

Sistemas solares passivos

EDUARDO MALDONADO

Dep. Eng. Mecânica, Faculdade de Engenharia do Porto

Introdução

Quando, entre nós, se fala de um edifício solar, o comum é pensar-se imediatamente em colectores solares planos do tipo dos usados para aquecimento de água. Há, no entanto, uma outra perspectiva, que já é a predominante noutros países: um edifício solar é um edifício concebido por forma a ter no seu interior condições ambientais mais confortáveis, quer no Inverno, quer no Verão, sem grande recurso a fontes convencionais de energia. Estes edifícios, geralmente caracterizados por generosas áreas envidraçadas voltadas a Sul, são habitualmente designados por edifícios solares passivos.

Estes edifícios são designados «passivos» porque captam a energia no Inverno e não a deixam entrar no Verão sem recurso a meios exteriores consumidores de energia convencional, p.ex., electricidade. Em contraste, um sistema activo, por exemplo um colector plano para aquecimento de água, necessita de uma ligação eléctrica para fazer funcionar a bomba circuladora, sem o que não conseguem captar a energia solar.

Também há sistemas de colectores planos para aquecimento de águas que não necessitam de bomba circuladora: são os sistemas em termossifão, caracterizados por terem um depósito colocado a um nível superior aos dos colectores. Estes sistemas também são, portanto, passivos.

A seguir, após se estabelecer uma definição mais formal do que se entende por sistemas solares passivos, enunciam-se os princípios básicos de funcionamento destes sistemas e as suas principais modalidades construtivas.

Definição de sistemas solares passivos

Define-se um sistema solar passivo como aquele em que toda a energia térmica é transferida por meios naturais, isto é, por radiação,

condução e convecção natural. Pelo contrário, num sistema activo, recorre-se a meios artificiais de transferência, nomeadamente à convecção forçada de fluidos por meio de bombas ou ventiladores. Embora a definição de sistemas passivos exija que toda a transferência de energia se processe de um modo natural, admitem-se pequenas contribuições energéticas estranhas ao sistema tendentes à melhoria dos seus resultados, necessários, por exemplo, ao accionamento de dispositivos de controle, de sombreamento ou de isolamento nocturno. Contudo, para limitar a contribuição energética destes sistemas auxiliares, os quais podem ser de natureza manual ou automática, é costume admitir que um sistema passivo é aquele em que a contribuição de energia auxiliar não excede 2 % da energia útil captada pelo sistema. Por outras palavras, num sistema passivo, o «coeficiente de performance» (COP), que se define como o quociente entre a energia útil captada pelo sistema e a energia externa que é necessário fornecer ao sistema para que essa captação tenha lugar, deve ser maior que 50.

Princípio de funcionamento dos sistemas solares passivos

A captação de energia solar a baixa temperatura, seja para aquecimento ambiente através de sistemas solares passivos, seja para aquecimento de água ou ar em colectores planos, baseia-se num mesmo princípio: o efeito de estufa.

A base do efeito de estufa são as propriedades do vidro em relação à transparência da radiação: o vidro é basicamente transparente (cerca de 90 %) aos comprimentos de onda característicos da radiação solar (0 – 4 μm) enquanto é praticamente opaco aos comprimentos de onda característicos da radiação

emitida por corpos a temperatura no intervalo 0 – 100°C ($\lambda > 4 \mu\text{m}$) – ver Fig. 1.

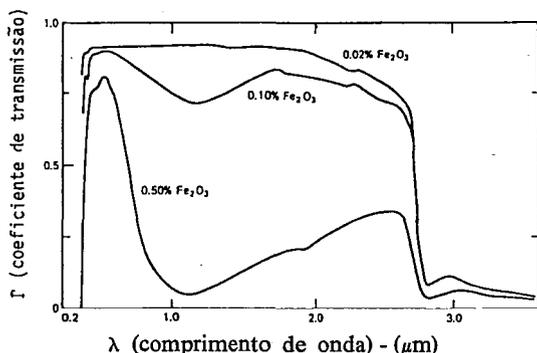


Fig. 1 — Transparência do vidro à radiação.

Assim, num espaço fechado coberto por uma placa de vidro, a radiação solar, (pequenos comprimentos de onda), penetra através do vidro e é absorvida pelas superfícies que limitam o espaço. Estas, por sua vez, também emitem radiação, mas de maiores comprimentos de onda, na gama dos infravermelhos, para a qual o vidro é praticamente opaco (ver Fig. 1). Esta radiação é então absorvida pelo vidro e, embora parte da energia absorvida pelo vidro ainda seja perdida para o exterior por condução através do vidro, uma porção significativa da mesma radiação é re-emitada para o interior do espaço. Desta forma, o espaço aquece devido ao balanço positivo do fluxo energético.

O efeito de estufa pode ser intensificado reduzindo as perdas para o ambiente. As formas mais comuns são o aumento do número de placas de vidro que envolvem o espaço e o recurso a superfícies selectivas.

