

ANÁLISE DAS TAXAS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL A PARTIR DA CONSTANTE DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA.

Francisco Tarcísio Correia Machado¹
Saymon Henrique Santos Santana²

¹*Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Para - Unifesspa, Marabá, Pará, Brasil.*

²*Professor na Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará-Unifesspa, Marabá, Pará, Brasil.*

Resumo: A eficiência térmica dos materiais usados na construção civil tem sido cada vez mais requisitada pelos profissionais da Engenharia Civil. Este trabalho aborda o cálculo da taxa de transferência de calor, por condução e convecção, com base na Constante de Condutividade Térmica, em paredes planas, compostas e cilíndricas com o propósito de contribuir para escolhas de materiais mais eficientes do ponto de vista de isolamento térmico em projetos de construção civil.

Palavras-chave: Condutividade térmica; transferência de calor; construção civil; paredes.

INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a eficiência energética tem impulsionado o desenvolvimento de estratégias que visam otimizar o desempenho térmico das edificações. Nesse contexto, a escolha adequada dos materiais de construção desempenha um papel fundamental na redução das trocas térmicas indesejadas entre o ambiente interno e o meio externo, contribuindo diretamente para o conforto térmico e a sustentabilidade dos projetos.

A transferência de calor nos sistemas construtivos ocorre, predominantemente, por condução e convecção. A condução, conforme descrito por Incropera e DeWitt (2011), é o principal mecanismo de transporte de energia em meios sólidos, resultado da interação microscópica entre partículas vizinhas e, em materiais condutores, do movimento de elétrons livres. Já a convecção ocorre em fluidos e envolve o transporte de calor por meio do movimento do fluido, aliado à condução térmica local (INCROPERA et al., 2011).

Segundo Callister (2012), a condutividade térmica (k) — propriedade intrínseca dos materiais — constitui um parâmetro fundamental na previsão do comportamento térmico dos elementos construtivos, sendo essencial para a seleção de soluções que contribuam para a redução das perdas energéticas e para a melhoria da eficiência térmica das edificações.

Nesse contexto, a aplicação da Lei de Fourier permite modelar a transferência de calor em paredes planas e cilíndricas considerando condução térmica unidimensional, isto é, admitindo-se que a transferência ocorre predominantemente em uma única direção, normalmente perpendicular à superfície

do elemento construtivo, e em regime permanente, condição na qual as temperaturas no interior do material não variam ao longo do tempo. Além disso, considera-se a ausência de geração interna de calor no interior do meio analisado.

Neste trabalho, propõe-se a análise da taxa de transferência de calor em três configurações geométricas representativas: paredes planas, constituídas por um único material; paredes compostas, formadas por duas camadas de materiais distintos; e paredes cilíndricas. A partir da aplicação de modelos teóricos consagrados, com base nos valores de condutividade térmica dos materiais, busca-se comparar o desempenho térmico de diferentes materiais utilizados na construção civil, com o objetivo de identificar alternativas mais eficientes sob a perspectiva do isolamento térmico e da eficiência energética das edificações, contribuindo para a adoção de soluções construtivas mais adequadas às condições de conforto térmico e sustentabilidade no ambiente construído.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia adotada neste trabalho baseou-se na aplicação de equações clássicas da transferência de calor por condução e convecção, conforme descrito por Incropera e DeWitt (2011), com o objetivo de analisar o desempenho térmico de materiais amplamente utilizados na construção civil. A abordagem considerou três configurações geométricas distintas: paredes planas, paredes compostas, e paredes cilíndricas. O estudo foi estruturado em três etapas principais:

1. Seleção dos Materiais e condições térmicas

Foram pesquisadas as constantes de condutividade térmica de diversos materiais comumente utilizados na construção civil, com diferentes propriedades térmicas, incluindo metais, cerâmicos, isolantes térmicos e compósitos, conforme apresentado na tabela 1. A escolha dos materiais considerou sua relevância prática em aplicações construtivas.

Tabela 1 - Condutividade térmica dos materiais analisados.

Material	k (w/m.k)
Aço Carbono	60,5 ¹
Cimento Portland	0,29 ¹
Alumínio	237 ¹
Cobre	397 ¹
Ferro	80,2 ¹
Zinco	116 ¹
Titânio	21 ²
Estanho	62 ³
Níquel	90,7 ¹
Tijolo comum	0,72 ¹
Tijolo de concreto (10 cm) furado	0,2 ¹
Tijolo de concreto (20 cm) furado	0,13 ¹
Tijolo refratário, queimado a 1330°C	1,04 ¹
Tijolo refratário, queimado a 1450°C	1,28 ¹
Madeira (Carvalho)	0,17 ¹
Fibra de vidro	0,04 ¹
Borracha macia	0,13 ⁴
Espuma de uretano	0,03 ⁵
Concreto simples	0,82 ¹
Argamassa de Reboco	1,16 ⁶
Gesso com areia	0,80 ¹
Madeira (Pinho)	0,15 ¹

Fonte: Autores (2025). ¹Neto (2010); ²Incropera (2011); ³Çengel (2012); ⁴Holman (2010); ⁵Procel Edifica (2020); ⁶ABNT NBR 15220 (2005).

Para a análise das taxas de transferência de calor, foram estabelecidas condições de contorno térmico representativas, adotando-se uma temperatura interna (T_1) constante de 25 °C (298,15 K), correspondente à faixa típica de conforto térmico em ambientes edificadas. Como temperatura externa (T_2), foram considerados três cenários distintos, com o objetivo de avaliar o comportamento térmico dos materiais sob diferentes gradientes de temperatura:

- 0 °C (273,15 K), representando condições climáticas frias;
- 50 °C (323,15 K), simulando ambientes submetidos a elevadas temperaturas externas;
- 100 °C (373,15 K), adotado para a análise de situações extremas, com a finalidade de ampliar a compreensão do desempenho térmico dos materiais em condições críticas de transferência de calor.

