

Art_2.14

ALGORITMOS GENÉTICOS NA OPTIMIZAÇÃO DA GEOMETRIA DE BLOCOS PARA ALVENARIA

L.C. Sousa*, C.F. Castro, C.A.C. António e Hipólito Sousa

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Porto, Portugal

*Email: lcsousa@fe.up.pt

RESUMO

Em Portugal os elementos de alvenaria são usados quase exclusivamente como produtos de enchimento, deixando a outros materiais as principais funções de resistência, isolamento térmico e acústico das alvenarias; nos últimos tempos o aumento do poder económico da sociedade portuguesa levou a um crescimento significativo da importância das exigências de conforto térmico nos edifícios. Neste cenário parece óbvio o interesse em melhorar o desempenho das paredes de alvenaria nomeadamente no aspecto térmico. A simulação numérica do comportamento térmico permite investigar, ensaiar alternativas e melhorar as características dos elementos. Neste trabalho apresenta-se um modelo de optimização que tem como objectivo a determinação da topologia óptima do bloco de alvenaria que minimiza o coeficiente de transmissão térmica da parede.

1. INTRODUÇÃO

Em Portugal é notória a necessidade de modificar e melhorar práticas na construção de edifícios, adequando-a às exigências actuais, nomeadamente atribuindo também às alvenarias as funções de resistência, isolamento térmico e acústico.

Na Europa é crescente o emprego de paredes em pano simples, espessas e termicamente eficientes. Justifica-se pois estudar e aprofundar a análise deste tipo de paredes e dos blocos que as constituem, procurando uma optimização das suas propriedades e da sua utilização, quer no aspecto tecnológico quer no económico, tanto mais que neste momento se perspectiva um aumento das exigências de carácter térmico aplicáveis aos edifícios de acordo com a revisão do Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios em curso (RCCTE, 1990).

Em Portugal, as paredes exteriores predominantes em edifícios são ainda duplas com isolamento térmico na caixa de ar. As paredes em pano simples são relativamente pouco utilizadas, em regra realizadas com blocos de betão de argila expandida, ou com blocos de argila alveolada cujo emprego se está a iniciar entre nós. Estes materiais apresentam em geral espessuras superiores às dos blocos cerâmicos nacionais tradicionais (Alves e Sousa, 2003). Na prática nacional, quer as paredes duplas, quer as simples, são geralmente revestidas com rebocos tradicionais, normalmente ricos em ligantes hidráulicos, pouco porosos ou, em alternativa, com rebocos “monomassa” sendo em geral ambos realizados por mão-de-obra relativamente pouco experiente.

Os agregados leves normalmente empregues nos blocos de betão leve comercializados no nosso país são grânulos de argila expandida, produto conhecido no mercado como Leca (Light Expanded Clay Aggregate). Nos Açores, devido à ocorrência de agregados leves

naturais (bagacina), este material é, por vezes, empregue no fabrico deste tipo de blocos.

Hoje em dia as fábricas produzem vários tipos de blocos permitindo obter desempenhos térmicos diferenciados. É também possível fazer variar a resistência mecânica actuando na massa volúmica do betão e na quantidade de cimento, bem como produzir blocos com texturas mais fechadas para aplicação à vista. Esta aplicação está no entanto condicionada face a um pior comportamento em termos de estanquidade à água da chuva. Face ao exposto justifica-se pois um estudo suficientemente suportado das possibilidades de melhor adequar as características dos materiais para alvenaria às expectativas que na actualidade se podem associar a este tipo de produtos.

Neste trabalho, e no âmbito de um projecto de desenvolvimento aplicado à indústria, apresenta-se um modelo de optimização que tem como objectivo a determinação da topologia óptima do bloco de alvenaria que minimiza o coeficiente de transmissão térmica da parede. Este estudo é feito de acordo com as exigências normativas aplicáveis, tendo em conta as restrições de ordem tecnológica associadas ao processo produtivo dos referidos elementos e à realização e comportamento das paredes.

