

DESENVOLVIMENTO DUM BLOCO DE ALVENARIA PARA SISTEMA DE PAREDE TERMICAMENTE EFICIENTE

Hipólito Sousa¹

hipolito@fe.up.pt

Rui Sousa²

ruysousa@fe.up.pt

Luisa Sousa³

lcsousa@fe.up.pt

Luís Silva⁴

Luis.Silva@saint-gobain.com

ÁREA: ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA DAS CONSTRUÇÕES

Resumo

As paredes exteriores e interiores, incluindo revestimentos aplicados, normalmente representam uma parte importante nos custos de reabilitação dos edifícios associados a patologias. Deste modo, a utilização de sistemas de paredes com um funcionamento adequado à sua utilização, respeitando as exigências aplicáveis, irá mitigar o risco de ocorrência patologias nas paredes e reduzir os custos associados a obras de reabilitação.

No âmbito dum projeto nacional de investigação (P2020), designado por “Parede Eficiente Plus Saint-Gobain Weber”, está em desenvolvimento um sistema de parede exterior eficiente que integre novos blocos térmicos de alvenaria e revestimentos exteriores com comportamento térmico melhorado. Relativamente ao bloco, o projeto focaliza-se na melhoria do seu desempenho térmico, sem, contudo, prejudicar outros aspetos de desempenho, destacando-se a resistência mecânica e peso individual. Os blocos desempenham um papel importante no comportamento térmico e mecânico das paredes exteriores, pelo que será expectável que realizem paredes com menor risco de ocorrerem patologias associadas a deficiências de desempenho térmico e mecânico.

Este artigo apresenta os resultados obtidos na melhoria do desempenho térmico dum novo bloco térmico, incluindo as preocupações de resistência mecânica e peso individual. Realizaram-se testes em laboratório para aferir as propriedades térmicas e mecânicas de 3 misturas de betão leve, tendo-se utilizado amostras retiradas de blocos correntes produzidos em fabrica, bem como se realizaram simulações numéricas para otimizar e caracterizar termicamente o novo bloco, incluindo sistemas de paredes realizados com esse bloco. Os resultados obtidos são promissores, tendo-se obtido blocos uma relação satisfatória entre o desempenho térmico, mecânico e peso individual.

Palavras-chave: Parede Eficiente, Blocos de alvenaria, Desempenho, Térmico, Mecânico

¹ Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Depart. de Engenharia Civil, CONSTRUCT-Gequaltec

² Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Depart. de Engenharia Civil, CONSTRUCT-Gequaltec

³ Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Depart. de Engenharia Mecânica, INEGI

⁴ Saint-Gobain Weber, Departamento técnico-comercial

DESARROLLO DE UN BLOQUE DE ALBAÑILERÍA PARA SISTEMA DE PARED TÉRMICAMENTE EFICIENTE

Hipólito Sousa⁴

hipolito@fe.up.pt

Rui Sousa⁵

ruysousa@fe.up.pt

Luisa Sousa⁶

lcsousa@fe.up.pt

Luís Silva⁴

Luis.Silva@saint-gobain.com

ÁREA: Actualización Tecnológica de Construcciones

Resumen

Las paredes de fachada e particiones con los revestimientos aplicados, normalmente representan una parte importante en los costes de rehabilitación de los edificios asociados a las patologías. Así, la utilización de sistemas de pared con un funcionamiento adecuado a su utilización, respetando los requisitos aplicables, mitiga el riesgo de que ocurran patologías en las mismas y reduce los costes asociados a las obras de rehabilitación.

Como parte de un proyecto nacional de investigación (P2020), denominado "Pared Eficiente Plus Saint-Gobain Weber", está en desarrollo un sistema de pared de fachada eficiente que integra nuevos bloques térmicos de albañilería y revestimientos exteriores con comportamiento térmico mejorado. Sobre el bloque, el proyecto se centra en la mejora de su desempeño térmico, sin perjudicar otros aspectos de desempeño, destacándose la resistencia mecánica y el peso individual. Los bloques desempeñan un papel importante en el comportamiento térmico y mecánico de las paredes de fachada, por lo que se espera que realicen paredes con menor riesgo de ocurrir patologías asociadas a deficiencias de desempeño térmico y mecánico.

