

Bibliografia

- [1] - Caixinhas, João; Jr., Eloy F. Casagrande - *Gestão Integrada de Resíduos para o Ambiente (GIRA): Uma Experiência Portuguesa na Construção Civil*. In: Inter American Conference on Non-Conventional Materials and Technologies in Ecological and Sustainable Construction, Rio de Janeiro - Brasil, 2005, November 11-15th. Disponível na internet em:
http://www.ppgte.cefetpr.br/docentes/permanentes/eloy/Gestao_Integrada.pdf.
- [2] - Chini, Abdol R. - *Deconstruction and Materials Reuse: Technology, Economic, and Policy*. In: CIB Publication 266, 6 April 2001. Disponível na internet em:
<http://www.cce.ufl.edu/Deconstruction%20and%20Materials%20Reuse%20%20Technology,%20Economic,%20and%20Policy.pdf>.
- [3] - Kernan, Paul - *Old to New - Design Guide: Salvage Building Materials In New Construction*. 2002. Disponível na internet em:
<http://www.lifecyclebuilding.org/resources.htm>.
- [4] - Chini, Abdol R.; Bruening, Stuart F. - *Desconstruction and Materials Reuse in the United States*. 2003. Disponível na internet em:
<http://www.bcn.ufl.edu/iejc/pindex/109/chini.pdf>.
- [5] - Desconstruction Institute - *A Guide to Desconstruction*. Janeiro de 2003. Disponível na internet em:
<http://www.epa.gov/reg5rcra/wptdiv/solidwaste/debris/brownfields/index.htm#S6>.
- [6] - Projecto WAMBUCO - *Manual Europeu de Resíduos da Construção de Edifícios - Volume III*. 2005. Disponível na internet em:
<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/4623>.
- [7] - Washington State Department of General Administration - Division of Engineering and Architectural Services - *Construction Waste Management: Guide Methods to Save Money and Resources*. April 2003. Disponível na internet em:
http://www.nahbrc.org/greenguidelines/userguide_resource_reuse.html.

Desenvolvimento de um bloco cerâmico para a construção sustentável

A.B. Dias¹, H. Sousa², P. B. Lourenço³, E. Ferraz¹, L. C. Sousa², R. Sousa², G. Vasconcelos³, P. Medeiros³,

¹ CTCV - Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro, Coimbra, Portugal, baiodias@ctcv.pt

² FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, hipolito@fe.up.pt

³ UM - Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, pbl@civil.uminho.pt

Resumo

O projecto cBloco teve como objectivo, desenvolver um sistema de construção de alvenaria que cumpra as exigências regulamentares aplicáveis, melhorando as características de desempenho mecânico, térmico e acústico relativamente aos sistemas tradicionais de tijolo cerâmico furado.

O cBloco é um elemento cerâmico com pasta aligeirada com resíduos da indústria da madeira, cortiça e celulose, o que, para além de reduzir a massa, reduz o consumo da energia utilizada na cozedura, e aliado a uma geometria optimizada confere um isolamento térmico melhorado.

Trata-se de um sistema constituído por uma peça base que é complementada por um conjunto de peças especiais, adaptadas aos diferentes pontos singulares da construção, o que permitirá reduzir os desperdícios em corte de material e os consequentes resíduos da construção.

Este projecto, liderado por um consórcio de fabricantes do sector da cerâmica designado por NAC - Novas Alvenarias Cerâmicas foi coordenado pelo CTCV e contou com a colaboração da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e da Universidade do Minho, tendo sido apoiado pela ADI (Agência para o Desenvolvimento e Inovação).