2. COMPORTAMENTO TÉRMICO

As paredes de edifícios, particularmente as exteriores, têm um peso económico relevante no custo final da construção e condicionam o desempenho dos edifícios. A importância das exigências de conforto térmico nos edifícios tem crescido significativamente em Portugal nos últimos tempos. No entanto, o aparecimento destas exigências e a sua tradução em novos pormenores e práticas construtivas, com frequência insuficientemente compatibilizadas, deu origem a novos problemas na construção, de que se pode citar apenas como exemplo, o caso da incorrecta resolução das pontes térmicas. Para além disto, com frequência a escolha de isolantes térmicos é pouco ponderada e a sua colocação incorrecta, fazendo com que o retorno deste acréscimo de custo seja em muitos casos quase nulo. Por último, alguns dos isolantes térmicos correntemente usados são em termos ambientais pouco recomendáveis.

Neste cenário parece óbvio o interesse em ter paredes termicamente eficientes, mas que não potenciem a ocorrência das referidas não conformidades. O recurso a paredes realizadas a partir de sistemas para alvenaria, tendo por base materiais isolantes em panos simples espessos e com elementos especiais para a resolução de pontos singulares, parece uma solução claramente a privilegiar. Fica assegurado um isolamento repartido, pode ser realizada com materiais ambientalmente mais recomendáveis, permitindo ainda a execução de paredes menos sujeitas a patologias quando executadas por pessoal menos hábil (Alves e Sousa, 2003).

A característica térmica mais representativa para uma análise comparada do desempenho térmico das paredes exteriores parece ser o coeficiente de transmissão térmica, que é aliás a grandeza de referência adoptada no actual Regulamento (RCCTE, 1990).

Na análise efectuada visando a optimização do desempenho térmico de blocos para paredes exteriores de edifícios utilizou-se o método dos elementos finitos. Efectuou-se uma análise bidimensional em regime estacionário considerando-se os fenómenos de transmissão de calor por condução convecção e radiação nos alvéolos sendo a determinação da resistência térmica e da condutibilidade térmica equivalente feita de acordo com referências normativas. Para a simulação numérica do processo de transferência de calor recorreu-se ao Programa Comercial ABAQUS (ABAQUS, 2003).

3. MODELO DE OPTIMIZAÇÃO

Os principais factores que condicionam o desempenho térmico dos elementos para alvenaria são a orientação da furação, o número de fiadas e a sua posição relativa, as dimensões e características térmicas dos alvéolos, a condutibilidade térmica do material constituinte dos elementos e do reboco e a influência das juntas.

O problema de optimização aqui apresentado tem como objectivo a determinação da topologia óptima do bloco de alvenaria que minimiza o coeficiente de transmissão térmica da parede óptima do bloco de alvenaria.

O projecto óptimo considera a minimização de um funcional que quantifica o desempenho térmico da parede, sujeito a restrições relacionadas com a geometria dos alvéolos e dos septos e às equações de estado do problema térmico.

O problema de optimização é formulado matematicamente da seguinte forma genérica

$$\text{Minimizar } \Pi(\mathbf{b}) \quad (1)$$

sujeito às restrições: $\varphi_k(\mathbf{b}) \leq 0$, $k = 1, \dots, \bar{N}$ e às equações de estado do problema térmico.

Na análise efectuada neste trabalho as restrições estão relacionadas com a geometria dos alvéolos e dos septos.

Na resolução do problema de optimização formulado anteriormente é utilizado um algoritmo genético (DeLong, 1999 e Castro *et al.*, 2004). Esta técnica combina a conhecida Teoria de Darwin da sobrevivência dos indivíduos mais dotados com informação estruturada de forma estocástica.

O primeiro passo da formulação de um algoritmo genético é o estabelecimento de um formato de codificação. Neste problema toda a informação é manipulada usando um formato binário com um número de bits definido para cada variável. O objectivo da pesquisa evolucionária é obter em cada geração o incremento do melhor Mérito da população. O Mérito de cada solução está relacionado com a função objectivo e as restrições do problema estabelecido anteriormente. Assim, o problema de optimização original pode ser reescrito

$$\text{Maximizar } F(\mathbf{b}) = \bar{F} - \Pi(\mathbf{b}) \quad (2)$$

onde \bar{F} é uma constante arbitrária estabelecida com a finalidade de se obter Mérito positivo. As restrições impostas nas variáveis de projecto são consideradas quando o domínio é discretizado e se procede à codificação binária dos cromossomas das soluções. A técnica utilizada para incorporar as restrições baseia-se na sua penalização.

