

A Influência da Temperatura e da Radiação Solar na Capacidade de Armazenamento Térmico de Elementos Construtivos

M. Guedes de Almeida*, Valdemar Garcia[⊕], E. Maldonado⁺, L. Bragança^x

** Dep^{to} de Física da Escola de Ciências da Universidade do Minho
Gualtar, 4710 Braga Codex, Portugal*

*⊕ Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança
Quinta de St^a Apolónia, 5300 Bragança, Portugal*

*+ Dep^{to} de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial da F.E.U.P.
Rua dos Bragas, 4099 Porto Codex, Portugal*

*x Dep^{to} de Eng^a Civil da Escola de Engenharia da Universidade do Minho
Azurém, 4800 Guimarães, Portugal*

RESUMO : A capacidade de armazenamento térmica dos diversos elementos construtivos depende de vários factores, sendo a radiação solar incidente e as amplitudes térmicas verificadas nos espaços adjacentes, dois dos factores que mais fortemente a afectam e que não têm sido levadas directamente em conta na sua quantificação. Neste trabalho apresenta-se a metodologia que foi usada para o cálculo da quantidade de calor armazenada diariamente por esses elementos, Q_{ARM} , descrevendo-se a forma como foram estabelecidas as dependências deste parâmetro com a radiação solar incidente e com a amplitude térmica diária dos perfis das temperaturas ambientes dos espaços confinantes com o elemento. Mostra-se como foram desenvolvidas correlações entre estes parâmetros e apresentam-se os resultados obtidos para alguns dos elementos construtivos mais utilizados nos edifícios em Portugal.

1 - INTRODUÇÃO

A quantidade de calor armazenado por um dado elemento construtivo depende de vários factores, como sejam as propriedades termofísicas dos materiais que o constituem, a área e a espessura desse elemento, a distribuição interna das temperaturas, a evolução das temperaturas ambientes dos dois lados do elemento armazenador, a localização desse elemento e, ainda, se esse elemento está ou não sob a acção directa da radiação solar. No entanto, grande parte dos modelos utilizados para a sua quantificação usam apenas o produto da massa pelo calor específico, ou seja, a sua capacidade calorífica total. Este processo é incorrecto porque, na realidade, a energia armazenada é menor do que a calculada deste modo, pois a massa situada mais perto da superfície em contacto com o ar interior tem uma maior participação na transferência de calor, sofrendo maiores flutuações de temperatura e sendo, assim, um armazenador mais eficiente.

* Professora Auxiliar

⊕ Assistente do Segundo Triénio

+ Professor Associado com Agregação

x Professor Auxiliar

Neste trabalho mostra-se de que forma a radiação solar incidente e a variação da amplitude térmica diária dos perfis das temperaturas ambientes influenciam a quantidade de calor armazenado em períodos de 24 horas por um dado elemento armazenador, homogéneo ou não.

2 - CÁLCULO DA QUANTIDADE DE CALOR ARMAZENADO DIARIAMENTE

No modelo matemático desenvolvido para o cálculo da quantidade de calor armazenado em períodos de 24 horas pelos diversos elementos construtivos pertencentes a um edifício, deu-se especial realce aos elementos não homogéneos e em particular às paredes de tijolo furado e às lajes aligeiradas, muito comuns na construção civil portuguesa e que têm sido deficientemente caracterizados.

O processo de armazenamento de calor num qualquer elemento construtivo é um fenómeno tridimensional que pode ser descrito pela equação fundamental da condução de calor:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} \quad (1)$$

Contudo, o fenómeno pode, com erros controlados, considerar-se bidimensional se for observado o seguinte conjunto de condições:

- elementos homogéneos ou constituídos por diferentes camadas homogéneas.
- as propriedades térmicas dos materiais que constituem os elementos não variam com a temperatura.
- não existem fontes de calor no interior dos elementos.
- não há condensações e infiltrações de humidade em todo o elemento.
- as condições de fronteira são simétricas.

Nestas circunstâncias o armazenamento de calor é descrito pela equação:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial \tau} = k_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (2)$$

As paredes de tijolo e as lajes aligeiradas às quais se pretende dar um realce especial, não são homogéneas e, devido aos espaços de ar existentes no interior dos blocos cerâmicos, a transferência de calor através destes é um fenómeno algo complexo. No modelo matemático utilizado e devidamente validado [1], a radiação e a convecção natural nos espaços de ar foram tidas em conta através da definição de um coeficiente de condutibilidade térmica equivalente, estando-se, assim em condições de se poder aplicar a equação (2).

