

TECNOLOGIAS SOLARES PASSIVAS

Neste Capítulo faz-se a classificação das diversas tecnologias solares passivas, com uma maior incidência nas implicações energéticas das mesmas. As questões higrótérmicas são mais detalhadamente desenvolvidas, nomeadamente na relação entre a configuração dos elementos construtivos e os ganhos e perdas de calor. Esta relação é por exemplo afectada pela influência da posição das diversas camadas da envolvente exterior dos edifícios e tipos de materiais na sua composição. São também apresentadas tecnologias que não dizem directamente respeito à envolvente exterior, mas que são mais abrangentes de todo o edifício. Por último são apresentados alguns exemplos de tecnologias solares passivas não convencionais.

5.1.

Os sistemas solares passivos

O Sol, ao emitir radiação, comporta-se como um corpo negro a 5762°K. A radiação solar é produzida por reacções nucleares, em que núcleos de Hidrogénio se fundem e dão origem a núcleos de Hélio. Apenas parte da radiação solar libertada pelo Sol atinge a Terra, podendo ser dividida da seguinte forma:

- 21% atinge a Terra directamente;
- 29% difundida pelas nuvens e atinge a Terra indirectamente;
- 31% reflectida por poeiras e partículas existentes na atmosfera terrestre;
- 19% absorvida pelas nuvens e atmosfera.

A energia solar pode ser aproveitada nos edifícios de diversas formas, fazendo-se normalmente a distinção entre sistemas passivos e activos. A classificação destes sistemas é representada no organograma da Figura 5.1.1.

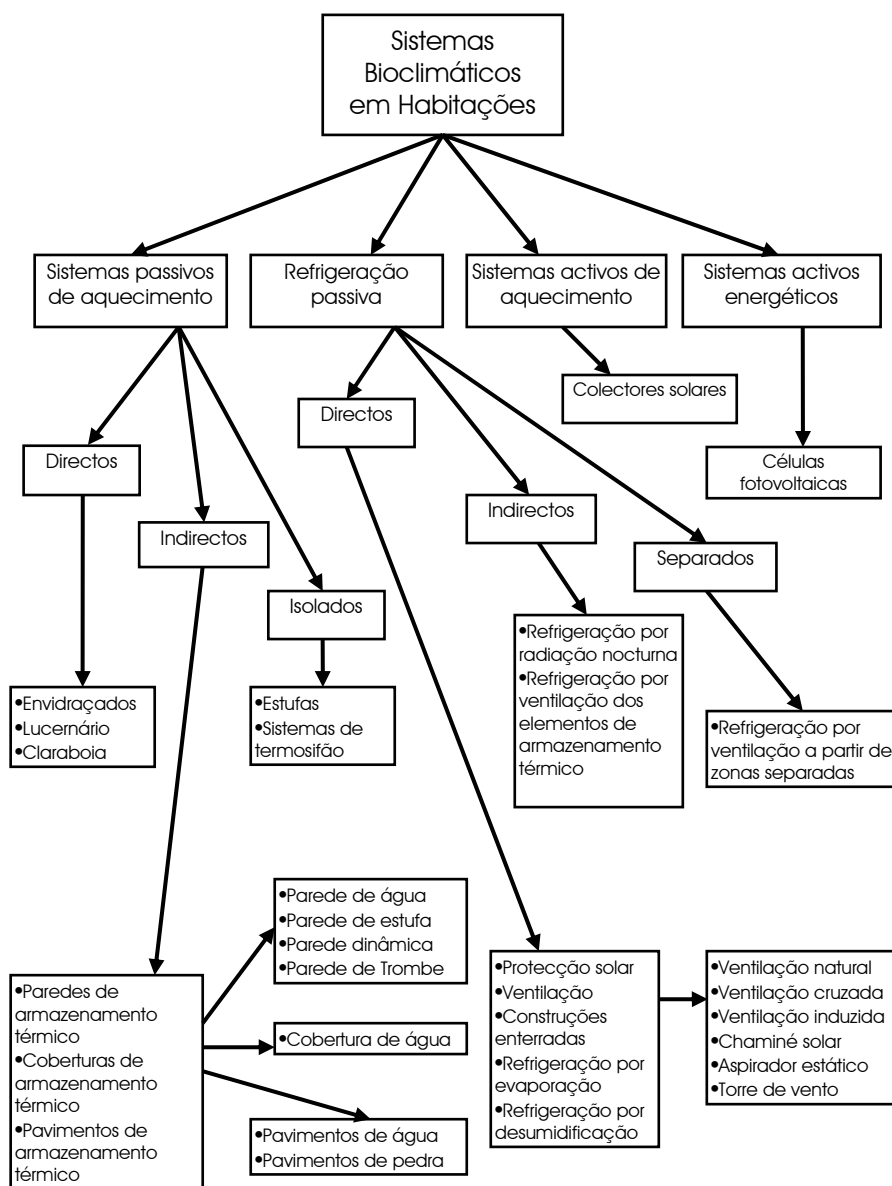


Figura 5.1.1. Classificação dos sistemas energéticos bioclimáticos nos edifícios em função dos tipos de aproveitamento energético