Esses cenários foram definidos de modo a possibilitar a comparação do desempenho térmico dos diferentes materiais analisados, considerando distintas intensidades de gradiente térmico, condição diretamente relacionada à magnitude da taxa de transferência de calor através dos elementos construtivos.

2. Modelagem Teórica

2.1 Parede Plana:

Para as paredes planas, a taxa de transferência de calor (q) foi determinada por meio da Equação (1), correspondente a uma simplificação da Lei de Fourier, considerando-se regime permanente de condução térmica e condições unidimensionais de transferência de calor. Admitiram-se temperaturas constantes nas superfícies interna e externa, espessura (L) uniforme de 0,15 m ao longo do elemento construtivo e ausência de geração interna de calor, sendo a parede considerada constituída por um único material homogêneo e isotrópico. Essas hipóteses permitem a aplicação direta da formulação clássica da condução térmica unidimensional. Os cálculos foram realizados considerando uma parede com área (A) de 1 m².

$$q = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{L} \quad (1)$$

Onde $\Delta T = T_1 - T_2$ e representa a diferença de temperaturas entre as superfícies interna e externa, conforme as configurações térmicas definidas. (A) representa a área da superfície e (k) a constante de condutividade térmica do material.

2.2 Parede composta:

No estudo da transferência de calor em paredes compostas, foram consideradas paredes constituídas por duas camadas de materiais distintos. A análise baseou-se em diferentes combinações de materiais, tais como metais associados a isolantes térmicos, metais combinados com materiais usuais da construção civil e isolantes térmicos associados a materiais convencionais de vedação, entre outras configurações analisadas. Para a modelagem das paredes compostas, adotou-se uma área (A) de 1 m², considerando-se espessura de 0,10 m para a camada correspondente ao Material 1 e espessura de 0,05 m para a camada correspondente ao Material 2, totalizando uma espessura de 0,15 m do elemento construtivo analisado.

Utilizou-se um modelo baseado na analogia elétrica entre a transferência de calor e a corrente elétrica, conforme proposto por Neto (2010). Essa analogia estabelece uma correspondência entre a taxa de transferência de calor e a corrente elétrica, bem como entre a resistência térmica e a resistência elétrica, permitindo a aplicação de uma abordagem semelhante à associação de resistores em série. Nesse contexto,

cada camada da parede é tratada como uma resistência térmica individual, definida pela Equação (2).

$$R_{\text{térmica}} = \frac{L}{k \cdot A} \quad (2)$$

Onde:

L: é a espessura da camada (m);

k: é a condutividade térmica do material (W/m.K);

A: é a área da superfície de troca térmica (m²).

Para um sistema plano com varias camadas, ilustrado na figura 1, a taxa de transferência de calor total é a constante ao longo da parede, e pode ser obtida pela soma das resistências térmicas das camadas.

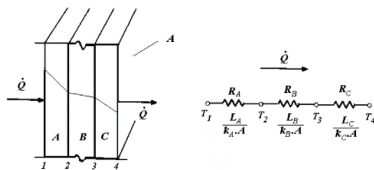


Figura 1- Ilustração da analogia de parede composta com resistências elétricas. Neto, 2010.

Assim, a taxa de transferência de calor total (q) pode ser expresso por:

$$q = \frac{\Delta T_{\text{total}}}{(R_{\text{térmica}A}) + (R_{\text{térmica}B}) + \dots + (R_{\text{térmica}N})} \quad (3)$$

Como demonstrado na equação 2, $R_{\text{térmica}} = \frac{L}{k \cdot A}$ assim, substituindo 2 em 3, tem-se:

$$q = \frac{\Delta T_{\text{total}}}{\left(\frac{L}{k \cdot A}\right)_A + \left(\frac{L}{k \cdot A}\right)_B + \dots + \left(\frac{L}{k \cdot A}\right)_N} \quad (4)$$

2.3 Parede Cilíndrica:

Para a análise da transferência de calor em superfícies cilíndricas, considerou-se o regime permanente de condução térmica unidimensional em coordenadas radiais, hipótese aplicável a elementos construtivos como tubulações, reservatórios e componentes estruturais com geometria circular. Diferentemente das paredes planas, nesse caso a área de transferência térmica varia ao longo da direção radial, tornando necessária a utilização de uma formulação específica da Lei de Fourier para coordenadas cilíndricas.

Assim, a taxa de transferência de calor (q) através de uma parede cilíndrica foi determinada pela Equação (5):

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k \cdot (T_1 - T_2)}{\ln(r_2 / r_1)} \quad (5)$$

em que:

k é a condutividade térmica do material (W/m.K);

L é o comprimento do cilindro (m);

T₁ e T₂ representam as temperaturas nas superfícies interna e externa, respectivamente (K);

r₁ é o raio interno do cilindro (m);

r₂ é o raio externo do cilindro (m).

