

ESTUDO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DOS ENVOLVENTES DE AMBIENTES CONSTRUÍDOS

Patrick Minusculi¹, Taís Perez¹, Paulo Reis Júnior,² Jacir Favretto³, Mari Aurora Favero Reis^{3}*

¹*Engenharia Civil, Universidade do Contestado, 89711-330, Concórdia, Brasil.*

²*Mestrado em Engenharia Civil, Sanitária e Ambiental, Universidade do Contestado*

³*Mestrado Associado em Sistemas Produtivos (UnC, Uniplac, Univille, Unesc), 89711-330, Concórdia, Brasil.*

*E-mail: mari@unc.br

Recebido em: 08/10/2021

Aceito em: 13/12/2021

RESUMO

Desenvolvimento tecnológico e urbanização promoveram aumento no consumo de eletricidade residencial. Portanto, a busca por sustentabilidade energética está diretamente associada ao conforto térmico e requer mudanças na construção civil. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a condutividade térmica nas estruturas em ambientes construídos, possibilitando mudanças nas edificações e em novos projetos na construção civil. A metodologia qualitativa e quantitativa avaliou a condutividade térmica nos envolventes de edificações, a fim de obter a taxa de transferência de calor por condução em diferentes tipos de materiais. O método utilizado nos cálculos foi a Lei de Fourier, com avaliação da temperatura externa e interna dos ambientes por termômetro com sensor infravermelho. Os resultados mostram melhor desempenho térmico em envoltórios com composição de materiais, contribuindo significativamente para reduzir a transferência de calor por condução no ambiente. Conclui-se que o uso de sistema com composição de diferentes materiais pode ser uma alternativa para promover o conforto térmico e a sustentabilidade energética na edificação.

Palavras-chave: Condução de Calor. Transferência de Energia. Lei de Fourier. Sustentabilidade.

1 Introdução

Fatores, como aumento populacional, urbanização e busca por conforto térmico têm contribuído para o aumento no consumo de energia residencial. Esse fato também foi identificado em estudo envolvendo instituições de ensino [1]. Um estudo estatístico realizado com dados do período de 2010 a 2015 identificou aumento médio de 1,87% ao ano na demanda de energia elétrica residencial, impactando no aumento da produção de energia elétrica no Brasil. Os dados de relatórios governamentais [2] demonstraram oportunidade e/ou necessidade na inserção de metodologias que evidenciam ações em conservação da energia elétrica, especialmente em usos residenciais [3].

Em 2018, pesquisa indicou que o setor residencial é responsável por 23% do consumo energético brasileiro e, nesse segmento, os autores destacam o consumo em sistemas de condicionamento de ar como responsável por 20% dos gastos

com eletricidade [4]. Ao considerar que no ano de 2020, com a pandemia por Covid-19, muitas pessoas passaram a ficar em casa, impulsionando no aumento do consumo de energia elétrica residencial; igualmente, que o aumento no consumo de energia para uso residencial tem relação direta com as mudanças tecnológicas, é possível ser fator de impacto na abordagem da temática o estudo do desempenho térmico para a conservação da energia na edificação.

Outros estudos também consideram que o desempenho térmico da edificação está diretamente relacionado à conservação da energia, por intermédio da eficiência energética e otimização do sistema [5], [6]. Nos projetos de edificações urbanas, a temática deve ser discutida, por profissionais e especialistas, quanto à necessidade no uso de tecnologias para melhorar o desempenho térmico na edificação, como também propõem os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável [7]. Técnicas construtivas, como os revestimentos de argamassa convencionais, por exemplo, podem ser responsáveis por até

30% do isolamento térmico, dependendo da sua espessura e composição, uma vez que a vedação tem influência no desempenho térmico e nas condições de habitabilidade das edificações [4].

Esta pesquisa teve início nas aulas de Física térmica na Engenharia Civil, que se transformou em uma pesquisa prática realizada por acadêmico e autor principal deste artigo. A pesquisa objetivou avaliar a condutividade térmica dos envolventes de ambientes construídos, oportunizando mudanças nos projetos para o desempenho térmico da edificação e sustentabilidade energética. Os dados coletados em ambientes construídos com diferentes materiais em seu envoltório, possibilitaram responder à seguinte pergunta de pesquisa: *Como o uso de diferentes materiais interfere no fluxo de calor, por condução, quando aplicados nos envolventes da edificação?*

2 Revisão da literatura

As buscas na literatura sobre desempenho térmico de edificações, realizadas no EBSCO e Google Scholar demonstraram se tratar de área temática que vem sendo estudada desde longa data, resultando em diversidade de recursos para avaliar e melhorar o desempenho térmico em edificações para eficiência energética e qualidade de vida de seus ocupantes. Para as buscas na expressão “indicadores de desempenho”, as pesquisas apontam para métodos de avaliação ambiental dos envoltórios [6]. E, por conforto térmico, quando as trocas de calor entre homem e o ambiente não causam incômodo [8]. Esses são os principais focos pesquisados neste estudo e, portanto, tema de discussão nessa seção.

