

SIMULAÇÃO E ANÁLISE COMPARATIVA DO FLUXO DE CALOR DE PAREDE DE TIJOLO DE BARRO COM DIFERENTES TIPOS DE ISOLAMENTOS TÉRMICO

Grazielma Ferreira de Melo (Centro Universitário do Vale do Ipojuca)

E-mail: gferreirademelo@outlook.com

Lucicleitor Oliveira Santos (Centro Universitário do Vale do Ipojuca)

E-mail: lucicleitor_oliveira01@hotmail.com

Virgínia Lauanny Cupertino Freitas (Centro Universitário do Vale do Ipojuca)

E-mail: vih_lauanny19@hotmail.com

Resumo: Entre as diferentes estruturas no segmento da construção civil, frequentemente é utilizado tijolos de barro para constituir paredes e muros. Dado que, em diferentes especificidades, busca-se conforto e melhor isolamento térmico, se faz necessário a utilização de materiais isolantes, objetivando diminuir o fluxo térmico entre o meio interno e o externo. A pesquisa em questão, realizou uma análise comparativa, através de simulações, utilizando o software *Ansys*, do fluxo de calor de uma parede de tijolo de barro sem nenhum tipo de material isolante e da parede tijolo de barro associadas aos materiais: poliestireno expandido, poliestireno extrudado, cortiça, espuma de poliuretano e argamassa. Os resultados indicaram que a parede sem nenhum tipo de isolamento ou revestimento atingiu o fluxo máximo de calor de $557,87 \text{ W/m}^2$, a amostra que fez o uso da argamassa, propaga 0,428% a mais que a parede sem nenhum tipo de isolamento. Já as amostras de poliestireno expandido, poliestireno extrudado, cortiça e espuma de poliuretano obtiveram, respectivamente, 33,27%, 26,23%, 32,68% e 17,835% do fluxo máximo de calor da parede sem nenhum tipo de isolamento ou revestimento. Contudo, destacando o poliestireno extrudado e a espuma de poliuretano como os melhores materiais para isolamento térmico associados a parede de tijolo de barro. Portanto, verifica-se a associação direta da eficiência do material como isolante térmico à baixa condutividade térmica. Propõe-se estudos específicos para otimização da utilização dos materiais estudados como isolantes térmicos, em diferentes espessuras.

Palavras-chave: Parede de Tijolo de Barro, Isolamento Térmico, Fluxo de Calor, Simulação.

SIMULATION AND COMPARATIVE ANALYSIS OF HEAT FLOW OF CLAY BRICK WALL WITH DIFFERENT TYPES OF THERMAL INSULATION

Abstract: Among the different structures in the construction industry, clay bricks are often used to form walls and walls. Given that, in different specificities, comfort and better thermal insulation are sought, it is necessary to use insulating materials, aiming to reduce the thermal flow between the internal and external environment. The research in question carried out a comparative analysis, through simulations, using the *Ansys* software, of the heat flux of a clay brick wall without any type of insulating material and of the clay brick wall associated with the materials: expanded polystyrene, polystyrene extruded, cork, polyurethane foam and mortar. The results indicated that the wall without any type of insulation or coating reached the maximum heat flux of 557.87 W/m^2 , the sample that used the mortar propagates 0.428% more than the wall without any type of insulation. The samples of expanded polystyrene, extruded polystyrene, cork and polyurethane foam obtained, respectively, 33.27%, 26.23%, 32.68% and 17.835% of the maximum heat flux of the wall without any type of insulation or coating. However, highlighting extruded polystyrene and polyurethane foam as the best materials for thermal insulation associated with clay brick wall. Therefore, there is a direct association between the material's efficiency as a thermal insulator and its low thermal conductivity. Specific studies are proposed to optimize the use of the materials studied as thermal insulators, in different thicknesses.

Keywords: Clay Brick Wall, Thermal Insulation, Heat Flow, Simulation.

1. Introdução

O segmento da construção civil está presente desde o início das civilizações, sendo um ramo em crescimento e impulsionador da economia. Entre a grande variedade de materiais para a construção civil, destaca-se os tijolos (FERNANDES; LOURENÇO, 2007). Os tijolos são peças utilizadas frequentemente em estruturas, operando em distintas funções. Há diferentes tipos de tijolos, como os tijolos cerâmicos, concreto e ecológicos, sendo distinguidos por características físicas como matéria-prima constituinte e formato, tais características resultam em diferentes atuações para propriedades térmicas, acústica, ajustes da umidade e resistências mecânicas (MOHAMAD, 1999).

Para a análise térmica de peças estruturais, se faz necessário determinar o fluxo de calor e os respectivos mecanismos envolvidos. Para Çengel e Ghajar (2012), quando há diferença de temperatura, busca-se equilíbrio térmico entre os meios, ocorrendo uma transferência de calor do meio de maior temperatura para o meio de menor temperatura, logo a taxa de transferência de calor refere-se a quanto de calor foi transferido em um certo tempo. Segundo Rupp et al. (2009), estruturas constituídas de materiais com boa resistência térmica, para ambientes climatizados, provoca diminuição de gastos de energia, além disso a determinação da taxa e o fluxo de transferência de calor é importante para definir o desempenho térmico do material na estrutura.