A energia proveniente do Sol que atinge a Terra por unidade de tempo e numa superfície perpendicular à direcção da radiação é em média de 1353W/m^2 . Este valor será maior ou menor consoante a latitude, o tipo de clima, a altitude, etc. Em termos de projecto será mais importante considerar a energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a Sul na estação de aquecimento. Em Portugal continental são consideradas pelo RCCTE três zonas (I1, I2 e I3) a que correspondem respectivamente os valores de 400, 500 e $700\text{kWh/m}^2.\text{ano}$ (RCCTE 1990).

A energia solar é na realidade a origem da maior parte das energias renováveis. A base da captação de energia solar em todos os sistemas passivos e nalguns sistemas activos (nomeadamente na água quente solar - AQS), consiste no efeito de estufa (referido com maior detalhe anteriormente), sendo para tal utilizadas superfícies selectivas, tais como o vidro, que permitam a passagem da radiação solar nos comprimentos de onda de luz visível e infra-vermelhos próximos (cerca de 40 a 45% da radiação total emitida pelo sol), mas bloqueiam a passagem de infravermelhos de comprimento de onda larga a partir de $3,5\mu\text{m}$, sendo praticamente opacos aos comprimentos de onda superiores a $5\mu\text{m}$.

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 sistema passivo seja aquele em que toda a transferência de energia se processe dum modo natural, admitem-se pequenas contribuições energéticas estranhas ao sistema tendentes à melhoria dos seus resultados, necessárias, 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 accionados manual ou automaticamente, pode-se admitir que um sistema passivo é aquele em que a contribuição de energia auxiliar não excede 2% da energia útil captada pelo sistema.

Os colectores solares térmicos podem ser entendidos como sistemas activos, essencialmente porque exigem muita capacidade e gastos associados ao armazenamento ou o funcionamento paralelo com os sistemas tradicionais¹. É esta dependência que muitas vezes inviabiliza estes sistemas, pela necessidade de criar depósitos isotérmicos de alguma dimensão, se for pretendida a total autonomia do sistema. Os painéis colectores solares térmicos para aquecimento de água são soluções comuns de ganho indirecto e compreendem vantagens económicas reais, mesmo sem ter em conta os aspectos ecológicos que resultam da redução na utilização de fontes de energia tradicionais. Existem muitos tipos de colectores solares térmicos, existindo mesmo actualmente painéis flexíveis que podem ser utilizados em qualquer tipo de cobertura (Figuras 5.1.2 e 5.1.3).



Figura 5.1.2. Complexo de piscinas "Moby Dick" na Alemanha - catálogo (Koch Membrane Structures, Inc.)

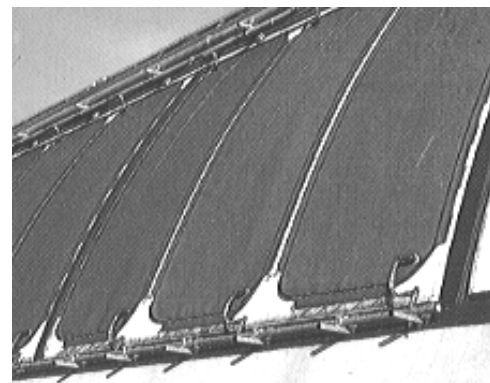


Figura 5.1.3. Painéis colectores flexíveis - catálogo (Koch Membrane Structures, Inc.)

¹ Por existirem períodos em que o Sol não fornece energia suficiente ou mesmo nenhuma, como durante a noite ou em períodos muito encobertos.

Um outro tipo de sistema solar activo são os sistemas de produção de energia eléctrica por painéis fotovoltaicos. O grande problema destes sistemas é o custo de armazenagem da energia, que terá de ser feito em baterias acumuladoras e o baixo rendimento. Para evitar a armazenagem, estes podem ter ligação à rede pública. Algumas companhias eléctricas prevêem a instalação dum contador que trabalha nos dois sentidos, o que permite que, em alturas em que a produção individual de energia supera os gastos, o excesso seja enviado para a rede pública e, quando a produção individual não é suficiente, se vá buscar energia eléctrica à rede pública (Potts 1993). Se a produção individual anual for superior aos gastos, poderá inclusivamente haver lugar a reembolso.