Para resolver a equação (2) em toda a sua generalidade, principalmente no que se refere à definição das condições de fronteira, foi necessário recorrer a um método numérico. O método escolhido foi o método de diferenças finitas do tipo implícito-explicito, A.D.I. (Alternating Direction Implicit), dado tratar-se de um método preciso e que não apresenta problemas de convergência [2].

Para aplicar este método numérico, a equação (2) é discretizada num domínio de integração definido pelas duas superfícies em contacto com o ar ambiente e por dois planos de simetria, dada a simetria das condições de fronteira [1], como se pode ver na figura 1.

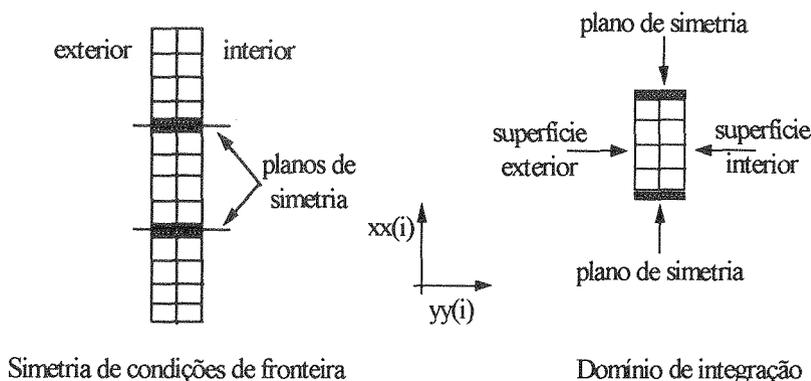


Figura 1 - Definição do domínio de integração.

O domínio de integração é dividido em nós através de uma grelha de dimensões variáveis, sendo passível de ser ajustado a qualquer tipo de tijolo de geometria rectangular e a qualquer tipo de elemento armazenador.

A cada nó é associada uma capacidade térmica que é igual ao produto da sua massa pelo calor específico, sendo, para os nós correntes, dada por:

$$RC_{i,j} = (\rho c_p \Delta x \Delta y)_{i,j} = \frac{1}{4} \left[(\rho_1 c_{p1} \Delta x^- \Delta y^+) + (\rho_2 c_{p2} \Delta x^+ \Delta y^+) + (\rho_3 c_{p3} \Delta x^+ \Delta y^-) + (\rho_4 c_{p4} \Delta x^- \Delta y^-) \right] \quad (3)$$

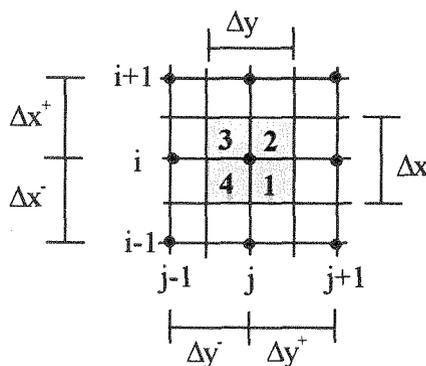


Figura 2 - Definição da capacidade térmica efectiva.

A condutibilidade térmica entre nós adjacentes é calculada como sendo a média ponderada das condutibilidades térmicas dos materiais aos quais pertencem os nós. Assim, a condutibilidade térmica entre dois nós consecutivos é dada por:

entre o nó i,j e o nó $i,j+1$:

$$k_y^+ = \frac{k_1 \Delta x^- + k_2 \Delta x^+}{\Delta x^+ + \Delta x^-}$$

entre o nó i,j e o nó $i,j-1$:

$$k_y^- = \frac{k_3 \Delta x^+ + k_4 \Delta x^-}{\Delta x^+ + \Delta x^-}$$

entre o nó i,j e o nó $i+1,j$:

$$k_x^+ = \frac{k_2 \Delta y^+ + k_3 \Delta y^-}{\Delta y^+ + \Delta y^-}$$

entre o nó i,j e o nó $i-1,j$:

$$k_x^- = \frac{k_1 \Delta y^+ + k_4 \Delta y^-}{\Delta y^+ + \Delta y^-}$$

(4)

Devido à sua localização, há nós que não correspondem à situação descrita e que, por esse motivo, necessitam de um tratamento especial. Estão nesta situação, os nós pertencentes ao contorno do domínio de integração, os nós interiores do tijolo em contacto com o ar nos alvéolos (onde é necessário entrar em linha de conta com fenómenos de radiação e convecção natural) e os nós pertencentes ao contorno da caixa de ar nas paredes duplas.