A expressão apresentada considera a condução térmica radial em regime permanente, sem geração interna de calor e com propriedades térmicas constantes ao longo do material. Como se trata de uma parede cilíndrica, a espessura do material é determinada pela diferença entre os raios externo e interno. Para este estudo, considerou-se uma tubulação com comprimento (L) de 1 m, raio interno (r₁) de 0,20 m e raio externo (r₂) de 0,30 m, resultando em espessura radial de 0,10 m para o elemento analisado.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

1. Parede Plana

A análise da taxa de transferência de calor em paredes planas constituídas por materiais comumente utilizados na construção civil evidenciou a influência direta da condutividade térmica no desempenho térmico das edificações. Conforme observado no Gráfico 1, materiais com maior condutividade térmica apresentaram maiores taxas de transferência de calor, especialmente sob maiores gradientes de temperatura. Observa-se ainda que, para as temperaturas de 0 °C e 50 °C, os valores obtidos apresentam o mesmo módulo, fato explicado pela adoção da temperatura interna (T₁) constante em 25 °C.

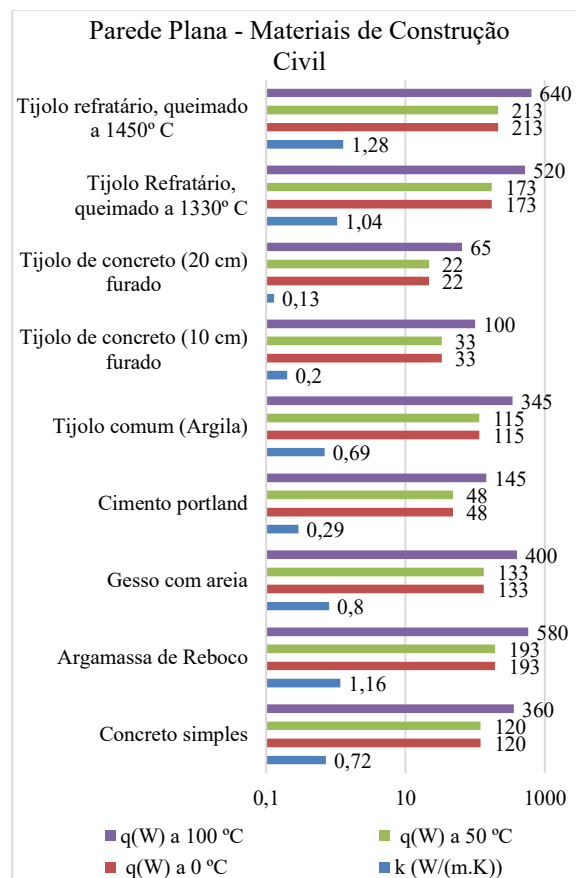


Gráfico 1. Taxas de transferência de calor em paredes planas constituídas por materiais usuais da construção civil sob diferentes condições de temperatura.

Nessas condições, ocorre apenas a inversão do sentido da transferência de calor, uma vez que a energia térmica se desloca naturalmente da região de maior temperatura para a de menor temperatura, mantendo-se, entretanto, a mesma intensidade do gradiente térmico aplicado.

Entre os materiais analisados, o concreto utilizado em lajes e paredes apresentou os maiores valores de transferência de calor, seguido pelos tijolos refratários queimados a 1450 °C e 1330 °C, evidenciando menor eficiência como isolantes térmicos quando empregados isoladamente. Por outro lado, materiais como tijolo comum (argila), argamassa de reboco e gesso com areia apresentaram comportamento intermediário.

Destaca-se que os tijolos de concreto furado apresentaram menores taxas de transferência de calor, principalmente aqueles com espessura de 20 cm, evidenciando a influência da presença de vazios internos na redução da transferência térmica.

Quando os materiais analisados foram os metais, os resultados apresentados no gráfico 2 indicam que a taxa de transferência de calor em paredes planas metálicas aumenta diretamente com a condutividade térmica dos materiais e com o gradiente de temperatura aplicado. Entre os metais analisados, o cobre apresentou os maiores valores de transferência de calor em todas as condições térmicas avaliadas, seguido pelo alumínio e pelo zinco, evidenciando elevada capacidade de condução térmica e baixa eficiência como isolantes.

Materiais como níquel, ferro, estanho e aço-carbono apresentaram comportamento intermediário, com valores moderados de transferência de calor quando comparados aos metais de maior condutividade. Já o titânio apresentou os menores valores entre os metais analisados, indicando desempenho relativamente mais favorável do ponto de vista térmico.

De modo geral, os resultados confirmam que paredes constituídas exclusivamente por metais apresentam elevadas taxas de transferência de calor, especialmente sob maiores diferenças de temperatura, sobretudo na condição analisada, em que a parede é composta por um único material, o que impossibilita a incorporação de camadas isolantes complementares. No entanto, com base na magnitude da taxa de transferência de calor, é possível selecionar, entre os materiais metálicos analisados, aquele que apresenta melhor desempenho térmico relativo, conforme as exigências específicas de cada aplicação construtiva.

