Pearson e a análise de variância (ANOVA), além de gerar gráficos relacionando a condutividade térmica com cada parâmetro de engenharia.

Por fim, com o intuito de obter um valor de referência para a condutividade térmica do material de construção com terra, gerou-se um gráfico de frequência de ocorrência para visualizar qual o valor médio da condutividade na base de dados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

CARACTERÍSTICAS DA BASE DE DADOS

O primeiro fator analisado foi a região geográfica na qual os trabalhos foram desenvolvidos. Observou-se que do total de publicações averiguadas 37% são da África, 29% da Europa, 28% da Ásia e 6% no Brasil. Giuffrida et al. [22] comentam que há uma divisão em como construções com solo são encaradas em diferentes regiões do mundo. Ou seja, enquanto em países em desenvolvimento as construções com solo são associadas a habitações sociais ou emergenciais, países desenvolvidos demonstram recente interesse no solo como um material natural sustentável. Percebe-se que a maioria das publicações se concentram em países em desenvolvimento, onde busca-se materiais de baixo custo e que apresentem boas propriedades físicas e mecânicas, principalmente para uso em habitações residenciais.

O segundo fator analisado foi a classificação granulométrica do solo, dividida em arenoso, siltoso ou argiloso. De acordo com Neves e Faria [38], tanto para moldagem de BTC quanto para taipa, o solo ideal é o arenoso, mas que possua uma parcela de finos para gerar coesão na mistura. Além disso, a composição mineralógica do solo apresenta grande influência nas propriedades térmicas do elemento construtivo. O quartzo (principal mineral da areia) possui uma alta condutividade térmica em comparação com os outros minerais presentes no solo, logo, a presença de quartzo em solos arenosos influencia diretamente nas propriedades térmicas [54].

Como esperado, 48% dos solos são arenosos, 23% siltosos, 23% argilosos e 6% NI. Salienta-se que a classificação apresentada é referente ao solo *in natura* adotado pelo autor, e que em alguns casos há uma etapa de correção granulométrica antes da moldagem dos blocos ou taipa. Neves e Faria [38] explicam que isto ocorre, pois, caso o solo disponível for uma areia sem coesão, será necessária correção granulométrica a fim de possibilitar o uso do material. Por outro lado, solos muito argilosos são mais suscetíveis a problemas de retração e fissuração após o tempo de cura, também sendo necessárias correções.

Outra caraterística importante é o tipo de moldagem do elemento construtivo. Com relação a taipa de pilão, 100% das publicações aplicam o processo construtivo de compactação dinâmica *in loco*. Para a fabricação dos BTC 36% dos autores optaram pelo método da prensa hidráulica, 27% prensa manual, 20% extrusora a vácuo e 17% NI. Nota-se que 64% dos autores adotaram o método da prensagem do bloco, seja por meio de prensas hidráulicas ou manuais. Tal situação pode ser explicada pela evolução

do processo tradicional (prensa manual) para um processo mais preciso e eficiente (prensa hidráulica), sendo, portanto, mais comum.

Ademais, além dos materiais e tipo de execução do bloco e da taipa, verificou-se o modo como o ensaio de determinação das propriedades térmicas é executado. Yuksel [51] afirma que os métodos são classificados em dois grupos: permanentes ou transientes. Os métodos permanentes medem as propriedades térmicas enquanto o material entra em equilíbrio com o fluxo constante de calor, já os métodos transientes determinam as propriedades durante o processo de aquecimento. Os ensaios de cada categoria estão listados abaixo:

● Métodos permanentes: método da placa quente protegida [4], método da caixa quente protegida e método do fluxímetro [5];

● Métodos transientes: método do disco quente, método do fio quente [8] e método do laser flash.

Observou-se que 54% dos ensaios são executados por métodos permanentes (37% placa quente protegida e 17% caixa quente protegida) e 37% por métodos transientes (29% disco quente e 8% fio quente), sendo os outros 9% por métodos variados com menor incidência. Consoante Zhang et al. [51] enquanto os métodos transientes geralmente são mais rápidos e baratos, uma vantagem dos métodos permanentes é que apresentam maior precisão nos resultados. Dessa forma, verifica-se que é esperado que a maioria dos testes ainda sigam a metodologia permanente.

INFLUÊNCIA DAS DEMAIS PROPRIEDADES FÍSICAS NA CONDUTIVIDADE TÉRMICA

A primeira análise realizada foi a verificação da correlação entre a condutividade térmica e outros fatores físico-químicos do material, por meio do coeficiente de correlação de Pearson (Tabela 2).

Com relação ao teor de umidade, a maioria dos componentes possui umidade higroscópica, ou seja, aquela que o material apresenta quando está em equilíbrio com o meio que o cerca. A fim de tornar este valor numérico e possibilitar o cálculo do coeficiente de correlação de Pearson, considerou-se que elementos com umidade higroscópica apresentam 2% de teor de umidade. Este é um valor de referência obtido por meio da pesquisa de Pinto [39], porém, a umidade higroscópica depende de fatores como o clima local e condições de armazenamento, logo, a adoção de um valor único é uma forma simplificada para facilitar a análise dos dados.

