



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE COMPONENTES DA CONSTRUÇÃO

**Validação de método de cálculo do coeficiente de transmissão
térmica de perfis de janelas**

LNEC, I.P.

Lisboa • junho de 2019

I&D EDIFÍCIOS

RELATÓRIO 238/2019 – DED/NAICI

Título

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE COMPONENTES DA CONSTRUÇÃO

Validação de método de cálculo do coeficiente de transmissão térmica de perfis de janelas

Autoria

DEPARTAMENTO DE EDIFÍCIOS

Rafaela Mateus

Bolseira de Iniciação à Investigação Científica, Núcleo de Acústica, Iluminação, Componentes e Instalações

Armando Pinto

Investigador Auxiliar, Núcleo de Acústica, Iluminação, Componentes e Instalações

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: lnec@lnec.pt

www.lnec.pt

Relatório 238/2019

Proc. 0809/111/21262

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE COMPONENTES DA CONSTRUÇÃO

Validação de método de cálculo do coeficiente de transmissão térmica de perfis de janelas

Resumo

Os edifícios são um dos principais consumidores de energia e de emissões de CO₂. Para se obterem edifícios sustentáveis e de baixo consumo energético, é necessário adotar elementos na envolvente de elevado desempenho térmico. Em elementos não homogéneos, a avaliação da transmissão de calor é frequentemente realizada por cálculo, com elementos finitos. Este documento, apresenta os resultados de validação da utilização, pelo LNEC, do modelo THERM 7.6, para determinar o coeficiente de transmissão térmica de perfis de janelas, caixas de estore e outros componentes da caixilharia, de acordo com o estabelecido na norma (EN ISO 10077-2, 2017). Esta análise é uma atualização do exercício realizado em 2008, evidenciando que o programa e a sua utilização se encontram validados.

Palavras-chave: Coeficiente de transmissão térmica / Janelas / Eficiência energética / Validação / THERM / Elementos finitos

EVALUATION OF THE THERMAL PERFORMANCE OF CONSTRUCTION COMPONENTS

Validation of the method of calculating the thermal transmittance coefficient of windows profiles

Abstract

The buildings are one of the main consumers of energy and CO₂ emissions. In order to obtain sustainable buildings with low energy demand, it is necessary to adopt building envelope elements with high thermal performance. In non-homogeneous elements, the evaluation of heat transmission is often performed by calculation, with finite elements. This document presents the validation results of using the THERM 7.6 model in LNEC, for determine the thermal transmittance coefficient of window profiles, roller shutter boxes and other window components, according to the ISO 10077-2, 2017 standard. This analysis is an update of the exercise performed in 2008, showing that the program and its use are validated.

Keywords: Thermal transmittance coefficient / Windows / Energy efficiency / Validation / THERM / Finite elements

Índice

1	Introdução	1
2	Metodologia	2
3	Resultados da simulação numérica dos casos de estudo	9
3.1	Aspetos gerais	9
3.2	Caso de validação n.º 1	10
3.3	Caso de validação n.º 2	11
3.4	Caso de validação n.º 3	12
3.5	Caso de validação n.º 4	13
3.6	Caso de validação n.º 5	14
3.7	Caso de validação n.º 6	15
3.7.1	Caso de validação n.º 6.1	15
3.7.2	Caso de validação n.º 6.2	15
3.8	Caso de validação n.º 7	17
3.9	Caso de validação n.º 8	18
3.10	Caso de validação n.º 9	19
3.11	Caso de validação n.º 10	20
3.11.1	Caso de validação n.º 10.1	20
3.11.2	Caso de validação n.º 10.2	20
3.12	Tratamento e apreciação de resultados	21
4	Conclusões	23
	Referências bibliográficas	24

Índice de figuras

Figura 2.1 – Caso de validação n.º 1: Janela de alumínio com corte-térmico	3
Figura 2.2 – Caso de validação n.º 2: Janela mista madeira-alumínio	3
Figura 2.3 – Caso de validação n.º 3: Janela de PVC com reforço de aço	3
Figura 2.4 – Caso de validação n.º 4: Janela de madeira	4
Figura 2.5 – Caso de validação n.º 5: Janela de cobertura	4
Figura 2.6 – Caso de validação n.º 6.1: Janela de correr conforme desenho da norma EN ISO 10077-2: 2017	4
Figura 2.7 – Caso de validação n.º 6.2: Janela de correr conforme desenho da norma EN ISO 10077-2: 2012	4
Figura 2.8 – Caso de validação n.º 7: Janela com folha fixa	5
Figura 2.9 – Caso de validação n.º 8: Caixa de estore	5
Figura 2.10 – Caso de validação n.º 9: Perfil de estores em PVC.....	5
Figura 2.11 – Caso de validação n.º 10.1: Janela de madeira com sistema de fixação de vidro convencional conforme desenho da norma EN ISO 10077-2: 2017	6
Figura 2.12 – Caso de validação n.º 10.2: Janela de madeira com sistema de fixação de vidro convencional conforme desenho da norma EN ISO 10077-2: 2012	6
Figura 3.1 – Caso de validação n.º 1 – Perfil de alumínio com corte térmico	10
Figura 3.2 – Caso de validação n.º 2 – Perfil misto madeira-alumínio	11
Figura 3.3 – Caso de validação n.º 3 – Perfil de PVC com reforço de aço	12
Figura 3.4 – Caso de validação n.º 4 – Perfil de madeira	13
Figura 3.5 – Caso de validação n.º 5 – Perfil de janela de cobertura	14
Figura 3.6 – Caso de validação n.º 6.1 – Perfil de janela de correr, conforme desenho da norma EN ISO 10077-2: 2017	15
Figura 3.7 – Caso de validação n.º 6.2 – Perfil de janela de correr conforme desenho da norma EN ISO 10077-2: 2012.....	16
Figura 3.8 – Caso de validação n.º 7 – Perfil de janela fixa.....	17
Figura 3.9 – Caso de validação n.º 8 – Perfil de caixa de estore	18
Figura 3.10 – Caso de validação n.º 9 – Perfil de estores em PVC.....	19
Figura 3.11 – Caso de validação n.º 10.1 – Perfil em madeira com sistema de fixação de vidro convencional conforme desenho da norma EN ISO 10077-2: 2017	20
Figura 3.12 – Caso de validação n.º 10.2 – Perfil em madeira com sistema de fixação de vidro convencional conforme desenho da norma EN ISO 10077-2: 2012	21