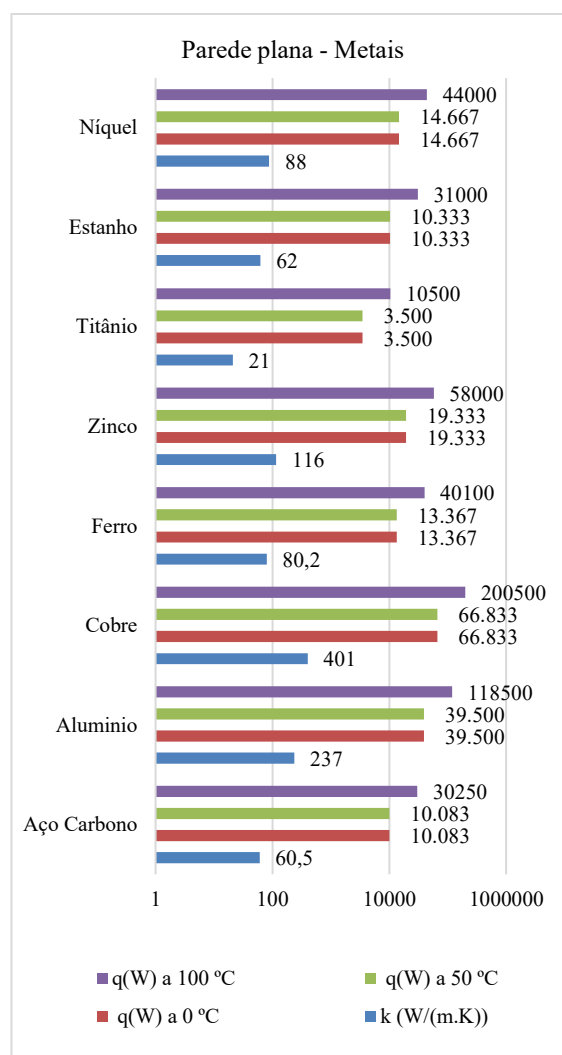


Gráfico 2. Taxas de transferência de calor em paredes planas constituídas por materiais metálicos sob diferentes condições de temperatura.

A análise da taxa de transferência de calor em paredes planas constituídas por materiais isolantes térmicos evidenciou valores significativamente inferiores quando comparados aos materiais metálicos e aos materiais convencionais da construção civil, confirmando sua elevada eficiência no controle da transferência de calor em elementos de vedação.

Conforme observado no gráfico 3, o poliuretano (espuma rígida) apresentou a menor taxa de transferência de calor entre os materiais analisados, resultado associado ao seu baixo coeficiente de condutividade térmica, o que justifica sua ampla aplicação em sistemas construtivos voltados ao isolamento térmico. De forma semelhante, a fibra de vidro também apresentou valores reduzidos de transferência de calor, indicando bom desempenho como material isolante.

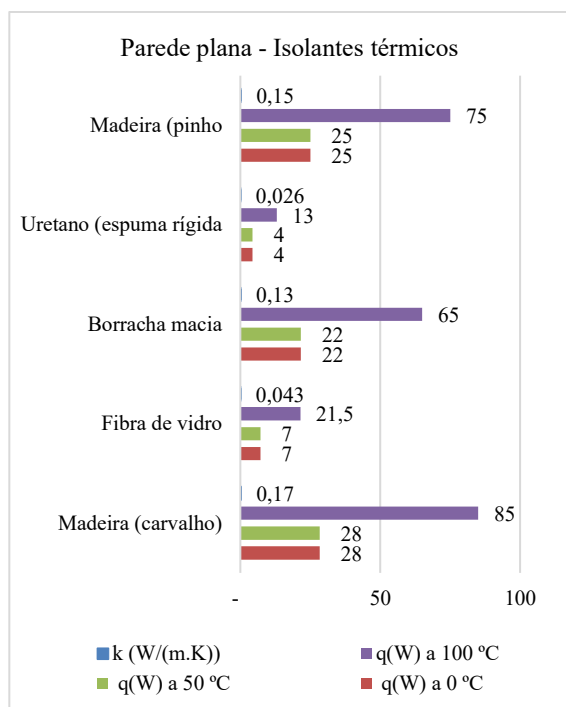


Gráfico 3. Taxas de transferência de calor em paredes planas constituídas por materiais isolantes sob diferentes condições de temperatura.

Por outro lado, materiais como madeira (pinho), madeira (carvalho) e borracha macia apresentaram taxas de transferência de calor superiores às observadas para o poliuretano e a fibra de vidro, embora ainda inferiores às verificadas para materiais metálicos e cerâmicos convencionais, caracterizando desempenho térmico intermediário dentro do grupo dos isolantes analisados.

Observa-se ainda que alguns materiais, como a madeira, apresentam valores distintos de condutividade térmica em função de fatores como espécie, o que amplia as possibilidades de análise dentro do grupo dos materiais isolantes e evidencia a importância da adequada seleção do material conforme as condições específicas de aplicação. De modo geral, os resultados confirmam a eficiência dos materiais isolantes térmicos na redução da taxa de transferência de calor em paredes planas, contribuindo para a melhoria do desempenho térmico e da eficiência energética das edificações.

2. Parede Cilíndrica

A análise da taxa de transferência de calor em superfícies cilíndricas constituídas por um único material, considerando temperaturas externas de 0 °C e 50 °C, evidenciou a influência direta da condutividade térmica dos materiais sobre a transferência de calor radial através da parede cilíndrica.

Conforme observado no gráfico, materiais com maior condutividade térmica, como cobre, alumínio, ferro e zinco, apresentaram maiores taxas de transferência de calor, indicando maior facilidade de propagação do fluxo térmico através da parede cilíndrica. Por outro lado, materiais isolantes térmicos e materiais usuais da construção civil, como poliuretano (espuma rígida), fibra de vidro, madeira e tijolos cerâmicos, apresentaram menores taxas de transferência de calor, demonstrando melhor desempenho térmico na redução das perdas energéticas.