A utilização de vidro duplo (ou mesmo triplo) actua por redução da fracção da radiação infravermelha emitida pelas superfícies que se escapa por condução através da envolvente. Isto deve-se à dupla barreira, opaca à radiação infravermelha, que é interposta entre o ambiente e as superfícies quentes. Esta dupla barreira reduz também a energia solar que entra no espaço, mas o balanço é ainda bastante favorável ao vidro duplo.

Uma superfície selectiva é aquela cuja emissividade espectral é alta para os baixos comprimentos de onda característicos da radia-

ção solar e é baixa para a radiação infravermelha. Se se admitir que a superfície é difusa, o coeficiente de absorção espectral, pela lei de Kirchoff, segue comportamento igual. Assim, enquanto uma tal superfície pode absorver 90 % ou mesmo mais da radiação solar incidente, poderá só emitir cerca de 10 % da radiação correspondente a um corpo negro à sua temperatura. Para uma superfície não selectiva, a emissão de radiação seria da mesma ordem de grandeza (90 %) da captação, resultando assim a selectividade da superfície numa redução acentuada de perdas para o exterior.

Este tipo de superfícies selectivas é frequentemente utilizado em colectores solares para aquecimento de águas, por exemplo.

Finalmente, deve notar-se que o tipo de vidro utilizado é importante no efeito de estufa. Como se pode ver na Fig. 1, a selectividade do vidro à radiação é tanto maior quanto menor for o seu teor em Fe_2O_3 . Para que o vidro seja transparente à radiação solar, interessa usar vidro com pequena percentagem deste óxido de ferro, cuja presença se reconhece pelo tom esverdeado da fractura do vidro. Daí que, nos melhores colectores solares, seja utilizado vidro claro, de fractura branca. Este tipo de vidro tem menor resistência mecânica, necessitando de ser temperado para se obter uma vida aceitável, pelo que tem um preço superior ao do vidro comum.

Sistemas em termosifão para aquecimento de água

Num sistema passivo para aquecimento de água (Fig. 2), a circulação desta é estabelecida naturalmente pelo aquecimento no colector. Devido à diferença de massa volúmica entre o fluido quente e o frio, cria-se uma diferença de pressões nos dois ramos do circuito que é compensada pelas perdas de carga (atrito entre a água e os tubos) resultantes da circulação.

Como o fluido quente só pode subir, o depósito de acumulação tem de estar necessariamente colocado a um nível superior ao do colector. A diferença de níveis necessária depende do diâmetro dos tubos utilizados, já

que as perdas de carga são tanto maiores quanto menor for o tamanho dos tubos. À medida que as perdas de carga aumentam, a diferença de níveis tem também de aumentar para intensificar correspondentemente a diferença de peso das duas colunas de água (ramo frio e ramo quente).

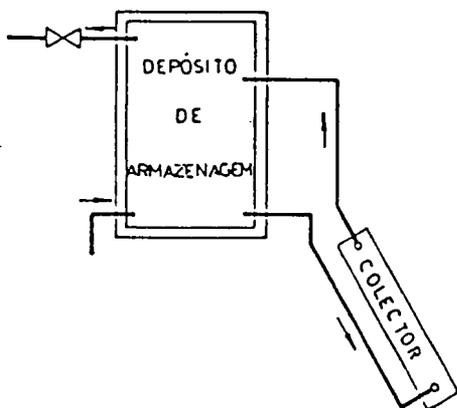


Fig. 2 — Circuito em termosifão.

Estes sistemas têm um bom rendimento mas, para além das consequências estéticas, nem sempre agradáveis, derivadas da localização do depósito no ponto mais alto do sistema, põem problemas de utilização nos locais onde haja perigo frequente de congelamento. Deve notar-se que o congelamento pode mesmo dar-se para temperaturas ambientais superiores a 0°C devido à radiação para a atmosfera. Em noites claras com pouco vento, esta radiação pode fazer congelar a água num coletor quando o ar ambiente está a 4°C–6°C.

A protecção contra congelamento implica o aquecimento do coletor (com resistências eléctricas, p.ex.), e se este for frequentemente necessário, o sistema deixa de ser rentável em termos energéticos. Outras soluções existem (recurso a fluido anticongelante, p.ex.), mas são pouco indicadas para circuitos em termosifão por implicarem elevadas perdas de carga.

Uma última palavra para o cuidado que é necessário tomar no sentido de evitar a circulação de água durante a noite. Devido à radiação nocturna atrás referida, há o perigo de provocar o arrefecimento da água no coletor e,

pelo mesmo processo de equilíbrio que funciona durante o dia, fazer circular água entre o coletor e o depósito no sentido inverso do estabelecido durante o dia, durante o aquecimento da água. Para que a água não arrefeça por esta causa, é conveniente colocar no circuito uma válvula anti-retorno que só permita a circulação do fluido no sentido correcto, durante o período diurno. Esta válvula tem de implicar uma pequena perda de carga sob pena de prejudicar substancialmente o comportamento térmico do sistema.

