



## COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS ANALÍTICOS PARA OBTENÇÃO DA RESISTÊNCIA EQUIVALENTE DE PAINÉIS SANDUÍCHE PRODUZIDOS COM DIFERENTES CONECTORES

**Roberta Oliveira (1); Michele Carvalho (2); Rodrigo Lameiras (3)**

(1) Mestranda em Construção Civil, Engenheira Civil, robertab.o@hotmail.com, Universidade de Brasília, 70297-400, (34) 99189-8243

(2) Doutora, Engenheira Civil, Professora Adjunta, Universidade de Brasília

(3) Doutor, Engenheiro Civil, Professor Adjunto, Universidade de Brasília

### RESUMO

Os painéis sanduíches constituídos por duas camadas de concreto, e uma interna de material isolante, são utilizados como opção para os sistemas de vedação vertical externos (SVVEs) de edificações no âmbito internacional, e pouco explorados no Brasil. Além disso, os conectores metálicos comumente utilizados para unir essas camadas geram pontes térmicas que podem reduzir o desempenho. O emprego dos conectores de Polímero Reforçado com Fibras de Vidro (FRP), surgem como alternativa. O objetivo deste trabalho é calcular a resistência térmica equivalente de um painel sanduíche com dois tipos de conectores por diferentes métodos analíticos para a verificação do impacto nos resultados quanto ao nível de desempenho térmico pelo método simplificado da ABNT NBR 15575: 2021. Os métodos foram: Fluxo Paralelo e Planos Isotérmicos da ASHRAE e o da ABNT NBR 15220:2005. Apesar de terem sido detectadas diferenças entre eles, não foram suficientes para alterar o resultado de desempenho térmico pelo método simplificado para nenhuma zona bioclimática brasileira, sendo atingido o nível mínimo para todos eles.

Palavras-chave: Desempenho térmico. NBR 15575. Painéis sanduíche. Resistência equivalente. Conector FRP.

### ABSTRACT

Sandwich panels are a type of wall consisting of two layers of concrete, and an inner layer of insulating material. They are commonly used as an option to improve thermal performance of buildings internationally, but they are little explored in Brazil. Moreover, the metallic connectors commonly used to join these layers generate thermal bridges that can reduce this performance. The use of Glass Fiber Reinforced Polymer (FRP) connectors has emerged as an alternative. The aim of this work is to calculate the equivalent thermal resistance of a sandwich panel with two types of connectors by different analytical methods to verify the impact on the results regarding the level of thermal performance by the simplified method normative. The methods are: ASHRAE's Parallel Flow and Isothermal Planes, and ABNT NBR 15220:2005's. Although differences between them were detected, they were not enough to change the result of thermal performance by the simplified method of ABNT NBR 15575: 2021 for any Brazilian bioclimatic zone, being reached the minimum level for all of them.

Keywords: Thermal performance. NBR 15575. Sandwich panels. Equivalent thermal resistance. FRP connector.

## 1. INTRODUÇÃO

Estimar a transmitância térmica geral dos componentes da envoltória do edifício é crucial, a fim de otimizar o design e a configuração dos elementos de construção e reduzir a demanda de energia por ar condicionado durante a fase operacional de edificações. Deve-se então, escolher os elementos opacos em termos de suas diferentes camadas sucessivas, levando em consideração a espessura e a condutividade térmica de cada uma (SOARES et al., 2019).

Os painéis sanduíche são comumente utilizados em outros países como uma opção para elevar o desempenho térmico de uma edificação. Segundo Yu et al. (2022), eles têm sido identificados em uma gama crescente de edifícios com diferentes funções e localizações, principalmente devido aos seus benefícios de economia de energia. Consistem basicamente em duas camadas externas de concreto, e uma camada interna entre eles de material isolante, geralmente poliestireno expandido (EPS) ou chapa extrudada (XPS), conectadas por um conector de cisalhamento, em sua maioria metálico e podem ter diversos formatos (placa plana perfurada, barras redondas, pinos e treliças planas).