Esta comunicación presenta los resultados obtenidos en la mejora del desempeño térmico de un nuevo bloque térmico, incluyendo las preocupaciones de resistencia mecánica y peso individual. Se realizaron pruebas en laboratorio para medir las propiedades térmicas y mecánicas de 3 mezclas de hormigón ligero, habiéndose utilizado muestras retiradas de bloques corrientes producidos en fábrica e se realizaron simulaciones numéricas para optimizar y caracterizar térmicamente el nuevo bloque, incluyendo sistemas de pared realizadas con el mismo. Los resultados obtenidos son favorables, debido a una relación satisfactoria entre el desempeño térmico, mecánico y peso individual.

Palabras clave: Pared Eficiente Plus, Bloques de albañilería, Desempeño, Térmico, Mecánico

⁴ Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Depart. de Engenharia Civil, CONSTRUCT-Gequaltec

⁵ Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Depart. de Engenharia Civil, CONSTRUCT-Gequaltec

⁶ Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Depart. de Engenharia Mecânica, INEGI

⁴ Saint-Gobain Weber, Departamento técnico-comercial

Introdução

As paredes exteriores e interiores, incluindo revestimentos aplicados, podem representar cerca de 10 a 15% dos custos de reabilitação dos edifícios associados a patologias (1). Por outro lado, as algumas das principais causas de manifestações patológicas em paredes associam-se a deficiências de desempenho térmico e mecânico dos seus materiais constituintes.

Deste modo, a utilização de sistemas de paredes com um desempenho térmico e mecânico adequados à utilização em edifícios, permitirá mitigar o risco de ocorrência patologias associada a deficiências de desempenho dessas paredes, bem como na redução de eventuais custos associados da sua utilização em obras de reabilitação em edifícios.

No âmbito dum projeto nacional de investigação (Portugal 2020) em curso, designado por “Parede Eficiente Plus Saint-Gobain Weber” (ref. POCI-01-0247-FEDER-017417), está em desenvolvimento uma solução de parede exterior multifuncional não estrutural, energeticamente eficiente e com preocupações de sustentabilidade ambiental, focalizado nos seguintes constituintes:

- Tosco de parede em alvenaria com espessura máxima de 250 mm, cujo desenvolvimento centra-se num novo bloco térmico constituído por um betão mais leve e isolante;
- Sistema de revestimento exterior com espessura máxima de 55 mm, realizado com uma argamassa térmica com propriedades isolantes melhoradas.

Pretende-se que a solução de parede seja caracterizada por um coeficiente de transmissão térmica inferior ou igual ao limite máximo regulamentar mais exigente em Portugal, sem prejudicar a sua resistência mecânica ou dos blocos constituintes. Os objetivos estabelecidos do projeto sob o ponto de vista do desempenho térmico e mecânico foram os seguintes

- Resistência à compressão do bloco (valor característico) $f_{bk} \geq 2,5$ MPa;
- Resistência térmica da alvenaria (em serviço): $R_{design,mas} \geq 1,60$ m².K/ W;
- Coef. transmissão térmica do sistema de parede (em serviço): $U_{design} \leq 0,35$ W/m²K;
- Repartição mais distribuída do isolamento térmico pela parede, ou seja, rácio resistência térmica alvenaria / sistema de parede: $R \geq 0,56$.

Este artigo focaliza-se sobretudo no desenvolvimento do novo bloco térmico, designadamente no que diz respeito às suas propriedades térmicas e mecânicas, dado que, conforme tratado noutros estudos similares (2), são estes os aspetos normalmente mais condicionantes no desenvolvimento de blocos de alvenaria de betão leve com desempenho térmico melhorado, designadamente na maximização da resistência térmica, sem prejudicar excessivamente a resistência mecânica.

Para avaliar o impacto da otimização térmica dos blocos nas paredes, realizaram-se simulações térmicas para caracterizar o coeficiente de transmissão térmica de dois sistemas de parede (um constituído com uma alvenaria de blocos correntes e o outro com uma alvenaria de blocos otimizados, sendo ambos revestidos com 2 sistemas de isolamento térmico pelo exterior).

Conceitos Gerais

Blocos de betão leve

De uma forma geral, o melhoramento do desempenho térmico dos blocos de betão tem como consequência a obtenção de blocos com menor massa volúmica (ou seja, mais leves).