As fronteiras superior e inferior, devido à simetria das condições de fronteira, podem ser consideradas adiabáticas, sendo $k_x^- = 0$ e $k_x^+ = 0$. Para os nós pertencentes às fronteiras exterior e interior, bem como, no caso de paredes duplas, os nós em contacto com a caixa de ar, é necessário substituir os termos que contêm k_y^+ e k_y^- por outros que entrem em consideração com a convecção, a radiação de grande comprimento de onda e a radiação solar (quando for o caso).

Para os nós interiores em contacto com o ar nos alvéolos do tijolo, dada a complexidade dos fenómenos de transferência de calor, aliada à sua complicada geometria, optou-se pela definição de um coeficiente de condutibilidade térmica equivalente que traduzisse os efeitos da radiação e convecção natural no interior desses espaços [1].

Uma vez definidos os coeficientes de condutibilidade térmica em todos os nós, é possível determinar a evolução instacionária da temperatura aplicando o método ADI [2]. As temperaturas são obtidas para todos os nós do domínio de integração, e a intervalos de tempo definidos. Com estas temperaturas é, então, possível determinar os fluxos de calor que atravessam cada uma das superfícies do elemento em contacto com o ar ambiente. Conhecidas as temperaturas é também possível a quantificação da quantidade de calor que cada elemento consegue armazenar durante um certo período de tempo. Assim, para cada instante, a quantidade total de energia armazenada por um elemento em relação a uma dada temperatura de referência é dada por:

$$Q_{ARM} = \sum_{i=1}^{NTX} \sum_{j=1}^{NTY} (RC_{i,j} T_{i,j}) \quad (5)$$

em que $RC_{i,j}$, $T_{i,j}$, NTX e NTY representam respectivamente, a capacidade térmica efectiva, a temperatura associada a cada nó, o número total de nós na direcção x e o número total de nós na direcção y .

Para o cálculo da quantidade de calor armazenado em períodos de 24 horas, cada elemento armazenador foi submetido a perfis típicos diários de temperaturas ambientes e de radiação solar incidente. No que se refere às temperaturas ambientes, optou-se por submeter o elemento armazenador a variações sinusoidais em ambas as suas faces dado o harmónico

natural de 24 horas das solicitações exteriores. Como o calor armazenado tem uma evolução que acompanha o andamento das temperaturas ambientes com as quais está em contacto, uma vez submetido o elemento às referidas solicitações, e uma vez atingido o regime permanente, é possível determinar o calor armazenado num período de 24 horas por um dado elemento, bastando para isso fazer a diferença entre os valores máximo e mínimo do calor armazenado durante esse período, como se pode ver na figura 3.

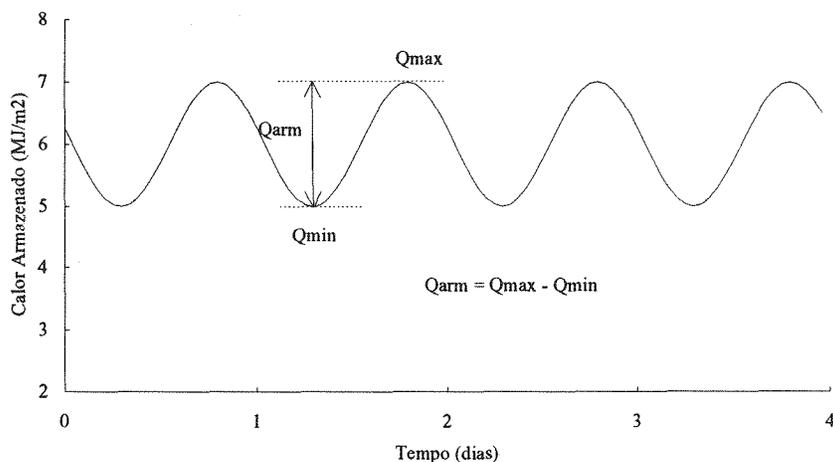


Figura 3 - Calor armazenado num período de 24 horas.

3 - SOLICITAÇÕES EXTERIORES

De modo a determinar as relações matemáticas existentes entre o calor armazenado e os parâmetros que o influenciam, é necessário definir os perfis de variação das temperaturas ambientes e da radiação solar incidente que tipificam as solicitações a que normalmente ficam submetidos os elementos armazenadores.

A radiação solar é um parâmetro variável e, por isso, difícil de relacionar com o calor armazenado. A intensidade da radiação solar incidente é diferente conforme o local, a hora do dia ou a época do ano considerada. Além disso, o total da radiação incidente num elemento armazenador depende do intervalo de tempo em que há incidência sobre esse elemento, o que, consequentemente, terá efeitos diferentes na quantidade de calor por ele armazenada. Para obviar a este problema, o calor armazenado foi relacionado não com o valor da intensidade da radiação solar incidente mas sim com o total de energia incidente sobre o elemento ao longo de um dia. Assim, o valor da radiação solar incidente é integrado para o intervalo de tempo em que o elemento está sob a acção directa da radiação solar, e este valor global da energia total que sobre ele incide, R_i , é, então, relacionado com o calor armazenado.