Índice de quadros

Quadro 2.1 – Critérios de aceitação dos resultados dos casos de validação 1 a 9	2
Quadro 2.2 – Critérios de aceitação dos resultados do caso de validação 10	2
Quadro 3.1 – Condutibilidade térmica dos materiais	9
Quadro 3.2 – Caso de validação n.º 1 – Resultados	10
Quadro 3.3 – Caso de validação n.º 2 – Resultados	11
Quadro 3.4 – Caso de validação n.º 3 – Resultados	12
Quadro 3.5 – Caso de validação n.º 4 – Resultados	13
Quadro 3.6 – Caso de validação n.º 5 – Resultados	14
Quadro 3.7 – Caso de validação n.º 6.1 – Resultados	15
Quadro 3.8 – Caso de validação n.º 6.2 – Resultados	16
Quadro 3.9 – Caso de validação n.º 7 – Resultados	17
Quadro 3.10 – Caso de validação n.º 8 – Resultados	18
Quadro 3.11 – Caso de validação n.º 9 – Resultados	19
Quadro 3.12 – Caso de validação n.º 10.1 – Resultados	20
Quadro 3.13 – Caso de validação n.º 10.2 – Resultados	21
Quadro 3.14 – Síntese da avaliação de resultados para os casos de validação 1 a 9	22
Quadro 3.15 – Síntese da avaliação de resultados para os casos 10.1 e 10.2.....	22

1 | Introdução

Os edifícios são um dos principais consumidores de energia e de emissões de CO₂. Para se obterem edifícios sustentáveis e de baixo consumo energético, é necessário adotar elementos na envolvente de elevado desempenho térmico. Em elementos não homogéneos, a avaliação da transmissão de calor é frequentemente realizada por cálculo, com elementos finitos.

Para avaliar a transmissão de calor através de janelas e seus componentes para efeitos de marcação CE de portas e janelas (EN 14351-1+A1, 2010) podem ser utilizados métodos experimentais (EN ISO 12567-1, 2000; EN ISO 12567-2, 2005) ou métodos numéricos (EN ISO 10077-1, 2017; EN ISO 10077-2, 2017). Na determinação do coeficiente de transmissão térmica de perfis de janelas, o LNEC utiliza o método de cálculo estabelecido na norma (EN ISO 10077-2, 2017). Essa norma de cálculo define as condições de fronteira a adotar, fórmulas e aproximações para se simular a transmissão de calor em espaços de ar e casos de validação.

Em 2008 foi realizada uma primeira validação do técnico (Armando Pinto) e do método de cálculo utilizado pelo LNEC, o *software* THERM 5.2, de acordo com a norma de cálculo EN ISO 10077-2 de 2003, que levou à notificação do LNEC como organismo de cálculo no âmbito da norma de produto (EN 14351-1+A1, 2010) e do Regulamento dos Produtos da Construção (RPC, 2011)¹. Face à evolução do *software* e da norma de cálculo, neste relatório apresentam-se os resultados da validação do uso da versão THERM 7.6 do programa de cálculo, face ao especificado na norma (EN ISO 10077-2, 2017). O modelo de cálculo THERM 7.6 tem implementado os procedimentos e aproximações da norma (ISO 15099, 2003), que são equivalentes aos da norma (EN ISO 10077-2, 2017) quando se utiliza a condutibilidade térmica equivalente no cálculo da transmissão de calor através de espaços de ar.

O modelo de cálculo THERM 7.6 resolve as equações de conservação de energia e de condução bidimensional de calor com base no princípio dos elementos finitos, utilizando elementos triangulares e quadrangulares. Foram efetuadas as simulações dos dez casos indicados na norma EN ISO 10077-2, para a situação em que as cavidades de ar são tratadas de acordo com o método da condutibilidade térmica equivalente.

No Capítulo 2 deste relatório apresenta-se a metodologia adotada no processo de validação, no Capítulo 3 os resultados obtidos para cada um dos casos de validação e uma análise global dos resultados e, por fim, no Capítulo 4, são apresentadas as principais conclusões.

¹ http://ec.europa.eu/growth/tools-databases/nando/index.cfm?fuseaction=notification.html&nf_id=290628&version_no=11

2 | Metodologia

Para efetuar a validação do método de cálculo destinado a avaliar o desempenho térmico de janelas, foram utilizados os dez casos de validação especificados no Anexo I da norma (EN ISO 10077-2, 2017).

De acordo com o preconizado na norma (EN ISO 10077-2, 2017), os resultados da simulação dos casos de validação devem encontrar-se nas gamas de aceitação indicadas no Quadro 2.1 e no Quadro 2.2.

Quadro 2.1 – Critérios de aceitação dos resultados dos casos de validação 1 a 9

Caso	U_f [W/(m ² .K)]		
	Nominal	Máximo	Mínimo
1	3,22	3,32	3,12
2	1,44	1,48	1,40
3	2,07	2,13	2,01
4	1,36	1,40	1,32
5	2,08	2,14	2,02
6	4,67	4,81	4,53
7	1,31	1,35	1,27
8	1,05	1,08	1,02
9	3,64	3,75	3,53

Quadro 2.2 – Critérios de aceitação dos resultados do caso de validação 10

Caso	Ψ [W/(m.K)]		
	Nominal	Máximo	Mínimo
10	0,084	0,087	0,081

Para validar o modelo de cálculo, a norma especifica os seguintes dez casos:

1. Perfil de janela de alumínio com corte-térmico (Figura 2.1);
2. Perfil de janela mista madeira-alumínio (Figura 2.2);
3. Perfil de janela de PVC com reforço de aço (Figura 2.3);
4. Perfil de janela de madeira (Figura 2.4);
5. Perfil de janela de cobertura (Figura 2.5);
6. Perfil de janela de correr (Figura 2.6 e Figura 2.7);
7. Perfil de janela com uma folha fixa (Figura 2.8);
8. Caixa de estore (Figura 2.9);
9. Perfil de estores em PVC (Figura 2.10);
10. Perfil de janela de madeira com sistema de fixação de vidro convencional (Figura 2.11 e Figura 2.12).



Figura 2.1 – Caso de validação n.º 1: Janela de alumínio com corte-térmico



Figura 2.2 – Caso de validação n.º 2: Janela mista madeira-alumínio



Figura 2.3 – Caso de validação n.º 3: Janela de PVC com reforço de aço



Figura 2.4 – Caso de validação n.º 4: Janela de madeira



Figura 2.5 – Caso de validação n.º 5: Janela de cobertura



Figura 2.6 – Caso de validação n.º 6.1: Janela de correr conforme desenho da norma EN ISO 10077-2: 2017



Figura 2.7 – Caso de validação n.º 6.2: Janela de correr conforme desenho da norma EN ISO 10077-2: 2012