2.1 Conforto térmico em edificações

Nos últimos anos tem sido ampliada a necessidade em tornar as edificações mais eficientes, seguindo processos, regulamentações e normas. A certificação para sustentabilidade energética de edifícios está sendo realizada mundialmente, com base em códigos e normas desenvolvidos por diversos países [6]. Conforme os autores, a NBR 15575-1 [9] tem como objetivo estabelecer indicadores de desempenho térmico em edificações, representando os níveis mínimos que devem ser atendidos. Consequentemente, tem sido crescente a necessidade em analisar e estudar novos métodos para auxiliar nesse conforto.

Em muitos casos, o conforto térmico pode estar condicionado a restrições imprescindíveis a serem consideradas no momento de executar uma obra. E, para atender essa necessidade, o ser humano vem procurando encontrar métodos

e materiais que auxiliem na redução de trocas térmicas ou isolamento da temperatura dentro de seus estabelecimentos, tanto comerciais quanto residenciais. Desse modo, o estudo voltado à aplicação de materiais de isolamento pode ser considerado um caminho a ser seguido para o problema de conforto térmico em edificações. Sendo assim, busca-se utilizar materiais que têm como objetivo isolar a temperatura interna dos fatores externos de um ambiente, evitando sua troca de calor.

Nas trocas térmicas, a transferência de energia nos materiais é função da somatória de vários subprocessos, sendo os principais a condução e a radiação [10]. A troca do fluxo de ar por convecção também tem função representativa no conforto térmico. Nesta pesquisa, optou-se por avaliar a transferência de calor por condução, a fim de investigar a influência do envoltório da edificação no desempenho térmico.

2.2 Condutividade térmica no envoltório de edificações

Na condutividade térmica, as propriedades dos materiais componentes são relevantes no mecanismo de condução do envoltório da edificação. Neste processo, pesquisas sugerem avaliação da absorvância, refletância e transmitância [11]. Conforme os autores, o mecanismo de radiação, por exemplo, pode contribuir para o desempenho térmico, principalmente através de áreas de vidro e onde a radiação solar incide.

A condução é um tipo de transferência de energia na qual é propagada por elétrons livres (que ocorre em metais e alguns tipos de semicondutores), ou até mesmo por vibrações atômicas ordenadas que se propagam pelo material, transferindo a energia de um ponto ao outro [10].

A condução pode ser relacionada ao transporte de energia térmica (calor) em um meio sólido, como no envolvente da edificação, em razão do gradiente de temperatura [12]. Conforme os autores, “a envolvente da edificação integra todos os elementos que separam os ambientes internos das condições climáticas externas (paredes, janelas, telhado e piso)” (p. 2). Nesse contexto, o estudo de transferência de calor por condução unidimensional, em uma parede plana com distribuição de temperatura de modo linear, ocorre de acordo com a Lei de Fourier (Figura 1) e a quantidade de calor cedido (apresentada nos materiais e métodos).

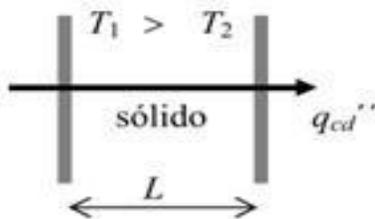


Figura 1 – Transferência de calor no sólido [12]

Materiais, como o metal, são bons condutores de calor (20 – 700 W/m.K), uma vez que os elétrons podem se movimentar livremente. Nos materiais sólidos, que não são metálicos, há maior dificuldade no movimento de elétrons, ocorrendo somente a vibração molecular, o que ocasiona que sua condutividade térmica esteja entre 0,5 e 30 W/m.K [12]. Como exemplo, segundo os autores, materiais utilizados no isolamento térmico, como o poliestireno expandido (isopor), são compostos de materiais de baixa condutividade térmica (~0,04 W/m.K), em razão da quantidade de ar incorporado na estrutura interna. Outros materiais, como madeira, lã, vidro e papel também são maus condutores em virtude da ligação de seus elétrons e de sua capacidade de transporte de energia [13].

2.3 Técnicas para conforto térmico em edificações

Conforto ambiental significa sensação de bem-estar, que varia de pessoa para pessoa e, portanto, é considerado conforto ambiental quando o ambiente proporciona bem-estar ao maior número possível de ocupantes do ambiente [14]. Técnicas que promovam o conforto térmico podem ser relacionadas a fatores ambientais, como temperatura ambiente, umidade relativa ou velocidade do ar, frequentemente associados ao isolamento e sombreamento da edificação.