Palavras-chave: isolamento, poroso, resistente, térmica, tijolo

Introdução

Motivação

Os tijolos furados de construção foram desenvolvidos nos anos 50 e até hoje não sofreram alterações significativas (ver exemplo na figura 1 de tijolo furado tradicional). A construção tradicional é baseada em estruturas de betão armado, colunas, lintéis e vigas, sendo atribuída o tijolo uma função de mero enchimento e vedação dos espaços, através da formação de um pano duplo constituído por duas camadas de tijolo separadas por um espaço de ar (ver exemplo na figura 2 de alvenaria de enchimento com tijolo furado tradicional), apresentando este tipo de alvenaria um coeficiente de transmissão térmica de $0,88 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

A publicação do Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE) [1], e a Directiva Europeia de Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD) [2] e

o Regulamento das Características de Desempenho Térmico dos Edifícios (RCCTE) [3], verifica-se um aumento das exigências relativamente aos coeficientes de referência de transmissão térmica das alvenarias relativamente ao regulamento anterior (figura 3 e 4 e tabelas 1 e 2). Face a estas novas exigências, o desempenho térmico da alvenaria tradicional construída com dois panos de tijolo passa a não cumprir os valores de referência do RCCTE em todas as zonas climáticas de Inverno.

São também de publicação recente algumas normas e regulamentos de construção que colocam exigências de resistência mecânica, geométricas e outras, quer aos elementos quer às alvenarias, tais como a norma EN 771-1 [4] e os eurocódigos da construção EN 1998-1-1 [5] e EN 1998-1 [6].

Indução de porosidade na pasta cerâmica

Foi desenvolvida uma pasta porosa para a produção dos blocos com os seguintes objectivos:

Reduzir a massa do bloco;

Reduzir a condutividade térmica da pasta;

Reduzir a energia consumida durante a cozedura.

A porosidade da pasta cerâmica foi induzida por materiais orgânicos provenientes da indústria de madeira e papel. Estes resíduos orgânicos dispõem de um poder calorífico não negligenciável (PCI 13,8 a 15,6 MJ/kg) e quando queimados libertam energia que é consumida durante a fase de cozedura o que contribui para a cozedura da cerâmica e consequentemente para a economia de energia. Após a cozedura o lugar ocupado pela partícula de material orgânico fica vazio, o que torna o material mais poroso e portanto mais leve e mais isolante do ponto de vista térmico.

Foram analisados e estudados vários materiais e composições da pasta e seleccionada uma com bons resultados térmicos e sem perda significativa de resistência mecânica (figuras 5 a 7).