Figura 2.8 – Caso de validação n.º 7: Janela com folha fixa

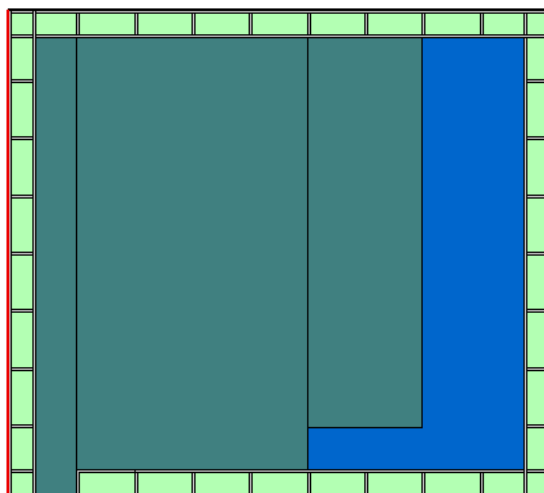


Figura 2.9 – Caso de validação n.º 8: Caixa de estore

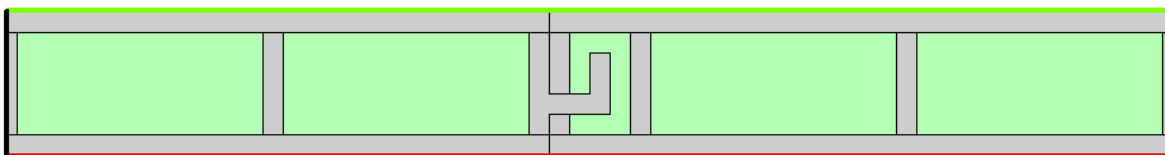


Figura 2.10 – Caso de validação n.º 9: Perfil de estores em PVC

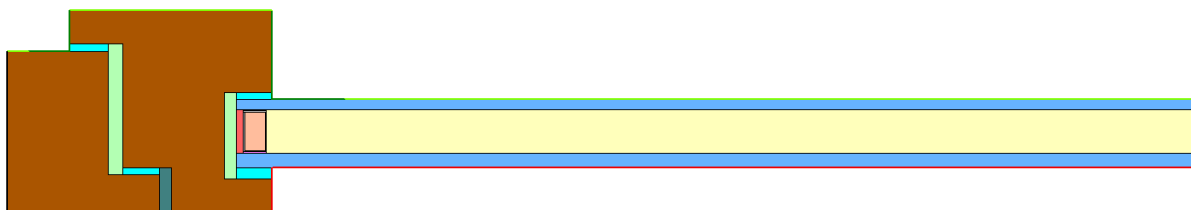


Figura 2.11 – Caso de validação n.º 10.1: Janela de madeira com sistema de fixação de vidro convencional conforme desenho da norma EN ISO 10077-2: 2017

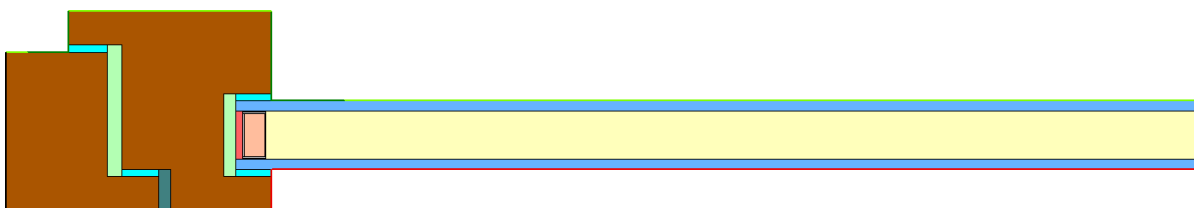


Figura 2.12 – Caso de validação n.º 10.2: Janela de madeira com sistema de fixação de vidro convencional conforme desenho da norma EN ISO 10077-2: 2012

Foi realizada uma análise das alterações introduzidas na norma EN ISO 10077-2: 2017, face à versão de 2012. Dessa análise, verifica-se que existiram ligeiras alterações na geometria dos seguintes casos de validação:

- No caso de validação 6, os constituintes do material identificado na norma EN ISO 10077-2: 2017 por “I – PU, rigid” foram substituídos na versão atual da norma pelo material “i – pile weather stripping”; o que se revela pouco consistente com a representação gráfica dos materiais, bem como com a aplicabilidade dos mesmos;
- No caso de validação 10 sobre a ponte térmica no bordo do vidro duplo, na atual versão da norma existem vidros de espessura superior (6 mm vs. 4 mm) e perfis de vedação de EPDM também com espessura superior (4,5 mm vs. 3 mm) comparativamente à versão de 2012. Estas alterações de espessura, existentes na versão de 2017, não se encontram refletidas à escala do desenho e não são compatíveis com as dimensões do perfil da janela de madeira com o painel de material isolante do caso de validação 4, utilizado no cálculo do coeficiente de transmissão térmica linear; assim, com os desenhos de 2012 obtêm-se resultados satisfatórios no cálculo de Ψ , enquanto com os desenhos de 2017 esse resultado é insatisfatório, porque não existe compatibilidade entre as espessuras dos vidros, painel de isolamento térmico e vedantes de EPDM, entre os desenhos dos casos de validação 10 e 4.

Apesar da alteração na geometria e nos materiais da versão da norma de 2017 face à versão de 2012, constata-se que não houve alterações nas gamas de aceitação de resultados. Nesse sentido, foram efetuadas simulações desses casos com os pressupostos definidos na norma de 2012 (Figura 2.7 e Figura 2.12) e de 2017 (Figura 2.6 e Figura 2.11), constatando-se que essas alterações nos desenhos

se refletem em ligeiras alterações no resultado final obtido, pelo que se considera que, na versão de 2017 da norma, também se deveriam refletir em alterações ao resultado a obter e à gama de aceitação de resultados. Assim, neste processo de validação, e para efeitos de aceitação dos resultados, foram seguidos os princípios especificado na versão de 2012 da norma EN ISO 10077-2.

No desenvolvimento dos casos de validação foram seguidos os seguintes passos:

1. Definição da geometria de acordo com o definido na norma;
2. Atribuição da condutibilidade térmica aplicável a cada elemento;
3. Definição das características dos espaços de ar com base no método da condutibilidade térmica equivalente;
4. Definição das condições de fronteira;
5. Realização do cálculo da transmissão de calor, para condição de 0 °C no exterior e $R_{se}=0,04 \text{ m}^2.K/W$, e para a condição interior de 20°C e $R_{si}=0,13 \text{ m}^2.K/W$;
6. Análise dos resultados, tendo em conta o fluxo de calor através do perfil.

Para obter o coeficiente de transmissão térmica dos perfis (U_f), são utilizados os resultados obtidos no modelo de simulação térmica U_{Therm} sendo utilizada a expressão 1. O valor de L_f^{2D} é obtido pela expressão 2 e o valor de U_p pela expressão 3.

$$U_f = \frac{L_f^{2D} - U_p b_p}{b_f} \quad (1)$$

$$L_f^{2D} = U_{Therm} \times L_{Therm} \quad (2)$$

$$U_p = e_p / 0,035 \quad (3)$$

onde:

U_f - é o coeficiente de transmissão térmica do perfil, em $W/(m^2.K)$;

L_f^{2D} - é o coeficiente de transmissão térmica linear obtido pelo método numérico, $W/(m.K)$;

U_p - é o coeficiente de transmissão térmica do painel de preenchimento, em $W/(m^2.K)$;

b_f - é o comprimento do perfil, em m;

b_p - é o comprimento do painel de preenchimento, em m;

e_p - é a espessura do painel de preenchimento, em m.