O EPS, por exemplo, é resultado da polimerização do estireno e é reconhecido por suas características de baixa densidade e baixa condutividade térmica. Suas propriedades isolantes estão relacionadas ao volume celular, composto por 98% de ar e 2% de poliestireno [4]. Segundo os autores, materiais comumente utilizados em edificações, como a argamassa convencional, também possuem alguma capacidade de isolamento térmico, podendo ser responsáveis por até 30% do isolamento térmico do sistema de vedação, conforme sua espessura e composição, bem como das características da parede de vedação onde é aplicada. Dentre as principais vantagens no uso de sistemas de isolamento térmico, estão a redução do

consumo de energia de aparelhos condicionantes de ar, tal como a redução de peso sobre a estrutura, dependendo do material alternativo a ser utilizado [15].

Além do uso de materiais no isolamento térmico nos entornos da edificação, outro processo de grande influência no desempenho térmico das edificações é a vegetação local, tanto em áreas urbanas quanto em áreas rurais, uma vez que a energia de radiação emitida pela luz solar é bloqueada pela vegetação que venha a circundar uma edificação. Mudanças decorrentes do uso e ocupação do solo no entorno das cidades, resultando na diminuição de áreas vegetadas e qualidade da cobertura verde, devido à proliferação de atividades urbanas, podem acarretar a expansão das ilhas de calor [14].

Na elaboração de um projeto, fatores climáticos e ambientais, como orientação solar, ventos dominantes e elementos paisagísticos devem ser considerados [13]. A arquitetura da edificação, por esse motivo, pode amenizar as sensações de desconforto impostas por climas mais extremos, tanto para excesso de calor quanto de frio ou ventos, além de proporcionar ambientes confortáveis [16]. As variáveis temperatura do ar, umidade específica, radiação e fluxos de calor, foram avaliadas relacionando altura da edificação e conforto térmico na cidade de Ourinhos (SP), com clima de regiões tropicais [17]. A cidade tem poucas construções de mais de um pavimento e com uso de simulações concluiu-se que a altura da edificação também provoca mudanças no microclima local.

2.4 Avaliação para o desempenho térmico em estudos anteriores

Quanto à influência que as edificações exercem sobre os microclimas, ou “ilhas de calor” nos centros urbanos, os estudos demonstram significativa atuação. Em Criciúma, SC [18], a fim de reduzir os efeitos com o fenômeno de aquecimento da cidade, denominado “ilhas de calor”, os pesquisadores investigam sobre a pavimentação urbana. O estudo foi realizado com o propósito de desenvolver, testar e avaliar novos materiais frios para uso em pavimentação, sendo esse, na visão dos pesquisadores, o fator responsável por significativa contribuição para a ocorrência das ilhas de calor nas cidades. Concluem que os materiais frios provaram apresentar melhor desempenho térmico que os materiais convencionais (como asfalto e concreto).

A avaliação do microclima urbano em Basiléia, Suíça e Toulouse (França) também foi realizada com foco no conforto térmico externo e consumo energético nas edificações [19]. O estudo realizado com dados de estação meteorológica aponta que as estações estão disponíveis para a maioria das cidades do mundo, mas, geralmente, estão localizadas em áreas abertas fora

das cidades. Os dados foram obtidos a partir de dois modelos física e computacionalmente relacionados para forçar as temperaturas do ar acima da camada de cobertura urbana. O modelo desenvolvido com o uso de *softwares*, no projeto francês, ficou disponível na rede mundial de computadores para uso como ferramenta de previsão de clima urbano em projetos de edifícios nas áreas urbanas.

Na Itália, uma pesquisa avaliou o efeito de pintura reflexiva no conforto térmico em edificações [20]. Os experimentos foram realizados na periferia de Roma, com clima extremo no verão, em consequência da alta densidade construtiva. As temperaturas avaliadas com uso de espectrômetro, durante o verão de 2005 e 2006, mostraram que materiais de construção usados na Itália se caracterizam pela alta absorção solar. Esses efeitos podem ser mitigados pelo uso de material de revestimento, como uma tinta branca sustentável, de alta refletância solar e inovadora (obtida com uma mistura especial de leite e vinagre) em telhados. As temperaturas foram monitoradas no interior e exterior dos telhados, comparando com outras tecnologias. O estudo demonstrou que a aplicação em grande escala poderia aumentar o conforto térmico residencial no próximo verão.