Descrição dos sistemas solares passivos para controle de temperatura em edifícios

Antes de descrever os sistemas individualmente, e na procura de uma terminologia que permita um diálogo fácil e preciso, convém definir os grupos-tipo em que estes sistemas são geralmente classificados:

- sistemas de ganho directo
- sistemas de ganho indirecto
- sistemas de ganho separado

Como o próprio nome indica, um sistema de *ganho directo* é aquele em que a captação e a utilização da energia se fazem no mesmo espaço. Nos restantes dois tipos de sistemas, a captação e a utilização têm lugar em espaços distintos, os quais, num sistema de *ganho indirecto*, são fisicamente contíguos e estão em comunicação mútua através de uma massa de armazenamento térmico, enquanto que, num sistema de *ganho separado*, estão termicamente isolados um do outro e podem não estar fisicamente contíguos.

Dentro dos sistemas de ganho indirecto considerar-se-ão as paredes de armazenamento térmico, as coberturas de armazenamento térmico e as estufas contíguas. O único sistema de ganho separado que é comum encontrar é o dos sistemas de convecção por termosifão.

Sistemas de ganho directo

Um sistema de ganho directo está esquematicamente representado na Fig. 3a. Nestes

sistemas, a radiação solar entra no espaço a aquecer através duma zona envidraçada preferencialmente exposta a Sul, embora pequenos desvios para Este ou Oeste (15°) não afectem significativamente os resultados do sistema. A envolvente dos espaços é constituída por paredes maciças (tijolo, betão, água em contentores, etc.) cuja superfície, preferencialmente baça e, portanto, difusa no seu comportamento à radiação, absorva a maior parte da radiação incidente graças às múltiplas reflexões que esta sofre no interior do espaço. A energia solar que é absorvida nas superfícies envolventes do local propaga-se para o espaço a aquecer através de vários mecanismos:

- por condução, através das paredes envolventes, para zonas a menor temperatura;
- por convecção natural, para o ar contido no espaço através do contacto deste com a superfície aquecida;
- por radiação (grandes comprimentos de onda), entre diferentes zonas da envolvente a temperaturas distintas.

A energia solar captada no espaço é perdida para o exterior por condução através da envolvente, devendo distinguir-se duas zonas quanto às perdas: a zona opaca e a zona envidraçada. Esta tem uma resistência global à transferência de calor significativamente menor que as zonas opacas da envolvente, mesmo quando se usa vidro duplo. Devido a essa menor resistência térmica, e para evitar perdas de calor excessivas em períodos nocturnos ou de baixa insolação, é recomendado o uso durante esses períodos de painéis isolantes sobre a zona envidraçada.

Dado que se verifica que a acumulação de energia térmica na envolvente só é eficaz nas partes maciças até uma espessura da ordem dos 15 cm, a inércia térmica destes sistemas é relativamente reduzida. Assim, os sistemas de ganho directo caracterizam-se por importantes gradientes diurnos de temperatura, já que só uma pequena percentagem de energia captada pelo sistema é passível de acumulação para uso em períodos nocturnos. Do mesmo modo, tão pouco é possível a acumulação de energia em dias de céu limpo para satisfação

das necessidades energéticas em dias de céu nublado.

Um inconveniente dos sistemas de ganho directo refere-se a excessivos ganhos de Verão que podem provocar situações de sobreaquecimento. Este sobreaquecimento só pode ser evitado mediante escolha apropriada das áreas de captação e do uso de dispositivos de sombreamento. Estes podem consistir em barreiras móveis operadas pelos ocupantes (por ex., estores), em estruturas fixas que levem em conta a diferença da altura do sol em períodos de Inverno ou Verão, (Fig. 3b), ou em vegetação de folhagem caduca, do tipo latadas, por exemplo.

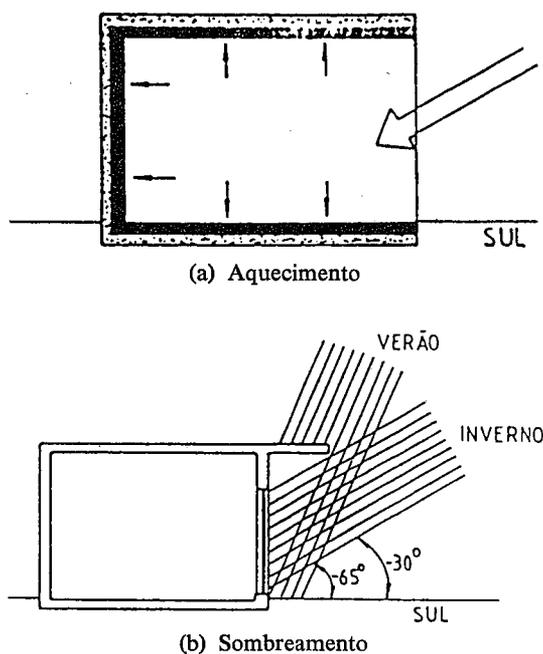


Fig. 3 — Sistemas de ganho directo.