O algoritmo genético desenvolvido baseia-se em quatro operadores principais suportados por uma estratégia elitista onde se preserva um núcleo da população composto pelos melhores indivíduos cujo material genético é transferido para as gerações seguintes. Na figura 1 apresenta-se um esquema do algoritmo genético onde são patentes os quatro operadores principais (Castro *et al.*, 2004): *Seleção*, *Crossover*, *Eliminação/ Substituição* e *Mutação*.

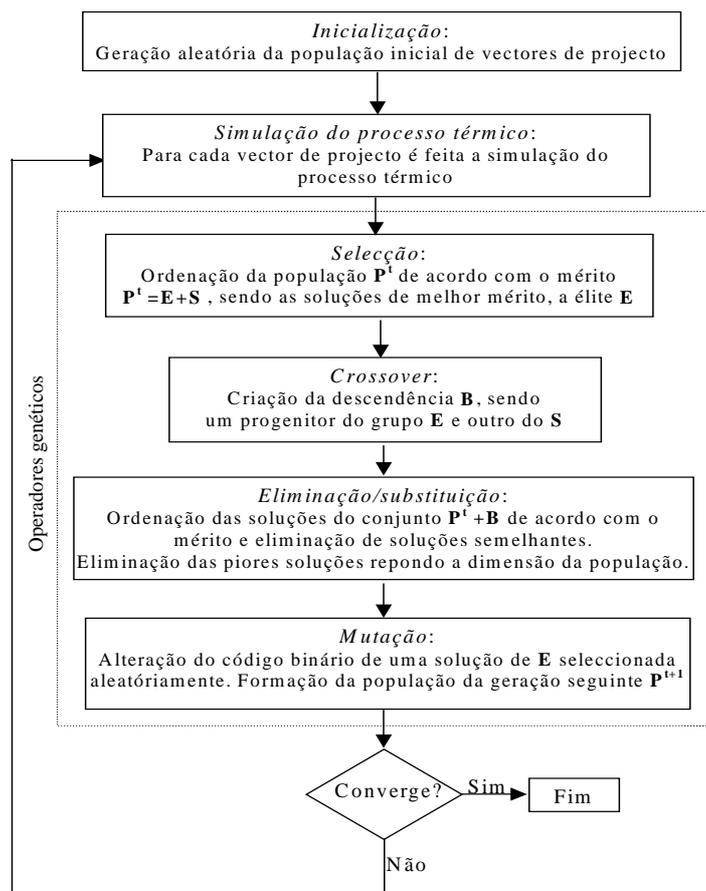


Fig.1 - Algoritmo de optimização

As condições de evolução da população são avaliadas com base nas variações da média do mérito dos melhores indivíduos da população. Para o efeito define-se a dimensão do grupo de referência. Se durante um número predefinido de gerações o mérito médio do grupo de referência converge, o processo evolutivo está terminado. Caso contrário, a população evolui para a geração seguinte.

4. APLICAÇÃO NUMÉRICA

Neste trabalho pretende-se aplicar algoritmos genéticos à optimização térmica de blocos de betão de argila expandida para alvenaria rebocados em ambas as faces. Admite-se que os blocos para alvenaria têm dimensões modulares de 400 mm para o comprimento (incluindo juntas verticais) e de 200 mm para a altura (incluindo juntas horizontais). Considera-se também que a parede é rebocada em ambas as faces, interior e exterior. A hipótese analisada, que aqui se descreve, assume para a espessura dos blocos 350 mm, acrescida de 20 mm de revestimento por reboco em ambas as faces.

Na simulação do processo de transferência de calor o bloco é discretizado por elementos sólidos lineares de 4 nós (DC2D4 da livraria do ABAQUS). As temperaturas ambiente interior e exterior foram consideradas constantes e iguais a 20°C e 0°C respectivamente. Também se considerou a transferência de calor por radiação e convecção nas superfícies exterior e interior do revestimento, admitindo os valores habituais para essas resistências térmicas superficiais. Para condutibilidade térmica do reboco da parede adoptou-se o valor de

$\lambda_{\text{argamassa}} = 1.15 \text{ W}/(\text{m } ^\circ\text{C})$.