Nos Emirados Árabes Unidos (EAU) um estudo de desempenho térmico foi realizado em edificação religiosa [21]. Nas mesquitas, o conforto térmico é proporcionado por sistema de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (HVAC), com elevada demanda de consumo de energia e aumento nas emissões de CO₂. O estudo relacionou a forma de construção com seu impacto no conforto térmico, com uso de *softwares* para simulações de energia. Como alternativas foi analisado o uso de recursos para sombreamento, isolamento térmico e ventilação natural aplicados em seis casos, demonstrando que o uso do design passivo não é suficiente para atingir conforto térmico, mas reduziria o consumo anual de energia em 10%. Conclui que ao integrar o sistema de condicionamento natural com a climatização artificial é possível obter uma economia anual de energia 67,5% com HVAC [21].

Especificamente em condutividade térmica, estudo experimental realizado na Universidade de Princeton (USA) combina materiais acessíveis em projeto de conforto térmico para edifícios com incidência de radiação solar [22]. Os diferentes parâmetros usados para avaliar a transferência de calor nas paredes dos edifícios e índices de transferências por fontes internas de calor foram considerados a partir de medições realizadas em dois complexos habitacionais no Egito, por intermédio das transferências de calor por ar interno, paredes e tetos. O resultado do estudo realizado por esses autores

demonstrou que a ventilação cruzada é fundamental para manter as temperaturas internas confortáveis e pode ser realizada por aberturas no teto, ampliando a taxa de transferência de calor por convecção.

3 Materiais e Métodos

A pesquisa qualitativa, do tipo estudo de caso, ocorreu a partir de experimento prático para a avaliação da energia térmica conduzida em edificações na cidade de Concórdia, SC. Inicialmente foram selecionadas edificações construídas com diferentes materiais nos envoltentes e coberturas. Para a coleta dos dados das temperaturas foi utilizado um termômetro com sensor infravermelho aferido pelo INMETRO e disponível nos laboratórios da Universidade. O instrumento possibilita avaliar as temperaturas externas e internas da edificação, com faces expostas à incidência solar e sombreadas, as quais fizeram parte da coleta de dados.

Para a coleta de dados foi utilizada uma planilha eletrônica pré-programada em Microsoft Excel, posteriormente utilizada na realização dos cálculos. Para o cálculo do calor transferido por condução (processo de transferência de calor analisado) nos envoltentes e coberturas das edificações foi utilizada a Lei de Fourier (equação 1).

$$q = \lambda \cdot \left(\frac{T_1 - T_2}{L} \right) \quad \text{Eq. 1}$$

Onde: “q” é a quantidade de calor transferido (W.m⁻²); “λ” coeficiente de condutividade térmica do material (W/m.K); “T1” é a temperatura da face quente em Kelvin (K); “T2” é a temperatura da face fria em Kelvin (K); “L” a espessura da parede em metros (m) e “λ” o coeficiente de condutividade térmica (W/(m².K)).

Quanto aos coeficientes de condutividade térmica utilizados nos dados, a partir dos materiais que constituem a edificação, foram obtidos na normativa técnica [23], apresentados na tabela a seguir, definidos conforme a densidade dos materiais (Tabela 1).

Alguns envoltentes apresentavam mais de um material como, por exemplo, tijolo cerâmico e argamassa ou argamassa, tijolo cerâmico e argamassa (Figura 1), as aferições das temperaturas eram realizadas nas superfícies externas (L1). Desse modo, era possível avaliar o fluxo de calor transferido em cada metro quadrado (m²) de envolvente na edificação. A partir da equação conhecida como Lei de Fourier (Equação 1), foram obtidas as equações para os envoltentes constituídos por mais

de um tipo de material. Quando havia dois materiais (equação 2) e, assim, sucessivamente para três e quatro.

$$q = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot (T_1 - T_2)}{(L_1 \cdot \lambda_2) + (L_2 \cdot \lambda_1)} \quad \text{Eq. 2}$$

$$q = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot (T_1 - T_2)}{(L_3 \cdot \lambda_1) + (L_1 \cdot \lambda_2) + (L_2 \cdot \lambda_3)} \quad \text{Eq. 3}$$

$$q = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 \cdot (T_1 - T_2)}{(L_3 \cdot \lambda_4) + (L_1 \cdot \lambda_2) + (L_2 \cdot \lambda_3) + (L_4 \cdot \lambda_1)} \quad \text{Eq. 4}$$

Tabela 1. Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ)

Material	ρ (Kg/m ³)	λ (W/m ² .K)
Vidro comum	2500	1,00
Argamassa comum	1800-2100	1,15
Tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70
	1800-2000	1,05
Zinco (alumínio zinco)	7100	112
Poliestireno expandido moldado (Isolamento térmico)	15-35	0,04
Carvalho, feijó, pinho, cedro, pinus (Madeiras diversas)	600-750	0,23
Poli metacrílicos de metila (acrílicos) policloreto de vinila (PVC)	1200-1400	0,20

As medições e avaliação das temperaturas foram realizadas sobre envoltantes (paredes externas e internas) e coberturas, a fim de avaliar as transferências de calor por condução no desempenho térmico de edificações residenciais e em uma edificação da Instituição de Ensino Superior (IES). Desse modo, é possível comparar os resultados na transferência de calor em envoltantes (paredes) de edificações e nas coberturas delas, a fim de estabelecer comparativos entre diferentes materiais aplicados na mesma edificação.