Normalmente o melhoramento térmico e maior leveza nos blocos podem ser obtidos pela utilização de betões de matriz porosa /estrutura aberta realizados com agregados leves termicamente mais isolantes que os agregados normais, bem como pela utilização de blocos de geometria alveolar com percentagens de furação moderadas (Figura 1).

Por outro lado, para se obter uma estrutura aberta/porosa nos betões leves é necessária uma consistência do tipo “terra-húmida”, pelo que a sua aplicação em blocos de alvenaria implica a utilização duma vibro-compactação industrial durante o processo de moldagem dos blocos em fábrica. Esta técnica de moldagem aumenta a compacidade do betão, alterando/aumentando deste modo a sua massa volúmica, resistência mecânica e condutibilidade térmica depois de endurecido.

No caso de betões leves é possível encontrar na normalização uma relação entre a massa volúmica e a condutibilidade térmica (p/ex.: EN1745 (3)), contudo, sendo esta uma relação mais geral aplicável para todos os tipos de betão leve, pode não ser a mais representativa para betões sujeitos a um processo de moldagem por vibro-compactação decorrente do fabrico de blocos. Por outro lado, não é possível encontrar uma relação análoga com a resistência mecânica à compressão.

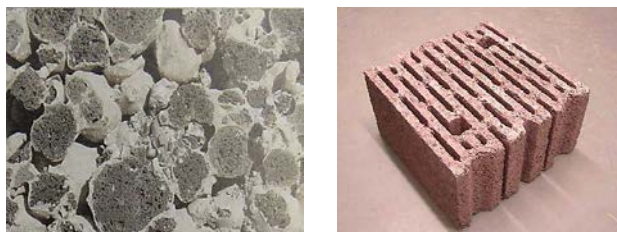


Figura 1: Exemplo de betão leve de estrutura aberta com agregados de argila expandida e exemplo de um bloco de betão leve espesso com geometria alveolar

Deste modo, para se estabelecer de forma adequada estas relações, é necessário realizar alguns ensaios preliminares, preferencialmente em betões nas mesmas condições de fabrico e moldagem dos blocos, designadamente ensaios para determinar a resistência à compressão e massa volúmica em blocos, bem como realizar ensaios de condutibilidade térmica de amostras retiradas de blocos de alvenaria, sendo deste modo possível estabelecer uma relação mais aproximada entre estas grandezas para betões leves aplicados em blocos vibro-comprimidos.

Relativamente ao comportamento mecânico, a obtenção de unidades/blocos suficientemente robustos e resistentes pode ser conseguida respeitando os requisitos geométricos e mecânicos estabelecidos na normalização. Por exemplo, o EC6 (4) apresenta limites para percentagens de furação e espessura dos septos, no EC8 (5) são estabelecidas resistências mínimas à compressão, e na normalização francesa NF P 14-304 (6) exigências geométricas e um limite mínimo para resistência à compressão ($f_{b,k} \geq 2,5$ MPa).

Aspetos de otimização geométrica de blocos

A compatibilização da resistência térmica com a resistência mecânica dos blocos realiza-se intervindo na sua geometria através de processo de otimização que maximize a sua resistência térmica sem prejudicar significativamente a sua resistência mecânica, de modo a cumprir os objetivos estabelecidos (p/ex.: limites regulamentares).

O processo de otimização consiste num processo iterativo onde se parte de determinadas condições geométricas, físicas e mecânicas preestabelecidas para o bloco

como valores limite a cumprir (Figura 2), utilizando algoritmos matemático para facilitar o processo de otimização da resistência térmica (7).

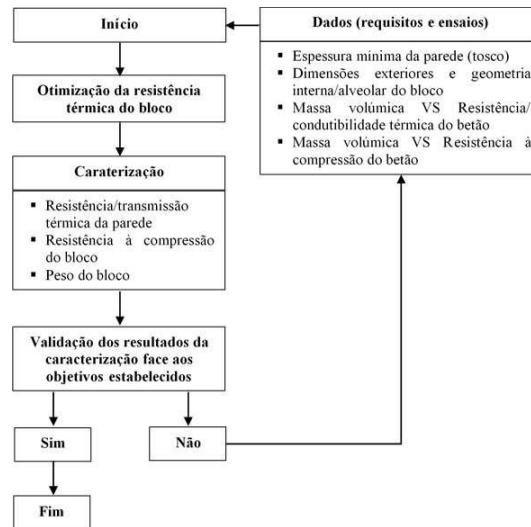


Figura 2: Exemplo dum processo de otimização / mecânica de blocos de alvenaria

A caracterização numérica da resistência térmica da parede pode ser realizada através do método dos elementos finitos (MEF), utilizando modelos numéricos que simulem os mecanismos de transferência de calor (condução, radiação e convecção) em regime estacionário.