No caso da validação das perdas térmicas lineares, Ψ (caso 10), o valor foi determinado através da expressão 4, que por sua vez também utiliza os valores obtidos através do modelo de simulação térmica no cálculo do valor de L_{Ψ}^{2D} .

$$\Psi = L_{\Psi}^{2D} - U_f b_f - U_g b_g \quad (4)$$

onde:

Ψ - é o coeficiente de transmissão térmica linear, em W/(m.K);

L_{Ψ}^{2D} - é o coeficiente de transmissão térmica linear obtido pelo método numérico, W/(m.K);

U_f - é o coeficiente de transmissão térmica do perfil, em W/(m².K);

U_g - é o coeficiente de transmissão térmica do vidro, em W/(m².K);

b_f - é o comprimento do perfil, em m;

b_g - é o comprimento do vidro, em m.

3 | Resultados da simulação numérica dos casos de estudo

3.1 Aspectos gerais

Nesta seção apresentam-se os resultados dos casos de validação previstos na norma (EN ISO 10077-2, 2017). Em cada seção são apresentados os valores obtidos de U_{therm} e L_{therm} . Na secção 3.12 é efetuada a análise dos resultados de cada caso de validação, sendo calculado o valor U_f e Ψ . No caso 6 e no caso 10, é efetuada a análise das geometrias definidas na norma EN 10077-2, versão de 2017 e versão de 2012, para evidenciar que as alterações da geometria e dos materiais alteram os resultados obtidos, e que a solução mais razoável para validação se encontra na versão de 2012 dessa norma.

Neste cálculo é utilizada a condutibilidade térmica dos materiais especificados na norma e indicada no Quadro 3.1. Todos os materiais têm uma emissividade de 0,90.

Quadro 3.1 – Condutibilidade térmica dos materiais

Material	λ [W/(m.K)]
Painel de isolamento térmico	0,035
Madeira	0,13
PVC	0,17
EPDM	0,25
Poliamida 6.6 reforçada com 25% de fibra de vidro	0,3
Vidro	1,0
Aço	50
Alumínio	160
Pelúcia (poliéster)	0,14
Poliamida	0,25
Poliuretano rígido	0,25
Polisulfureto (<i>Polysulfide</i>)	0,40
Gel de sílica	0,13
Gás do vidro duplo (valor equivalente)	0,034
Poliisobutileno (<i>Polyisobutylene</i>)	0,20

3.2 Caso de validação n.º 1

O caso de validação n.º 1 corresponde ao perfil de alumínio com corte térmico. Na Figura 3.1 apresenta-se a distribuição de temperaturas e no Quadro 3.2 o valor U_{Therm} e o comprimento L_{Therm} .

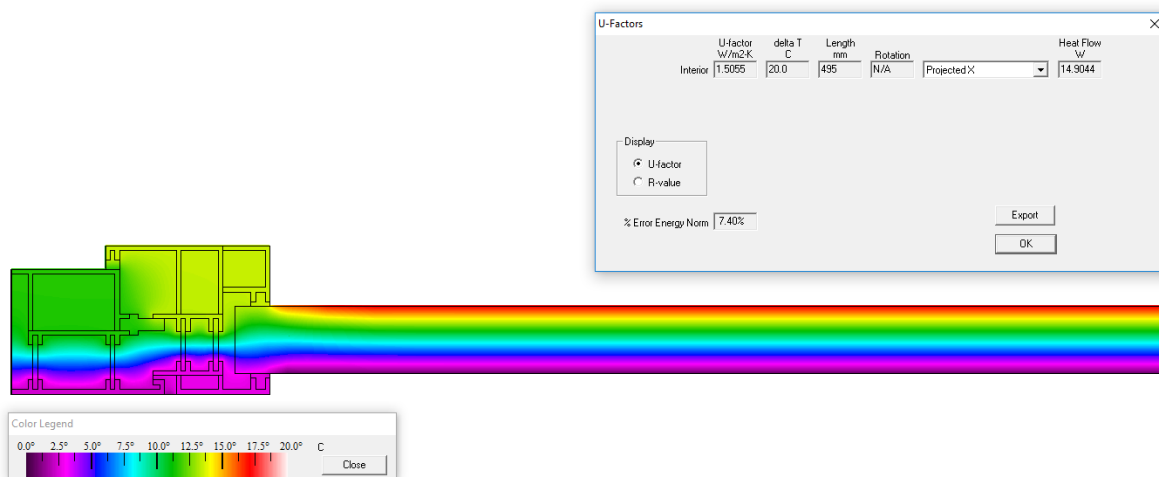


Figura 3.1 – Caso de validação n.º 1 – Perfil de alumínio com corte térmico

Quadro 3.2 – Caso de validação n.º 1 – Resultados

U_{therm} [W/(m².K)]	L_{therm} [m]
1,5055	495

3.3 Caso de validação n.º 2

O caso de validação n.º 2 corresponde ao perfil de madeira revestido com alumínio. Na Figura 3.2 apresenta-se a distribuição de temperaturas e no Quadro 3.3 o valor U_{Therm} e o comprimento L_{Therm} .



Figura 3.2 – Caso de validação n.º 2 – Perfil misto madeira-alumínio

Quadro 3.3 – Caso de validação n.º 2 – Resultados

U_{therm} [W/(m².K)]	L_{therm} [m]
0,7481	495

3.4 Caso de validação n.º 3

O caso de validação n.º 3 corresponde ao perfil de PVC com reforço de aço. Na Figura 3.3 apresenta-se a distribuição de temperaturas e no Quadro 3.4 o valor U_{Therm} e o comprimento L_{Therm} .