A geometria dos blocos analisados e as variáveis de projecto consideradas estão representadas na figura 2. As variáveis de projecto são nove, sendo oito geométricas e uma não geométrica:

- n1 - número de septos verticais;
- n2 - número de septos horizontais;
- x1, x2 - largura dos septos verticais;
- x3, x4 - largura dos septos horizontais;
- existência de fiadas de alvéolos desencontrados;
- existência de interrupção das juntas verticais de argamassa (rotura de junta);
- $\lambda_{\text{betão}}$ - condutibilidade térmica do betão.

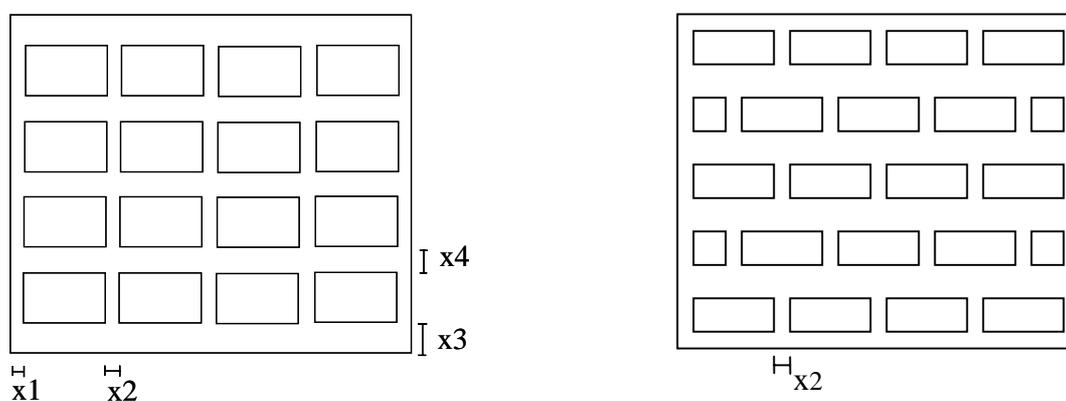


Figura 2. Geometria dos blocos.

O processo de optimização foi implementado considerando as restrições tecnológicas apresentadas na tabela 1.

Tabela 1. Restrições tecnológicas.

Parâmetros, b_k	b_{k^-}	b_{k^+}
n1	0	8
n2	0	8
x1, x2, x3[mm]	18	25
x4[mm]	18	20
$\lambda_{\text{betão}}[\text{W}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})]$	0.2	0.5

Os parâmetros genéticos utilizados foram $N_{\text{pop}} = 12$ e $N_e = 5$ para a dimensão da

população e da elite respectivamente. O número de bits utilizado para codificar cada variável foi igual a $N_{bit} = 5$.

Na figura 3 apresenta-se a topologia óptima encontrada para os blocos de betão analisados considerando o comportamento térmico ou seja a topologia correspondente ao valor mínimo do coeficiente de transmissão térmica da parede K. Nesta solução as fiadas de alvéolos são desencontrados e existe rotura das juntas verticais de argamassa. Para uma condutibilidade térmica do betão, $\lambda_{bet\tilde{a}o} = 0.3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$. O coeficiente de transmissão térmica da parede obtido foi de $K_{bloco} = 0.51 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$.

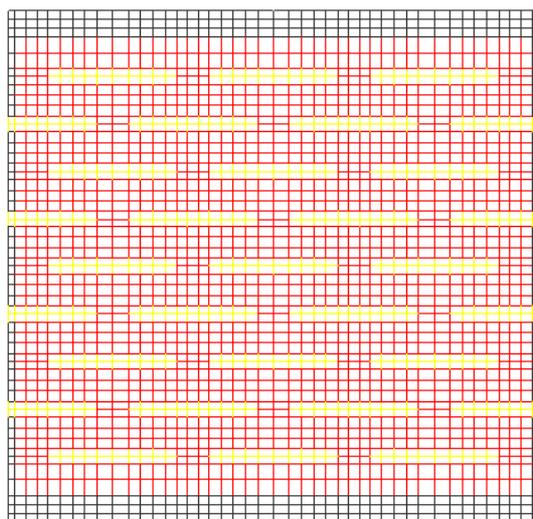


Figura 3. Topologia da solução óptima.