Relativamente à resistência mecânica de blocos de furação vertical, em particular a sua resistência normalizada à compressão na direção perpendicular às juntas de assentamento horizontais, f_b , poderá ser determinada simplificada pela expressão:

$$f_t = \frac{f_{ck,cube} \cdot (1 - \frac{P_b}{100})}{k_b \cdot k_c} \quad (1)$$

Sendo, P_b a percentagem de furação do bloco, $f_{ck,cube}$ a resistência característica à compressão de cubos de betão (c/ aresta de 10 ou 15cm, considerando que o betão se encontra nas mesmas condições de fabrico do bloco), k_b o fator de ajuste relacionado com a forma de regularização das faces carregadas do bloco no ensaio à compressão (1 no caso de regularizadas mecanicamente ou com juntas de argamassa contínuas e 1,2 no caso de blocos regularizados com faixas de argamassa) e k_c o fator de conversão para outros provetes normalizados de betão ($k_c = 1$ para provetes cúbicos com 10 ou 15cm de aresta).

Note-se que o valor característico ou o valor médio da resistência à compressão do bloco, $f_{b,k}$ ou $f_{b,m}$, podem ser estimados a partir de f_b pelas seguintes expressões:

$$f_{b,m} = 1,2 \cdot f_{b,k} = \frac{f_t}{\delta} \quad (2)$$

Sendo, δ o fator de forma estabelecido na EN772-1 (8) para ter em conta as dimensões exteriores do bloco. O peso do bloco (P) poderá ser estimado pela seguinte expressão:

$$P = \gamma \cdot V_b \cdot (1 - \frac{P_b}{100}) \quad (3)$$

Sendo, γ a Massa volúmica do betão leve, V_b o volume bruto do bloco e P_b a percentagem de furação do bloco.

Desenvolvimentos experimentais e numéricos

Produção de betões leves

Partindo da formulação mais corrente para betão leve (massa volúmica de 1100 kg/m^3), foram desenvolvidas outras composições de betões com massas volúmicas inferiores. Estas formulações foram realizadas a partir de uma mistura com diferentes dosagens de água, cimento, agregados e pó de argila expandida, areia e aditivos.

Deste modo, os betões desenvolvidos foram moldados em fábrica por vibro-compressão no molde do bloco BT25Corrente e após cura controlada foram realizados testes preliminares aos blocos para validação/controlar a sua qualidade de produção (massa volúmica e resistência à compressão). Após algumas tentativas, foram propostos dois betões com massa volúmica seca de 670 kg/m^3 e de 810 kg/m^3 (designados por B670 e B810).

Ensaio e simulações numéricas

Foram realizados alguns estudos numéricos e experimentais preliminares para analisar o potencial de aplicabilidade do bloco de alvenaria otimizado (BT25Otimizado) nas paredes exteriores dos edifícios, sobretudo sob o ponto de vista do desempenho térmico e mecânico, comparando com blocos de geometria corrente (BT25Corrente).

Os benefícios térmicos da otimização geométrica do bloco e do desenvolvimento dos betões leves foram analisados através da simulação numérica de 2 sistemas de parede, ou seja, um sistema constituído por alvenaria de blocos BT25Corrente e outro por alvenaria de blocos BT25Otimizado, considerando em ambos a aplicação de produtos para alvenaria existentes no mercado (revestimentos térmicos e argamassa de assentamento).

Para o efeito, foram realizados ensaios em laboratório para determinar a condutibilidade térmica dos betões B670 e B810 e a resistência da compressão dos blocos BT25Corrente realizados com esses betões, nas condições em que foram produzidos em fábrica (vibro-compactação).

Os resultados obtidos foram utilizados na otimização do bloco e para determinar as propriedades térmicas e mecânicas dos blocos constituídos pelos 2 tipos de betão.

a) Ensaio

Para estabelecer uma relação fiável entre massa volúmica, resistência à compressão e condutibilidade térmica de betões leves vibro-comprimidos foram realizados ensaios em laboratório aos blocos BT25Corrente.