No que se refere às temperaturas ambientes, cada face do elemento é submetida a um perfil médio diário típico. Estes perfis foram gerados com base em alguns parâmetros característicos da temperatura, nomeadamente a temperatura média (T_{med}), a temperatura máxima (T_{max}), a temperatura mínima (T_{min}), a amplitude térmica (ΔT) e as horas de ocorrência das temperaturas máxima e mínima ($H_{T_{max}}$ e $H_{T_{min}}$ respectivamente). Adoptou-se

o método recomendado pelo LNEC/INMG [3] onde o perfil médio de temperaturas é constituído por três ramos sinusoidais:

$$T(t) = T_{med} + \frac{\Delta T}{2} \cos \left[\frac{180}{24 - H_{Tmax} + H_{Tmin}} (t - H_{Tmax}) \right] \quad 0h \leq t \leq H_{Tmin} \quad (6)$$

$$T(t) = T_{med} - \frac{\Delta T}{2} \cos \left[\frac{180}{H_{Tmax} - H_{Tmin}} (t - H_{Tmin}) \right] \quad H_{Tmin} \leq t \leq H_{Tmax} \quad (7)$$

$$T(t) = T_{med} + \frac{\Delta T}{2} \cos \left[\frac{180}{24 - H_{Tmax} + H_{Tmin}} (t - H_{Tmax}) \right] \quad H_{Tmax} \leq t \leq 24h \quad (8)$$

O parâmetro Q_{ARM} , foi relacionado com o parâmetro ΔT , único que de facto tem alguma influência, uma vez que a quantidade de calor que cada elemento armazena está relacionada com as flutuações de temperatura sofridas pela sua massa e não com o valor absoluto dessas temperaturas.

4 - CALOR ARMAZENADO EM VÁRIOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

A quantificação da quantidade de calor armazenada foi feita para vários elementos construtivos, os mais típicos das construções portuguesas, de modo a cobrir as várias situações possíveis no que se refere ao tipo de material, à sua espessura ou ao tipo de elemento: interior, exterior, simples, composto, isolado, não isolado, homogéneo, maciço, etc.

Os elementos construtivos foram divididos em dois grupos, de acordo com a sua localização no edifício:

- elementos interiores - com ou sem simetria de condições de fronteira no que se refere aos perfis de temperaturas ambientes nas duas faces dos elementos.

- elementos da envolvente interior ou exterior - considerando-se neste caso os elementos isolados pela superfície exterior ou com isolamento aplicado na caixa de ar. Os elementos exteriores sem isolamento não foram considerados porque esta prática construtiva tende a desaparecer rapidamente, dado os níveis de exigência impostos pela legislação em vigor [4].

Para o estabelecimento das correlações entre os três parâmetros em jogo, dividiu-se o estudo em três partes. Primeiro analisou-se a variação do calor armazenado, Q_{ARM} , com a variação da amplitude térmica diária, ΔT . Em seguida, estudou-se a variação do calor armazenado com a radiação solar incidente, R_i . Por último, relacionaram-se estes três factores em simultâneo.

Para relacionar o calor armazenado com o ΔT , para cada valor de energia total incidente no elemento armazenador, fez-se variar este parâmetro entre 2° C e 12° C. Em todas as situações e para todos os elementos estudados, verificou-se uma relação linear entre estes dois parâmetros, qualquer que seja o valor da energia total incidente. Quanto maior for a amplitude térmica sofrida pelo elemento maior é a quantidade de calor por ele armazenada.

Esta situação pode ver-se a título exemplificativo na figura 4, para uma parede de tijolo furado de 11 cm de espessura.

Para analisar a variação do calor armazenado com a radiação solar incidente, fixou-se o valor da amplitude térmica e fez-se variar o valor daquele parâmetro. A título de exemplo, pode ver-se nas figuras 4 e 5 a variação do calor armazenado com o aumento da amplitude térmica, para vários valores de R_i , para a mesma parede de tijolo furado de 11 cm de espessura, e a variação do valor calor armazenado com a energia solar incidente para uma amplitude térmica de 4°C .