Outros inconvenientes podem ser levantados quanto ao conforto térmico, causados pelas importantes flutuações de temperatura que são características destes sistemas; quanto ao conforto visual, devido à situação de luminosidade excessiva; e quanto à degradação de materiais, devido à exposição directa aos raios solares (ultra-violetas em particular).

Dada a sua pequena inércia térmica, os espaços de ganho directo são mais indicados para zonas de ocupação diurna ou imediata-

mente após o pôr-do-sol. No entanto, estes espaços são de execução relativamente simples e, portanto, envolvendo um baixo custo de construção.

Paredes de armazenamento térmico

Estes sistemas são constituídos por uma parede feita de materiais pesados (tijolo, cimento, água, etc.) que é interposta entre o espaço a aquecer e o vidro (ou plástico) que, tal como nos sistemas de ganho directo, é exposto a Sul e permite a admissão dos raios solares. Um exemplo deste tipo de sistemas está esquematicamente representado na Fig. 4a. A face exposta ao sol deve ser de cor negra, de modo a permitir uma eficiente captação de energia solar. A superfície de captação pode ou não ser selectiva, isto é, com um coeficiente de absorção da radiação solar superior ao coeficiente de emissão da radiação de baixa temperatura (infra-vermelhos). As superfícies não-selectivas conseguem-se, por exemplo, com o uso de tintas negro fosco, ao passo que superfícies selectivas podem ser conseguidas através do uso de revestimentos pré-fabricados que são fixos à parede com colas condutoras do calor.

As paredes de armazenamento térmico podem apresentar-se sob duas formas principais: maciças ou por reservatórios cheios de água (então também designadas por paredes de água). Cada uma destas formas pode dispor de aberturas na base e no topo para permitirem a circulação natural do ar (termossifão) entre o espaço a aquecer e o espaço entre a parede e o vidro, tal como se mostra na Fig. 4b. Assim, consoante a existência ou não destas aberturas, as paredes designam-se habitualmente por paredes com ou sem ventilação, respectivamente. As paredes maciças com ventilação são também geralmente designadas por Paredes de Trombe.

Nestes sistemas de ganho indirecto, a energia solar que atravessa a superfície transparente incide na parede, cuja superfície é geralmente escura de modo a permitir uma eficiente absorção de energia solar. A energia assim absorvida é parcialmente conduzida para o

interior da parede, e parcialmente transferida por convecção e radiação para a superfície do vidro e, daí, para o exterior. Consoante as variantes de construção, outros mecanismos de transferência podem também ocorrer.

- Nas paredes com ventilação, uma grande percentagem da energia captada é transferida por convecção para o ar entre a parede e o vidro, assim se estabelecendo uma corrente de termossifão que transfere essa energia para o espaço a aquecer de uma forma mais rápida que por simples condução através da parede.
- Nas paredes de água, o calor transferido da superfície de absorção para a água estabelece correntes de convecção no interior dos reservatórios que a contêm resultando numa rápida homogeneização da temperatura interna da parede. Assim, a energia captada é mais rapidamente transferida para o espaço a aquecer.

As paredes de armazenamento térmico têm, por natureza própria, uma inércia térmica mais elevada que os sistemas de ganho directo. Assim, são particularmente indicados para áreas com vocação para uso após o pôr-do-sol, por exemplo quartos e salas de estar. Dada a grande gama de variedades possíveis (sólida ou líquida, com ou sem ventilação, variação da espessura), é um sistema altamente flexível, permitindo a transferência da energia captada para o espaço a aquecer com um desfazamento da intensidade máxima de captação que pode ir além das oito horas, tal como se mostra no Quadro 1. Esse desfazamento, que é menor nas paredes de água que nas sólidas, aumenta com a espessura da parede e com a não ventilação do espaço entre o vidro e a parede. Assim, por exemplo, enquanto uma parede menos espessa e com ventilação pode ser mais indicada para uma sala de estar, onde a ocupação ocorre nas primeiras horas após o pôr do sol, uma parede mais espessa e sem ventilação pode já ser mais indicada para um quarto, onde a ocupação é predominantemente nocturna.

Durante o Verão, devem ser utilizados dispositivos de sombreamento semelhantes aos

usados nos sistemas de ganho directo, para evitar ganhos demasiados que aqueceriam o

QUADRO 1—Comportamento térmico de paredes de armazenamento térmico (*)

Material de Construção	Espessura P da parede (m)	Desfazamento (hr)	Varição Típica Diurna de Temperatura no Espaço (°C)
Tijolo	0.10	2	—
	0.20	6	13
	0.30	8	6
Cimento	0.10	3	—
	0.20	5	16
	0.30	8	9
	0.40	10	9
Água	0.10	—	17
	0.20	2	10
	0.30	4	7
	0.50	5	5

(*) Segundo Mazria [2], para paredes sem ventilação.

espaço, tornando-o desconfortável. No entanto, as paredes com ventilação permitem um mecanismo de arrefecimento por ventilação. Para tal, a parede de armazenamento é ainda

exposta aos raios solares mas a corrente de termossifão resultante é dirigida para o exterior do edifício, ao mesmo tempo que ar fresco exterior é admitido pela fachada norte. Este sistema, que está esquematicamente representado na Fig. 4c é particularmente eficaz em climas com temperaturas médias, humidades baixas e elevado grau de insolação.

