

ANEXO II – COEFICIENTE DE CONDUTIBILIDADE TÉRMICA “*IN-SITU*”

AII.1. JUSTIFICAÇÃO

O conhecimento da resistência térmica real dos componentes da envolvente do edifício¹ é muito importante, quer em edifícios novos, como em edifícios antigos, pois:

- **Edifícios novos** – de forma a determinar se a qualidade da construção corresponde à que foi proposta pelo projecto. A utilização de material ou mão-de-obra de baixa qualidade pode levar a que componentes do edifício não tenham a performance inicialmente projectada;
- **Edifícios antigos** – o conhecimento da resistência térmica da envolvente é importante para determinar se o edifício necessita da aplicação, ou não, de isolamento térmico ou outras medidas para baixar o consumo energético. Assim, através da medição “in-situ”, é possível justificar um

¹ Um componente da envolvente do edifício é uma porção da envolvente do edifício que tem uma construção consistente, tal como uma parede, cobertura, pavimento, janela, porta.

investimento em medidas de redução do consumo energético que não seria possível através de cálculos a partir de dados publicados;

- **Edifícios de teste** – com o conhecimento da resistência térmica real dos componentes dos edifícios é possível testar materiais novos, que não possuem valores tabelados para a resistência térmica, assim como aumentar o rigor das simulações da performance energética efectuadas.

AII.2. MÉTODO UTILIZADO

O método utilizado para o cálculo da resistência térmica “*in-situ*”, de elementos da envolvente, foi a técnica do Somatório ASTM (Norma C1155 – 95), que dita o cumprimento de certos requisitos para que seja possível obter a resistência térmica “*in-situ*” dos elementos da envolvente com um alto grau de confiança:

- O percurso do fluxo de calor tem de ser perpendicular à superfície em questão, ou seja, não podem existir fenómenos que perturbem o fluxo de calor, tais como pontes térmicas, entre outros;
- Tem de haver um gradiente térmico significativo entre o exterior e o interior;
- Têm de ser escolhidos intervalos de tempo que não provoquem diferenças na resistência térmica calculada em mais de 10%.

A partir desta técnica, é possível obter a resistência térmica de elementos da envolvente com a colocação de sensores de temperatura² na superfície exterior e interior e com a colocação de sensores de fluxo de calor³ no elemento da envolvente, que necessita obter a resistência térmica. Assim, os dados recolhidos “*in-situ*” são:

² Um sensor de temperatura é um aparelho que produz um sinal contínuo, função da temperatura, como por exemplo um termopar.

³ Um sensor de fluxo de calor é um aparelho que produz um sinal contínuo, função do fluxo de calor, como por exemplo um transdutor de fluxo de calor.

- Temperatura superficial interior do elemento i – T_{is} (Figura All.1);
- Temperatura superficial exterior do elemento i – T_{es} (Figura All.2);
- Fluxo de calor através do elemento i – q_i (Figura All.1);



Figura All.1 – Sensor de fluxo de calor e temperatura superficial interior instalados na Célula de Teste Convencional.



Figura All.2 – Sensor de temperatura superficial exterior instalado na Célula de Teste não Convencional.

Assim, para cada intervalo de tempo escolhido (cada intervalo de tempo terá de ser múltiplo de 24h), a resistência térmica estimada (R_e) é calculada a partir das Equações All.1 e All.2:

Equação All.1

$$R_e = \frac{\sum_{k=1}^M \Delta T_{sk}}{\sum_{k=1}^M q_{ik}};$$

Equação All.2

$$\Delta T_s = T_{is} - T_{es} \quad \text{com:}$$

M – intervalo de tempo escolhido.

Com o intuito de atestar uma boa performance desta técnica, é necessário executar o teste da convergência (CR_n), entre a R_e de dois intervalos de tempo consecutivos, pelo qual a convergência terá de ser < 0.1 e o intervalo de tempo do teste de convergência recomendado (n) é de 12h. Assim, o teste de convergência é executado aplicando a Equação All.3:

Equação All.3

$$CR_n = \frac{R_e(t) - R_e(t-n)}{R_e(t)}$$

Além de teste da convergência, também será necessário verificar a variância do valor da resistência térmica [$V(R_e)$], de forma a garantir bons resultados, aplicando a Equação All.4:

Equação All.4

$$V(R_e) = [s(R_e) / Média(R_e)] * 100 \quad \text{com:}$$

$S(R_e)$ – é a variância de R_e calculado com N-1 graus de liberdade;

N – número de valores de R_e ($N \geq 3$).

Assim se a variância for menor que 10%, o valor a utilizar para a resistência térmica do elemento da envolvente é o valor médio de todos os R_e calculados.