4 Resultados das avaliações nos envoltantes das edificações

Com o uso de dados obtidos nas medições, foi possível calcular as médias das temperaturas avaliadas nos horários do meio-dia (12 horas) e às 18 horas, no verão de 2019. Os resultados mostram a influência do posicionamento solar e sombreamento por vegetação na transferência de calor por

Tabela 2. Resultado da avaliação dos envoltantes (paredes) das edificações estudadas

condução nos envoltantes das edificações (Tabela 2). A diferença nas temperaturas internas e externas, registradas nos horários próximos ao meio-dia, foi menor em razão da transferência de calor por condução. Relatado na literatura como processo lento, porém uma ferramenta importante para diagnosticar o desempenho térmico de uma edificação [12]

Nas medições realizadas às 18 horas, nas fachadas ensolaradas durante o dia, as temperaturas da face interna estavam significativamente maiores que as externas. Um dos cases para exemplificar esse resultado pode ser o envoltante da IES, edificação de alvenaria regular blocos cerâmicos com furos assentados em cutelo com concreto e revestimento com argamassa na face interna, apresentando temperaturas internas elevadas para o período de estudo (Figura 2).



Figura 2 – Registros externo (esquerda) e interno (direita) na edificação convencional (18h)

Os registros mostram que o calor provindo da radiação solar incidente na parte externa da edificação durante o dia reduziu para 33,2 °C (306,35 K), enquanto na parte interna foi 35,8 °C (308,95 K), de modo que a energia armazenada internamente estava fluindo para a parte externa (mais fria), a uma taxa de 20, 49 W.m⁻².

Cabe destacar que parte desse calor adentrou pelas janelas e contribuiu no aquecimento do envoltante de alvenaria, contribuindo para o aumento na temperatura no interior da sala. Uma das necessidades para o conforto térmico nesses ambientes de acesso noturno está no uso de equipamento para climatização artificial do ar, impactando na ineficiência energética da edificação.

Tipo de Material	Material da Edificação		Incidência Solar		T (K) Externa Medida	T (K) Interna Medida	Espessura Total (m)	$\lambda_{(\text{material } 1)}$	$\lambda_{(\text{material } 2)}$	$\lambda_{(\text{material } 3)}$	$\Lambda_{(Ar)}$	q (W.m ²)
	Externa	Interna	Sim	Não								
Alvenaria	Bloco Cerâmico (maciço)	Reboco	x		308,65	311,25	0,135	1,05	1,15	---	0,026	20,49
Alvenaria	Bloco Cerâmico (maciço)	Reboco		x	306,35	308,95	0,135	1,05	1,15	---	0,026	20,49
Alvenaria	Blocos Cerâmico e chapisco (6 furos)	Reboco	x		307,35	304,95	0,14	0,7	1,15	---	0,026	11,14
Alvenaria	Blocos Cerâmico e chapisco (6 furos)	Reboco e pintura		x	302,15	302,75	0,14	0,7	1,15	---	0,026	2,78
Alvenaria	Blocos Cerâmico e chapisco (6 furos)	Reboco e pintura		x	304,65	302,75	0,14	0,7	1,15	---	0,026	8,82
Alvenaria	Blocos Cerâmico e chapisco (6 furos)	Reboco e pintura	x		301,25	304,65	0,14	0,7	1,15	---	0,026	15,78
Alvenaria	Blocos Cerâmico e chapisco (6 furos)	Reboco e pintura		x	305,05	299,65	0,14	0,7	1,15	---	0,026	25,05
Misto	Parede dupla (entre camadas PVC para forro)	Madeira		x	304,85	301,65	0,118	0,2	0,23	---	0,026	0,14
Misto	Parede dupla entre camadas PVC para forro	Madeira	x		303,75	299,75	0,118	0,2	0,23	---	0,026	0,18
Madeira	Madeira dupla (espaço 2,5cm)	Madeira		x	302,45	303,35	0,135	0,23	0,23	---	0,026	0,05
Vidro	Vidro	Vidro		x	300,05	300,65	0,005	1	---	---	0,026	120
Vidro	Vidro	Vidro	x		300,95	303,65	0,005	1	---	---	0,026	540
Vidro	Vidro	Vidro	x		300,35	300,75	0,005	1	---	---	0,026	80