Já foram referidos no Capítulo III alguns aspectos mais detalhados da integração de sistemas activos em fachadas. No entanto, as soluções que se pretendem desenvolver mais aprofundadamente neste trabalho, e nomeadamente no que diz respeito às fachadas, são aquelas em que o aproveitamento da energia solar é feito através de sistemas passivos.

Quando as construções são concebidas de raiz e existe a intenção de aproveitamento térmico, podem ser ponderadas várias soluções solares passivas. No caso específico do Norte e Centro Europeus e em geral nos climas frios, estas soluções funcionam basicamente com grandes áreas de envidraçados expostos a Sul e sistemas de sombreamento exteriores, para evitar excessivos ganhos solares no Verão. A área óptima para os envidraçados a Sul nestes climas é de 2/3 a 3/4 da superfície total da respectiva fachada (Goulding 1994). No caso de Portugal, a área óptima para os envidraçados é menor, variando de acordo com as respectivas zonas climáticas, mas deverá situar-se, segundo o RCCTE, em cerca de 15% da área útil do pavimento interior (RCCTE 1990), o que corresponde a uma área de fachada inferior a 1/4 da superfície total da área de fachada.

Preocupações energéticas a longo prazo implicam mais do que a correcta exposição solar e desenho de vãos. Uma hipótese é a realização de construções "compactas", que permitam a redução das perdas energéticas, mas apresentam-se vários problemas que dificultam esta atitude. A topografia do local, por exemplo, influencia o grau de exposição solar, bem como a ventilação natural, pelo que muitas vezes se torna impossível construir blocos de grande densidade e aglomerados de habitações. Uma outra forma de incrementar a inércia térmica dum edifício consiste em aumentar a espessura das paredes, utilizar materiais densos ou enterrar as construções. A razão deste fenómeno deve-se ao facto da grande espessura das paredes de pedra ou a terra implicarem uma grande inércia térmica (causam um grande atraso na transmissão do calor e têm uma grande capacidade de armazenamento deste). Estas barreiras térmicas têm um ciclo que, entre armazenagem e reemissão do calor, pode durar várias horas ou mesmo vários dias e meses. A magnitude e configuração da massa interior pode e deve ser determinada por forma a armazenar calor de acordo com as amplitudes térmicas diárias e

com o tipo de ocupação, por exemplo para conseguir manter uma temperatura interior amena, durante a noite, em dias frios (Bradshaw 1993). A opção por uma grande ou pequena inércia térmica depende especialmente do tipo de clima.

Existem, no entanto, várias desvantagens associadas ao incremento da massa de construção. O preço do material, associado ao custo do transporte, mão-de-obra e dificuldade de construção devida ao peso, torna as soluções de inércia pesada muitas vezes inviável hoje em dia, principalmente em meios urbanos. Alguma capacidade de armazenamento é desejável quando a temperatura exterior oscila bastante, tanto acima como abaixo da temperatura interior ideal, sendo este o caso de Portugal, mas em termos óptimos deverá ser concebida para absorver essencialmente as oscilações diárias.

No que diz respeito à sua concepção e, duma maneira geral, os edifícios construídos actualmente deveriam sempre ter em conta que a sua vida útil poderá ir ainda além do esgotamento das reservas de petróleo e gás natural (Bradshaw 1993). Para tal deverá ser salvaguardado que:

- Usem o mínimo de energia necessária, não só na construção como na manutenção de conforto térmico, através de sistemas passivos e activos na forma mais racional possível;
- Possam utilizar futuramente outras fontes de energia não poluentes, mesmo que, por razões económicas, se revele mais viável, a curto e médio prazo, a utilização de combustíveis fósseis ou lenha.