Tabela 2: Coeficiente de Correlação de Pearson

Parâmetro	ρ	Interpretação
Condutividade x Massa específica	0,35	correlação moderada
Condutividade x Calor específico	-0,13	correlação fraca
Condutividade x Cimento [%]	0,07	correlação fraca
Condutividade x Teor de Umidade	0,24	correlação fraca

Fonte: o autor.

Destaca-se a existência da correlação moderada entre os parâmetros condutividade térmica e massa específica aparente nos elementos construtivos com terra.

Por meio da aplicação do teste ANOVA, observou-se que as propriedades com maior influência na condutividade térmica é a forma de moldagem do componente (Tabela 3).

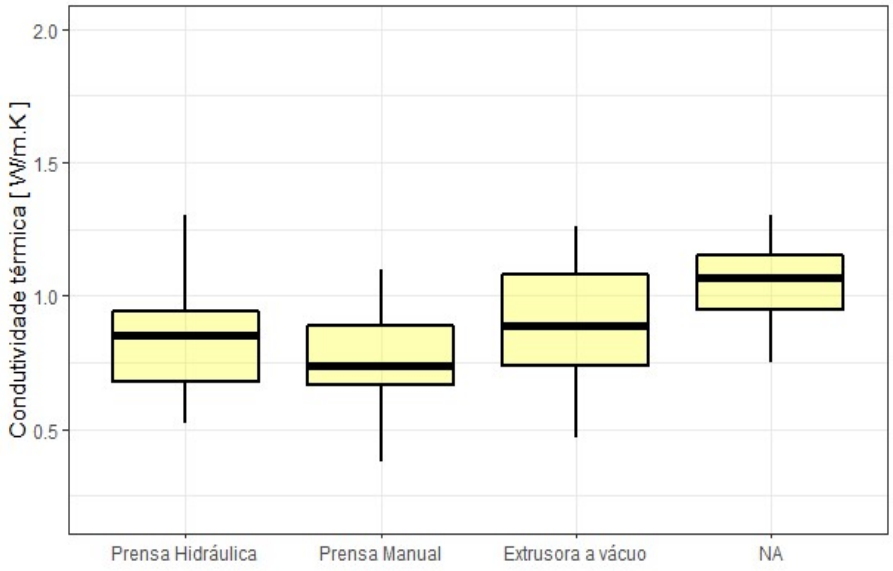
Tabela 3: Análise de variância (ANOVA).

Relação	p - Valor
Condutividade x Forma de moldagem	0,01
Condutividade x Calor específico	0,02
Condutividade x Teor de umidade durante o ensaio	0,04
Condutividade x Tipo de Solo	0,05
Condutividade x Tipo de ensaio	0,36
Condutividade x Massa específica	0,35
Condutividade x Cimento [%]	0,67

Fonte: o autor.

Adotou-se um nível de significância de 0,05 para o p-valor, logo os parâmetros com maior influência são respectivamente: forma de moldagem, calor específico e teor de umidade durante o ensaio. Para compreender melhor essas relações, gerou-se gráficos relacionando a condutividade térmica com as variáveis. Adotou-se somente o conjunto de dados dos BTC, visto que representam a maioria dos dados.

Figura 1: Relação da forma de moldagem do bloco com a condutividade térmica



Fonte: o autor.

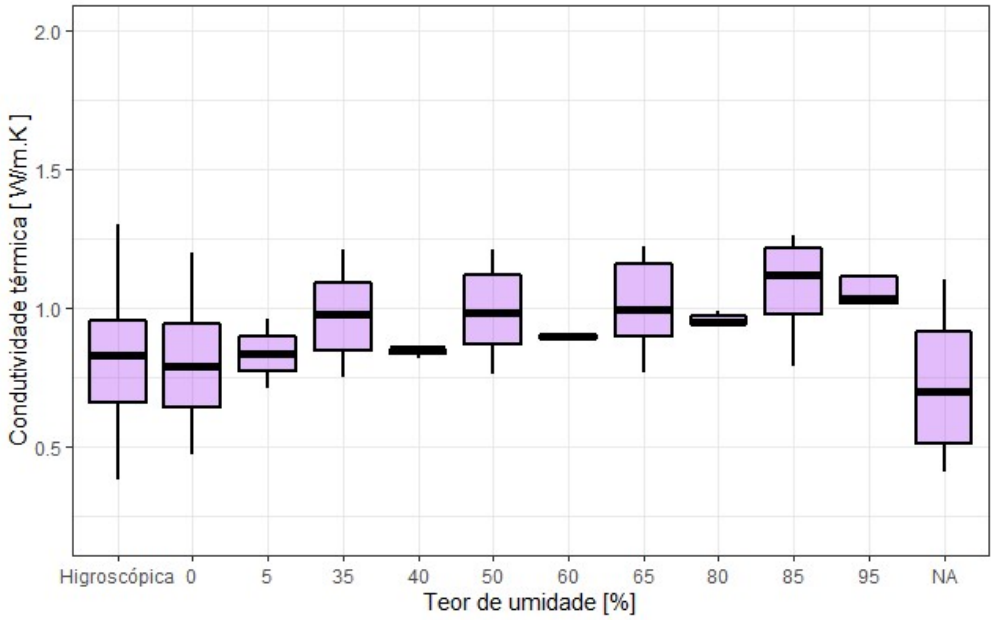
Na Figura 1 observa-se que o processo de extrusão a vácuo apresenta uma maior amplitude de valores em relação ao uso da prensa. Embora o processo de extrusão ofereça maior praticidade para produção em larga escala, este método apresenta algumas controvérsias. Durante o processo de extrusão, as camadas do solo se orientam na direção imposta pela máquina, e tal direcionamento gera propriedades anisotrópicas nos blocos, ou seja, há uma diferença nas características dos blocos ao analisar a amostra em diferentes direções.