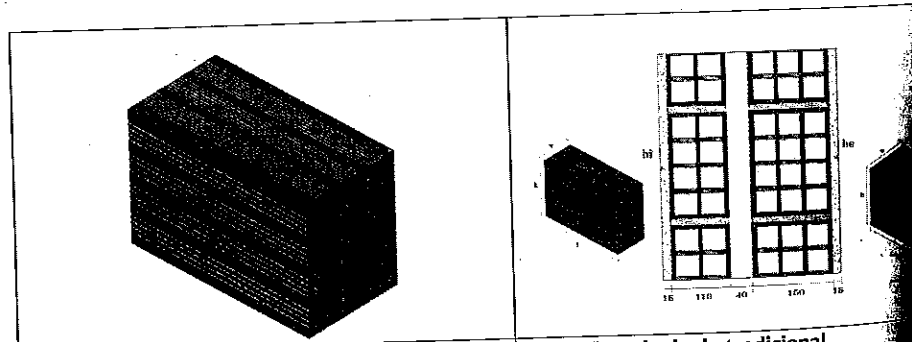


Fig. 1 - Tijolo cerâmico tradicional

Fig. 2 - Parede dupla tradicional

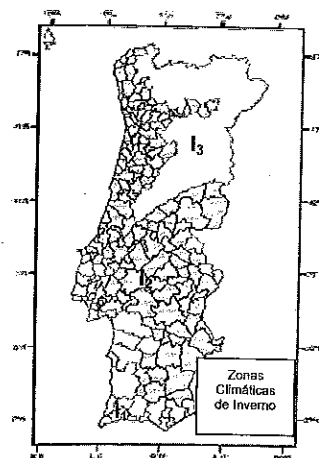


Fig. 3 - Zonas climáticas de inverno previstas no anterior RCCTE

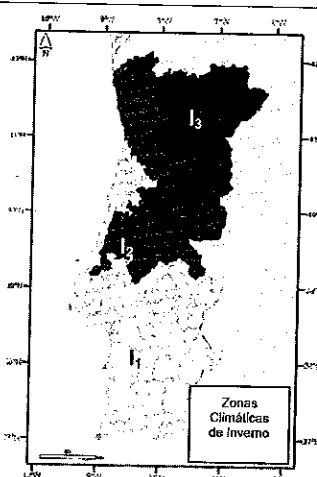


Fig. 4 - Zonas climáticas de inverno previstas no actual RCCTE

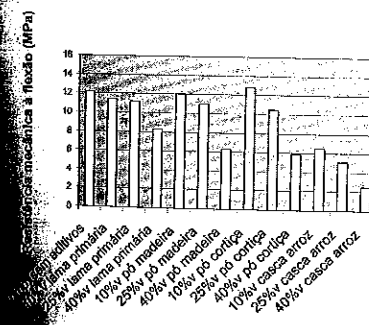
Tabela 1 - Coeficientes Térmicos de Referência previstos no anterior RCCTE

Zonas	U(W/m ² °C)
I1	1,4
I2	1,2
I3	0,95

Table 2 - Coeficientes Térmicos de Referência previstos no actual RCCTE

Zonas	U(W/m ² °C)
I1	0,7
I2	0,6
I3	0,5

Resistência mecânica a flexão temperatura cozedura 875 °C



Resistência mecânica da pasta

Massa volúmica aparente temperatura de cozedura 875 °C

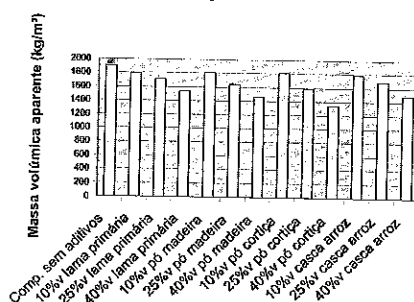
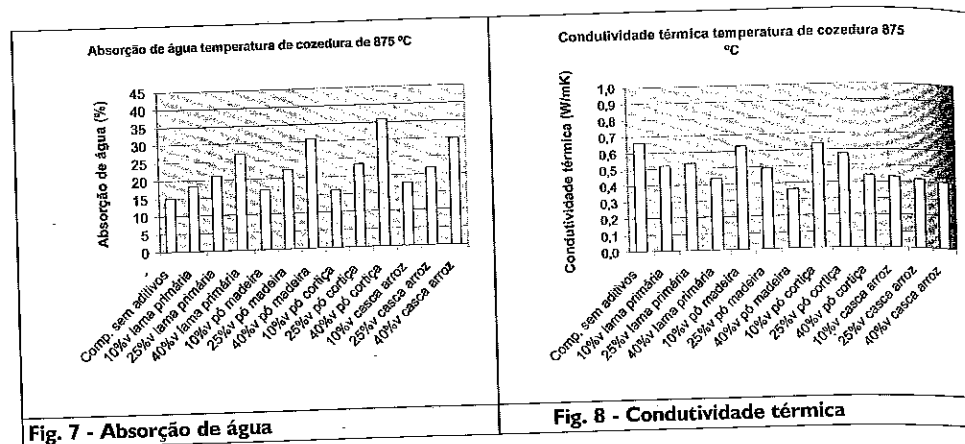


Fig. 6 - Massa volúmica da pasta



Analisando as figuras 5 a 8, é possível concluir que o aumento da porosidade reduz a resistência mecânica nas composições ensaiadas, por exemplo de 12 para 6 MPa com uma composição com 40% em volume de serradura ou pó de cortiça. Por outro lado, a redução de condutividade térmica da mesma composição é de 0,66 para 0,20 W/m.K, o que vai no sentido da melhoria do isolamento térmico. A composição com 40 % em volume de resíduos de pasta de papel apresenta um comportamento intermédio, 8 MPa e 0,43 W/m.K.