Em uma das edificações residenciais foi avaliado o resultado no desempenho térmico em cobertura com camadas condutoras e isolantes, tipo “sanduíche”. Na parte externa, uma liga metálica de alumínio e zinco, conhecida no mercado como “telha aluzinco” (Figura 3). Sob essa camada há EPS, ar (largura de 0,50 m) e forro de PVC no teto. Nessa edificação foi observada eficiência de isolamento térmico, pois a temperatura registrada na parte externa, com incidência da radiação solar no horário do meio-dia (12h), a temperatura externa (a) de 47,5°C no metal (320,65 K) e a temperatura interna (b) de 26,5°C no PVC (299,65 K), considerando que a diferença de temperatura e índices de condutividade térmica dos materiais, o cálculo da energia transmitida resultou em 0,18 W.m⁻².

Como é possível verificar na planilha eletrônica, o fluxo de calor foi maior na face envidraçada (face simples, 540 W.m⁻²), contribuindo para o conhecido efeito estufa no ambiente. Nesse caso, o uso da climatização se faz necessária. Importante destacar que, na estrutura de alvenaria, o fluxo permanece por horas no período noturno (até ocorrer o equilíbrio térmico), em razão do desempenho térmico desse material.

Em edificações de alvenaria, bloco cerâmico revestido com argamassa na face externa e interna (três materiais), houve redução na taxa de calor conduzida, conforme evidenciam os registros das temperaturas na face externa em 28,1 °C (301,25 K) e interna 31,5 °C (304,65 K). O resultado ocorre em razão do processo em que há transferência entre diferentes materiais, devido à Lei de Conservação da Energia [12], [24]. À medida que aumenta o número de materiais, aumenta a resistência na movimentação dos elétrons e, conseqüentemente, a resistência

ao fluxo de calor [12]. Desse modo, por exemplo, quando a face ensolarada era tijolo cerâmico com concreto na parte interna (dois materiais), os índices de calor transferidos foram de aproximadamente $20,49 \text{ W.m}^{-2}$, porém na edificação com três camadas de material (concreto, tijolo cerâmico e concreto), a taxa foi de aproximadamente $15,78 \text{ W.m}^{-2}$. Em ambos os ambientes os dados foram coletados na face oeste, no mesmo horário, com as mesmas condições climáticas.

5 Resultados das avaliações nas coberturas das edificações

Os resultados dos dados analisados em envoltórios demonstraram que duas situações foram apropriadas para a redução na transferência de calor por condução: a presença da vegetação e o uso de múltiplos materiais proporcionam melhor desempenho térmico na edificação. Para as coberturas, a coleta de dados foi realizada por edificações em coberturas metálicas (Tabela 3), a fim de limitar as variáveis. Também, as escolhidas apresentavam material de isolamento térmico EPS (Expanded Polystyrene) entre as camadas metálicas. Esse tipo de cobertura é comum também em edificações industriais e comerciais

Tabela 3. Dados coletados em coberturas das edificações estudadas

Tipo de Material	Material da Edificação		Incidência Solar		T (K) Externa Medida	T (K) Interna Medida	Espessura Total (m)	$\lambda_{(\text{material } 1)}$	$\lambda_{(\text{material } 2)}$	$\lambda_{(\text{material } 3)}$	$\Lambda_{(\text{ar})}$	q (W.m^{-2})
	Externa	Interna	Sim	Não								
Metal (Aluminozinco)	Metal, EPS e metal	Forro em PVC	x		320,65	299,65	0,048	112	0,04	0,2	0,026	0,49
Metal (Aluminozinco)	Metal, EPS e metal	Forro em PVC		x	297,65	302,75	0,048	112	0,04	0,2	0,026	0,11
Metal (Aluminozinco)	Metal, EPS e metal	Sem revestimento	x		320,65	304,15	0,04	112	0,04	---	0,026	22,00
Metal (Aluminozinco)	Metal, EPS e metal	Sem revestimento		x	307,15	308,55	0,04	112	0,04	---	0,026	1,87
Metal (Aluminozinco)	Metal, EPS e metal	Sem revestimento		x	297,65	302,75	0,04	112	0,04	---	0,026	6,80



Figura 3 – Avaliação da cobertura composta por múltiplas camadas (metal, EPS, ar e PVC)

Na mesma edificação residencial, em que a cobertura era também com liga metálica (aluzinco) e isopor e PVC, porém sem a presença da camada de ar (c), a temperatura era $4,5 \text{ }^\circ\text{C}$ maior na parte interna da edificação, demonstrando aumento na transferência de calor. No metal (externo) foi identificada uma temperatura de $47,5 \text{ }^\circ\text{C}$ e interna de $31 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figura 6). Nesse caso, a transferência de calor no envoltório testado foi de 22 W.m^{-2} , significativamente superior à edificação anterior, que era de $0,18 \text{ W.m}^{-2}$. Os registros das temperaturas foram obtidos no mesmo dia, horário (próximo às 12 horas) e local.