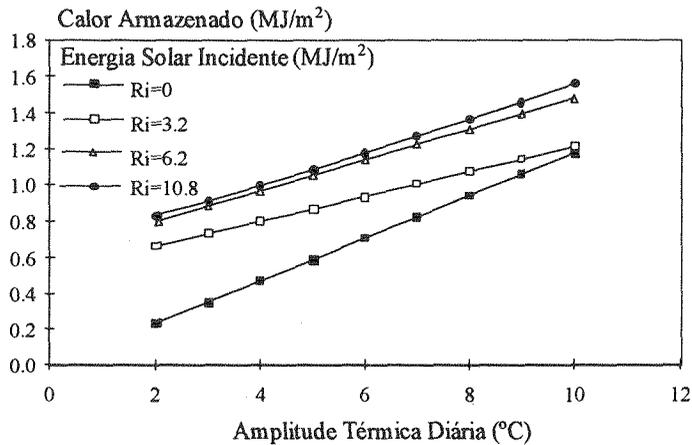


Figura 4 - Variação do calor armazenado com a amplitude térmica diária e com a energia solar incidente para uma parede de tijolo de 11 cm de espessura.

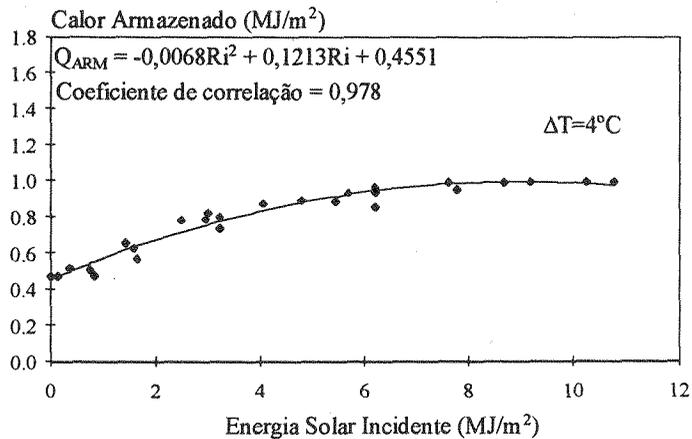


Figura 5 - Variação do calor armazenado com a energia solar incidente, para uma amplitude térmica de 4°C , para uma parede de tijolo de 11 cm de espessura.

Nos elementos não homogêneos, e mesmo em alguns elementos constituídos por materiais homogêneos mas com pouca massa, a relação entre o calor armazenado e a energia solar incidente, como se pode ver na figura 5, não é linear. Os valores obtidos mostram que a função quadrática se ajusta bem aos dados obtidos por simulação. Para os vários elementos simulados obtiveram-se as dependências de Q_{ARM} com R_i para vários valores de ΔT . As dependências são então do tipo:

$$Q_{ARM} = aR_i^2 + bR_i + c \quad (9)$$

A equação que permite relacionar simultaneamente as três variáveis, Q_{ARM} com ΔT e R_i , foi obtida, após se verificar que os valores das constantes a , b , c da equação (9) variavam linearmente com ΔT , como se pode ver, a título de exemplo, na figura 6.

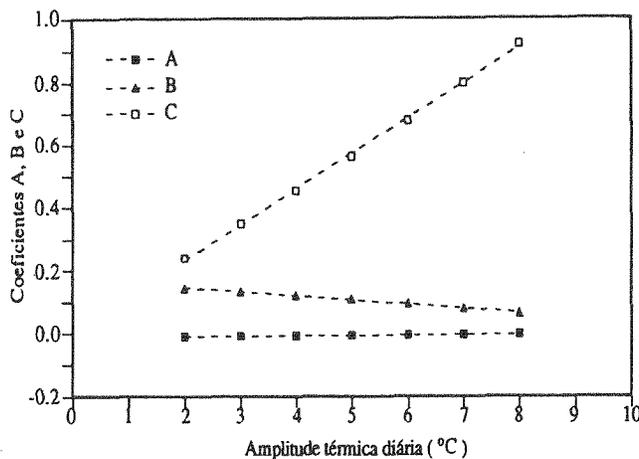


Figura 6 - Coeficientes a , b e c da equação (8).

Assim, a equação que permite relacionar simultaneamente as três variáveis é do tipo:

$$Q_{ARM} = A\Delta TR_i^2 + BR_i^2 + C\Delta TR_i + DR_i + E\Delta T + F \quad (10)$$

onde os coeficientes A , B , ..., F são obtidos recorrendo-se a um programa de correlação multivariável.

A figura 7 mostra, para a mesma parede de tijolo de 11 cm de espessura, a variação do calor armazenado com a energia solar incidente, para vários valores da amplitude térmica diária, e a equação que permite calcular o Q_{ARM} .