A distribuição da temperatura encontra-se representada na figura 4. Na tabela 2 apresentam-se os valores das variáveis de projecto correspondentes à solução óptima.

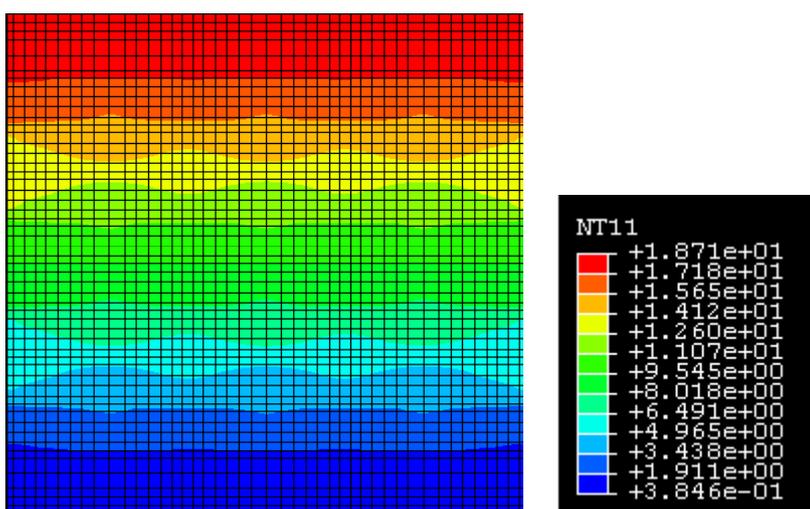


Figura 4. Distribuição da temperatura para a solução óptima.

Tabela 2. Vector de projecto correspondente à solução óptima.

Parâmetros	Valores
n1	2
n2	8
x1 [mm]	25.0
x2[mm]	23.6
x3[mm]	23.7
x4[mm]	24.1
$\lambda_{\text{betão}}$ [W/(m ² °C)]	0.3

5. CONCLUSÕES

Estudos recentes desenvolvidos para um novo modelo de blocos de grânulos de argila expandida com 32 cm de espessura, situam o coeficiente de transmissão térmico de uma parede rebocada em ambas as faces numa gama de valores entre 0.75 e 1.07 W/m² °C. É no sentido de melhorar o coeficiente de transmissão térmico que se desenvolve, neste momento, o nosso modelo de optimização. Pretende-se minimizar o coeficiente de transmissão térmico optimizando a topologia interior do bloco, quer geométrica quer fisicamente.

Técnicas de optimização apoiadas em simulações numéricas podem ser muito úteis em termos industriais permitindo estudar profundamente as características dos produtos e evitar não só experiências de fabrico reais inconsequentes com gastos elevados de tempo e material, como também eliminar potenciais causas de defeitos. O método dos elementos finitos é usado na simulação do comportamento térmico do bloco rebocado. A topologia da estrutura interna do bloco vai variar e evoluir de acordo com o algoritmo genético desenvolvido, no sentido de incrementar a função de mérito definida e associada ao coeficiente de transmissão térmico. Neste estudo considera-se blocos de alvenaria com fiadas de alvéolos desencontrados assim como a existência de rotura das juntas verticais de argamassa.

REFERÊNCIAS

ABAQUS, User's Manual, Version 6.4, 2003

Alves, S.; Sousa, H., Paredes exteriores de edifícios em pano simples, Lisboa-Porto,-Coimbra, Lidel - edições técnicas, lda, 2003

Castro C.F.; António C.A.C.; Sousa L.C., Optimization of shape and process parameters in metal forging processes using genetic algorithms, Journal of Materials Processing Technology, Vol.146, pp.356-364, 2004

DeJong, K., Evolutionary computation, Recent developments and open issues, Evolutionary Algorithms in Engineering Computer Science John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, EUROGEN99, (1999), pp. 43-54, 1999

Portugal - Leis, Decretos, etc, - Regulamento das Características de Comportamento Térmico de edifícios, D.L. nº 40/90 de 6 de Fevereiro de 1990