Quanto ao estudo nas edificações mistas ou de madeira, as avaliações demonstram que em um entorno de madeira ($0,025\text{m}$), ar ($0,10\text{m}$) e madeira de revestimento interno ($0,01\text{cm}$), as temperaturas foram de $29,3 \text{ }^\circ\text{C}$ (externa) e $30,2 \text{ }^\circ\text{C}$ (interna), às 18

horas. Portanto, a transferência de calor foi de $1,6 \text{ W.m}^{-2}$, nesse horário, evidenciando a eficácia da madeira com câmara de ar no desempenho térmico. A madeira hoje utilizada na construção civil é um recurso renovável, os resíduos produzidos são de baixo impacto ambiental, o que demonstrou desempenho térmico da condução de calor em comparação à construção de alvenaria. Para este estudo, não foram avaliadas variáveis, como resistência térmica ou outros processos de transferência de calor, como convecção ou radiação, porém o fluxo de calor por condução, com intenção de identificar a eficácia na composição de materiais utilizados nos envoltentes das edificações estudadas.

6 Considerações Finais

Este estudo experimental teve como intenção responder à seguinte pergunta de pesquisa: Como o uso de diferentes materiais no envoltente interfere no fluxo de calor por condução na edificação? A ferramenta desenvolvida (planilha eletrônica), utilizando o método consenso e difundido na literatura, pode ser aplicada na avaliação de outras composições de recursos na construção civil. A pesquisa avaliou de forma qualitativa os diferentes materiais, em diversos contextos dos envoltórios na construção civil, a fim de conhecer como ocorre o fluxo de calor.

O comparativo entre os dados coletados das temperaturas nos envoltórios das edificações convencionais e com elementos mitigadores do fluxo de calor possibilitou identificar que ocorreu redução significativa no fluxo de calor para edificações com materiais compostos. Dessa forma, uma edificação composta por múltiplas camadas apresenta menor taxa de transferência de calor. Esse efeito, conforme anteriormente relatado, está relacionado à conservação da energia. A energia cedida por metais e não-metais ocorre a partir de vibrações atômicas ordenadas, transferindo a energia de um ponto ao outro e, quando há múltiplos materiais, há perdas na energia térmica transferida.

Investigar a eficácia dos envoltentes de edificações pode promover mudanças nos projetos de engenharia, bem como auxiliar na escolha e uso de materiais para melhora no desempenho térmico das edificações. Essa mudança pode promover conforto térmico aos ocupantes e sustentabilidade energética na edificação. Como inferência, a partir desse experimento, verificou-se a necessidade de avaliar as transferências de radiação e convecção em envoltentes com múltiplas camadas. Os dados das temperaturas coletadas, nos casos estudados, demonstraram que a presença de uma câmara de ar sobre a formação de PVC interferiu significativamente nas temperaturas.

Agradecimentos

Governo do estado de Santa Catarina, pela concessão de bolsa de iniciação científica (Uniedu) ao acadêmico que atuou na pesquisa.

STUDY OF THERMAL CONDUCTIVITY OF ENVIRONMENTS IN BUILT ENVIRONMENTS

ABSTRACT: Technological development and urbanization promoted an increase in residential electricity consumption. Therefore, the search for energy sustainability is directly associated with thermal comfort and requires changes in civil construction. This research aimed to evaluate the thermal conductivity of structures in built environments, enabling changes in buildings and new projects in civil construction. The qualitative and quantitative methodology evaluated the thermal conductivity in the surroundings of buildings, to obtain the heat transfer rate by conduction in different types of materials. The method used in the calculations was the Fourier Law, with an evaluation of the external and internal temperature of the environments using a thermometer with an infrared sensor. The results show better thermal performance in envelopes with material composition, contributing significantly to reduce the heat transfer by conduction in the environment. It is concluded that the use of a system composed of different materials can be an alternative to promote thermal comfort and energy sustainability in the building.

Keywords: Heat Conduction. Energy Transfer. Fourier's Law. Sustainability.

REFERÊNCIAS

- [1] M. A. F. Reis, P. Reis Júnior, and D. L. Perin, "Sustentabilidade energética em escola pública," *MIX Sustentável*, vol. 6, no. 3, pp. 37–44, Jun. 2020.
- [2] EPE, "Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2015," in *Empresa de Pesquisa Energética*, 2015, pp. 1–228.
- [3] P. Reis Jr, R. E. Senger, A. M. F. Reis, and M. G. Trentin, "Mudanças na matriz energética hídrica no Brasil: estudo estatístico a partir de regressão multivariada," in *VII Congresso Internacional de Ensino da Matemática (VII CIEM)*, 2017, Comunicaçã., pp. 1–15.
- [4] P. M. Passos and H. Carasek, "Argamassas com resíduos para revestimento isolante térmico de parede pré-moldada de concreto," *Cerâmica*, vol. 64, no. 372, pp. 577–588, Dec. 2018.
- [5] A. M. Fernandes, "Estimativa do Impacto das Variações de Temperatura Sobre o Consumo Residencial de Energia Elétrica no Rio de Janeiro," in *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 2013, XL., pp. 1332–1343.