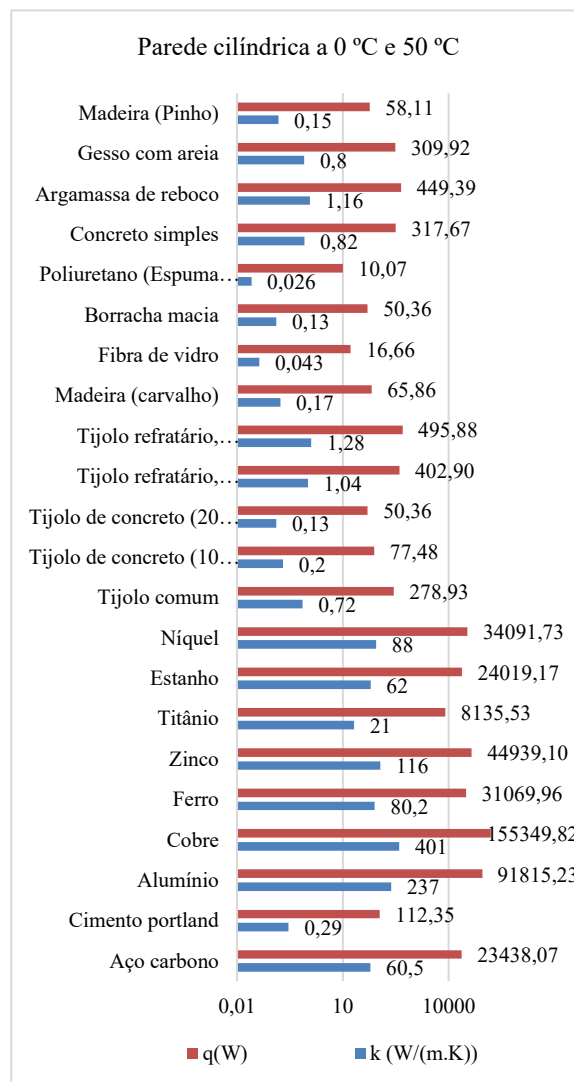


Gráfico 4. Taxas de transferência de calor em paredes cilíndricas constituídas por um único material sob às temperaturas de 0 °C e 50 °C.

Ressalta-se ainda que, para as condições analisadas com temperaturas internas constantes e variações na temperatura externa, os valores da taxa de transferência de calor apresentaram mesma magnitude para temperaturas simetricamente opostas (0 °C e 50 °C) em relação à temperatura interna adotada (25 °C), variando apenas o sentido do fluxo térmico. Esse resultado confirma que a transferência de calor ocorre

sempre no sentido da região de maior temperatura para a de menor temperatura. De modo geral, os resultados demonstram que materiais com menor condutividade térmica apresentam melhor desempenho térmico em superfícies cilíndricas, reduzindo significativamente a taxa de transferência de calor. Dessa forma, a escolha adequada do material torna-se um fator determinante para o controle das perdas térmicas em elementos construtivos com geometria circular, especialmente em aplicações que envolvem transporte ou armazenamento de fluidos sob diferentes condições térmicas.

Conforme observado no Gráfico 5, materiais com maiores valores de condutividade térmica apresentaram as maiores taxas de transferência de calor quando a análise foi realizada para a condição de temperatura externa de 100 °C, destacando-se os materiais metálicos, que favorecem a propagação do fluxo térmico ao longo da espessura da parede cilíndrica.

Por outro lado, materiais com menor condutividade térmica, como isolantes térmicos e alguns materiais convencionais da construção civil, apresentaram menores taxas de transferência de calor, evidenciando maior eficiência no controle das perdas térmicas e melhor desempenho térmico do elemento analisado.

Observa-se ainda que o aumento da temperatura externa para 100 °C intensificou o fluxo térmico em todos os materiais analisados, mantendo-se, entretanto, a mesma tendência de comportamento já verificada nas demais condições térmicas estudadas, isto é, a dependência direta entre a condutividade térmica do material e a taxa de transferência de calor.

Entre os materiais analisados, destacaram-se, no grupo dos isolantes térmicos, o poliuretano e a fibra de vidro, que apresentaram as menores taxas de transferência de calor. Entre os materiais metálicos, o titânio apresentou melhor desempenho térmico relativo, quando comparado aos demais metais avaliados, em função de sua menor condutividade térmica. Já entre os materiais usuais da construção civil, os tijolos de concreto apresentaram os melhores resultados, evidenciando menor intensidade de transferência de calor em relação aos demais materiais do mesmo grupo.

Nesse contexto, os resultados confirmam que, em superfícies cilíndricas submetidas a elevados gradientes de temperatura, a escolha adequada do material torna-se ainda mais relevante para o desempenho térmico do elemento construtivo, especialmente em aplicações envolvendo tubulações e reservatórios sujeitos a temperaturas elevadas.