Finalmente, este tipo de sistemas não apresenta os inconvenientes de desconforto dos sistemas de ganho directo mas, ao contrário destes, as paredes de armazenamento são sistemas que exigem um maior investimento. A falta de luz directa nos sistemas opacos pode também provocar reacções desfavoráveis em certas pessoas. No entanto, sob o ponto de vista térmico, estes sistemas são dos mais eficazes e dos mais facilmente controláveis.

Estufas contíguas

Estes sistemas, esquematicamente representados na Fig. 4d, são espaços de ganho directo colocados na parte sul dum edifício, e que comunicam com a parte ocupada do edifício através duma parede de armazenamento térmico. A cobertura transparente destes sistemas pode ser de vidro ou de plástico.

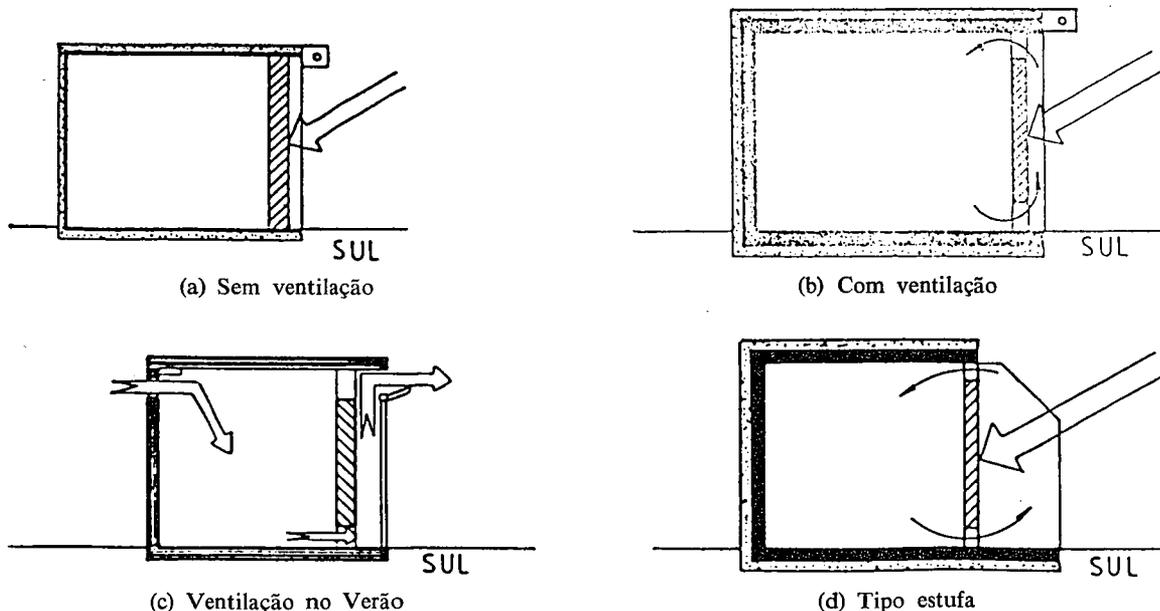


Fig. 4—Sistemas de ganho indirecto.

Embora ambos possam ter comportamento térmico semelhante, o custo de uma cobertura em plástico é inferior ao custo da mesma cobertura em vidro, não só em termos de material transparente como também no que respeita à estrutura de suporte. No entanto, a duração das coberturas de plástico é limitada devido à sua menor resistência mecânica e à sua susceptibilidade aos raios ultra-violetas que provocam uma degradação gradual das suas propriedades de transmissão e absorção da radiação solar (envelhecimento).

Os processos térmicos nestes sistemas são idênticos aos que ocorrem nos sistemas de ganho directo, enquanto que a transferência de calor para o espaço a aquecer se faz de forma idêntica à das paredes de armazenamento térmico. Como a estufa não se destina directamente a ocupação humana, os problemas de sobreaquecimento e flutuações térmicas não são importantes para o conforto. Assim, este sistema combina as vantagens dos sistemas de ganho directo e de paredes de armazenamento térmico, embora a captação da energia solar se faça com uma menor eficiência devido às maiores temperaturas atingidas na estufa. Como vantagem adicional, a estufa pode ainda permitir culturas que não seriam possíveis por vezes ao ar livre e pode, em certas ocasiões, proporcionar também condições agradáveis de habitabilidade.