A simulação é um mecanismo utilizado por diferentes áreas, na engenharia é uma ferramenta útil, pois através de modelos matemáticas, se faz possível analisar diferentes variáveis, reduzindo gastos. Contudo, a pesquisa em questão, tem como objetivo geral simular, através do software *Ansys*, o fluxo de calor em paredes de tijolo de barro com diferentes tipos de isolamentos térmicos, afim de determinar quais isolamentos são mais eficientes.

2. Revisão da Literatura

Neste tópico, será apresentado informações quanto aos tijolos de barro, bem como a taxa e o fluxo de transferência de calor, condutividade e difusividade térmica, condições de contorno e a apresentação do *software Ansys*.

2.1 Caracterização do Tijolo de Barro Cozido

Os tijolos de barro cozidos são considerados tijolos ecológicos e acessíveis, uma vez que a matéria-prima principal é frequentemente obtida em ambientes abertos, tal como o processo de produção ser simples. O cozimento das peças dá-se como essencial para obtenção de uma peça segura e sem acúmulo de umidade (FERNANDES et al., 2013). Frequentemente esse tipo de tijolo é direcionado para a construção de paredes e muros.

2.2 Taxa de Transferência e Fluxo de calor

A transferência de calor pode ocorrer por três mecanismos: condução, convecção e radiação. A condução refere-se à transferência de energia térmica das partículas mais energéticas para as menos energéticas, processo resultante das interações entre as partículas, ocorrendo em sólidos, líquidos ou gases. A condução depende de diferentes fatores como: tipo de material, espessura, geometria e a variação que o meio está submetido. A determinação da taxa de transferência de calor por condução dá-se através da Lei de Fourier, sendo representado pela equação 1.

$$q'_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Onde:

q'_x : Taxa de transferência de calor;

k: Condutividade térmica;

A: Área;

$\frac{dT}{dx}$: Gradiente de temperatura na seção.

A convecção é o método de transferência de calor que envolve a transferência de energia térmica entre a superfície sólida e o fluido adjacente em movimento. A convecção pode ser natural ou forçada, e é apresentada pela Lei de Resfriamento de Newton, demonstrada na equação 2.

$$q' = hA(T_s - T_\infty) \quad (2)$$

Onde:

q' : Taxa de transferência de calor;

h: Coeficiente de transferência de calor por convecção;

A: Área de troca de calor;

T_s : Temperatura da superfície;

T_∞ : Temperatura do fluido.

A transferência de calor por radiação ocorre quando a energia é emitida sob a forma de ondas eletromagnéticas, resultante da variação das configurações eletrônicas de átomos e moléculas. A radiação é um fenômeno volumétrico e não exige matéria para se propagar e toda superfície com temperatura maior que 0 K emite energia por radiação. A taxa líquida de transferência de calor por radiação é demonstrada pela Lei de Stefan-Boltzmann na equação 3.

$$q' = \varepsilon\sigma A(T_1^4 - T_2^4) \quad (3)$$

Onde:

q' : Taxa de transferência de calor;

ε : Emissividade;

σ : Constante de Stefan-Boltzmann;

A: Área da superfície;

T_1 : Temperatura da superfície;

T_2 : Temperatura da vizinhança.

O fluxo de calor representa a taxa de transferência de calor pela área, sendo demonstrado na equação 4.

$$q'' = \frac{q'}{A} \quad (4)$$

Onde:

q'' : Fluxo de calor;

q' : Taxa de transferência de calor;

A: Área.

2.3 Condutividade e Difusividade Térmica

A condutividade térmica indica a capacidade que os materiais possuem de conduzir calor, tendo como unidade Watt por metro Kelvin. Segundo Akiyoshi et al. (2001), a condutividade

térmica é uma propriedade fundamental para desenvolvimento e otimização de projetos. Portanto, é uma propriedade que pode ser determinada experimentalmente. De modo simplificado, quando a condutividade térmica é constante é expressa na equação 5, em sua forma de derivada parcial de segunda ordem.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (5)$$

Park et al. (1999), afirma que a difusividade térmica pode ser expressa através da equação 6.

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad (6)$$

Onde:

α : Difusividade Térmica;

k : Condutividade Térmica;

ρ : Massa Específica;

C_p : Calor Específico.

A difusividade térmica representa a velocidade ao qual o calor irá se propagar no meio, logo, tem-se como unidade metros ao quadrado por segundo.

2.4 Condições de Contorno

A fim de determinar a distribuição de temperatura em um meio, se faz necessário utilizar a equação da difusão de calor representada pela equação 7, contudo há a essencialidade de delimitar informações com as condições de contorno, desse modo, determinando as condições físicas no sistema em análise.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q' = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (7)$$

Para cada coordenada da geometria em estudo, se faz necessário determinar duas condições de contorno. As condições de contorno podem ser: temperatura especificada, fluxo prescrito, fluxo prescrito: parede isolada, fluxo prescrito: simetria térmica, convecção na superfície e radiação na superfície.