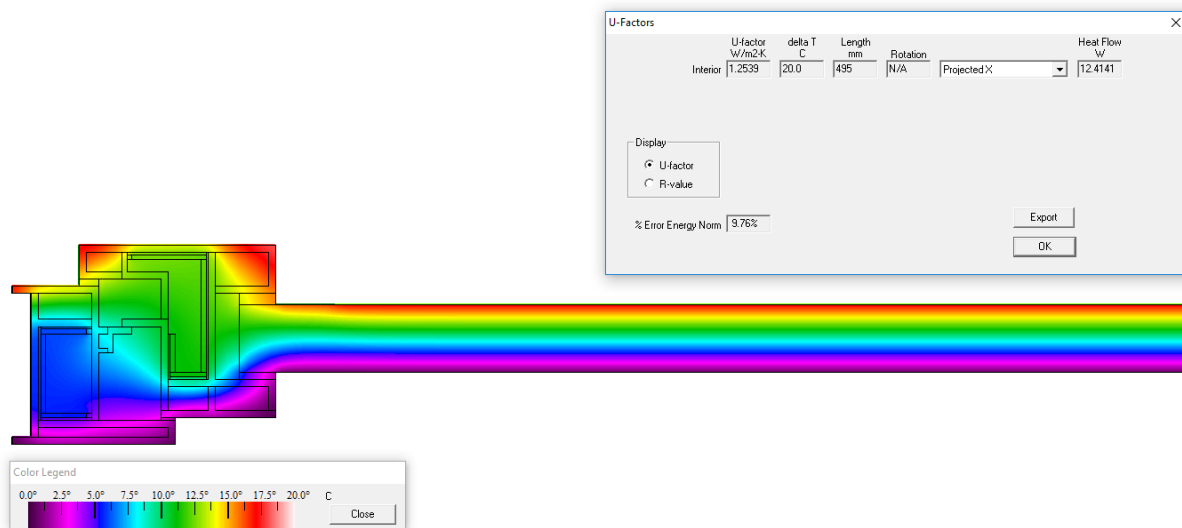


Figura 3.3 – Caso de validação n.º 3 – Perfil de PVC com reforço de aço

Quadro 3.4 – Caso de validação n.º 3 – Resultados

U_{therm} [W/(m².K)]	L_{therm} [m]
1,2539	495

3.5 Caso de validação n.º 4

O caso de validação n.º 4 corresponde ao perfil de madeira. Na Figura 3.4 apresenta-se a distribuição de temperaturas e no Quadro 3.5 o valor U_{Therm} e o comprimento L_{Therm} .



Figura 3.4 – Caso de validação n.º 4 – Perfil de madeira

Quadro 3.5 – Caso de validação n.º 4 – Resultados

U_{therm} [W/(m².K)]	L_{therm} [m]
1,1060	495

3.6 Caso de validação n.º 5

O caso de validação n.º 5 corresponde ao perfil para instalação em coberturas. Na Figura 3.5 apresenta-se a distribuição de temperaturas e no Quadro 3.6 o valor U_{Therm} e o comprimento L_{Therm} .

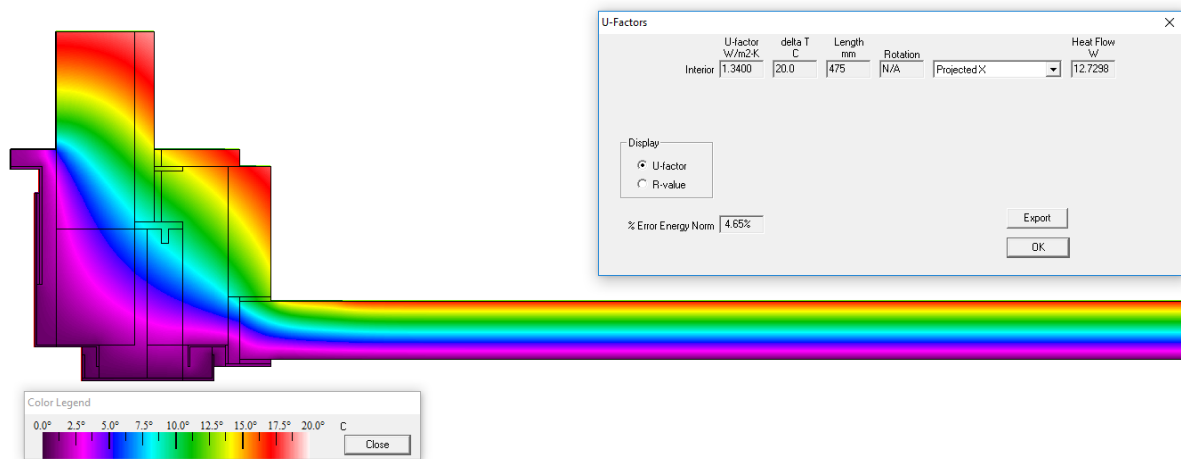


Figura 3.5 – Caso de validação n.º 5 – Perfil de janela de cobertura

Quadro 3.6 – Caso de validação n.º 5 – Resultados

U_{therm} [W/(m².K)]	L_{therm} [m]
1,3400	475

3.7 Caso de validação n.º 6

3.7.1 Caso de validação n.º 6.1

O caso de validação n.º 6.1 corresponde ao perfil de janela de correr segundo o desenho da norma EN ISO 10077-2: 2017. Na Figura 3.6 apresenta-se a distribuição de temperaturas e no Quadro 3.7 o valor U_{Therm} e o comprimento L_{Therm} .

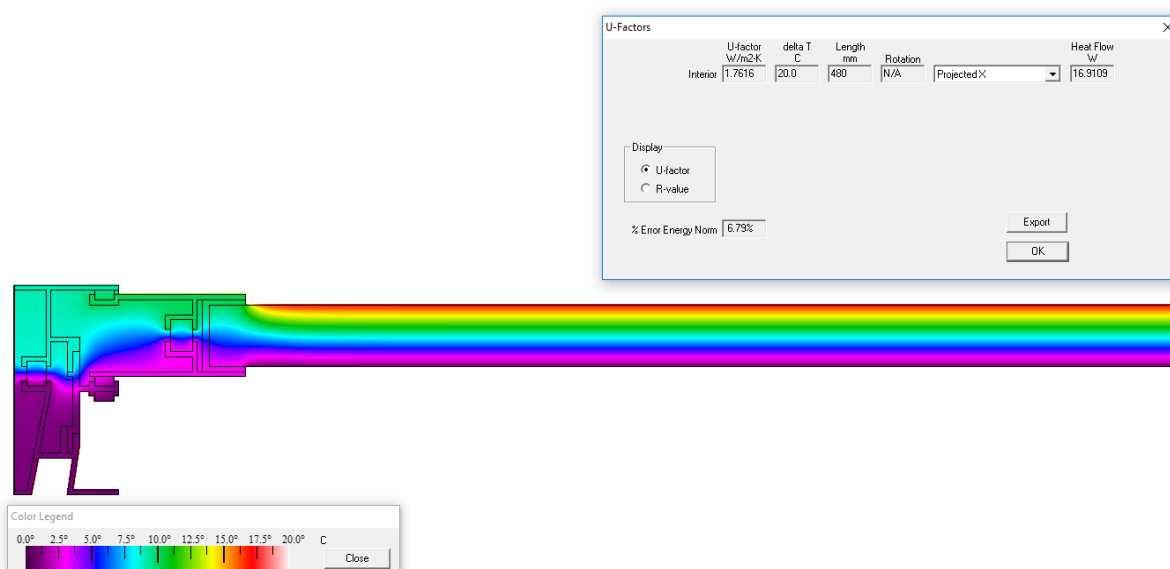


Figura 3.6 – Caso de validação n.º 6.1 – Perfil de janela de correr, conforme desenho da norma EN ISO 10077-2: 2017

Quadro 3.7 – Caso de validação n.º 6.1 – Resultados

U_{therm} [W/(m².K)]	L_{therm} [m]
1,7616	480

3.7.2 Caso de validação n.º 6.2

O caso de validação n.º 6.2 corresponde ao perfil de janela de correr segundo o desenho da norma EN ISO 10077-2: 2012. Na Figura 3.7 apresenta-se a distribuição de temperaturas e no Quadro 3.8 o valor U_{Therm} e o comprimento L_{Therm} .