A construção de estufas pode ser efectuada segundo uma grande gama de tecnologias, desde as quase-artesanais até às mais complexas, correspondendo também a uma gama importante de custos e de qualidade de resultados. Mas, dum modo geral, são dos sistemas solares passivos o que requer menor investimento.

Coberturas de armazenamento térmico

Estes sistemas colocam a massa de armazenamento térmico (água) na cobertura. Para evitar evaporação, a água está geralmente contida em reservatórios plásticos transparentes, podendo ainda haver sistemas de cobertura com vidro simples ou duplo para reduzir

as perdas por convecção. O seu funcionamento de Verão e Inverno está esquematizado na Fig. 5.

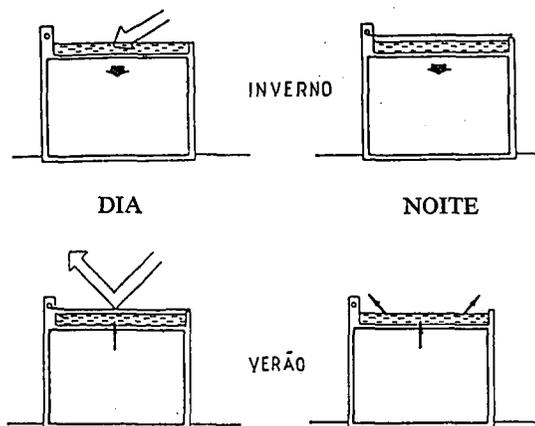


Fig. 5 — Esquema de funcionamento das coberturas de armazenamento térmico.

- No Inverno, os reservatórios de água estão expostos ao sol durante o dia e a energia é absorvida pela própria água e pelo fundo do reservatório, que é geralmente uma superfície negra. O calor é então transferido por condução para o tecto e deste por convecção e radiação para o espaço a aquecer. Em períodos sem insolação, os reservatórios de água são cobertos por uma camada isolante reflectora para evitar perdas para a atmosfera, enquanto que a energia armazenada na água se transfere para o espaço inferior.
- No Verão, a situação inverte-se. Durante os períodos com insolação o isolamento e o reflector são colocados sobre a água para evitar o seu aquecimento. Simultaneamente, dissipa energia por convecção e radiação para o tecto e deste por condução para a água. De noite, o isolamento é então retirado e a água arrefece, transferindo calor por convecção e, principalmente, por radiação para a atmosfera. A água fica assim apta a, no dia seguinte, receber a energia vinda dos espaços a arrefecer, evitando que estes aqueçam demasiado.

Este tipo de sistema é particularmente indicado para regiões cujo clima é quente e

seco durante o dia e com céu limpo durante a noite. As suas principais vantagens são:

- 1) o permitir aquecimento no Inverno e arrefecimento no Verão;
- 2) não obrigar só por si a uma orientação particular do edifício;
- 3) permitir climatização simultânea com igual eficiência de todas as divisões do edifício, não dando preferência a zonas expostas a Sul.

Os seus principais inconvenientes são:

- 1) a necessidade de estruturas adequadas ao suporte da massa de água, o que acarreta um custo relativamente elevado;
- 2) a sua aplicação é limitada ao piso adjacente à cobertura.

Sistemas de convecção por termosifão

Os sistemas de convecção por termosifão são constituídos por um circuito aberto onde o ar se move por convecção natural resultante das diferenças de massa volúmica causadas por variação de temperatura ao longo do circuito, tal como se mostra na Fig. 6.

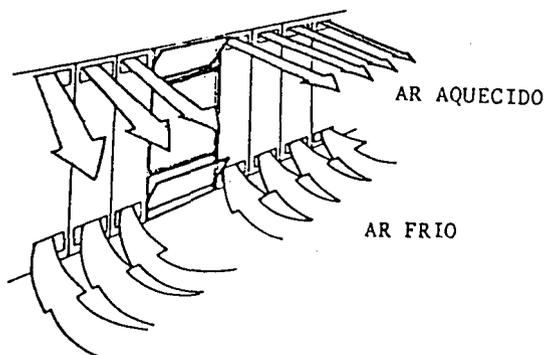


Fig. 6 — Representação esquemática de um sistema de ganho separado—termossifão a ar.

Edifícios solares passivos

Num edifício solar passivo, os sistemas descritos na secção anterior devem ser combinados por forma a obter as vantagens que cada tipo oferece, por exemplo, predominância do ganho directo nos espaços de ocupação diurna ou dos

sistemas de ganho indirecto nos espaços de ocupação mais nocturna. As regras como esta combinação deve ser efectuada são simples mas não cabe aqui a sua discussão. Os mais interessados poderão consultar documentos próprios [2-4]. No entanto, alguns princípios básicos podem ser referidos:

1) Orientação e localização do edifício:

- i) Deve localizar-se o edifício onde receba o máximo de sol de Inverno das 9 h às 15 h TSV (*), na parte Norte do terreno, com atenção aos futuros sombreamentos.
- ii) A forma rectangular com maior eixo alinhado segundo a direcção E - W expõe a maior fachada a Sul e reduz as perdas de Inverno e as necessidades de arrefecimento no Verão.
- iii) A fachada Norte deverá ser convenientemente protegida, ou pelo declive do terreno, ou por talude, ou ainda por redução de aberturas.
- iv) Os espaços com menos exigências de iluminação tais como corredores, espaços de serviços ou garagem, deverão quanto possível ser previstos no lado Norte funcionando como zonas tampão. O conceito de cascata térmica deverá ser aplicado (Fig. 7).