Frequentemente, as condições iniciais impostas, são determinadas através de um perfil de temperaturas especificadas, partindo do instante 0, como mostra a equação 8.

$$T(0,t) = T_1 \quad (8)$$

Onde:

T : Temperatura em $x=0$;

T_1 : Temperatura especificada.

Um dos casos especiais, retrata o contorno isolado, objetivando a diminuição da troca térmica, como mostra a imagem 1.

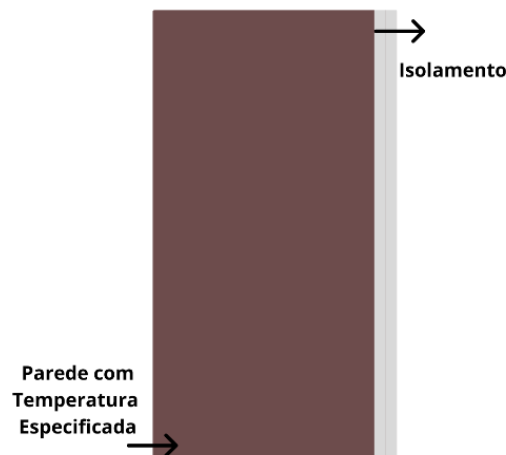


Figura 1 – Demonstração de uma placa plana com condições de contorno de isolamento e de temperatura especificada. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

Para facilitar cálculos analíticos, tem-se a ideia de que uma superfície isolada possui fluxo de calor nulo, logo sendo representado pela equação 9.

$$\frac{\partial T(0,t)}{\partial x} = 0 \quad (9)$$

Logo, a derivada parcial da temperatura para a coordenada x , na direção da superfície isolada é nula.

2.5 Ansys

O Ansys é um *software* de simulação de engenharia, que pode englobar: estruturas, análise fluidodinâmica, análise termodinâmica, análise de transferência de calor, análise eletromagnética, entre outras. O programa usa o método elementos finitos para tratar as geometrias, como mostra a figura 2.

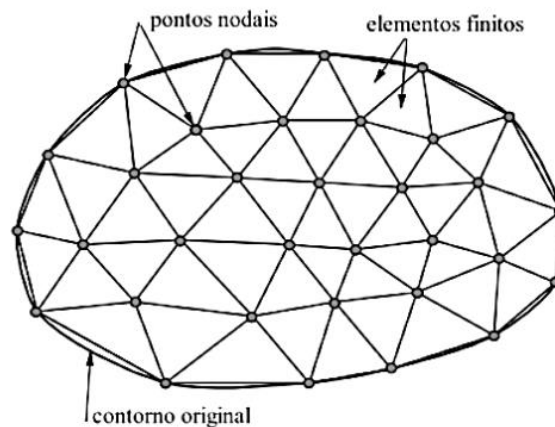


Figura 2 – Demonstração de uma malha de elementos finitos. **Fonte:** Souza (2003), adaptado.

O método de elementos finito discretiza o sistema em análise, tornando-os pequenos elementos de análise. Os pontos nodais são dados como parâmetros de análise, através de um quantitativo estabelecido de pontos nodais, os chamados nós. Para as análises de transferência de calor, os meios sólidos indicarão a condução, já para a convecção e radiação se faz necessário determinar condições de contorno.

3. Metodologia

Para tal pesquisa, foi realizado o desenvolvimento da problemática, alinhado com a simulação computacional, seguida da discussão dos resultados e comparação com pesquisas similares. Com o objetivo de atingir os resultados, foi utilizado o software *Ansys 2021 R1* versão estudante, para adequação e análise da transferência de calor, utilizou-se a especificação do programa *Steady-State Thermal*. As etapas realizadas no programa são mostradas na figura 3.

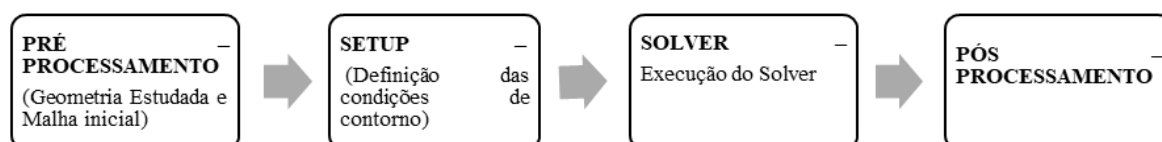


Figura 3 – Fluxograma das etapas aplicadas no software *Ansys*. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

Inicialmente, se fez o pré-processamento, logo definiu-se o problema central. Foi definido a geometria da parede e isolamento, com as dimensões padronizadas e posteriormente determinando as malhas nas figuras geométricas, para discretização da geometria. Posteriormente é definido as condições de contorno da geometria, demonstradas na tabela 1, sendo elas a condutividade térmica do material, bem como as temperaturas dos fluidos.