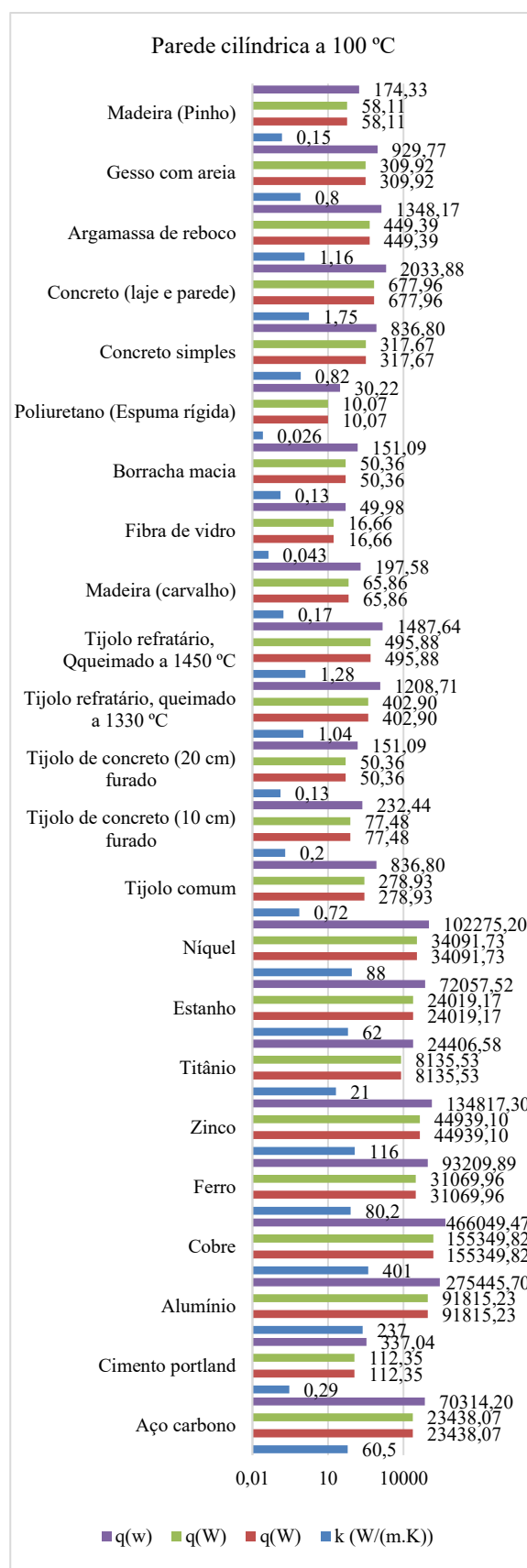


Gráfico 5. Taxas de transferência de calor em paredes cilíndricas constituídas por um único material sob à temperatura de 100 °C.

3. Parede composta

Os resultados obtidos para paredes compostas, isto é, aquelas constituídas por duas ou mais camadas de materiais distintos, foram organizados e apresentados de acordo com o tipo de associação entre os materiais analisados. Para a realização deste estudo, optou-se por associar materiais metálicos e materiais usuais da construção civil com materiais isolantes térmicos, com o objetivo de avaliar quais combinações proporcionam melhor desempenho térmico em termos de redução da taxa de transferência de calor através da parede composta. Dessa forma, foi possível comparar a eficiência das diferentes configurações analisadas e identificar as associações mais adequadas para aplicações que exigem maior controle da transferência de calor.

3.1 – Associação de metais com isolantes

O Gráfico 6 evidencia que, para o aço carbono, sob o ponto de vista da eficiência térmica, a associação mais favorável foi obtida com o poliuretano (espuma rígida), em função da baixa condutividade térmica desse material, o que contribuiu para a redução mais significativa da taxa de transferência de calor na parede composta. Por outro lado, a associação com a madeira apresentou o pior desempenho térmico relativo entre os isolantes analisados, resultando em maiores valores de transferência de calor quando comparada às demais combinações avaliadas.

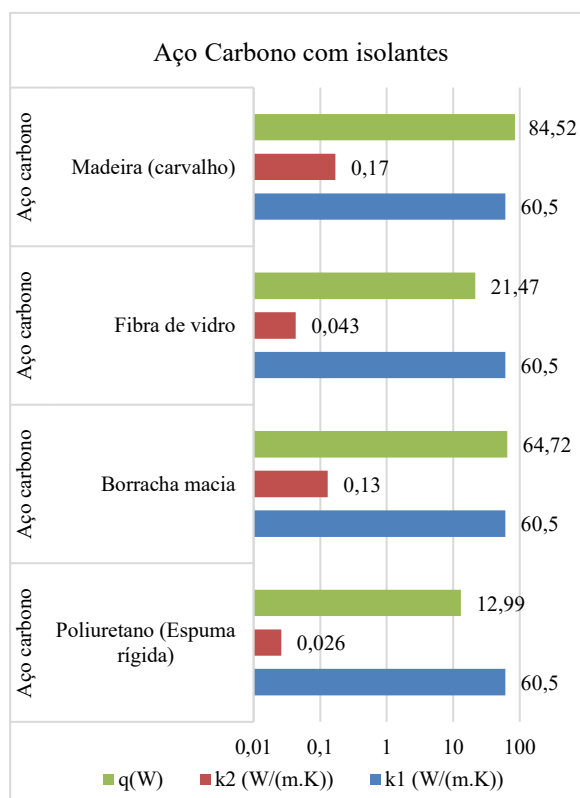


Gráfico 6. Resultados da associação de Aço Carbono com materiais isolantes.

De modo geral, observou-se que, para todos os metais analisados, os valores das taxas de transferência de calor apresentaram comportamento bastante semelhante quando associados aos mesmos materiais isolantes. Esse resultado indica que, nas paredes compostas estudadas, o desempenho térmico do conjunto foi predominantemente influenciado pelas propriedades dos materiais isolantes, uma vez que estes apresentam maior resistência térmica em comparação aos metais, passando a exercer papel determinante na redução da transferência de calor através do elemento construtivo.

Os dados apresentados no Gráfico 7 exemplificam esse comportamento. Tomando como referência a associação entre materiais metálicos e borracha macia, na condição de temperatura externa de 0 °C, observa-se que as taxas de transferência de calor variaram entre 64,21 W e 64,93 W. Trata-se de uma variação bastante reduzida, especialmente quando considerada no contexto do desempenho térmico de edificações, indicando que, nessa configuração, o material isolante exerceu influência predominante sobre o comportamento térmico da parede composta, enquanto a contribuição do tipo de metal associado mostrou-se pouco significativa.