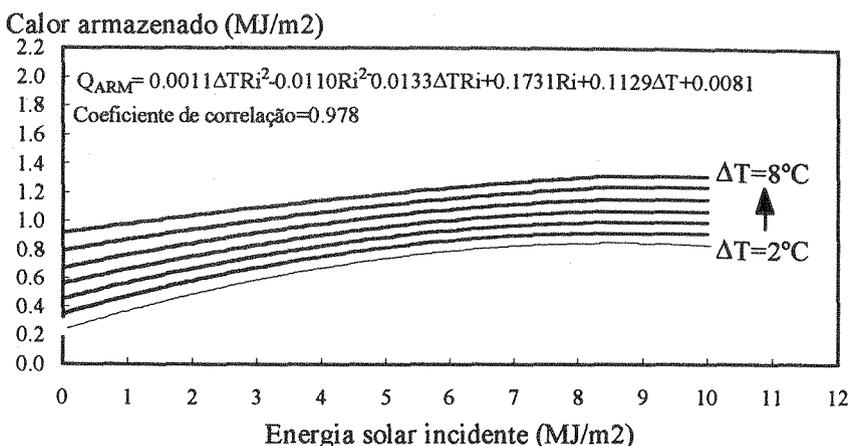


Figura 7 - Calor armazenado por uma parede de tijolo de 11 cm de espessura em função da amplitude térmica diária e da energia solar incidente.

5 - RESULTADOS OBTIDOS

A metodologia aqui sucintamente exposta, foi aplicada a alguns dos elementos construtivos mais comuns nos edifícios portugueses. As correlações entre os três parâmetros em causa foram obtidas para os elementos construtivos correntes que constam em tabelas do LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) [5,6].

A tabela 1 apresenta os valores dos coeficientes A, B, ..., F da equação (10) para alguns elementos construtivos considerados mais representativos. Outros valores podem ser encontrados nas referências [1,7]. No estudo efectuado foram usados valores de referência para as propriedades termofísicas dos materiais [4,8]. Consideraram-se as geometrias e as dimensões mais usuais para os vários materiais [1,3], tendo-se considerado, ainda, rebocos de cor clara (coeficientes de absorção solar de 0,35) e no caso de revestimentos de piso em madeira foi igualmente considerada madeira de cor clara (coeficientes de absorção solar de 0,60).

Tabela 1 - Coeficientes A, B, ..., F da equação (10) que permitem calcular o calor armazenado por vários elementos construtivos.

Elemento construtivo: paredes interiores	A	B	C	D	E	F
Parede de tijolo de 11 cm, faces revestidas com 1.5 cm de reboco	0.0011	-0.0110	-0.0133	0.1731	0.1129	0.0081
Parede de tijolo de 11 cm, faces revestidas com 1 cm de reboco e 0.5 cm de estuque tradicional	0.0010	-0.0083	-0.0118	0.1323	0.1047	0.0070
Parede de tijolo de 7 cm de espessura, faces revestidas com 1.5 cm de reboco	0.0008	-0.0102	-0.0098	0.1553	0.0979	0.0381
Parede de tijolo de 15 cm de espessura, faces revestidas com 1.5 cm de reboco	0.0015	-0.0113	-0.0186	0.1899	0.1340	-0.0284
Parede de blocos maciços de betão normal de 7 cm de espessura, faces revestidas com 1.5 cm de reboco	0.0018	-0.0136	-0.0222	0.2284	0.1586	-0.0550
Parede de blocos maciços de betão celular autoclavado de 10 cm espessura, faces com 0.5 cm de estuque projectado	0.0005	-0.0061	-0.0063	0.0949	0.0612	0.0287
Parede de blocos maciços de betão celular autoclavado de 15 cm espessura, faces com 0.5 cm de estuque projectado	0.0009	-0.0067	-0.0117	0.1148	0.0827	-0.0131
Parede de blocos de betão leve de 15 cm de espessura, faces revestidas com 1.5 cm de reboco	0.0010	-0.0095	-0.0122	0.1548	0.1005	0.0116