Tabela 1 – Condições estabelecidas

Propriedades	
Dimensões da parede de Tijolo de Barro (mm)	29x40
Espessura do Isolante (mm)	6
Temperatura interna da parede (°C)	35
Temperatura externa ao Isolamento/Revestimento (°C)	5

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para o sistema, foi implementando o regime permanente na condução de calor no material, sem geração de energia interna no material. O modelo matemático utilizado foi o de condução de calor, para os materiais foram designados como sendo isotrópicos, logo mantendo suas propriedades inalteráveis.

Os materiais isolantes e revestimentos são indicados da amostra 01 a 05, o tijolo de barro constituinte da parede sem nenhum tipo de revestimento ou isolamento. é indicado como sendo a amostra 06, logo as informações quanto às respectivas condutividades térmicas são mostradas na tabela 2. A condutividade térmica dos diferentes materiais, foram indicados nas pesquisas de Avicultura Industrial (2014), Alimena (2009) e Pachla et al. (2017).

Tabela 2 – Relação dos materiais utilizados e suas respectivas amostras

Amostra	Material	Condutividade (W/m.K)	Térmica
01	Poliestireno Expandido	0,040	
02	Poliestireno Extrudado	0,029	
03	Cortiça	0,039	
04	Espuma de Poliuretano	0,018	
05	Argamassa	0,72	

Fonte: Elaborado pelos autores.

O programa *Ansys* decorre com o processamento das informações objetivando os resultados. O software trata as informações do seguinte modo:

- i. Aplicação das equações diferenciais parciais sobre a geometria, por todo seu volume de controle.
- ii. As equações diferenciais parciais são transpassadas por proximidade, para equações algébricas.
- iii. Por interação, as equações algébricas são resolvidas.

O solver gera o arquivo de resultados que segue para a etapa de pós-processamento. Na etapa de pós-processamento, é obtido gráficos, resultados quantitativos e visualização de variáveis.

4. Resultados e Discussões

A simulação térmica de diferentes tipos de isolamento, nas mesmas condições, proporciona a possibilidade comparativa da eficiência de diferentes materiais quanto ao isolamento térmico e a troca térmica.

Para a amostra 01, fazendo o uso do poliestireno expandido como isolante, a distribuição da temperatura é mostrada na figura 4.

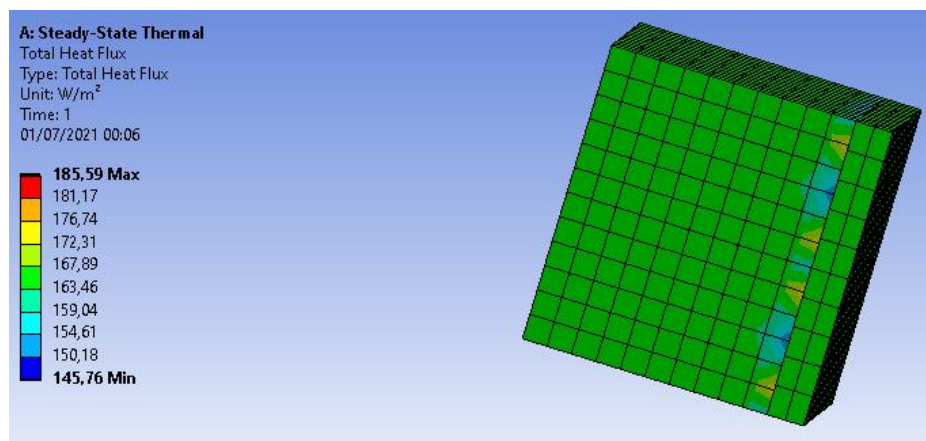


Figura 4 – Distribuição do fluxo de calor na parede de tijolo de barro com o isolante poliestireno expandido.

Fonte: Elaborado pelos autores.

É perceptível que o uso do poliestireno expandido como isolante, proporciona um fluxo gradual de temperatura na estrutura, dado que possui baixa condutividade térmica, a condução de calor na estrutura é baixa, resultando em eficiência no quesito de isolamento térmico. O fluxo máximo de calor na estrutura é de 185,59 W/m² e a mínima é de 145,76 W/m², enfatizando que ao longo da região do tijolo de barro, o fluxo médio de energia térmica é de 163,46 W/m². Para os estudos de Navroski et al. (2010) e Silva (2013), identificou-se ótimos resultados quanto a utilização de poliestireno expandido.

Para a amostra 02, fazendo o uso de poliestireno extrudado, o fluxo de temperatura na estrutura é demonstrado na figura 5.