Desenho da geometria

A geometria foi desenhada tendo por base os objectivos do projecto bem como os requisitos normativos e regulamentares actualmente aplicáveis:

Coefficiente global de transmissão de calor da alvenaria, $U < 0,6 \text{ W/m}^2\text{.K}$ (zonas I₁ e I₂ do RCCTE);

Furação vertical, perpendicular ao plano de assentamento;

Resistência mecânica por compressão $> 3 \text{ MPa}$;

Encaixes macho-fêmea na junta vertical evitando, quando possível, juntas verticais de argamassa;

Dimensões exteriores de 300 mm de comprimento, 300 mm de largura e 100 mm de altura (prevendo uma junta horizontal de argamassa de 10 mm);

Classificação no Grupo 2 do Eurocódigo 6;

Espessura dos septos exteriores $> 8 \text{ mm}$;

Espessura dos septos interiores $> 5 \text{ mm}$;

Espessura combinada de septos interiores e exteriores $> 16 \text{ %}$;

Septos desalinhados de forma a criar obstáculos à transmissão de calor;

Massa $< 14 \text{ kg}$;

Densidade aparente LD $< 1000 \text{ kg/m}^3$ (pasta porosa);

Bolsa para argamassa na junta vertical $> 1500 \text{ mm}^2$ e dimensão $> 30 \text{ mm}$;

Para uma geometria exterior comum foram propostas três geometrias internas diferentes, procurando otimizar o coeficiente global de transmissão de calor da alvenaria:

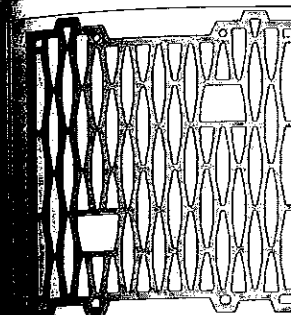


Fig. 9 - Bago de arroz

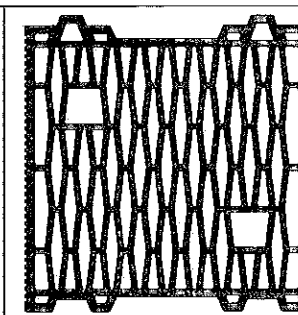


Fig. 10 - Losângulos

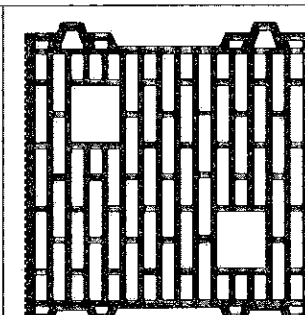


Fig. 11 - Rectângulos

As geometrias foram analisadas numericamente usando o método de elementos finitos obtendo os valores que são apresentados na tabela 3. Todas as geometrias analisadas apresentam valores adequados para utilização nas zonas I₁ e I₂ do RCCTE.

Tabela 3 – Coeficientes globais de transmissão de calor

	U (W/m ² .K)
Bago de arroz	0,57
Losângulos	0,56
Rectângulos	0,59

Desenho do sistema

O objectivo do projecto não foi apenas o de desenvolver um bloco cerâmico mas um sistema coerente que possa apresentar uma solução alternativa mais vantajosa na construção de alvenarias. Foram assim desenhados vários elementos complementares associados aos diferentes pontos singulares da estrutura de modo a reduzir os pontes térmicos e a minimizar as pontes térmicas, no caso de aplicação em alvenaria armada.