É também da responsabilidade dos ocupantes não desperdiçar energia e utilizar a energia disponível da forma mais racional possível. Compete aos projectistas, que concebem os edifícios, bem como aos legisladores e aos promotores, dotar estes com o máximo possível de mecanismos e tecnologias passivas e activas que permitam ao utilizador economizar, sem no entanto perder conforto nem segurança (Bradshaw 1993). Isto implica, entre outras coisas, a manutenção de condições térmicas e atmosféricas nos espaços fechados criados, mais confortáveis do que as disponíveis no exterior. Estas condições são resultantes do projecto de arquitectura, que define as características da envolvente, não só em termos de posicionamento das aberturas em relação à orientação solar, como à posição dos dispositivos de sombreamento e protecção solar e à concepção de sistemas activos de controle ambiental (tais como desumidificadores, aparelhos AVAC, etc.) (Bradshaw 1993). Na situação mais comum, os projectistas concebem edifícios com uma envolvente exterior devidamente impermeabilizada e isolada, mas muitas vezes com pouca atenção sobre os aspectos bioclimáticos. As empresas ou os Engenheiros especializados em térmica, normalmente de mecânica, concebem sistemas de controlo de energia e de ventilação activos ou passivos, à posteriori, não sendo chamados durante uma fase anterior a dar sugestões quanto à configuração arquitectónica. Desta forma, alguns erros persistem até ao final da obra, pelo que as soluções de climatização se limitam a remediar

problemas já existentes e não constituem soluções óptimas. Esta é infelizmente a situação mais comum em Portugal.

O simples facto dos edifícios e das suas fenestranças serem correctamente orientados, e de haver soluções passivas de aproveitamento da energia solar, permite muitas vezes a obtenção de situações de conforto, quando o clima é relativamente ameno, como no caso de Portugal. Assim consegue-se sempre maiores poupanças energéticas do que pelo recurso a tecnologias de climatização activas.

As tecnologias solares passivas, quer para aquecimento, quer para arrefecimento, têm um papel decisivo a desempenhar, e é necessário que os arquitectos as adoptem (muito especialmente quando os projectos de Arquitectura passarem a ser exclusivamente da responsabilidade destes), numa base regular e não apenas como a idiosincrasia de algumas honrosas excepções (Maldonado 2001).

A expressão "Arquitectura Solar" é uma designação surgida em meados dos anos 70 como expressão-manifesto de que seria possível explorar a radiação solar através duma atitude mais voluntarista do arquitecto (Fernandes e Maldonado 1991). Ainda que o Sol seja o interveniente directo e indirecto da maior parte dos fenómenos meteorológicos e dos parâmetros ligados ao conforto térmico, esta expressão deu origem a uma visão demasiado redutora do que se pretendia explorar, muitas vezes advindo de atitudes excessivamente radicais na aplicação deste conceito. Resultante da grande influência que o livro de Viktor Olgyay, "Arquitectura y clima" exerceu nos estudos desta área, a arquitectura solar passou a referir-se como "Arquitectura com o Clima", que, sendo uma expressão mais vaga, entronca nas expressões da arquitectura vernacular donde pode retirar ensinamentos frutuosos e da "arquitectura do lugar" enquanto expressões mais modernas e elaboradas. O conceito "edifício – sistema" (estrutural, funcional, eléctrico, térmico, etc.) não é mais do que um dado, ou um conjunto de dados específicos, a integrar no conjunto de tarefas projectuais em fase de concepção (Fernandes e Maldonado 1991).

Por definição, os edifícios constituem abrigos contra as intromissões dos agentes exteriores, incluindo as adversidades do clima. Desta forma os edifícios, enquanto elementos na paisagem, foram reflectindo na sua construção fortes influências da região, do clima, dos materiais, da geografia, da história e da cultura. Daí que, quantas vezes no primarismo das suas expressões, a arquitectura vernacular assinala as diferenças entre o Norte mais frio no Inverno e o Sul mais quente no Verão, traduzindo assim os ensinamentos captados pelo homem ao longo dos tempos. Mas a sociedade industrial introduziu novos valores, novos métodos e novas práticas, tendo contribuído para a crescente uniformização tecnológica do Mundo feito Aldeia Global, uniformização a que a indústria da construção não logrou escapar. Ora, é essa aldeia global que identifica e sente o chamado efeito de estufa e que clama contra a emissão desregrada de gases poluentes gerados na sua grande

parte pela produção de energia: energia que se consome em cerca de 90% sob a forma de combustíveis fósseis, seja directamente para a produção de calor, seja indirectamente, sob a forma de electricidade (Fernandes e Maldonado 1991).

A relação dos edifícios com o ambiente estabelece-se assim à escala do globo, por via da energia que cada um usa e independentemente das relações edifício-ambiente, extremamente complexas e pertinentes, como são as que em particular caracterizam a vida nas nossas cidades de hoje.

Um sistema solar passivo para aquecimento ou arrefecimento pode ser definido como aquele em que as trocas de energia térmica se fazem por meios naturais. Esta definição simples permite a inclusão de sistemas em que o isolamento, por exemplo, é movido manualmente ou através de mecanismos, eléctricos ou manuais, uma ou duas vezes ao dia (Paul 1979).