Tabela 1 (continuação)	A	B	C	D	E	F
Parede de blocos de betão normal de 10 cm de espessura, faces revestidas com 1.5 cm de reboco	0.0014	-0.0127	-0.0175	0.2072	0.1363	-0.0208
Lajes interiores de blocos e vigotas de betão						
blocos cerâmicos de 22x12 cm, 3 cm betão. Revestimentos: de tecto-1cm reboco, de piso: ladrilho cerâmico com 1 cm	0.0039	-0.0250	-0.0436	0.3877	0.2463	-0.1614
blocos cerâmicos de 22x12 cm, 3 cm betão. Revestimentos: de tecto-1cm reboco, de piso: madeira com 2 cm	0.0036	-0.0235	-0.0412	0.3950	0.2035	-0.1644
blocos cerâmicos de 30x12 cm, 3cm betão. Revestimentos: de tecto-1cm reboco, de piso: ladrilho cerâmico com 1 cm	0.0039	-0.0262	-0.0419	0.3811	0.2196	-0.1548
blocos cerâmicos de 30x12 cm, 3cm betão. Revestimentos: de tecto-1cm reboco, de piso: madeira com 2 cm	0.0034	-0.0231	-0.3779	0.3774	0.1790	-0.1493
blocos cerâmicos de 38x16 cm, 3cm betão. Revestimentos: de tecto-1cm reboco, de piso: ladrilho cerâmico com 1 cm	0.0036	-0.0235	-0.0395	0.3548	0.2048	-0.1493
blocos cerâmicos de 38x16 cm, 3 cm betão. Revestimentos: de tecto-1cm reboco, de piso: madeira com 2 cm	0.0031	-0.0208	-0.0346	0.3549	0.1621	-0.1434
blocos de betão leve de 22x12 cm, 3cm betão. Revestimentos: de tecto-1cm de reboco, de piso -1cm de ladrilho cerâmico	0.0043	-0.0277	-0.0480	0.4189	0.2607	-0.1790
blocos de betão leve de 38x12 cm, 3cm betão. Revestimentos: de tecto-1cm de reboco, de piso - 1cm de ladrilho cerâmico	0.0036	-0.0255	-0.0380	0.3621	0.1975	-0.1351
blocos de betão leve de 38x12 cm, 3cm betão. Revestimentos: de tecto-1cm de reboco, de piso 2 cm de madeira	0.0032	-0.0227	-0.0348	0.3627	0.1610	-0.1384
blocos de betão leve de 30x16 cm, 3cm betão. Revestimentos: de tecto-1cm de reboco, de piso-1cm de ladrilho cerâmico	0.0037	-0.0236	-0.0418	0.3661	0.2267	-0.1577
blocos de betão leve de 30x16 cm, 3cm betão. Revestimentos: de tecto-1cm de reboco, de piso-2cm de madeira	0.0031	-0.0206	-0.0364	0.3632	0.1805	-0.1538
blocos de betão normal de 38x12 cm, 3cm betão. Revestimentos: de tecto-1cm de reboco, de piso-1cm de ladrilho cerâmico	0.0034	-0.0249	-0.0356	0.3510	0.1898	-0.1272
blocos de betão normal de 38x12 cm, 3cm betão. Revestimentos: de tecto-1cm de reboco, de piso-2cm de madeira	0.0026	-0.0206	-0.0276	0.3308	0.1216	-0.0044
Lajes de pavimento da envolvente, de blocos e vigotas de betão, isoladas pelo exterior com 4 cm de poliestireno expandido.						
blocos cerâmicos de 22x16 cm, 3 cm betão. Revestimentos: de tecto-1cm reboco, de piso: ladrilho cerâmico com 1 cm	0.0033	-0.0230	-0.0375	0.3956	0.1621	0.0328
blocos cerâmicos de 22x16 cm, 3 cm betão. Revestimentos: de tecto-1cm reboco, de piso: 2 cm de madeira	0.0024	-0.0213	-0.0269	0.3889	0.0978	0.0437
blocos cerâmicos de 22x16 cm, duplo, 3 cm betão. Revestimentos: de tecto-1cm reboco, de piso: ladrilho cerâmico com 1 cm	0.0039	-0.0267	-0.0471	0.4973	0.2173	0.0325
blocos cerâmicos de 22x16 cm, duplo, 3 cm betão. Revestimentos: de tecto-1cm reboco, de piso: 2 cm de madeira	0.0031	-0.0267	-0.0353	0.4984	0.1292	0.0460
Lajes da envolvente, de cobertura, de blocos e vigotas de betão, isoladas pelo exterior com 4 cm de poliestireno expandido.						
blocos cerâmicos de 22x12cm, 3 cm betão. Revestimento inferior: 1cm reboco	-	-	-	-	0.1242	0.1114
blocos cerâmicos de 30x12cm, 3 cm betão. Revestimento inferior: 1cm reboco	-	-	-	-	0.1051	0.1040
blocos cerâmicos de 38x12cm, 3 cm betão. Revestimento inferior: 1cm reboco	-	-	-	-	0.0871	0.0958
Pano interior de parede dupla, com 4 cm de poliestireno expandido						
Parede de tijolo furado de 11 cm de espessura, face interior revestida com 1.5 cm de reboco	0.0008	-0.0099	0.1788	0.0633	0.0633	0.0521
Parede de tijolo furado de 15 cm de espessura, face interior revestida com 1.5 cm de reboco	0.0010	-0.0098	-0.0120	0.1825	0.0679	0.0347
Parede de blocos furados de betão normal de 10 cm de espessura, face interior revestida com 1,5 cm de reboco	0.0011	-0.0116	-0.0138	0.2162	0.0804	0.0188
Parede de blocos furados de betão normal de 15 cm de espessura, face interior revestida com 1.5 cm de reboco	0.0005	-0.0083	-0.0065	0.1435	0.0464	0.0724
Paredes exteriores simples isoladas pelo exterior						
Parede de tijolo furado de 22 cm de espessura, faces revestidas com 1.5 cm de reboco. Radiação solar na face interior.	0.0011	-0.0094	-0.0133	0.1811	0.0688	0.0773
Parede de tijolo furado de 22 cm de espessura, faces revestidas com 1.5 cm de reboco. Radiação solar na face exterior.	-	-	-0.0001	0.0032	0.0687	0.1203
Parede de blocos maciços de betão normal de 20 cm de espessura, faces revestidas com 1.5 cm de reboco. Radiação na face interior.	-	-	-0.0084	0.1629	0.1289	0.0225
Parede de blocos maciços de betão normal de 20 cm de espessura, faces revestidas com 1.5 cm de reboco. Radiação na face exterior.	-	-	-0.0005	0.0056	0.1390	-0.0051