Contudo, a presença dos conectores interrompe a camada de isolamento contínuo dando origem a pontes térmicas que, no caso do aço, devido à sua alta condutividade térmica, pode conduzir energia a uma taxa muito mais alta que o isolamento, reduzindo assim a eficácia do sistema (LEE; PESSIKI, 2004). Lameiras (2015) desenvolveu conectores de FRP (Fiber Reinforced Polymer) do tipo placa plana perfurada, validando o seu desempenho estrutural em vários ensaios. Esse material surge como alternativa para a redução das pontes térmicas ocasionada pelos conectores.

Para a validação de um sistema construtivo, a NBR 15575 (ABNT, 2021) estabelece critérios e requisitos pelo método simplificado para a verificação da transmitância térmica ( $U$ ) do sistema de vedação vertical externo (SVVE) das unidades. Caso o valor obtido de  $U$  seja menor que os limites normativos para cada zona bioclimática (ZB) brasileira, é conferido o nível mínimo de desempenho térmico para a unidade habitacional (UH) analisada. Apesar de não poder ser determinado os outros níveis intermediário e superior, o método simplificado é suficiente para aprovar ou reprovar a construção da UH pelo comportamento térmico.

Nesse sentido, faz-se necessário o cálculo da resistência térmica do SVVE, cujo inverso resulta no valor de  $U$ . E para sistemas com camadas não homogêneas, como no caso dos painéis sanduíche com conectores, calcula-se a sua resistência equivalente. A NBR 15220 (ABNT, 2005) preconiza esse cálculo, no entanto, existem também outros métodos analíticos como os da Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado (ASHRAE, 2001): método de zona, método de fluxo paralelo e método de planos isotérmico, nos quais as resistências térmicas dos materiais são tratadas como resistências elétricas dispostas em paralelo ou em série. Para Kim e Allard (2014), esses métodos podem facilmente ser aplicados para os painéis sanduíche na obtenção da resistência térmica equivalente.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é calcular a resistência térmica equivalente de um painel sanduíche com dois tipos de conectores por diferentes métodos analíticos para a verificação do impacto nos resultados quanto ao nível de desempenho térmico pelo método simplificado da NBR 15575 (ABNT, 2021).

## 3. MÉTODO

Os procedimentos metodológicos deste trabalho consistem na obtenção da resistência térmica equivalente para um painel sanduíche por três métodos analíticos: NBR 15220 (ABNT, 2005), e os métodos da ASHRAE (ASHRAE, 2001) de Fluxo Paralelo e Planos Isotérmicos. O método de zona não foi utilizado, por ser recomendado em situações em que os conectores estão altamente espaçados. A partir de então, tem-se a comparação dos valores obtidos com os limites normativos da NBR 15575 (ABNT, 2021) para a transmitância térmica.

### 3.1. Dimensões consideradas para os cálculos analíticos

As dimensões consideradas para cada componente do painel foram: três camadas de 6 cm cada (concreto-EPS-concreto) e um revestimento nominal de concreto de 1,5 cm de espessura. Foi variado o material do conector (metálico e FRP), e também considerada uma situação hipotética sem conector. O módulo de repetição do conector foi de 60 cm na horizontal, conforme determinado por Lameiras (2015), o que resulta em 30 cm para cada lado do conector. Os índices abaixo equivalem ao tipo de material: (1) concreto, (2) EPS, (3) conector metálico e (4) conector de FRP, e serão utilizados nas equações para diferenciação.

Para os conectores, foram tomados como base os modelos de Lameiras (2015) e Silva (2020) para os de FRP, e a treliça metálica plana de 10 mm de diâmetro com ângulos internos de 45° mencionada em Knöner (2019). Para o conector metálico, uma área equivalente foi calculada, levando em conta o número de vezes em que a camada de isolamento é atravessada pelo vergalhão da treliça metálica, convertendo-o em uma placa plana com as mesmas dimensões do FRP, variando apenas a espessura, processo análogo ao aplicado por Santos (2010).