Os ensaios de resistência à compressão, na direção perpendicular às juntas horizontais de assentamento do bloco, foram realizados de acordo com a norma EN 772-1 (8) (Figura 3). Apenas foram testados 6 blocos (3 blocos por tipo de betão) por questões de limitação na disponibilidade de provetes para ensaio.



Figura 3: Exemplos do “set-up” de ensaio e da configuração de rotura após ensaios dos blocos

A condutibilidade térmica dos betões B670 e B810 constituintes dos blocos foi caracterizada de acordo com a norma EN 12664 (9), sendo determinada a condutibilidade térmica em estado seco ($\lambda_{10,dry,mat}$) dos betões produzidos nas condições de fabrico dos blocos, retirando-se dos blocos 2 amostras de septos por tipo de betão (Figura 4).



Figura 4: Exemplos do “set-up” de ensaio e das amostras de septos retirados dos blocos

b) Simulações numéricas

Tendo como ponto de partida o bloco BT25Corrente constituído pelas novas formulações de betão leve desenvolvidas (B670 e B800), foram estudadas algumas geometrias alternativas, em particular ao nível da distribuição e dimensão dos alvéolos de ar e desenho das juntas verticais, no sentido de maximizar a resistência térmica, bem como melhorar a resistência à compressão do BT25Corrente.

Foi realizada a otimização geométrica do bloco de acordo com metodologia referida anteriormente, no sentido de maximizar a resistência térmica do bloco (ou minimizar a condutibilidade térmica equivalente do bloco, $\lambda_{10,dry,unit}$) sem prejudicar significativamente a sua resistência à compressão.

Deste modo, obteve-se um bloco com geometria otimizada (BT25Otimizado) com as mesmas dimensões exteriores do BT25Corrente (comprimento x largura x altura - 490 x 250 x 190 mm), possuindo, contudo, uma geometria alveolar interna diferente (com base no aumento do número de fiadas de betão e de alvéolos ar ao longo da espessura do bloco), bem como juntas verticais de encaixe diferentes que permitem colocar a geometria alveolar do bloco na proximidade destas juntas (Figura 5).

Para se determinar a condutibilidade térmica equivalente dos blocos ($\lambda_{dry,unit}$) e da alvenaria no tosco ($\lambda_{10,dry,mas}$) foram realizadas simulações numéricas avançadas da seguinte forma (Figura 5):

- micromodelação tridimensional, pelo método dos elementos finitos, de uma porção representativa de parede em zona corrente sem revestimentos, detalhando a geometria dos blocos e das juntas de assentamento;
- Consideração de um fluxo de calor em regime estacionário resultante de um gradiente de temperatura de 20°C, a resistência térmica dos alvéolos de ar foi determinada de acordo com a norma EN ISO 6946 (10), as resistências térmicas superficiais interior e exterior das paredes e a existência de fronteiras adiabáticas no contorno da porção de parede considerada;
- Utilizou-se para os betões os valores da condutibilidade térmicas em estado seco ($\lambda_{10,dry,mat}$) obtidos experimentalmente e para as argamassas de reboco e assentamento os valores fornecidos pela documentação técnico-comercial (Tabela).
- A condutibilidade térmica em condições de serviço iniciais ($\lambda_{design,mat}$) foi determinada pela metodologia da EN 1745 (3) e EN ISO 10456 (11) (Tabela 1), considerando os materiais de base sem envelhecimento e com um teor de humidade em equilíbrio higroscópico com humidade relativa e temperatura de 80% e 23°C.

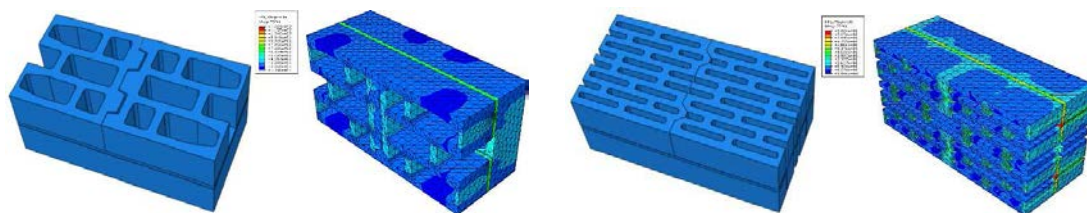


Figura 5: Geometria e distribuição do fluxo de calor (blocos BT25corrente e BT25Otimizado)

A precisão do modelo de cálculo utilizado foi avaliada/validada de acordo a metodologia da norma EN 1745 (3), tendo-se obtido desvios de cálculo inferiores ao máximo permitido ($\leq 1\%$).