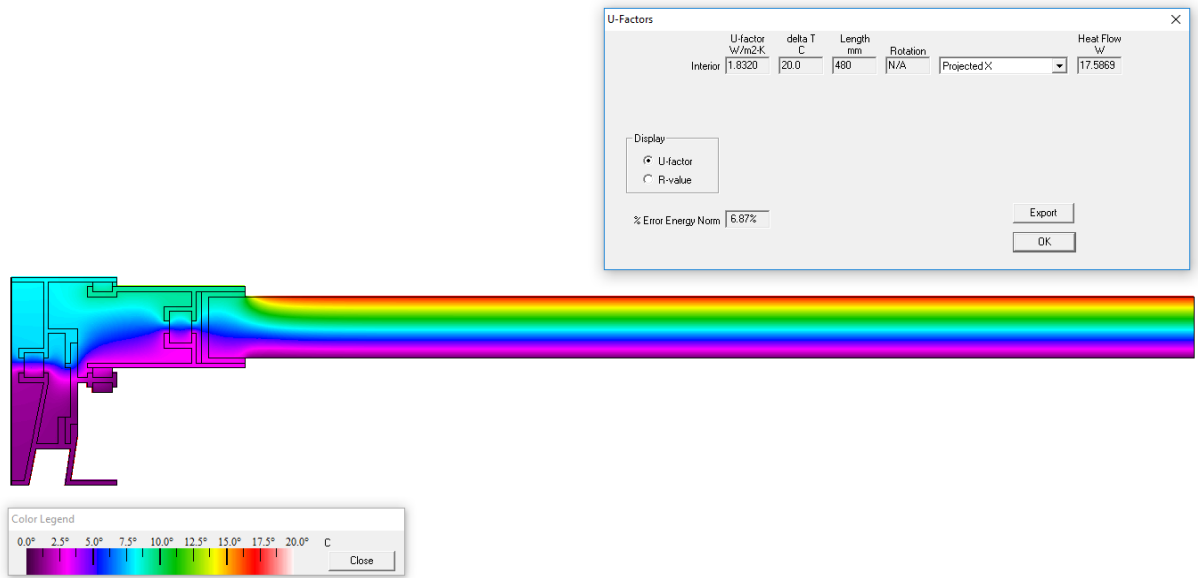


Figura 3.7 – Caso de validação n.º 6.2 – Perfil de janela de correr conforme desenho da norma EN ISO 10077-2: 2012

Quadro 3.8 – Caso de validação n.º 6.2 – Resultados

U_{therm} [W/(m².K)]	L_{therm} [m]
1,8320	480

3.8 Caso de validação n.º 7

O caso de validação n.º 7 corresponde ao perfil de janela fixa. Na Figura 3.8 apresenta-se a distribuição de temperaturas e no Quadro 3.9 o valor U_{Therm} e o comprimento L_{Therm} .

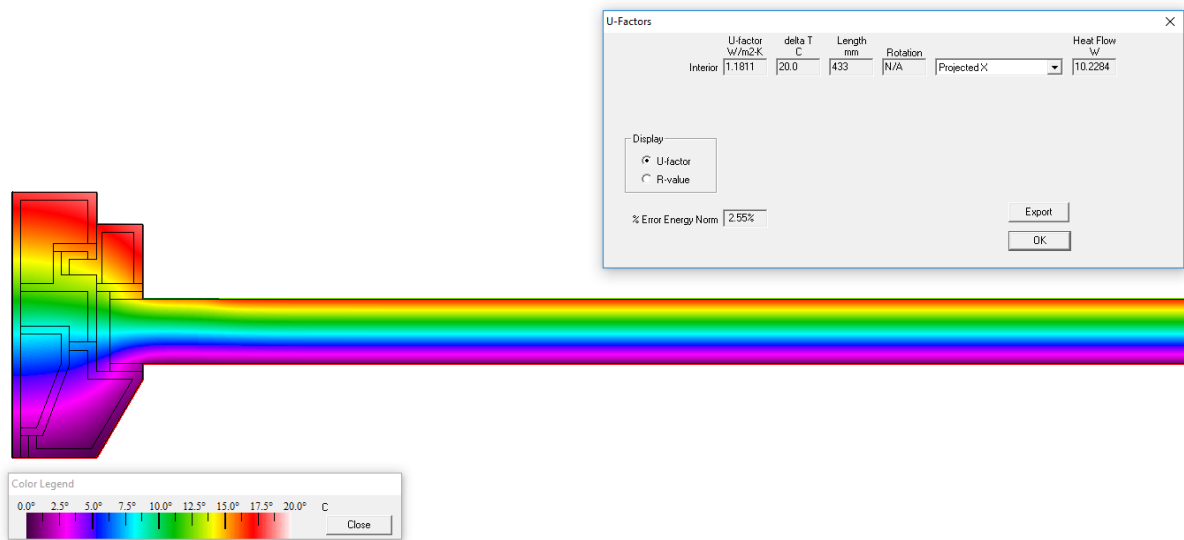


Figura 3.8 – Caso de validação n.º 7 – Perfil de janela fixa

Quadro 3.9 – Caso de validação n.º 7 – Resultados

U_{therm} [W/(m².K)]	L_{therm} [m]
1,1811	433

3.9 Caso de validação n.º 8

O caso de validação n.º 8 corresponde ao perfil de caixa de estore. Na Figura 3.9 apresenta-se a distribuição de temperaturas e no Quadro 3.10 o valor U_{Therm} e o comprimento L_{Therm} .

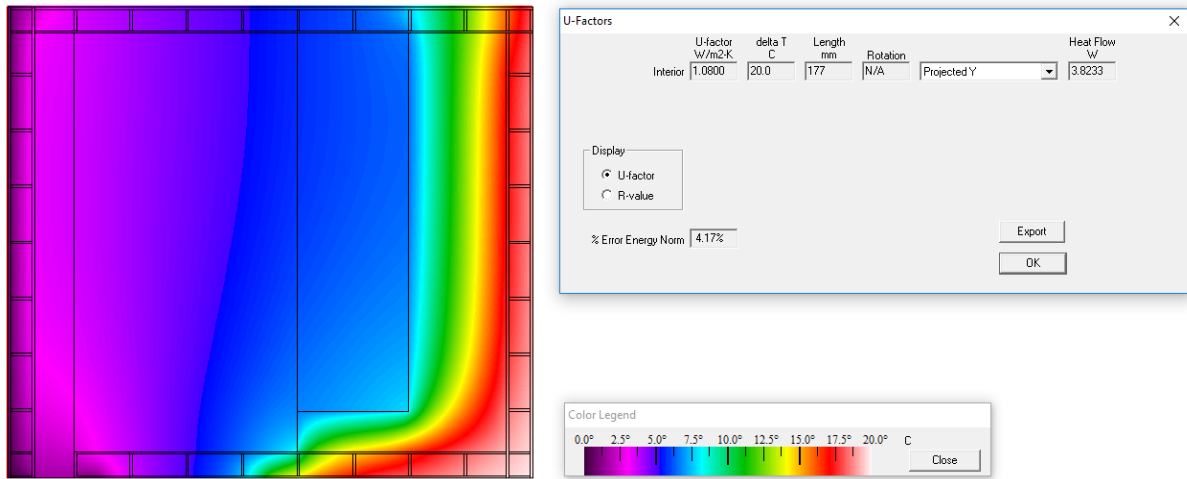


Figura 3.9 – Caso de validação n.º 8 – Perfil de caixa de estore

Quadro 3.10 – Caso de validação n.º 8 – Resultados

U_{therm} [W/(m².K)]	L_{therm} [m]
1,0800	177

3.10 Caso de validação n.º 9

O caso de validação n.º 9 corresponde ao perfil de estores em PVC. Na Figura 3.10 apresenta-se a distribuição de temperaturas e no Quadro 3.11 o valor U_{Therm} e o comprimento L_{Therm} .