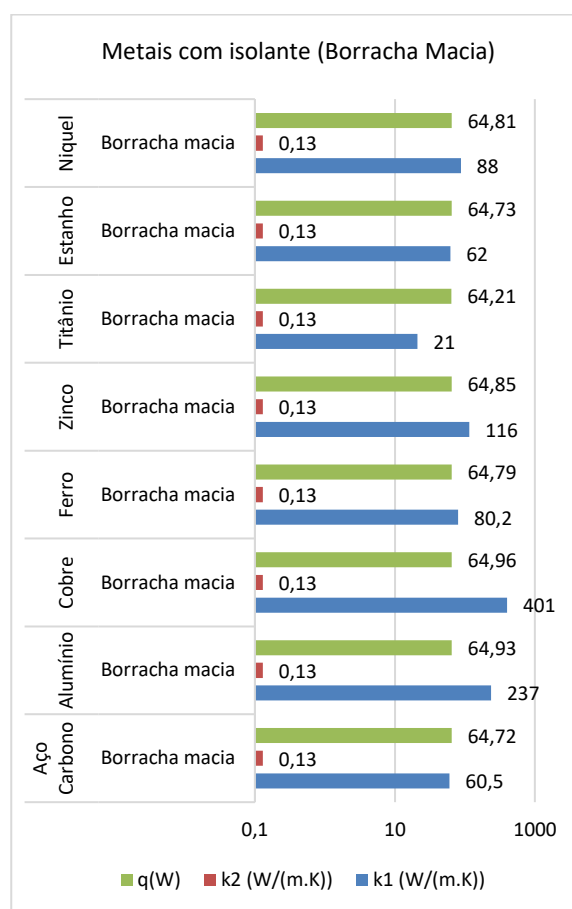


Gráfico 7. Resultados da associação de Metais com Borracha Macia a 0 °C.

3.2 – Associação de materiais da construção civil com isolantes.

O Gráfico 8 apresenta os resultados da associação de diferentes tipos de tijolos com poliuretano, na condição de temperatura externa de 0 °C. Diferentemente do observado nas associações com materiais metálicos, verificou-se maior variação nos valores das taxas de transferência de calor, que oscilaram entre 9,29 W e 12,49 W. Os menores valores foram obtidos nas associações com tijolos de concreto, confirmando o comportamento já observado na análise de paredes planas constituídas por um único material, nas quais esse material apresentou melhor desempenho térmico relativo entre os componentes avaliados do mesmo grupo. Esses resultados evidenciam que, nas associações entre materiais de construção civil e isolantes térmicos, as propriedades térmicas do material estrutural também exercem influência mais significativa no desempenho global da parede composta.

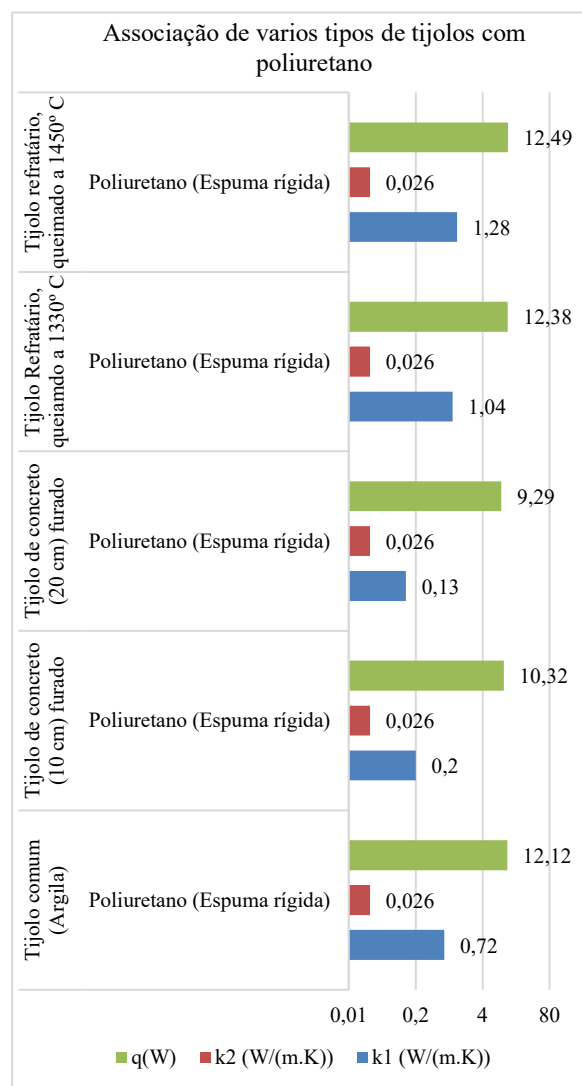


Gráfico 8. Resultados da associação de tijolos com Poliuretano a 0 °C.

O Gráfico 9 apresenta os resultados, nas mesmas condições de temperatura, para a associação de Concreto simples com diferentes materiais isolantes. Além disso, com o objetivo de ampliar a comparação entre o desempenho térmico dos isolantes e de outros materiais comumente empregados em sistemas construtivos, foram incluídos no gráfico os dados referentes às associações do Concreto simples com gesso com areia e argamassa de reboco, configurações frequentemente utilizadas na construção civil popular. Essa abordagem permitiu avaliar de forma mais abrangente a influência dos diferentes materiais de revestimento na taxa de transferência de calor através de paredes compostas.