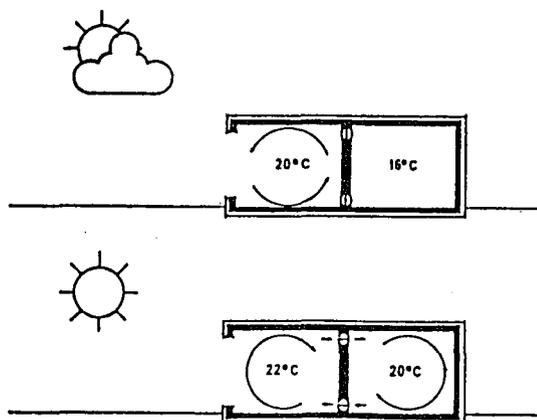


Fig. 7 — Conceito da cascata térmica.

(*) TSV = Tempo Solar Verdadeiro.

2) *Conservação de energia:*

— Num edifício solar passivo, interessa não só captar a energia solar através dos sistemas anteriormente descritos, mas também interessa manter essa energia no seu interior. Para tanto, a envolvente do edifício, isto é, as paredes, janelas e coberturas, devem ser adequadamente isoladas termicamente. Assim, os elementos opacos (paredes e coberturas) devem ser dotados de uma camada de um material de baixa condutibilidade térmica (cortiça, poliestereno, poliuretano, etc.) e os vidros podem ser duplos, por exemplo.

Uma medida complementar é a da redução das infiltrações, através de um adequado cuidado de vedação dos vários elementos, nomeadamente nas caixilharias, portas, estores, etc., onde habitualmente existem fendas maiores ou menores.

3) *Inércia térmica:*

— Para minimizar flutuações da temperatura interior, devem fazer-se as divisórias interiores com uma espessura mínima de 10 cm. As paredes leves devem ter cor mais clara e as espessas uma cor mais escura. A radiação deve incidir preferentemente sob a forma difusa.

4) *Recurso a isolamento móvel:*

— O uso de isolamento móvel sobre os envidraçados (estores, p. ex.) evita que o calor ganho durante o dia se escape rapidamente durante a noite. Para ser eficaz, o isolamento deveria fechar a abertura de forma estanque. Pode-se dizer que um estore, de noite, tem um comportamento semelhante ao do vidro duplo.

5) *Sombreamento:*

— Os envidraçados virados a Sul devem ser sombreados por uma placa horizontal concebida por forma a permitir a entrada franca do Sol no Inverno mas a sombrear completamente a janela no Verão.

A consideração destes princípios e o recurso às tecnologias solares passivas pode levar às mais variadas formas arquitectónicas. Estes princípios tanto podem ser aplicados a edifícios de serviço ou institucionais, sendo apenas necessário que os respectivos projectistas tenham os conhecimentos necessários para saberem vencer os desafios que se lhes põem para integrar estas tecnologias nos edifícios.

Como exemplo de uma residência construída com base nestes princípios, em Portugal, existe a Casa-laboratório Termicamente Optimizada (Fig. 8), projecto de investigação do LNETI e da FEUP.

As temperaturas medidas no interior da CTO têm sido entre 14 e 20°C nos períodos frios de Inverno e 24 a 26°C nos dias quentes de Verão, sem qualquer apoio energético [5].

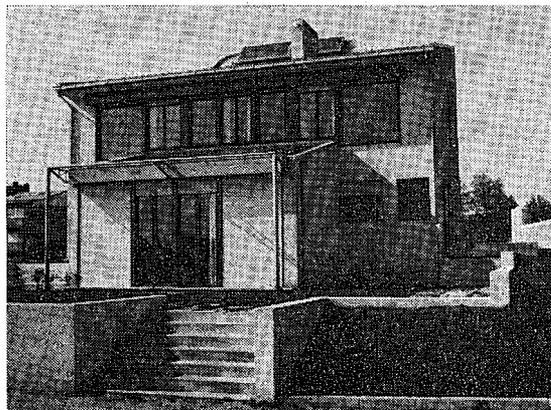


Fig. 8 — Casa termicamente optimizada.

Conclusão

Nestas notas foram apresentadas e discutidas de forma puramente tecnológica as formas passivas de captação da energia solar. Outros problemas, de carácter mais pragmático, merecem ainda aqui uma breve referência.