AII.3. APLICAÇÃO ÀS CÉLULAS DE TESTE

Para o caso de estudo – Células de Teste, existem quatro componentes da envolvente convenientemente equipados para a realização deste método de cálculo da resistência térmica, como se pode observar na Figura AII.3:

1. Parede Sul do compartimento Sul da Célula de Teste não Convencional (CTnC);
2. Parede Oeste do compartimento Sul da Célula de Teste não Convencional (CTnC);
3. Parede Oeste do compartimento Norte da Célula de Teste não Convencional (CTnC);
4. Parede Este da Célula de Teste Convencional (CTC);

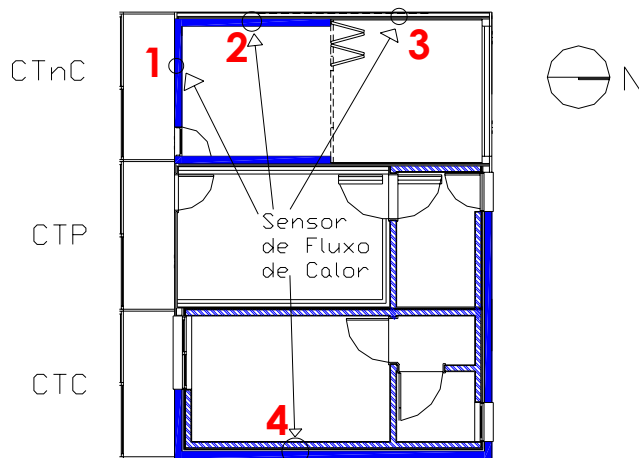


Figura AII.3 – Distribuição dos sensores de fluxo de calor nas Células de Teste.

De forma a aplicar este método de cálculo da resistência térmica “in-situ” foi necessário cumprir os requisitos impostos pela Norma ASTM C1155-95, pelo que:

- Para garantir que os fluxos de calor são perpendiculares à superfície, os sensores de fluxo de calor foram instalados a meio das paredes e em locais onde não existiam pontes térmicas;

- Foram escolhidos intervalos de dados (Tabela All.1) que se situavam no Verão ou Inverno, para promover maiores gradientes térmicos;
- Com os dados escolhidos, foi calculada a Resistência térmica através da Equação All.1 e All.2 e confirmado que esta não varia mais de 10% entre os vários intervalos escolhidos, como mostra a Tabela All.2.

Tabela All.1 – Intervalos de dados utilizados para o cálculo da resistência térmica “in-situ”

Parede	Intervalo de dados		
	1	2	3
1	1 a 4 de Junho	9 a 12 de Junho	14 a 17 de Junho
2	1 a 4 de Junho	9 a 12 de Junho	14 a 17 de Junho
3	1 a 4 de Junho	9 a 12 de Junho	14 a 17 de Junho
4	1 a 4 de Junho	9 a 12 de Junho	14 a 17 de Junho

Tabela All.2 – Verificação da variação da Resistência térmica por intervalo de dados

Parede	Resistência Térmica (m ² .°C/w) por intervalo de dados			Variação entre Intervalos de dados		
	1	2	3	1 -> 2	2 -> 3	3 -> 1
1	0.32	0.36	0.33	10%	7%	4%
2	3.03	2.95	2.93	3%	1%	3%
3	1.04	1.01	1.07	3%	5%	2%
4	2.28	2.10	2.22	8%	5%	3%

Por último, é necessário confirmar a boa performance dos valores da Resistência Térmica calculados. Como tal, foi aplicada a Equação All.3 e All.4 de forma a executar o teste da variância e o teste da convergência aos valores obtidos. Na Tabela All.3 são apresentados os resultados obtidos com a aplicação dos testes referidos à Resistência Térmica calculada para as quatro paredes seleccionadas das Células de Teste:

Tabela All.3 – Teste de variância e convergência para os valores calculados da resistência térmica “in-situ”

Parede	Teste de Variância			Teste de Convergência					
	Variância	Média	< 10%	Re (t-n); n=12h			< 0.1		
				1	2	3	1	2	3
1	0.000393	0.34	0.12%	0.32	0.37	0.32	0.01	0.02	0.03
2	0.002942	2.97	0.10%	2.98	2.97	2.80	0.02	0.01	0.04
3	0.000809	1.04	0.08%	1.02	0.99	1.06	0.02	0.02	0.01
4	0.008521	2.20	0.39%	2.24	1.91	2.11	0.02	0.09	0.05

Com todos os testes aplicados e sendo o resultado favorável, é possível afirmar com um alto grau de confiança que a resistência térmica das paredes

seleccionadas das Células de Teste é a média da resistência térmica calculada para os três intervalos de tempo, ou seja:

1. Parede Sul do compartimento Sul da Célula de Teste não Convencional (CTnC) – **0.34** m².°C/W;
2. Parede Oeste do compartimento Sul da Célula de Teste não Convencional (CTnC) – **2.97** m².°C/W;
3. Parede Oeste do compartimento Norte da Célula de Teste não Convencional (CTnC) – **1.04** m².°C/W;
4. Parede Este da Célula de Teste Convencional (CTC) – **2.2** m².°C/W.