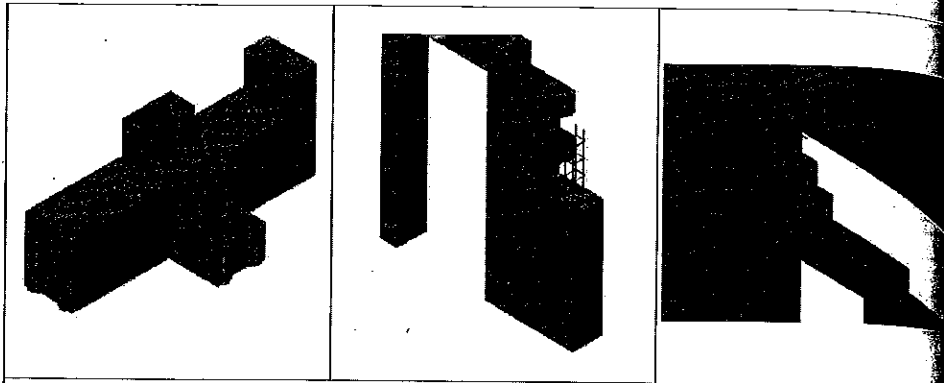


Fig. 12 - Vistas do sistema em alvenaria confinada

Os blocos foram desenvolvidos de modo a serem aplicados com argamassa tradicional em junta horizontal interrompida, de forma a reduzir as pontes térmicas, tal como apresentado na figura 13. A aplicação pode ser do tipo junta vertical seca, devido à existência de juntas de encaixe macho-fêmea. Quando requerido, poderá proceder-se ao preenchimento da bolsa de argamassa formada entre os blocos.

Caso os blocos sejam rectificados nas faces horizontais, os mesmos poderão ser assentes recorrendo a argamassa de junta fina, reduzindo as pontes térmicas.

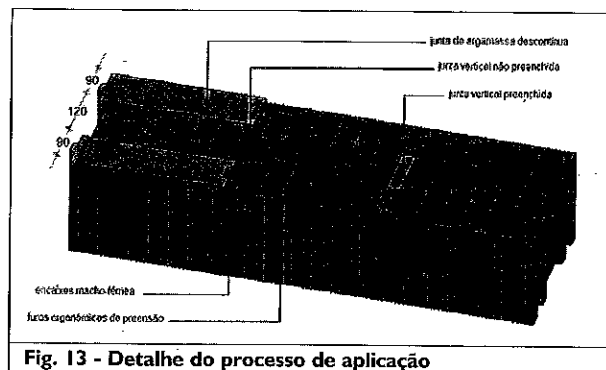


Fig. 13 - Detalhe do processo de aplicação

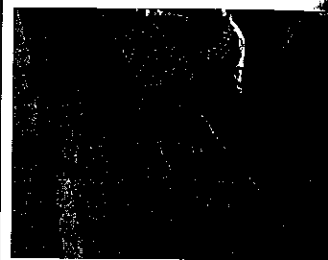


Fig. 14 - Execução de parede

Sustentabilidade do Produto

Analisando o ciclo de vida do produto, o sistema tradicional de execução de alvenarias apresenta vantagens nas áreas ambientais e energéticas, comparativamente com o sistema tradicional.

Aproveitamento de resíduos

Durante a fase de produção, a utilização de resíduos orgânicos, provenientes de biomassa, incorporados na pasta para indução de porosidade apresentam várias

- Reciclagem de resíduos das indústrias da celulose, madeiras ou florestas;
- Redução das energias não renováveis utilizadas na cozedura;
- Redução das emissões gasosas para a atmosfera, como CO_2 , SO_2 e NO_x ;

Redução de resíduos de construção

Diferentes unidades complementares desenvolvidas para se adaptarem aos vários pontos singulares das alvenarias evitam o corte das peças e reduzem os desperdícios de material.

Majoria do desempenho térmico

Nesta fase de utilização do edifício, a energia consumida para aquecimento do interior, na estação de Inverno, será inferior. O coeficiente global de transmissão térmica do novo sistema é inferior em 36% ao sistema tradicional. Assim, as pontes térmicas provocadas pelas colunas e lintéis de betão serão reduzidas com a utilização do método de alvenaria confinada, ficando as colunas e lintéis de betão, de condutividade térmica superior, embebidas pelas peças cerâmicas de menor condutividade térmica.

Majoria da reciclabilidade dos edifícios

A solução apresentada é constituída por dois materiais inorgânicos, a cerâmica e a argamassa, facilmente recicláveis na fase de desconstrução do edifício. Esta solução apresenta vantagens face à utilização de materiais orgânicos de isolamento térmico como, por exemplo, os poliestirenos, face à maior dificuldade de separação dos materiais.