A obtenção da espessura equivalente do conector metálico foi obtida pelos seguintes passos: área equivalente da placa plana que atravessa a camada de isolamento: espessura “e” x 0,60 m (altura fixa do conector); verificação do número de vezes em que a camada de isolamento é atravessada pelo vergalhão da treliça metálica de ângulos internos com 45°: 4 seções transversais de 10 mm de diâmetro cada, que resultam numa área de 3,1415 x 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>; obtenção da nova espessura para a placa plana metálica, fixando a área dos 4 vergalhões e a altura de 0,60 m, resultando num valor de “e” igual a 5,24 x 10<sup>-4</sup> m.

### 3.2. Propriedades térmicas dos materiais

Para os materiais concreto e EPS, a NBR 15220 (ABNT, 2005) apresenta intervalos de valores. Foram usados também valores estabelecidos pela ASHRAE Standard 90.1 (ASHRAE, 2016), complementados por outras referências, como indicado na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades térmicas dos materiais dos painéis sanduíche (ABNT; 2005, MORGADO *et al.*; 2016, ASHRAE; 2016)

Propriedade Térmica	Espessura (m)	Condut. Térmica ( $\lambda$ - W/ m·K)	Calor específico (c - kJ/ kg.K)	Densidade ( $\rho$ - kg/ m <sup>3</sup> )
Concreto	0,06	1,046 <sup>(1)</sup>	0,657 <sup>(1)</sup>	2300 <sup>(1)</sup>
EPS	0,06	0,035 <sup>(1)</sup>	1,47 <sup>(1)</sup>	23 <sup>(1)</sup>
Conector Metálico	0,000524	45 <sup>(2)</sup>	0,48 <sup>(2)</sup>	7850 <sup>(2)</sup>
Conector FRP	0,0023	0,35 <sup>(3)</sup>	1,053 <sup>(3)</sup>	1890 <sup>(3)</sup>
<sup>(1)</sup> (ASHRAE, 2016); <sup>(2)</sup> (ABNT, 2005); <sup>(3)</sup> (MORGADO <i>et al.</i> , 2016)				

### 3.3. Obtenção das resistências equivalentes pelos métodos analíticos

Para o cálculo da Resistência Térmica Total ( $R_T$ ), utiliza-se a Equação 1.

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$R_{se}$  é a resistência superficial externa [m<sup>2</sup>·K/ W];

$R_{si}$  é a resistência superficial interna [m<sup>2</sup>·K/ W];

$R_t$  é a resistência térmica do sistema [m<sup>2</sup>·K/ W] obtida pela Equação 2.

Os valores de  $R_{se}$  e  $R_{si}$  são 0,04 e 0,13, respectivamente, considerando um fluxo de calor horizontal (ABNT, 2005).

$$R_t = \sum_{i=1}^n \left( \frac{e}{\lambda} \right) \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$e$  é a espessura da camada [m];

$\lambda$  é a condutividade térmica do material [W/(m·K)], considerando “n” camadas homogêneas do sistema em série.

A Figura 1 apresenta o painel sanduíche analisado e o esquema dos caminhos definidos para o método de fluxo paralelo (Equação 7), planos isotérmicos (Equações 8, 9 e 10) e NBR 15220 (Equação 11) de acordo com a subdivisão do painel sanduíche.

$$R_t = \frac{1}{\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_A}} \quad (7)$$

$$R_t = 2 \cdot R_1 (1,5 \text{ cm}) + 2 \cdot R_A + R_B \quad (8)$$

$$R_A = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{3/4}} + \frac{1}{R_1}} \text{ com } e = 4,5 \text{ cm} \quad (9)$$

$$R_B = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{3/4}} + \frac{1}{R_2}} \text{ com } e = 6 \text{ cm} \quad (10)$$

$$R_t = \frac{2 \cdot A_A + A_B}{\frac{2 \cdot A_A}{R_A} + \frac{A_B}{R_B}} \quad (11)$$

Onde:

$R_A$  e  $R_B$  são as resistências em série de cada caminho [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$ ];

$R_1$ ,  $R_2$  e  $R_{3/4}$  são as resistências de cada camada [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$ ], determinadas pela Equação 2.