Maillard e Aubert [30] apresentam resultados que comprovaram a diferença nas propriedades térmicas e hídricas dos blocos ao analisar no sentido paralelo ou perpendicular ao sentido de extrusão. No sentido perpendicular há uma menor condutividade térmica, devido a maior dificuldade do fluxo de calor para atravessar as

partículas; enquanto que no sentido paralelo houve um incentivo a passagem de calor resultando em uma maior condutividade térmica.

Outro fator de influência significativa na condutividade térmica é o teor de umidade no momento do ensaio. Na Figura 2, nota-se que com o aumento do teor de umidade dos blocos há uma tendência de aumento da condutividade térmica. Assim, como discutido por Mohamed et al. [35] e demonstrado experimentalmente por Meukam et al [33], a quantidade de água influencia fortemente a condutividade térmica do material, com uma relação não-linear. E isso se deve ao fato de que a água passa a ocupar os espaços antes preenchidos pelo ar (eficiente isolante térmico), o que resulta no aumento da condutividade térmica do bloco.

Figura 2: Relação do teor de umidade com condutividade térmica

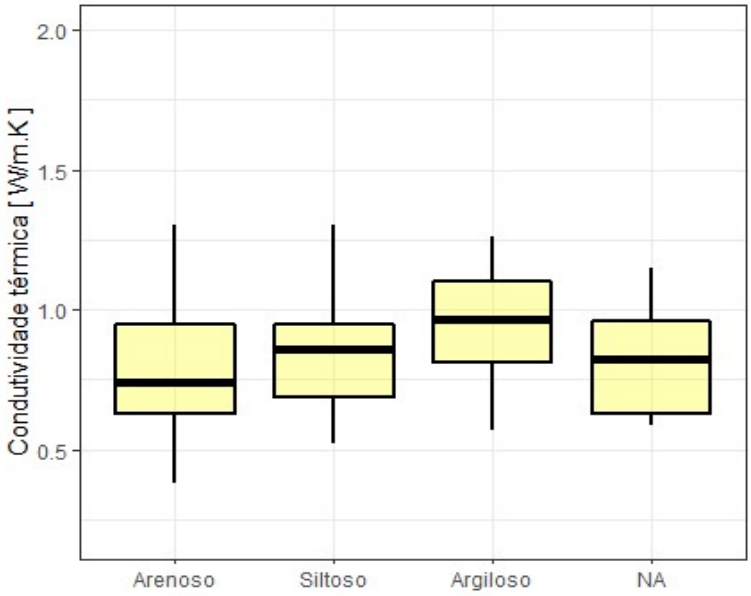


Fonte: o autor.

Com relação ao tipo de solo adotado na mistura para a produção do bloco, verifica-se que há um leve aumento dos valores de condutividade térmica em elementos que utilizam o solo argiloso (Figura 3). Tal fato vai ao encontro do estudo proposto por Zhang et al. [54] que explicam que quanto maior a porcentagem de poros entre os grãos, mais ar incorporado na mistura, e como o ar apresenta uma baixa condutividade térmica (na ordem de 0,026 W/m.K), os solos mais porosos tendem a apresentar menor condutividade térmica.

Vale ressaltar que não é recomendado uso de solos argilosos devido a maior tendência de fissuração e retração, sendo o ideal um solo com uma ampla faixa granulométrica. Neves e Faria [38] recomendam o uso de terra com porcentagem de areia superior a 50%, visto que areia é responsável pela resistência do bloco, enquanto que a argila age na coesão das partículas de solo.