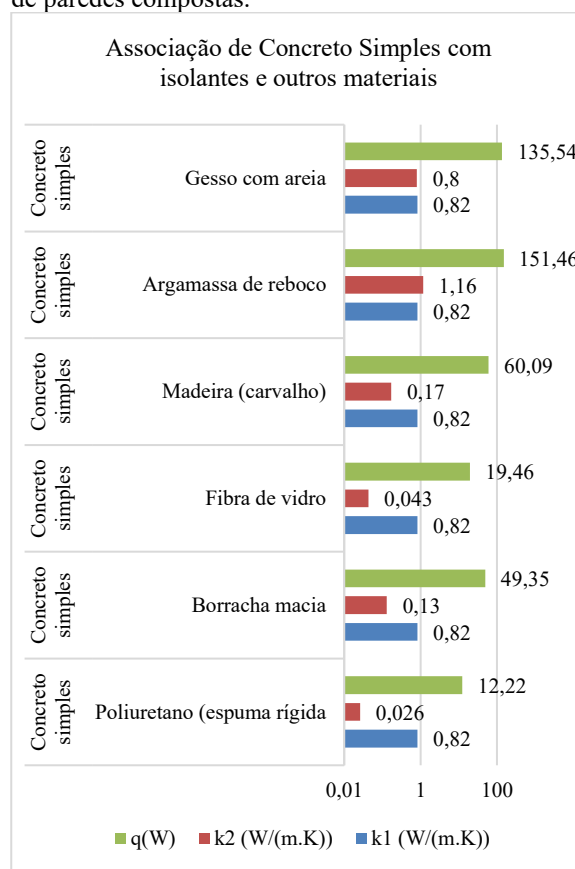


Gráfico 9. Resultados da associação de Concreto simples com outro material.

Os resultados apresentados no Gráfico 9 evidenciam claramente a diferença entre as taxas de transferência de calor obtidas nas associações com materiais isolantes e aquelas verificadas nas associações com materiais que não apresentam características predominantemente isolantes. Observa-se que as combinações envolvendo isolantes térmicos resultaram em menores taxas de transferência de calor, que variaram entre 12,22 W e 60,09 W, enquanto as associações com materiais convencionais de revestimento, como gesso com areia e argamassa de reboco, apresentaram valores mais elevados, 135,54 W e 151,46W, respectivamente, indicando menor



eficiência no controle da transferência de calor através da parede composta.

Cabe ressaltar que é possível controlar a taxa de transferência de calor em paredes compostas por meio da variação da espessura da camada isolante, ou da camada que apresenta menor coeficiente de condutividade térmica. Como a taxa de transferência de calor é diretamente proporcional ao coeficiente de condutividade térmica e inversamente proporcional à espessura da camada, quanto maior for a espessura do material isolante, menor será a taxa de transferência de calor na associação considerada, resultando em melhor desempenho térmico do sistema construtivo.

CONCLUSÃO

A análise das taxas de transferência de calor em paredes planas, cilíndricas e compostas permitiu evidenciar a influência direta da condutividade térmica dos materiais no desempenho térmico dos elementos construtivos. Observou-se que materiais metálicos apresentaram, de modo geral, maiores taxas de transferência de calor, especialmente sob maiores gradientes de temperatura, confirmando sua menor eficiência como elementos de vedação térmica quando utilizados isoladamente. Por outro lado, materiais isolantes térmicos, como poliuretano, fibra de vidro e borracha macia, demonstraram elevada eficiência na redução do fluxo térmico, destacando-se como soluções adequadas para o controle das perdas e ganhos de calor em edificações.

Nos estudos envolvendo paredes cilíndricas, verificou-se comportamento semelhante ao observado nas paredes planas, com a condutividade térmica exercendo papel determinante na intensidade do fluxo térmico radial, ainda que influenciado pela variação da área de condução característica dessa geometria.

Já nas paredes compostas, constatou-se que a presença de camadas isolantes reduz significativamente as taxas de transferência de calor, sendo que o desempenho térmico final depende principalmente das propriedades térmicas do material isolante associado. Além disso, verifica-se que é possível controlar a taxa de transferência de calor em paredes compostas por meio do aumento da espessura da camada que apresenta menor coeficiente de condutividade térmica, uma vez que a taxa de transferência de calor é inversamente proporcional à espessura da camada do material. Dessa forma, o aumento da espessura da camada isolante contribui diretamente para a redução do fluxo térmico através do elemento construtivo, melhorando o desempenho térmico da edificação.

De forma geral, os resultados demonstram que a seleção adequada dos materiais e das associações entre camadas construtivas constitui fator fundamental para a melhoria do desempenho térmico das edificações, contribuindo para maior eficiência energética,

conforto térmico e adequação das soluções construtivas às diferentes condições de uso e exposição térmica.

REFERÊNCIAS

AL-HABAIBEH, A. et al. *Thermal performance of buildings*. Springer, Cham, 2020.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). *ASHRAE handbook: fundamentals*. Atlanta, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 15220: desempenho térmico de edificações*. Rio de Janeiro, 2005.

BERGMAN, T. L. et al. *Fundamentals of heat and mass transfer*. Wiley, Hoboken, 2011.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. *Fundamentos da ciência e engenharia de materiais*. LTC, Rio de Janeiro, 2015.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. *Heat and mass transfer: fundamentals and applications*. McGraw-Hill, New York, 2012.

HOLMAN, J. P. *Heat transfer*. McGraw-Hill, New York, 2010.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. *Fundamentos de transferência de calor e de massa*. LTC, Rio de Janeiro, 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). *Portaria nº 372/2010: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C)*. Rio de Janeiro, 2010.

KREITH, F. *Principles of heat transfer*. Cengage Learning, Boston, 2010.

NETO, C. B. *Transferência de calor (TCL): volume 1 – parte 2*. Instituto Federal de Santa Catarina – Campus São José, São José, 2010.

ÖZISIK, M. N. *Heat conduction*. Wiley, New York, 1993.

PROCEL EDIFICA. *Manual para etiquetagem de edificações*. Eletrobras, Rio de Janeiro, 2020.