Conclusões

Pode-se concluir que o sistema de alvenaria estrutural desenvolvido e aplicado pelo método da alvenaria confinada é mais sustentável que o sistema tradicional de alvenaria de enchimento, no que respeita, por exemplo, à energia consumida nas fases de produção dos blocos cerâmicos e na fase de utilização.

O uso de resíduos na fase de produção e a redução de resíduos na fase de construção, aliado ao aumento da reciclabilidade da alvenaria na fase de desconstrução, apresenta vantagens comparativamente com o sistema tradicional.

Outros aspectos da sustentabilidade, nomeadamente os aspectos económicos deste sistema, necessitam de ser avaliados no ciclo de vida do produto, desde a fase de produção, construção, utilização, desconstrução e reciclagem. Estes aspectos deverão ser avaliados numa fase subsequente deste projecto.

Bibliografia

- [1] D.L. 78/2006, 4 Abril – Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
- [2] Directiva 2002/91/CE, 16 Dezembro – Desempenho Energético dos Edifícios
- [3] D.L. 80/2006, 4 Abril – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
- [4] NP EN 771-1 – Especificação para Unidades de Alvenaria. Tijolos cerâmicos
- [5] EN 1996-1-1 – Eurocode 6: Design of masonry structures. Part 1-1 Rules for reinforced and unreinforced masonry
- [6] EN 1998-1 – Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings

Investigação inicial de Resíduos da Indústria de Pasta de Papel

J. S. Coutinho¹, M. L. Garcia²

¹ LABEST/FEUP, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia do Porto, Universidade do Porto, R. Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal, jcouti@fe.up.pt

² LABEST-FEUP/ISEP, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Rua António Bernardino de Almeida, 4200 -072 Porto, Portugal. mlg@isep.ipp.pt

Resumo

A nível mundial a indústria do cimento é responsável por mais de 6% das emissões de CO₂, um dos gases com efeito de estufa. Este facto tem levado à implementação de estratégias de mitigação de emissões de CO₂ na indústria cimenteira, tais como a utilização crescente de adições, em geral subprodutos industriais, que substituem parcialmente o cimento Portland e que aumentam a durabilidade do betão estrutural.

A Indústria de Pasta de Papel produz grandes quantidades de resíduos que são depositados em aterros devido à falta de opções economicamente viáveis. O sucesso do uso de resíduos em betão depende de factores tais como as propriedades exigidas para este material mas são os factores económicos que, em última análise, determinam a aplicabilidade de subprodutos potencialmente benéficos em betão.

Neste trabalho apresentam-se os primeiros resultados de um programa experimental que visa estudar a incorporação de resíduos da indústria da pasta de papel em betão. Descreve-se o estudo da análise granulométrica a laser, análise por microscopia electrónica de varrimento e os espectros obtidos para os grits e dregs, dois dos referidos resíduos.

Palavras-chave: Dregs, Granulometria, Grits, SEM (Microscopia Electrónica por Varrimento), Resíduo.

Introdução

Um dos aspectos fundamentais conducentes à sustentabilidade na indústria são a redução das emissões de CO₂ e dos resíduos produzidos. A indústria papelreira é um dos sectores estratégicos da economia nacional produzindo-se vários tipos de resíduos como cascas e resíduos da manipulação da madeira; lamas vindas do processo de tratamento de efluentes (lamas primárias e lamas biológicas); cinzas provenientes dos filtros ou precipitadores electrostáticos, multiciclones, caldeiras de biomassa e dos filtros; areias do leito fluidizado das caldeiras de biomassa e lamas inorgânicas (dregs e grits) entre outros.

Atualmente já se verifica aproveitamento de resíduos orgânicos na produção de energia "limpa" com a introdução de caldeiras de biomassa, no entanto grande quantidade de resíduos (por exemplo dregs e grits) da produção da pasta