Figura 3: Relação entre tipo de solo com a condutividade térmica

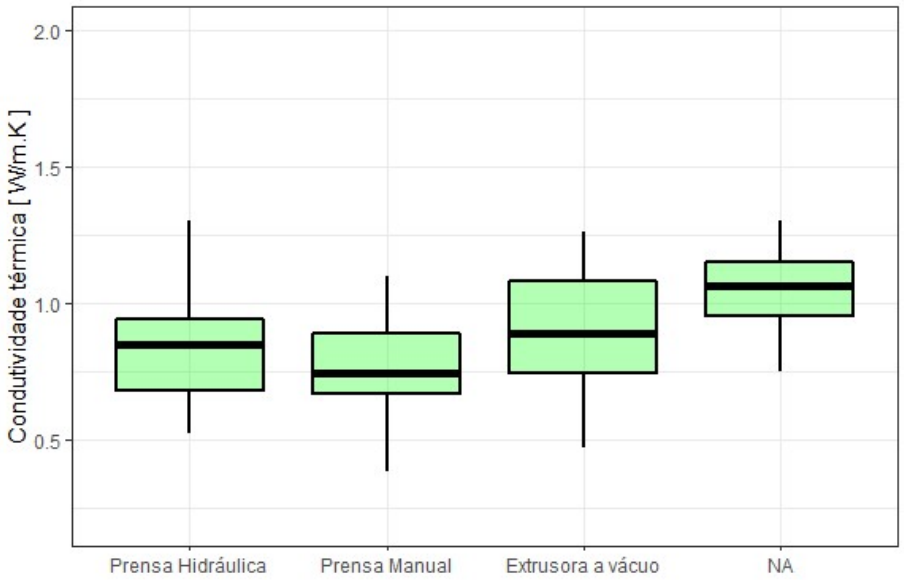


Fonte: o autor.

Outro ponto de destaque é que o método de ensaio adotado influencia nos resultados de condutividade térmica do material. Logo, na Figura 4 nota-se que métodos transientes de ensaio (disco quente e fio quente) apresentam resultados para a condutividade térmica mais elevados ao comparar-se com os métodos de ensaio permanentes (placa quente e caixa quente).

Dentre os métodos, o mais destoante é o método transiente do fio quente. De acordo com Santos et al. [42] este método é considerado preciso para medição das propriedades térmicas em materiais cerâmicos, mas possui limitações quando aplicado em alguns materiais. Merckx et al. [32] defendem o uso do método do fio quente para materiais granulares, porém, como discutido anteriormente o método da placa quente aquecida ainda permanece como mais tradicional entre os autores.

Figura 4: Relação entre tipo de ensaio realizado e a condutividade térmica

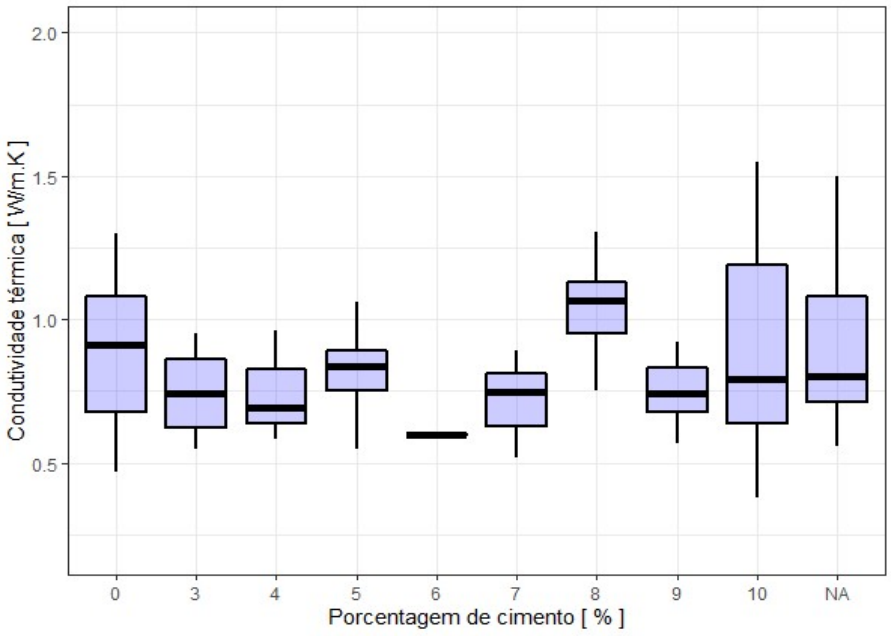


Fonte: o autor.

Com relação a influência nas propriedades térmicas causada pela adição de cimento no solo, ainda há controvérsias. Enquanto Zhang et al. [54] demonstram por meio de ensaios que não há uma correlação visível entre a porcentagem de cimento presente no bloco e a sua condutividade térmica, Zakham et al. [52] apontam que maiores porcentagens de cimento na amostra acarretam em um aumento da condutividade térmica dos BTC.

Analisando o gráfico representado pela Figura 5, nota-se que não há uma linha clara de influência entre a quantidade de cimento adotada e a condutividade térmica do material. Entretanto, o gráfico é baseado em uma revisão bibliográfica ampla que conta com diversas características de solo e métodos de ensaio. Portanto, seria necessárias condições similares de preparo e análise das amostras, para obter conclusões efetivas sobre o assunto.