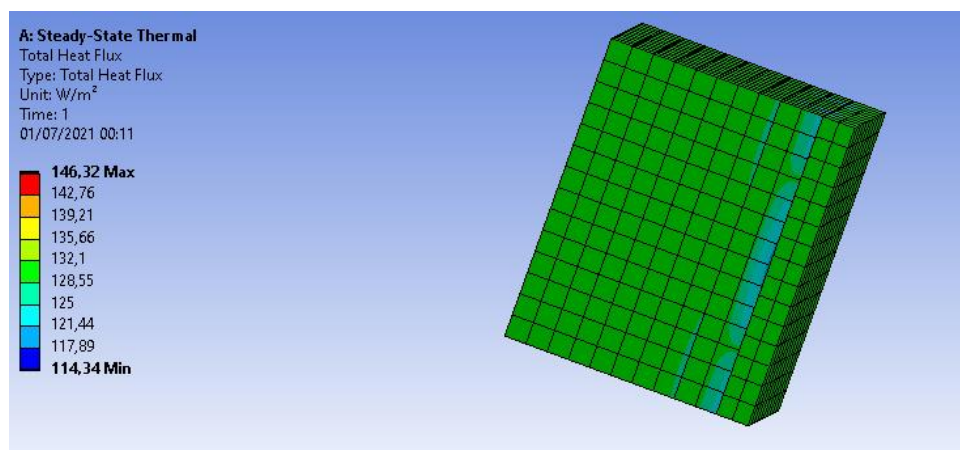


Figura 5 – Distribuição do fluxo de calor na parede de tijolo de barro com o isolante poliestireno extrudado.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A distribuição de temperatura e o fluxo de calor distribuído com valores próximos, demonstra bom processo de isolamento térmico do material, e conseqüentemente, menor trocas térmicas entre o meio interno a parede e o meio externo a parede. O fluxo máximo de calor encontra-se a $146,32 \text{ W/m}^2$, enquanto o mínimo encontra-se a $114,34 \text{ W/m}^2$, e a média do fluxo de calor encontra-se a $128,55 \text{ W/m}^2$. Arruda (2018) obteve resultados semelhantes quanto a eficiência de isolamento de um ambiente que fez o uso do poliestireno extrudado como isolante térmico, logo mantendo a temperatura do meio, minimizando a troca térmica entre o ambiente interno e externo.

Para a amostra 03, fazendo o uso da cortiça como isolante térmico, o fluxo térmico na estrutura é demonstrado na figura 6.

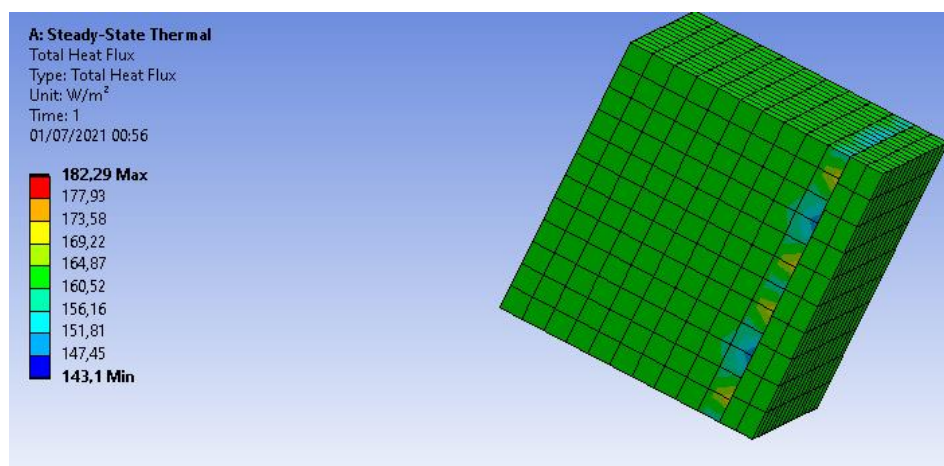


Figura 6 – Distribuição do fluxo de calor na parede de tijolo de barro com o isolante cortiça. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

A distribuição do fluxo de energia térmica na estrutura, ocorre de modo similar a amostra 01, dado que, a condutividade térmica é próxima de ambos materiais. Os resultados indicam boa capacidade de isolamento térmico do material, mitigando a passagem de energia térmica do ambiente interno a parede ao ambiente externo. O fluxo máximo de calor obtido para a estrutura é de $182,29 \text{ W/m}^2$, o fluxo médio de calor é dado como $160,52 \text{ W/m}^2$, enquanto o fluxo mínimo de calor é $143,1 \text{ W/m}^2$. Os estudos de Gonçalves (2018) e Malanho e Veiga (2014) apontaram a eficiência quanto ao isolamento térmico de estruturas, fazendo o uso de cortiça, além de evidenciarem a sustentabilidade quanto a sua utilização.

Para a amostra 4, fazendo o uso de espuma de poliuretano como isolante térmico, o fluxo de calor, é demonstrado na figura 7.