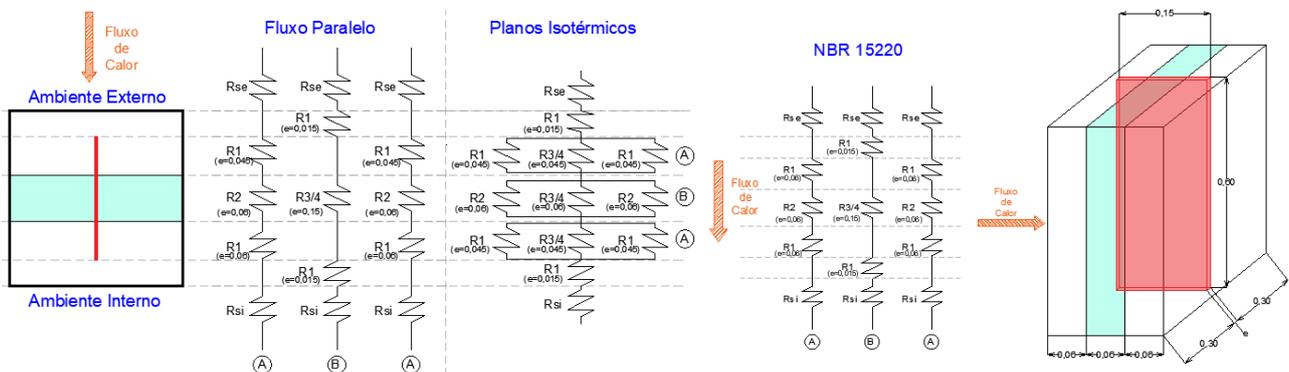


Figura 1 – Esquema de cálculo da resistência equivalente pelos três métodos (AUTORES, 2023).

## 4. RESULTADOS

Tendo em vista os métodos descritos, a Tabela 2 contém os valores de resistência térmica equivalentes calculadas para cada tipo de painel. A transmitância térmica  $U$  (inverso das resistências), apresentada na Tabela 3, foi menor que 2,50 (limite normativo) em todas as situações, atingindo portanto o nível mínimo para todas as zonas bioclimáticas.

Tabela 2 – Comparativo entre os resultados de  $R_t$  em ( $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$ ) e os 3 métodos (AUTORES, 2023)

Painel/ Método	Fluxo Paralelo	Planos Isotérmicos	NBR 15220	Média	Desvio-padrão
Conector metálico	1,320	1,104	1,442	1,289	17,12%
Conector FRP	1,912	1,965	1,786	1,887	9,17%
Sanduiche sem conector	1,999	1,999	1,999	1,999	0,00%
Diferença FRP (-) metálico	-0,592	-0,861	-0,344	-0,599	-

Tabela 3 – Resultados de  $U$  ( $\text{W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$ ) para os 3 métodos (AUTORES, 2023)

Painel/ Método	Fluxo Paralelo	Planos Isotérmicos	NBR 15220
Conector metálico	0,758	0,906	0,693
Conector FRP	0,523	0,509	0,560
Sanduiche sem conector	0,500	0,500	0,500

A partir da comparação entre os três métodos para cada tipo de conector, observou-se diferenças nos resultados, que resultaram num desvio padrão de 17,12% para aquele com conector metálico, e de 9,17% para conector de FRP. Comparando-se dentro de um mesmo método, os dois tipos de conectores, notou-se um valor médio superior de 0,599 m<sup>2</sup>·K/ W nos resultados para o conector metálico. Os valores da NBR 15220 apresentaram uma maior proximidade, denotando um menor impacto quanto ao material do conector na R<sub>T</sub>.