Figura 5: Relação entre porcentagem de cimento e condutividade térmica

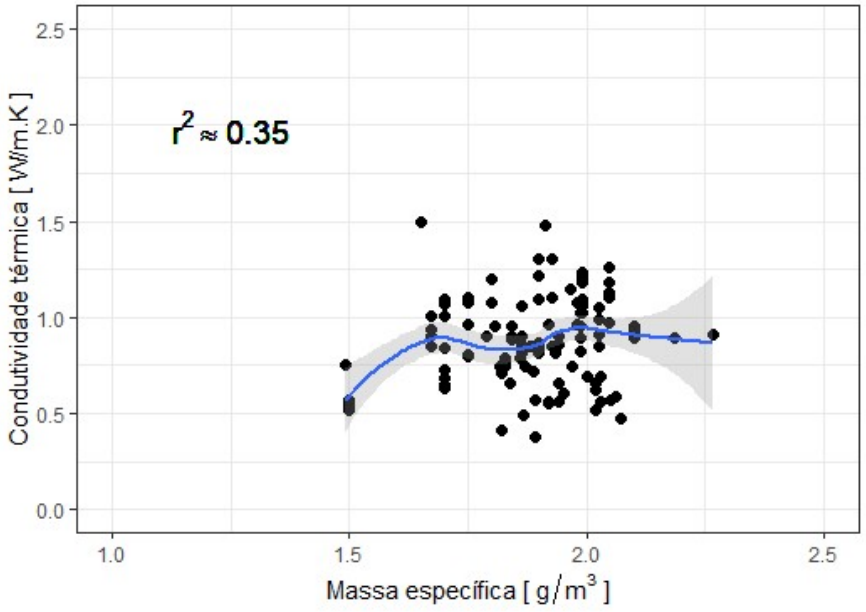


Fonte: o autor.

Sore et al. [45] demonstraram experimentalmente que há uma forte relação entre a massa específica do material e a condutividade térmica. Tais resultados explicam também que quanto maior a massa específica, menos poros presentes entre os grãos; logo, a condutividade térmica será menor, pois o ar entre os poros age como isolante térmico.

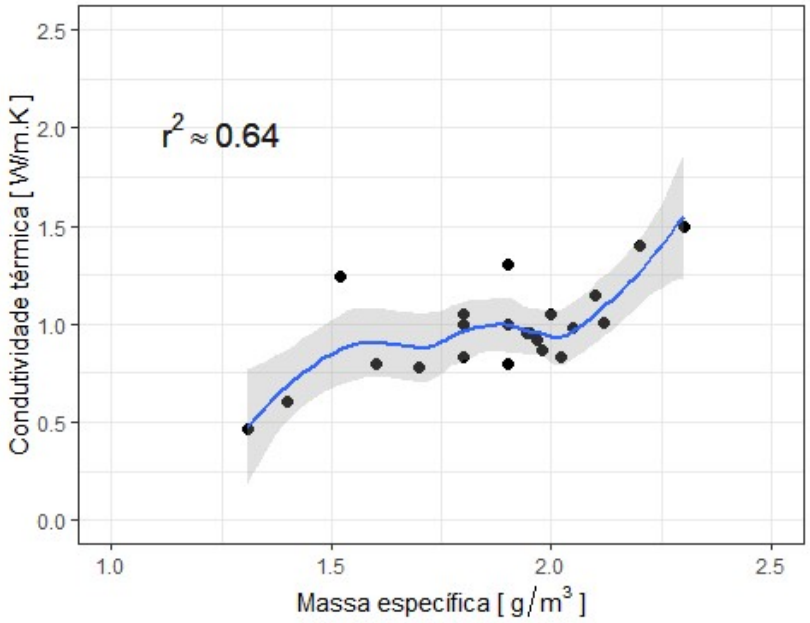
Assim sendo, uniu-se às propriedades de massa específica com seu valor correspondente da condutividade térmica para uma análise mais detalhada. Para essa verificação apresenta-se os gráficos para BTC (Figura 6) e taipa (Figura 7). Nota-se que para o caso da taipa há uma linha de tendência bem definida com a relação linear entre as duas propriedades, já no caso dos BTC, é possível visualizar uma nuvem de dados sem tendência bem definida.

Figura 6: Relação entre massa específica relativa e condutividade térmica BTC



Fonte: o autor.

Figura 7: Relação entre massa específica relativa e condutividade térmica na Taipa