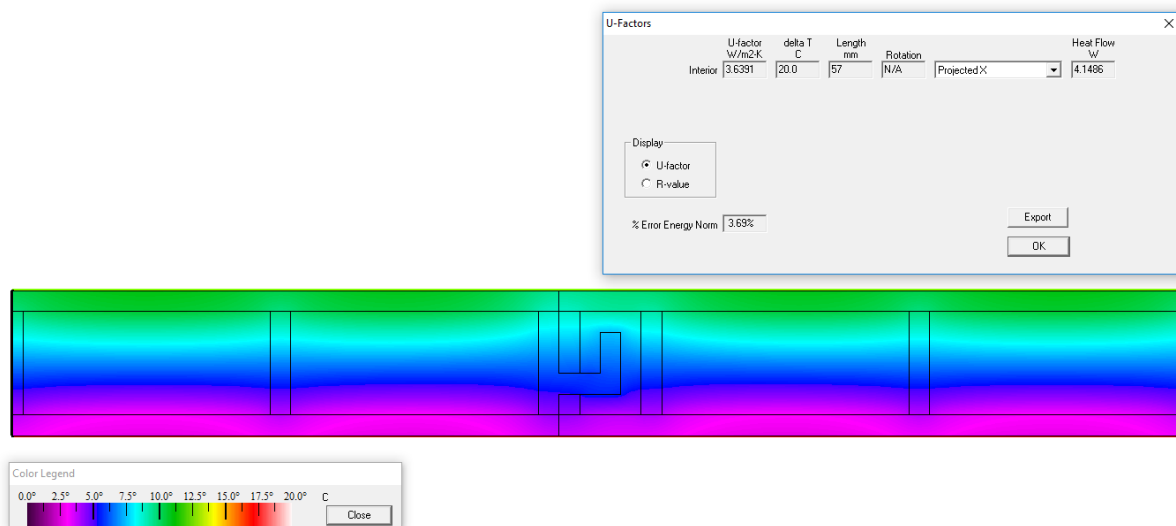


Figura 3.10 – Caso de validação n.º 9 – Perfil de estores em PVC

Quadro 3.11 – Caso de validação n.º 9 – Resultados

U_{therm} [W/(m ² .K)]	L_{therm} [m]
3,6391	57

3.11 Caso de validação n.º 10

3.11.1 Caso de validação n.º 10.1

O caso de validação n.º 10.1 corresponde ao perfil em madeira com sistema de fixação de vidro convencional segundo o desenho da norma EN ISO 10077-2: 2017. Na Figura 3.11 apresenta-se a distribuição de temperaturas, e no Quadro 3.12 o valor U_{Therm} e o comprimento L_{Therm} .

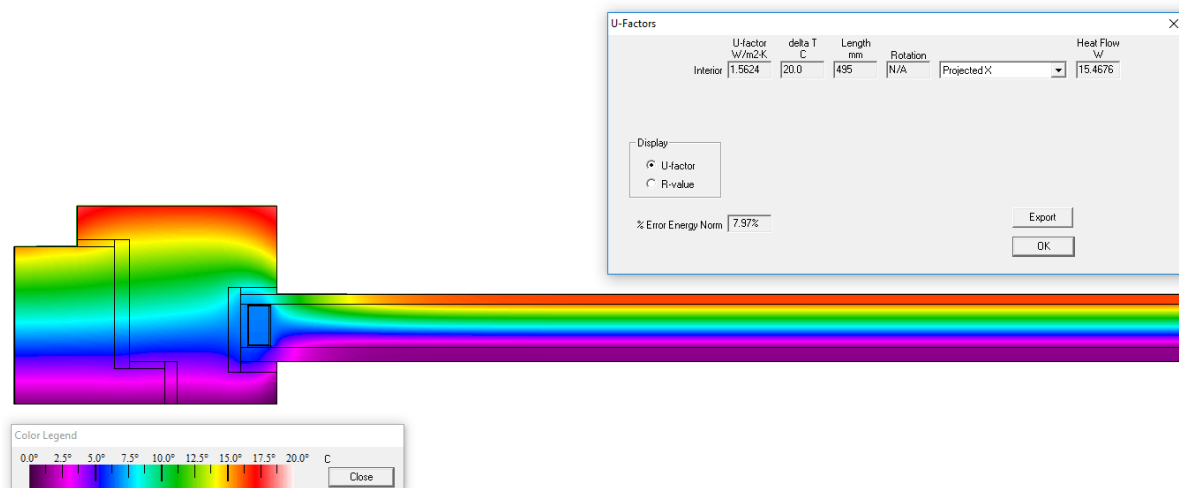


Figura 3.11 – Caso de validação n.º 10.1 – Perfil em madeira com sistema de fixação de vidro convencional conforme desenho da norma EN ISO 10077-2: 2017

Quadro 3.12 – Caso de validação n.º 10.1 – Resultados

U_{Therm} [W/(m².K)]	L_{Therm} [m]
1,5624	795

3.11.2 Caso de validação n.º 10.2

O caso de validação n.º 10.2 corresponde ao perfil em madeira com sistema de fixação de vidro convencional segundo o desenho da norma EN ISO 10077-2: 2012. Na Figura 3.12 apresenta-se a distribuição de temperaturas e no Quadro 3.13 o valor U_{Therm} e o comprimento L_{Therm} .