## 5. CONCLUSÕES

Apesar da impossibilidade de se aplicar um método estatístico para verificar a significância ou não, diferenças de 0,213 m<sup>2</sup>·K/ W, 0,557 m<sup>2</sup>·K/ W e 0,599 m<sup>2</sup>·K/ W, na proporção de resultados médios em torno de 1,647 m<sup>2</sup>·K/ W (média de todas as resistências dos painéis sanduíche), representam uma redução em torno de 36% na resistência térmica do sistema e não foram significantes o suficiente para alterar os níveis de desempenho segundo os critérios normativos brasileiros. Nesse caso, portanto, os métodos de resistência equivalente não afetaram no resultado final. No entanto, pode-se inferir ainda que, mesmo com uma análise simplificada, analisando unicamente os SVVEs, o material do conector foi relevante para o desempenho térmico final dos sistemas, embora não tenha sido suficiente para reprovar os sistemas no critério de desempenho térmico mínimo.

Este trabalho é parte de uma dissertação de mestrado em fase de finalização, cujos resultados serão melhor explorados na aplicação em simulações computacionais para uma UH selecionada, calculando-se a carga térmica total (C<sub>gTT</sub>) da UH para cada tipo de painel. Outra comparação possível também se refere aos resultados entre o método simplificado e o de simulação computacional para os painéis sanduíche, ambos previstos na NBR 15575 (ABNT, 2021).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. 1. Ed. Rio de Janeiro: 2005.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho 1. Ed. Rio de Janeiro: 2021.
- ASHRAE. ASHRAE Handbook: Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, GA: [s.n.]. 2001.
- ASHRAE. AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ASHRAE STANDARD 90-1**: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. Atlanta, GA: 2016, 2016.
- FJP. Fundação João Pinheiro. **Déficit Habitacional no Brasil**. Disponível em: <<https://fjp.mg.gov.br/deficit-habitacional-no-brasil/>>. Acesso em: 10 abr. 2023.
- KIM, Yail. J.; ALLARD, Austin. Thermal response of precast concrete sandwich walls with various steel connectors for architectural buildings in cold regions. **Energy and Buildings**, v. 80, p. 137–148, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.05.022>.
- KNÖNER, Nery. **Análise experimental da ligação entre placas de painéis sanduíche unidas com treliça metálica**. Tese (Doutorado) – Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, p. 179, 2019.
- LAMEIRAS, Rodrigo Melo. **Sandwich structural panels comprising thin-walled SFRSCC and GFRP connectors : from material features to structural behaviour**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, p. 446, 2015.
- LEE, Byoung-Jun.; PESSIKI, Stephen. Analytical investigation of thermal performance of precast concrete three-wythe sandwich wall panels. **PCI Journal**, v. 49, n. 4, p. 88–101, 2004.
- MORGADO, Tiago. *et al.* Resistência ao fogo de perfis pultrudidos de polímero reforçado com fibras de vidro (GFRP) para aplicações em reabilitação: Estudo experimental, numérico e analítico. **Revista ALCONPAT**, v. 6, p. 157–172, 2016.
- SANTOS, Tiago. **Avaliação das Vantagens Económicas e Tecnológicas da Utilização do Conceito de Sistema Modular para Edifícios**. Dissertação (Mestrado) - Estruturas e Geotecnia, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, p. 215, 2010.
- SILVA, John Kennedy Fonsêca. **Avaliação experimental sobre o comportamento mecânico de conectores de cisalhamento do tipo PERFOFRP em paredes pré-moldadas de concreto com isolamento incorporado**. Dissertação (Mestrado) – Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, p. 99, 2020.
- SOARES, Nelson. *et al.* Laboratory and in-situ non-destructive methods to evaluate the thermal transmittance and behavior of walls, windows, and construction elements with innovative materials: A review. **Energy and Buildings**, v. 182, p. 88–110, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.10.021>.
- YU, Sisi. *et al.* Theoretical, experimental and numerical study on the influence of connectors on the thermal performance of precast concrete sandwich walls. **Journal of Building Engineering**, v. 57, n. 13, p. 104886, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.104886>.