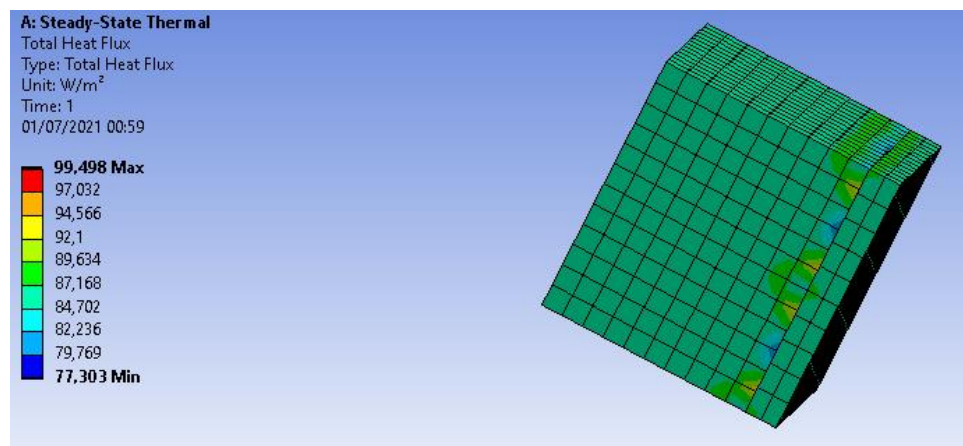


Figura 7 – Distribuição do fluxo de calor na parede de tijolo de barro com o isolante espuma de poliuretano.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Entre os diferentes isolantes analisados, a espuma de poliuretano possui menor condutividade térmica, indicando melhor eficiência quanto ao isolamento térmico. O fluxo máximo de calor obtido foi de 99,498 W/m², já o fluxo médio de calor foi de 87,168 W/m² e o fluxo mínimo de calor foi e 77,303 W/m². A distribuição do fluxo de calor na estrutura analisada, indica menor quantidade de transferência de calor pela área, logo, diminuindo o percentual de calor trocado entre o meio interno a estrutura e o meio externo a estrutura.

Na figura 8, é representado a transferência de calor na estrutura que fez uso da argamassa, como método de revestimento.

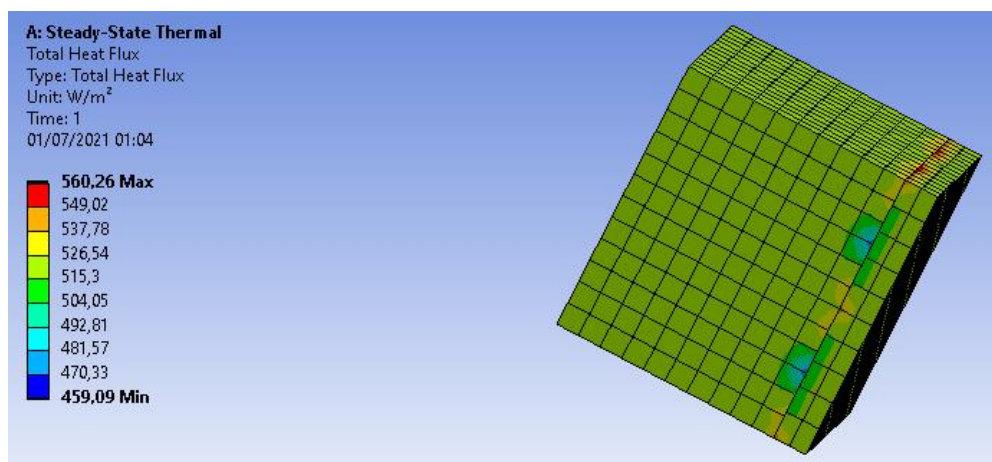


Figura 8 – Distribuição do fluxo de calor na parede de tijolo de barro com argamassa. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

Os resultados obtidos para a utilização da argamassa na estrutura, indica alto percentual de fluxo de calor máximo, indicando maior troca térmica entre o meio interno a estrutura o meio externo a estrutura, portanto não possuindo boa capacidade de isolamento térmico ao meio. O fluxo máximo de calor obtido é de 560,26 W/m², enquanto o fluxo médio é de 504,05 W/m² e o fluxo mínimo é de 459,09 W/m². Já na figura 9, é mostrado a estrutura, constituída apenas de tijolo, sem a presença de nenhum revestimento ou isolamento, verifica-se que os resultados para o fluxo de calor, são próximos a amostra 06 e amostra 05, que fez o uso da argamassa.

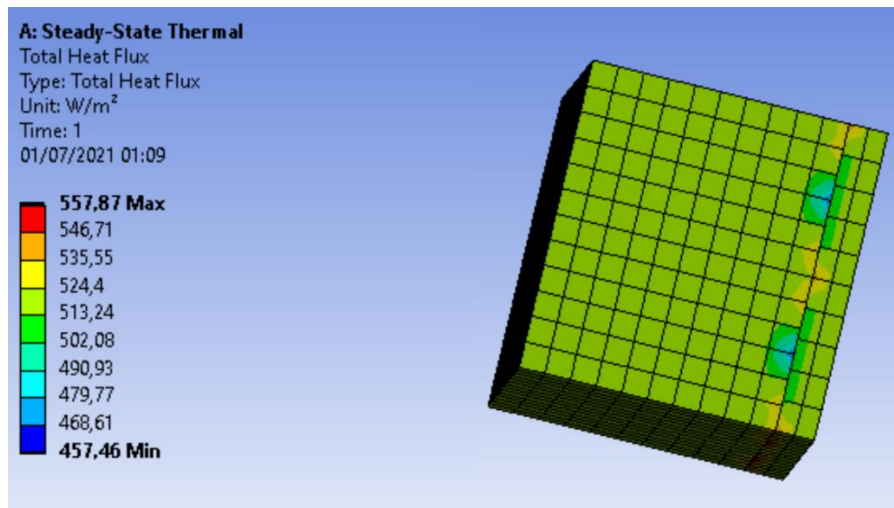


Figura 9 – Distribuição do fluxo de calor na parede de tijolo de barro. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