- [6] A. S. Silva and E. Ghisi, "Análise comparativa dos resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1," *Ambiente Construído*, vol. 14, no. 1, pp. 215–230, Mar. 2014.
- [7] ONU, "Objetivos de Desenvolvimento Sustentável," *Agenda 2030*, 2015. [Online]. Available: <https://nacoesunidas.org/pos2015/ods7/>. [Accessed: 05-Jul-2020].
- [8] L. de C. Lima, S. M. Leder, L. B. da Silva, and E. L. de Souza, "Conforto térmico em espaços abertos no clima quente e úmido: estudo de caso em um parque urbano no Bioma Mata Atlântica," *Ambiente Construído*, vol. 19, no. 2, pp. 109–127, Apr. 2019.
- [9] ABNT NBR-15270-1, *Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais*. 2017, p. 16.
- [10] D. O. Vivaldini, A. A. C. Mourão, V. R. Salvini, and V. C. Pandolfelli, "Revisão: fundamentos e materiais para o projeto da microestrutura de isolantes térmicos refratários de alto desempenho," *Cerâmica*, vol. 60, no. 354, pp. 297–309, Jun. 2014.
- [11] F. S. Viana, H. A. de Souza, and A. P. Gomes, "Residência em contêiner: comparativo de estratégias para a melhoria do desempenho térmico," *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, vol. 10, p. e019011, 2019.
- [12] M. Ordenes, R. Lamberts, and S. Guths, "Transferência de calor na envolvente da edificação," *LabEEE*, no. 08. Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações, Florianópolis, p. 40, 2008.
- [13] A. F. Krelling and A. M. Hackenberg, "Influência de parâmetros construtivos na eficiência energética de uma edificação – análise através de simulação computacional," *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, vol. 4, no. esp., p. 211, Dec. 2015.
- [14] C. Bartholomei, "Influência da vegetação no conforto térmico urbano e no ambiente construído," Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- [15] M. C. Navroski, D. B. Lippert, L. Camargo, M. de O. Pereira, and C. R. Haselein, "Avaliação do isolamento térmico de três diferentes materiais usados na construção e preenchimento de paredes externas," *Ciência da Madeira*, vol. 01, no. 1, pp. 41–51, Oct. 2010.
- [16] A. B. Frota and S. R. Schiffer, *Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo*, 5th ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.
- [17] A. C. Carfan, E. Galvani, and J. T. Nery, "Estudo do efeito da estrutura vertical urbana no micro-clima de ourinhos, estado de são paulo," *Acta Scientiarum - Technology*, vol. 34, no. 3, pp. 313–320, 2012.
- [18] L. C. Castro, K. M. Degues, M. G. Cypriano, M. R. Rocha, O. R. K. K. Montedo, and E. Angioletto, "Evaluation of the thermal performance of different cold materials for urban paving," *Cerâmica*, vol. 63, no. 366, pp. 203–209, Apr. 2017.
- [19] B. Bueno, J. Hidalgo, G. Pigeon, L. Norford, and V. Masson, "Calculation of Air Temperatures above the Urban Canopy Layer from Measurements at a Rural Operational Weather Station," *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol. 52, no. 2, pp. 472–483, Feb. 2013.
- [20] M. Zinzi and G. Fasano, "Properties and performance of advanced reflective paints to reduce the cooling loads in buildings and mitigate the heat island effect in urban areas," *International Journal of Sustainable Energy*, vol. 28, no. 1–3, pp. 123–139, 2009.
- [21] E. Mushtaha and O. Helmy, "Impact of building forms on thermal performance and thermal comfort conditions in religious buildings in hot climates: a case study in Sharjah city," *International Journal of Sustainable Energy*, vol. 36, no. 10, pp. 926–944, Nov. 2017.
- [22] J. M. Thomas, S. Algohary, F. Hammad, and W. O. Soboyejo, "Materials selection for thermal comfort in passive solar buildings," *Journal of Materials Science*, vol. 41, no. 21, pp. 6897–6907, Nov. 2006.
- [23] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, *Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades*. 2003, pp. 1–7.
- [24] R. Lamberts *et al.*, "esempenho térmico de edificações," no. 7. LagEEE - UFSC, Florianópolis - SC, p. 240f., 2016.