Viabilidade económica — Em qualquer projecto, a parte económica é importante. Portanto, é necessário decidir a viabilidade económica dum dado sistema solar, para o que há que conhecer o seu custo marginal e o valor da energia convencional poupado como resultado do uso do sistema passivo. Ambos estes custos são frequentemente difíceis de estabelecer, não só pela indefinição da exacta fronteira da maioria dos sistemas passivos mas também porque a evolução de factores económicos como preços de combustíveis e taxas de inflação envolvem significativa incerteza.

Um outro problema se põe a nível da análise dos resultados da avaliação económica do projecto. Assim, importa saber se deve a amortização do sistema cair apenas ao nível do utilizador (micro-economia) ou tendo em

conta a economia global da comunidade (macro-economia) já que, se uma grande percentagem de edifícios incorporassem sistemas solares passivos, haveria necessidade de menores investimentos em instalações de apoio (electricidade ou gás). Nesta última situação, que parece a mais adequada, dever-se-ia ter então mecanismos de incentivos expressos por reduções de taxas de juro para investimento ou comparticipação de custos através de reduções de impostos, por exemplo.

Integração urbanística — Edifícios com sistemas solares passivos devem ser inseridos num tecido urbanístico adequado, de modo a tirar inteiro proveito das suas potencialidades. Por exemplo, é importante a existência do direito de acesso ao Sol, isto é, da garantia de que o edifício não vai ser sujeito a sombreamento causado por construções futuras na vizinhança. Este acesso torna-se cada vez mais difícil nas grandes áreas metropolitanas onde os terrenos são escassos e os edifícios crescem em altura.

Condições de utilização — Os sistemas solares passivos exigem que os utentes dos edifícios onde estão instalados actuem como partes interessadas no seu funcionamento de modo a otimizar os seus resultados. Por exemplo, os ocupantes devem saber quando colocar ou retirar o isolamento «nocturno» colocado sobre zonas envidraçadas, quando promover a ventilação natural para evitar sobreaquecimento do espaço e quando promover o sombreamento dos sistemas passivos para melhor controle da temperatura. Portanto, é pressuposto estarem os utilizadores convenientemente informados. Esta tem sido a situação na grande maioria dos casos nos Estados Unidos, em que os utilizadores típicos são os próprios proprietários que geralmente são quadros ou técnicos superiores com níveis de formação, de informação e de salários acima da média. Nestes casos, pequenos ou mesmo maiores inconvenientes (sobreaquecimentos, oscilações térmicas acentuadas) são encarados com benevolência e acabam por ser aceites como regra de jogo interferindo no domínio subjectivo do conforto.

Esta situação é bem demonstrada pelos

resultados de um inquérito recentemente efectuado a um largo número de «casas solares passivas» nos Estados Unidos, em que, apesar de terem surgido problemas particulares de conforto ou de qualidade do ar numa grande percentagem dos casos, nem um simples ocupante se declarou não satisfeito com os resultados obtidos.

No entanto, a difusão generalizada de arquitectura integrando sistemas solares passivos em ambientes sociais menos cooperantes e, curiosamente, talvez por isso mais exigentes, deverá ser encarada com precaução.

REFERÊNCIAS

- [1] A. J. ALVES e A. TRAÇA DE ALMEIDA — «Contribuição didáctica para o Ensino de Energia Solar». *Gazeta de Física*, vol. 11 Fasc. 3/4 (1984).
- [2] A. MAZRIA — «The Passive Solar Energy Book». Rodale Press, U.S.A., 1979.
- [3] D. BALCOMB — «Passive Solar Design Handbook» (3 vol.). U.S. Dep. of Energy, 1980 e 1981 (1.º e 2.º vol.). ASHRAE, U.S.A., 1984 (3.º vol.).
- [4] BALCOMB e outros — «Orientações—Guia para o projecto de Sistemas Solares Passivos em Portugal». Gabinete de Fluidos e Calor, F.E.U.P., 1983.
- [5] E. O. FERNANDES, E. A. B. MALDONADO e H. J. P. GONÇALVES — «Comportamento Térmico da Casa Termicamente Optimizada — Primeiros Resultados». 2.º Congresso Ibérico de Energia Solar, Lisboa, Outubro de 1984.

união internacional de física pura e aplicada (IUPAP)

Encontra-se já constituída a *Liaison Committee* portuguesa (cf. *Gaz. Fís.* **8**, 16 (1985)): J. Gomes Ferreira (Academia das Ciências de Lisboa), M. F. Laranjeira (INIC), F. Gama Carvalho (LNETI), F. Duarte Santos e J. Bessa Sousa (SPF), M. Amaral Fortes (Sociedade Portuguesa de Materiais), S. K. Mendiratta (U. Aveiro), M. Margarida R. R. Costa (U. Coimbra), E. Ducla Soares (U. Lisboa), A. C. Moutinho (U. Nova de Lisboa), J. Moreira Araújo (U. Porto); Alves Marques (U. Técnica de Lisboa).