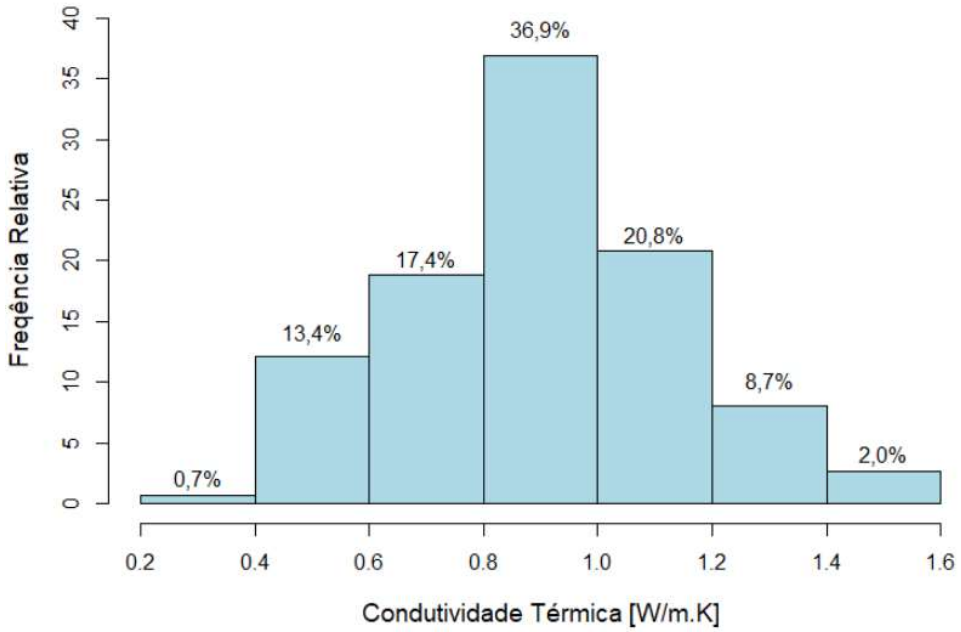
Fonte: o autor.

De acordo com Zhang et al [53] há uma relação linear entre condutividade e massa específica. Tal resultado é visível somente no gráfico da Figura 7, e possivelmente ocorre devido a forma de moldagem destes componentes: enquanto a taipa de pilão apresenta uma única metodologia de moldagem, os blocos podem ser comprimidos de diferentes formas e com diferentes intensidades, resultando na falta de linearidade entre os valores.

Com relação a obtenção de valores de referência para a condutividade térmica do material de construção com terra, executou-se um gráfico de frequência de ocorrência

(Figura 8), a fim de visualizar qual o valor médio da condutividade ocorre com maior frequência na base de dados analisada.

Figura 8: Histograma de frequência de ocorrência da condutividade térmica



Fonte: o autor.

Portanto, para o conjunto de dados avaliados, mais de 75% dos valores médios da condutividade térmica em componentes construtivos com solo se encontram no intervalo entre 0,7 e 1,1 W/m.K. Logo, este é o intervalo obtido na pesquisa, e condiz com os valores abordados na literatura (Tabela 1). Além disso, é um intervalo bem mais preciso do que o atualmente adotado pela norma de desempenho térmico das edificações [3], que estima que materiais granulares dentro da zona propícia para uso em construção civil apresentam massa específica fixa de 1,5g/m^3 e condutividade térmica variando entre 0,30 e 1,33 W/m.K.

CONCLUSÃO

Por meio da revisão bibliométrica do banco de dados disponíveis sobre as propriedades térmicas do solo, foi possível obter um intervalo mais preciso para a condutividade térmica, em relação aos intervalos já publicados. Entretanto, ressalta-se a pouca expressividade de trabalhos nacionais disponíveis, visto que somente 6% do banco de dados é referente ao Brasil. Dessa forma, reforça-se a necessidade de mais estudos e pesquisas empíricas sobre o tema, a fim de obter um resultado focado no território nacional.

Com relação às demais propriedades físicas que influenciam na condutividade térmica do material, o destaque é para a forma de moldagem. Tal fato está ligado à massa específica do material, uma vez que há uma relação linear entre condutividade e massa específica. Ou seja, o tipo de moldagem influencia a massa específica final do produto, que está relacionada às propriedades térmicas do elemento construtivo.

Evidencia-se a importância da adição mais detalhada das propriedades térmicas nas normas específicas do material solo cimento, bem como a especificação dos métodos

de ensaios mais indicados. Dessa forma, será possível fortalecer o conjunto normativo nacional e consequentemente auxiliar na consolidação do uso do solo como material de construção. Além disso, a inclusão das características térmicas nas normas pode fornecer uma base de referência para o projeto de edificações eficientes e sustentáveis.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio das seguintes instituições: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) e Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT).

REFERÊNCIAS

[1] ADAM, E. A.; JONES, P. J. Thermophysical properties of stabilised soil building blocks. **Building and Environment**, v. 30, n. 2, p. 245-253, 1995. DOI: https://doi.org/10.1016/0360-1323(94)00041-P.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10833:** Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica — Procedimento. Rio de Janeiro, 2013.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2:** Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220-4:** Desempenho térmico de edificações Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida. Rio de Janeiro, 2003.

[5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220-5:** Desempenho térmico de edificações. Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico. Rio de Janeiro, 2005.

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16814:** Adobe - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2020.

[7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17014:** Taipa de pilão – Requisitos, procedimentos e controle. Rio de Janeiro, 2022.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 8894-2:** Materiais refratários - Determinação da condutividade térmica Parte 2: Método do fio-quente (paralelo). Rio de Janeiro, 2007.

[9] AVILA, F.; PUERTAS, E.; GALLEGO, Rl. Characterization of the mechanical and physical properties of unstabilized rammed earth: A review. **Construction and Building Materials**, p. 121435, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121435.