Estes valores podem ser usados para quantificar a quantidade de calor armazenada diariamente pelos diversos elementos construtivos. Este parâmetro pode ser posteriormente utilizado num programa de simulação térmica de edifícios [1,9,10] que permite, de um modo simples, quantificar a inércia de um espaço fechado e, ao mesmo tempo, fazer a previsão da evolução horária da temperatura ambiente desse espaço.

6 - CONCLUSÕES

Demonstrou-se a importância decisiva da radiação solar incidente e da amplitude térmica interior na capacidade de armazenamento térmico efectivo dos elementos construtivos dos edifícios. Mostrou-se como é possível quantificar esta capacidade de forma expedita, de modo a permitir a simulação térmica de edifícios em regime de temperatura flutuante, ficando assim disponível uma ferramenta útil para o projecto.

REFERÊNCIAS

- [1] M. Guedes de Almeida; "Simulação Térmica de Edifícios com um Modelo Numérico de Capacidade Térmica Variável". Dissertação apresentada à F.E.U.P. para obtenção do grau de Doutora em Engenharia Mecânica, Porto, 1994.
- [2] D. W. Peaceman, H. Rachford; "The Numerical Solution of Parabolic and Elliptic Differential Equations". Journal of S.I.A.M., vol. 3, pp.28-41, 1955.
- [3] Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG) / Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) - Temperaturas Exteriores de Projecto e Números de Graus-Dia. Lisboa, INMG/LNEC, 1989.
- [4] "Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios". Decreto-Lei nº 40/90 de 6 de Fevereiro, 1990.
- [5] Pina dos Santos, Vasconcelos Paiva. "Caracterização Térmica de Paredes de Alvenaria". LNEC, Lisboa, 1986.
- [6] Pina dos Santos, Vasconcelos Paiva. "Caracterização Térmica de Pavimentos Pré-Fabricados". LNEC, Lisboa, 1986.
- [7] Valdemar Garcia; "Caracterização da Inércia Térmica de Elementos Construtivos Portugueses". Dissertação apresentada à Escola de Ciências da Universidade do Minho para obtenção do grau de Mestre em Ciências do Ambiente, Braga, 1996.
- [8] Pina dos Santos, Vasconcelos Paiva. "Coeficientes de Transmissão térmica de Elementos da Envolvente de Edifícios". ITE 28, LNEC, Lisboa, 1990.
- [9] M. Guedes de Almeida, E. Maldonado; "Modelo de Simulação Térmica de Edifícios baseado no Conceito de Capacidade Térmica Variável". Proc. VIII Congresso Ibérico de Energia Solar, SPES - ISES, pp. 265-270, Porto, 1997.
- [10] M. Guedes de Almeida, E. Maldonado; "Simulação Térmica de Edifícios baseada num Modelo de Capacidade Térmica Variável". Revista do Departamento de Engenharia Civil da U.M., nº 2, pp. 29-44, 1995.

Agradecimento: Agradece-se à JNICT (Junta Nacional de Investigação Científica) o financiamento do Projecto PBIC/C/CEG/2418/95 no âmbito do qual foi parcialmente realizado este trabalho.