Para determinar o coeficiente de transmissão térmica dos sistemas de parede em serviço (U_{design}), considerando-se constituídos da seguinte forma (Figura 6):

- 2 paredes de alvenaria: uma parede realizada com blocos BT25Corrente e outra com blocos BT25Otimizado, ambos constituídos com betão B810 e assentes em juntas horizontais em faixas de argamassa leve (caixa-de-ar central com 65mm de largura; 10mm de espessura) e em juntas verticais de encaixe /juntas secas;
- 2 sistemas de revestimento exterior, designadamente um sistema ETICS e um sistema de reboco térmico, sendo ambos aplicados nas paredes com 47mm de espessura final (40mm para a camada isolante de EPS ou argamassa térmica e 7mm para as argamassas de colagem/acabamento);
- 1 Sistema de reboco interior, designadamente uma argamassa mineral aplicada com 2 cm de espessura final.

Tabela 1: Propriedades térmicas dos constituintes dos sistemas de parede

Constituinte da parede	Material de base	$\rho_{g,dry}$ (kg/m ³)	$\lambda_{10,dry,mat}$ (W/mK)	$\lambda_{design,mat}$ (W/mK)
Revestimento Interior	Argamassa mineral	1500	0.610	0.775
Alvenaria (Bloco)	Betão leve B810 / B670	810 / 670	0.160 / 0.122	0.180 / 0.132
Alvenaria (Juntas assentamento)	Argamassa leve	1500	0.610	0.775
Reboco térmico	Argamassa térmica	150	0.042	0.053
Sistema ETICS	Painéis de poliestireno expandido	20	0.036	0.040
Revestimentos de acabamento	Argamassas de colagem /acabamento	1250 / 1750	0.450 / 0.820	0.572 / 1.042



Sistemas (1) e (2) - Alvenaria c/BT25 Corrente

Sistemas (1+) e (2+) - Alvenaria c/BT25 Otimizado

Figura 6: Sistemas de parede (corte horizontal): 1- Revestimento interior; 2- Parede de Alvenaria; 3- Revestimento exterior

Resultados obtidos

Na tabelas 2 e 3 apresenta-se uma síntese das principais características obtidas nos ensaios e nas simulações numéricas realizadas. Note-se que o peso seco e resistência à compressão foram calculadas com base nas expressões (1) a (3).

Tabela 2: Resultados obtidos na caracterização térmica e mecânica dos blocos de alvenaria

Referência	Características do betão (valores médios)		Características do bloco (valores médios)					Características da alvenaria
	Massa volúmica $\rho_{n,dry}$ (kg/m ³)	Cond. térmica. $\lambda_{10,dry,mat}$ (W/mK)	Furação (%)	Peso Seco (kg)	Cond. térmica $\lambda_{10,dry,unit}$ (W/mK)	Resistência compressão (N/mm ²)	C.V. (%)	$\lambda_{10,dry,mas}$ (W/mK)
BT25 Corrente	B670	670	49.0	8.5	0.141	1.4	16.6	0.180
	B810	810		10.3	0.165	2.3	16.3	0.205
	B1100	1100		14,0	0,195	3,1	5,8	0,235
BT25 Otimizado	B670	670	33.1	10.2	0.099	1.8	-	0.125
	B810	810		12.3	0.117	3.0	-	0.142
	B1100	1100		16.7	0.139	4.6	-	0,162

Tabela 3: Resultados numéricos obtidos nas simulações térmicas dos sistemas de parede

Sistema de parede	Resist. térmica (alvenaria no toco - m ² K/W)		Coef. transm. térmica (sistema de parede - W/m ² K)	Rácio resist. térmica alvenaria / sistema de parede
	R _{dry, mas}	R _{design, mas}	U _{design}	R = R _{design, mas} x U _{design}
1 BT25 Corrente + Reboco Térmico	1.22	1.12	0.48	0.54
2 BT25 Corrente + ETICS			0.43	0.48
1+ BT25 Otimizado + Reboco Térmico	1.76	1.61	0.39	0.63
2+ BT25 Otimizado + ETICS			0.35	0.56