[10] BACHAR, M. et al. Characterization of a stabilized earth concrete and the effect of incorporation of aggregates of cork on its thermo-mechanical properties: Experimental study and modeling. **Construction and Building Materials**, v. 74, p. 259-267, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.106.

[11] BAHAR, R. et al. Performance of Compacted Cement-Stabilized Soil**. Cement and Concrete Composites**, vol. 26, no 7, p. 811–20, 2004. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.01.003.

[12] BALAJI, N. C. et al. Influence of Varying Mix Proportions on Thermal Performance of Soil-Cement Blocks. In: **Proceedings of the 2nd IBPSA Italy Conference**, Building Simulation Application–2015 (BSA 2015). BU Press, Bozen-Bolzano, Italy, 2015. p. 8.

[13] BALAJI, N. C.; MANI, M.; REDDY, B. V. V. Thermal conductivity studies on cement-stabilised soil blocks. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Construction Materials**, v. 170, n. 1, p. 40-54, 2017. DOI: https://doi.org/10.1680/jcoma.15.00032.

[14] BENHAOUA, W.; GRINE, K.; KENAI, S. Performance of stabilized earth with wheat straw and slag. **MRS Advances**, v. 5, n. 25, p. 1285-1294, 2020. DOI: https://doi.org/10.1557/adv.2020.174.

[15] BRUNO, A. W. et al. Thermal performance of fired and unfired earth bricks walls**. Journal of Building Engineering,** v. 28, p. 101017, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101017

[16] CAGNON, H. et al. Hygrothermal properties of earth bricks. **Energy and Buildings**, v. 80, p. 208-217, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.05.024.

[17] CHEIKHI, W. et al. Study of indoor performances of a building using Rammed earth. In: **MATEC Web of Conferences**. EDP Sciences, 2018. p. 2089.

[18] EL FGAIER, F. et al. Dynamic thermal performance of three types of unfired earth bricks. **Applied Thermal Engineering**, v. 93, p. 377-383, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.09.009

[19] EL FGAIER, F. et al. Effect of sorption capacity on thermo-mechanical properties of unfired clay bricks. **Journal of Building Engineering**, v. 6, p. 86-92, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2016.02.011.

[20] Ferreira, R. C. **Mini-painéis, termofísicas de tijolos e. Desempenho físico-mecânico e propriedades termofísicas de tijolos e mini-painéis de terra crua tratada com aditivos químicos.** 2003. 229 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) . Universidade estadual de Campinas, 2003.

[21] GIESEKAM, J.; BARRETT, J. R.; TAYLOR, P. Construction sector views on low carbon building materials. **Building Research & Information**, v. 44, n. 4, p. 423-444, 2016. DOI: https://doi.org/10.1080/09613218.2016.1086872.

[22] GIUFFRIDA, G; et al. An overview on contemporary rammed earth buildings: technological advances in production, construction and material characterization. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, vol. 296, 2019. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/296/1/012018.

[23] HALL, M.; ALLINSON, D. Assessing the effects of soil grading on the moisture content-dependent thermal conductivity of stabilised rammed earth materials. **Applied Thermal Engineering,** v. 29, n. 4, p. 740-747, 2009. DOI: https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2008.03.051.

[24] JUAN, X. et al. The comparative study on the climate adaptability based on indoor physical environment of traditional dwelling in Qinba mountainous areas, China. **Energy and Buildings**, v. 197, p. 140-155, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.05.045.

[25] KHEDARI, J.; WATSANASATHAPORN, P.; HIRUNLABH, J. Development of fibre-based soil–cement block with low thermal conductivity. **Cement and concrete composites**, v. 27, n. 1, p. 111-116, 2005. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.02.042.

[26] 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, p. e00448, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00448

[27] LABOREL-PRÉNERON, A.; MAGNIONT, C.; AUBERT, J. Hygrothermal properties of unfired earth bricks: Effect of barley straw, hemp shiv and corn cob addition. **Energy and Buildings**, v. 178, p. 265-278, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.021.

[28] LAMBERTS, R; DUTRA, L; PEREIRA, F. O. **Eficiência energética na arquitetura**. 3 ed. São Paulo: PW, 2013.

[29] LIUZZI, S. et al. Hygrothermal behaviour and relative humidity buffering of unfired and hydrated lime-stabilised clay composites in a Mediterranean climate. **Building and Environment**, v. 61, p. 82-92, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.12.006.

[30] MAILLARD, P.; AUBERT, J-E. Effects of the anisotropy of extruded earth bricks on their hygrothermal properties. **Construction and Building Materials**, v. 63, p. 56-61, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.021.

[31] MANIATIDIS, V.; WALKER, P. A review of rammed earth construction for DTi partners in innovation project. **Natural building technology group**, University of Bath, 2003.