O fluxo máximo de calor é dado como sendo $557,87 \text{ W/m}^2$, para a estrutura bruta, bem como, $502,08 \text{ W/m}^2$ como fluxo médio de calor e $457,46 \text{ W/m}^2$ como fluxo mínimo de calor. Contudo, a estrutura com argamassa e sem argamassa, possuem resultados similares quanto a perda de energia térmica do meio interno ao meio externo. Indicando, a não eficiência de isolamento térmico da argamassa, sendo necessário fazer uso de materiais isolantes. Dentre os materiais analisados, a argamassa possui maior condutividade térmica, logo possui excelente capacidade de conduzir calor e não de isolar termicamente o ambiente.

Na figura 10 é mostrado um gráfico que compara os resultados de fluxos máximos de calor entre as diferentes amostras.

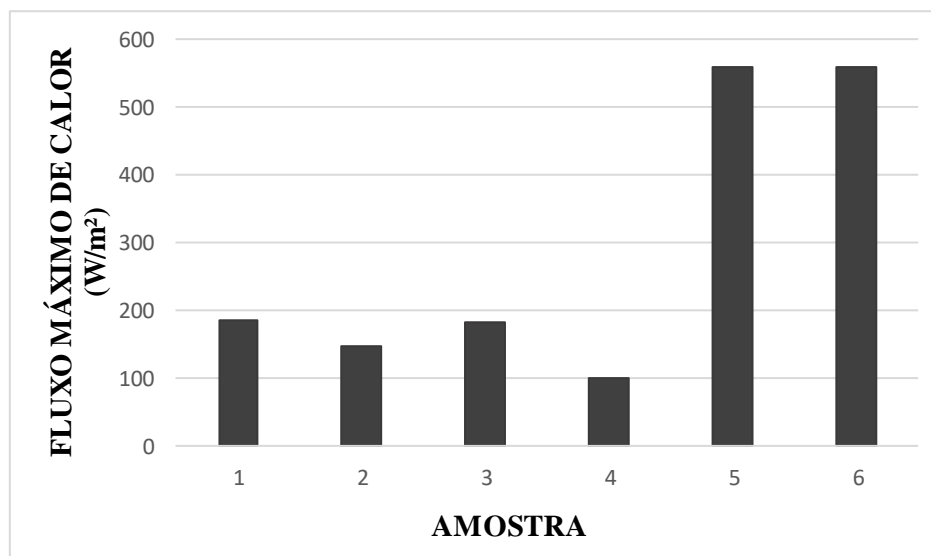


Figura 10 – Gráfico com os resultados comparativos entre as diferentes amostras analisadas. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

Indica-se que as amostras 5 e 6 não possuem boa capacidade de isolamento térmico quando comparadas com as demais amostras. Já as amostras 2 e 4 destacam-se quanto a baixa propagação de energia térmica do tijolo ao isolante, logo, o meio interno que fez uso de tais estruturas, perderá pouco calor para o meio externo, mantendo assim o conforto térmico e excelente eficiência quanto ao isolamento térmico. O fluxo máximo de calor distribuído na amostra 02 é 26,23% do fluxo máximo de calor transmitido na amostra 06. Também se faz possível destacar o fluxo máximo de calor para a amostra 04 como sendo de 17,835% do

fluxo máximo de calor para a amostra 06. As amostras 01 e 03 apresentaram respectivamente, o percentual de 33,27% e 32,68% do fluxo máximo de calor da amostra 06. Outro importante comparativo a ser realizado é entre a amostra 05, da estrutura, que fez uso da argamassa, e a amostra 06, apenas tijolo, dado que a amostra 05 propaga 0,428% a mais de fluxo térmico que a amostra 06. Enfatiza-se que os melhores resultados para o isolamento térmico, dá-se para os materiais isolantes que possuem menor condutividade térmica, portanto baixo potencial de vibrações de redes e o fluxo de elétrons livres no material.

5. Conclusão

A pesquisa em questão propôs analisar diferentes isolantes térmicos aplicados a parede de tijolo de barro, através da simulação da transferência de calor, utilizando o software *Ansys*. Obteve-se que, o tijolo sem isolante térmico e fazendo uso de argamassa, não minimiza a troca térmica entre o ambiente interno e externo a parede, enfatizando que a parede de tijolo de barro que fez uso da argamassa, propaga 0,428% a mais que a parede de tijolo de barro sem nenhum tipo de revestimento ou isolamento. Já os outros materiais analisados, atingiram bons resultados para o isolamento térmico, destacando o poliestireno extrudado e a espuma de poliuretano, que atingiu excelentes níveis de bloqueio a passagem de energia térmica do ambiente interno ao externo, através da parede.