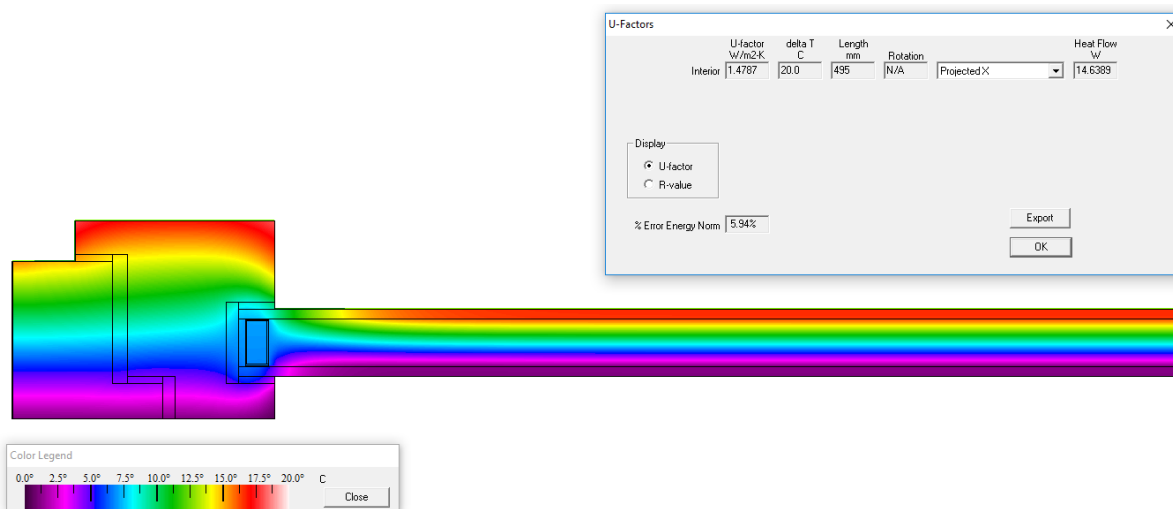


Figura 3.12 – Caso de validação n.º 10.2 – Perfil em madeira com sistema de fixação de vidro convencional conforme desenho da norma EN ISO 10077-2: 2012

Quadro 3.13 – Caso de validação n.º 10.2 – Resultados

U_{therm} [W/(m².K)]	L_{therm} [m]
1,4787	495

3.12 Tratamento e apreciação de resultados

No Quadro 3.14 apresentam-se os resultados obtidos com o modelo de simulação (U_{Therm}) e os respetivos comprimentos (L_{Therm} , b_p e b_f), bem como o valor de U_f determinado. Os valores nominais especificados na norma encontram-se na coluna (U_{f_norma} – Nominal) e os respetivos valores máximo e mínimo admissíveis nas duas colunas seguintes (desvio de 3% face ao valor nominal).

Deste modo, conclui-se que os valores de U_f obtidos, excluindo o caso 6.2, não se afastam em mais de 3% face aos valores nominais indicados na tabela I.3 da norma EN ISO 10077-2:2017. O caso de validação 6.1 não é satisfatório devido às discrepâncias nos materiais especificados na norma de 2017 face a 2012, como explicado anteriormente, nas secções 2 e 3.1 deste relatório.

Quadro 3.14 – Síntese da avaliação de resultados para os casos de validação 1 a 9

Caso	U_{Therm}	L_{Therm}	b_p	U_p	b_f	U_f	$U_{f,norma}$ [W/(m ² . K)]		
							Nominal	Máximo	Mínimo
1	1,51	495,00	385,00	0,82	110,00	3,23	3,22	3,32	3,12
2	0,75	495,00	385,00	1,66	110,00	1,45	1,44	1,48	1,40
3	1,25	495,00	385,00	0,80	110,00	2,03	2,07	2,13	2,01
4	1,11	495,00	385,00	0,80	110,00	1,37	1,36	1,40	1,32
5	1,34	475,00	385,00	0,69	90,00	2,07	2,08	2,14	2,02
6.1	1,76	480,00	385,00	0,71	95,00	4,32	4,67	4,81	4,53
6.2	1,83	480,00	385,00	0,71	95,00	4,67	4,67	4,81	4,53
7	1,18	433,00	385,00	0,69	48,00	1,28	1,31	1,35	1,27
8	1,08	177,00	0,00	0,00	177,00	1,08	1,05	1,08	1,02
9	3,64	57,00	0,00	0,00	57,00	3,64	3,64	3,75	3,53

No Quadro 3.15 apresentam-se os resultados obtidos no cálculo do coeficiente de transmissão térmica linear do bordo do vidro duplo. O valor nominal da norma encontra-se na coluna (Ψ_{norma} - Nominal) e os valores máximo e mínimo admissíveis nas duas colunas seguintes (desvio de 3% face ao valor da norma). Deste modo, conclui-se que o valor de Ψ obtido no caso 10.2, se encontra na gama de aceitação e não se afasta mais de 3% face ao valor nominal indicado na tabela I.4 da norma EN ISO 10077-2:2017. O caso 10.1 não satisfaz o critério de aceitação devido às discrepâncias nos desenhos dos casos 4 e 10, como explicado anteriormente nas secções 2 e 3.1 deste relatório.

Quadro 3.15 – Síntese da avaliação de resultados para os casos 10.1 e 10.2

Caso	U_{Therm}	L_{Therm}	U_p	b_g	U_f	b_f	Ψ	Ψ_{norma} [W/(m.K)]		
								Nominal	Máximo	Mínimo
10.1	1,56	495,00	1,30	385,00	1,36	110,00	0,123	0,084	0,087	0,081
10.2	1,48	495,00	1,30	385,00	1,36	110,00	0,082	0,084	0,087	0,081

4 | Conclusões

O estudo de validação realizado evidencia que a utilização do modelo de cálculo THERM 7.6, utilizado pelos técnicos do LNEC, permite satisfazer aos requisitos da norma EN ISO 10077-2:2017, pois os valores obtidos para os coeficientes de transmissão térmica nos nove casos de validação e para o coeficiente de transmissão linear para um caso de validação enquadram-se nos limites aceites pela norma, de $\pm 3\%$ do valor nominal.

Lisboa, LNEC, maio de 2019

VISTOS

O Chefe do Núcleo de Acústica Iluminação,
Componentes e Instalações



Jorge Viçoso Patrício

AUTORIA



Rafaela Mateus

Bolseira de Iniciação à Investigação Científica

O Diretor do Departamento de Edifícios



Jorge M. Grandão Lopes



Armando Pinto

Investigador Auxiliar

Referências bibliográficas

- EN 14351-1+A1, 2010 – **Windows and doors - Product standard, performance characteristics - Part 1: Windows and external pedestrian doorsets without resistance to fire and/or smoke leakage characteristics**. Brussels: CEN.
- EN ISO 10077-1, 2017 – **Thermal performance of windows, doors and shutters-Calculation of thermal transmittance - Part 1: General**. Brussels: CEN.
- EN ISO 10077-2, 2017 – **Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance - Part 2: Numerical method for frames**. Brussels: CEN.
- EN ISO 12567-1, 2000 – **Thermal performance of windows and doors - Determination of thermal transmittance by hot box method - Part 1: Complete windows and doors**. Brussels: CEN.
- EN ISO 12567-2, 2005 – **Thermal performance of windows and doors - Determination of thermal transmittance by hot box method - Part 2: Roof windows and other projecting windows**. Brussels: CEN.
- ISO 15099, 2003 – **Thermal performance of windows, doors and shading devices - Detailed calculations**. Geneva: ISO.
- RPC, 2011 – **REGULAMENTO (UE) N.º 305/2011 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 9 de Março de 2011 que estabelece condições harmonizadas para a comercialização dos produtos de construção e que revoga a Directiva 89/106/CEE do Conselho**. Brussels: Jornal Oficial da União Europeia.