[32] MERCKX, B. et al. Simplified transient hot-wire method for effective thermal conductivity measurement in geo materials: microstructure and saturation effect. **Advances in Civil Engineering**, v. 2012, 2012. DOI: https://doi.org/10.1155/2012/625395

[33] MEUKAM, P. et al. Thermo physical characteristics of economical building materials. **Construction and Building Materials**, v. 18, n. 6, p. 437-443, 2004. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.03.010

[34] MILOHIN, G. S G. et al. Mechanical and thermal characterization of compact blocks made of clayey earth with wood ashes addition. In: **MATEC Web of Conferences**. EDP Sciences, 2020. p. 1030.

[35] MOHAMED B. et al. Characterization of a stabilized earth concrete and the effect of incorporation of aggregates of cork on its thermo-mechanical properties: Experimental study and modeling. **Construction and Building Materials**, v. 74, p. 259-267, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.106

[36] NAMBOONRUANG, W. et al. Properties of Crumb Rubber Mixed in Local Thailand Soil Cement Brick Composites. In: **Advanced Materials Research**. Trans Tech Publications Ltd, 2013. p. 1271-1276.

[37] NARAYANASWAMY, A. H. et al. Mechanical and thermal properties, and comparative life-cycle impacts, of stabilised earth building products. **Construction and Building Materials**, v. 243, p. 118096, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118096.

[38] NEVES, C.; FARIA, O. B. **Técnicas de construção com terra**. Bauru, SP: FEB-UNESP/PROTERRA. Disponível em: http://www.redproterra.org. Acesso em: 15 junho 2021.

[39] PINTO, E. S. **Solo-cimento compactado: proposta de métodos de ensaio para dosagem e caracterização física e mecânica.** 2016. 207 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru, 2016.

[40] R-PROJECT. R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <http://www.Rproject.org/>. Acesso em novembro 2021.

[41] SAIDI, M. et al. Stabilization effects on the thermal conductivity and sorption behavior of earth bricks**. Construction and Building Materials**, v. 167, p. 566-577, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.063.

[42] SANTOS, W. N. dos et al. Método de fio quente na determinação das propriedades térmicas de polímeros. **Polímeros**, v. 14, p. 354-359, 2004. DOI: https://doi.org/10.1590/S0104-14282004000500014

[43] SILVA, W. M.; FERREIRA, R. C. Incorporação de resíduos agroindustriais e seus efeitos sobre as características mecânicas e termofísicas de tijolos modulares de solo-cimento. In: CONGRESSO DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO DA UFG - CONPEEX, 2, 2005, Goiânia. **Anais eletrônicos do XIII Seminário de Iniciação Cientifica** [CD-ROM], Goiânia: UFG, 2005. 3p.

[44] SINDANNE, S. A. et al. Thermophysical characterization of earth blocks stabilized by cement, sawdust and lime. **Journal of Building Materials and Structures**, v. 1, n. 2, p. 58-64, 2014. DOI: https://doi.org/10.34118/jbms.

[45] SORE, S. O. et al. Stabilization of compressed earth blocks (CEBs) by geopolymer binder based on local materials from Burkina Faso**. Construction and Building Materials**, v. 165, p. 333-345, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.0517.

[46] TAALLAH, B.; GUETTALA, A. The mechanical and physical properties of compressed earth block stabilized with lime and filled with untreated and alkali-treated date palm fibers. **Construction and Building Materials**, v. 104, p. 52-62, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.007.

[47] TEIXEIRA, E. R. et al. Mechanical and thermal performance characterisation of compressed earth blocks**. Energies,** v. 13, n. 11, p. 2978, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/en13112978.

[48] TOUFIGH, V.; KIANFAR, E. The effects of stabilizers on the thermal and the mechanical properties of rammed earth at various humidities and their environmental impacts. **Construction and Building Materials**, v. 200, p. 616-629, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.050.

[49] TOURÉ, P. M. et al. Mechanical and hygrothermal properties of compressed stabilized earth bricks (CSEB). **Journal of Building Engineering**, v. 13, p. 266-271, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.08.012.

[50] WATI, E. et al. Energy performance of earthen building walls in the equatorial and tropical climates: a case study of Cameroon. **Energy Efficiency**, v. 13, n. 4, p. 735-750, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s12053-020-09856-6.

[51] YUKSEL, N. The Review of Some Commonly Used Methods and Techniques to Measure the Thermal Conductivity of Insulation Materials. In: **Insulation materials in context of sustainability**. 1 ed. United Kingdom: IntechOpen, 2016. p. 114-140. DOI: http://dx.doi.org/10.5772/64157

[52] ZAKHAM, N. et al. Influence of cement content on the thermal properties of compressed earth blocks (CEB) in the dry state. In **MATEC Web of Conferences**, vol. 149, 2018, p. 1059.DOI: https://doi.org/10.1051/matecconf/201814901059.

[53] ZHANG, L. et al. Hygrothermal properties of compressed earthen bricks. **Construction and Building Materials**, v. 162, p. 576-583, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.163.

[54] ZHANG, L. et al. Thermal conductivity of cement stabilized earth blocks. **Construction and Building Materials**, v. 151, p. 504-511, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.047.