Destaca-se ao longo do estudo, a relevância da associação da condutividade térmica para cada material e a capacidade de inibir a propagação de calor. Para futuros estudos, indica-se a necessidade de identificar o fluxo de calor em diferentes espessuras dos materiais analisados, para propor otimização no processo de isolamentos térmicos, utilizando a espessura adequada para os isolamentos.

Referências

- AKIYOSHI, M. M.; DA SILVA, A. P.; DA SILVA, M. G.; PANDOLFELLI, V. C.** Condutividade térmica e sua correlação com a temperatura e a massa específica volumétrica de materiais refratários sílico-aluminosos e aluminosos. Condutividade térmica, [s. l.], 2001.
- ALIMENA, LUIZ ALBERTO MOURA.** Coeficiente de condutividade térmica. *In*: ALIMENA, LUIZ ALBERTO MOURA. Estudo comparativo do coeficiente de condutividade térmica de espuma rígida de poliuretano obtida por reciclagem mecânica e química. 2009. Dissertação (MESTRADO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS) - UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL, [S. l.], 2009.
- ARRUDA, Daniela Zorzo.** AVALIAÇÃO DE AMBIENTE TÉRMICO DE GALPÕES COM E SEM ISOLAMENTO TÉRMICO PARA POEDEIRAS COMERCIAIS. 2018. Monografia (Bacharelado em Engenharia Agrícola e Ambiental) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO, [S. l.], 2018.
- ÇENGEL, Y.A.; GHAJAR, A.J.** Transferência de Calor e Massa – Uma abordagem prática, 4ª ed. Porto Alegre: Mc Grall-hill, 2012.
- FERNANDES, F.; LOURENÇO, Paulo B.; CASTRO, F.** Caracterização de tijolos antigos. 3º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios (3 ENCORE), p. 26-30, 2013.
- FERNANDES, Francisco M.; LOURENÇO, Paulo B.** Estado da arte sobre tijolos antigos. Tijolos, [s. l.], 2007.
- GONÇALVES, CARLOS MIGUEL PARAÍSO DINIZ.** Solução de Isolamento Térmico com base em cortiça e borracha para edificações novas e existentes. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA, [S. l.], 2018.
- MALANHO, Sofia; VEIGA, Rosário.** Análise do comportamento de sistemas de isolamento térmico com cortiça. Sistemas de isolamento térmico, [s. l.], 2014

MOHAMAD, Humberto Ramos Roman Gihad. Alvenaria Estrutural: Classificação e Materiais. [S. l.: s. n.], 1999.

NAVROSKI, Marcio Carlos; LIPPERT, Diogo Belmonte; CAMARGO, Lucas; PEREIRA, Mariane de Oliveira; HASELEIN, Clóvis Roberto. AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO TÉRMICO DE TRÊS DIFERENTES MATERIAIS USADOS NA CONSTRUÇÃO E PREENCHIMENTO DE PAREDES EXTERNAS. ISOLAMENTO TÉRMICO, [s. l.], 2010.

PACHLA, Eduardo Cesar; SILVA, Débora Bretas; JUCÁ, Pedro Henrique de Omena; HONG, Wang; MARANGON, Ederli. DESENVOLVIMENTO DE PAINÉIS ESPUMOSOS DE BAIXA CONDUTIVIDADE TÉRMICA. Condutividade térmica, [s. l.], 2017.

PARK, Kil Jin; ALONSO, Luís Felipe Toro; NUNES, Alexandre Sznclwar. Determinação experimental da condutividade e difusividade térmica de grãos em regime permanente. Condutividade e difusividade térmica, [s. l.], 1999.

ROMAGNA, ROMSON HELEO. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PRISMAS DE BLOCOS DE CONCRETO GRAUTEADOS E NÃO GRAUTEADOS. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2000.

RUPP, Ricardo Forgiarini; SPECHT, Luciano Pivoto; BORGES, Pedro Augusto Pereira. ANÁLISE DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM PAREDES COMPOSTAS POR TIJOLOS MACIÇOS. TIJOLOS MACIÇOS, [s. l.], 2009.

SILVA, FILIPE MANUEL FERNANDES. ESTUDO DE MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO INOVADORES. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO, [S. l.], 2013.

SOUZA, Remo Magalhães. O problema dos elementos finitos aplicado a condução de calor. Material Didático. Núcleo de Instrumentação e Computação Aplicada à Engenharia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2003.

VALOR-R: Resistência Térmica de Isolantes. [S. l.], 2014. Disponível em: <https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/valor-r-resistencia-termica-de-isolantes/20141110-094020-o003>. Acesso em: 23 jun. 2021.