Conclusões

De acordo com os resultados obtidos nas simulações e ensaios preliminares realizados, destacam-se os seguintes aspetos:

- A otimização térmica da geometria do bloco BT25Corrente resultou num aumento significativo da sua resistência térmica, bem como na parede de alvenaria realizada com o BT25Otimizado (cerca de 33% em condições de serviço);
- Estima-se que o valor de resistência à compressão do bloco BT25Otimizado seja superior ao bloco BT25Corrente (cerca de 30%);
- O valor da resistência à compressão dos blocos realizados com betão B670 pode limitar o uso dos blocos em paredes (resistência à compressão $\leq 2,5$ MPa);
- A resistência mecânica do bloco BT25Otimizado realizado com Betão B810 apresenta potencial para ser aplicado em paredes (resistência à compressão $\geq 2,5$ MPa).

- A alvenaria no tosco realizada com o bloco BT25 otimizado cumpre os objetivos estabelecidos no projeto de resistência térmica ($R_{\text{design,mas}} \geq 1,60 \text{ m}^2\text{K/W}$);
- Os sistemas 1+ e 2+, realizados com o Bloco BT25Otimizado e betão B810, apresentam um melhor desempenho térmico em relação aos sistemas 1 e 2 realizados com o Bloco BT25Corrente (redução de 19 % no U_{design}), permitindo um isolamento térmico mais repartido pela parede ($R \geq 0,56$);
- O sistema 2+ apresenta o maior potencial para cumprir os objetivos do projeto, designadamente no coeficiente de transmissão térmica, $U_{\text{design}} \leq 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$, e na repartição do isolamento térmico ($R \geq 0,56$);
- No caso do sistema 1+, mesmos objetivos referidos no ponto anterior podem ser facilmente atingidos, em particular no U_{design} , considerando a aplicação de um reboco térmico com maior espessura (entre 5 a 6 cm) e/ou com menor condutibilidade térmica (conforme será analisado durante o seu desenvolvimento no projeto).

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer à entidade promotora Saint-Gobain Weber e à entidade financiadora Portugal 2020 pelo apoio prestado no projeto “Parede Eficiente Plus Saint-Gobain Weber”.

Bibliografia

- (1) MÊDA, P.; SOUSA, H.; FERREIRA, F. **Economic Relevance of Building Elements - Studies, New Framework, Evolutions and Support for Refurbishment Operations**, Building Pathology and Rehabilitation (Vol. 8):, pp. 93-127, Singapore: Springer, 2016.
- (2) SOUSA, L.; et al. **A new lightweight masonry block: Thermal and mechanical performance**, Arch. Civil Mechanical Engineering, 2014, 14(1), pp. 160-169.
- (3) CEN. **EN1745- Masonry and masonry products Methods for determining thermal properties**. Brussels: CEN, 2012.
- (4) CEN. **EN 1996-1-1- Eurocode 6: Design of masonry structures Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures**. Brussels: CEN, 2012.
- (5) CEN. **EN 1998-1 - Eurocode 8 - Design of structures for earthquake resistance: Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings**. Brussels: CEN, 2013.
- (6) AFNOR. **NF P 14-304 - Blocs en béton de granulats légers pour murs et cloisons**. Paris: AFNOR, 1983.
- (7) SOUSA, L.; et al. **Topology optimisation of masonry units from the thermal point of view using a genetic algorithm**. Constr. Build. Mat., 25 (5), 2011, pp. 2254-2262.
- (8) CEN. **EN 772-1 - Methods of test for masonry units - Part 1: Determination of compressive strength**. Brussels: CEN, 2015.
- (9) CEN. **EN 12664 - Thermal performance of building materials and products, Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter method, Dry and moist products of medium and low thermal resistance**. Brussels: CEN, 2001.
- (10) CEN. **EN ISO 6946 - Building components and building elements; Thermal resistance and thermal transmittance: Calculation methods**. Brussels: CEN, 2017.
- (11) CEN. **EN 10456 - Building materials and products - Hygrothermal properties: Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values**. Brussels: CEN, 2001.