Os sistemas solares passivos para aquecimento, podem ser classificados segundo três categorias ou conceitos, baseados na abordagem ou combinação de sistemas de ganho, armazenamento e transmissão de energia térmica (Paul 1979):

- **Ganho directo (Figura 5.1.4):**
 - Parede ou janelas orientados a Sul (para o hemisfério Norte);
 - Sombreadores para Verão;
 - Massa térmica interior;
- **Ganho indirecto (Figura 5.1.5):**
 - Paredes de armazenamento térmico (Parede acumuladora não ventilada, Parede de Trombe e Parede dinâmica;
 - Cobertura com armazenamento térmico;
 - Estufa adossada e estufa integrada;
 - Convecção natural (termosifão);
- **Ganho isolado:**
 - Ganho indirecto onde existe uma maior separação - por distância ou isolamento entre o armazenamento térmico e o ambiente a climatizar.

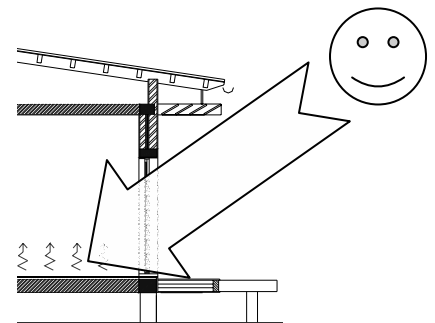


Figura 5.1.4. Ganho directo

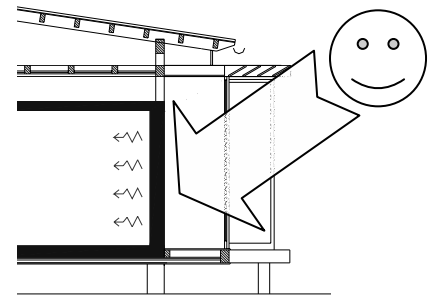


Figura 5.1.5. Ganho indirecto

Estes sistemas podem ser utilizados por si só ou combinados, aproveitando a conjugação das suas vantagens, suprimindo também algumas das suas desvantagens específicas. Uma solução que serve de exemplo é a de combinar um sistema de ganhos indirectos (parede Trombe) com janelas convencionais e ganhos directos para as horas do dia (o que permite igualmente a entrada de luz natural, arrefecimento por ventilação natural no Verão e eventual acesso ou vistas ao exterior).

5.1.1. Ganho directo

O primeiro e mais simples tipo de sistema solar passivo é o ganho directo. Por essa razão é o sistema mais utilizado, ainda que na maior parte das vezes numa forma empírica e não intencional.

A absorção, armazenamento e libertação de energia, é feita directamente no compartimento, de acordo com o efeito de

estufa já explicado anteriormente. Cada compartimento útil numa habitação, desde que disponha dum envidraçado, pode funcionar como um sistema de ganho directo. As pré-condições para um funcionamento eficiente são:

- Correcta orientação da janela, preferentemente a Sul, para evitar que as perdas superem os ganhos no Inverno;
- área transparente da janela em harmonia com a capacidade de armazenamento térmico;
- uso de dispositivos de sombreamento, como forma de prevenir o sobreaquecimento no Verão;
- redução das perdas de calor, com a aplicação de isolamento térmico eficiente dos elementos opacos, isolamento nocturno móvel e posicionamento de zonas tampão.

A maior parte dos edifícios funciona com sistemas de ganho directo. As características básicas dos edifícios que utilizam o ganho directo são: uma área de captação a Sul, com os espaços a aquecer directamente expostos à radiação solar e os paramentos interiores (paredes, lajes de tecto e piso) utilizados como armazenamento de calor. A redistribuição do calor armazenado realiza-se por radiação (em comprimento de onda infravermelha) e convecção natural, regulada principalmente pela posição da massa térmica relativamente aos espaços habitáveis (Mitjà 1986). As perdas de calor para o exterior reduzem-se através da utilização de vidros duplos de baixa emissividade e/ou isolando os vidros durante a noite ou em dias encobertos com sistemas de oclusão de boa capacidade de isolamento, sendo os mais comuns na construção portuguesa os estores de PVC exteriores e as portadas de madeira interiores ou exteriores.

Em todos os sistemas de ganho directo, as considerações mais importantes com respeito aos ganhos solares são as dimensões e a localização dos envidraçados. Qualquer janela, com vidro transparente, orientada a Sul, ou com pequenos desvios a Este ou Oeste, que comunique directamente com um espaço habitado, constitui um captador solar.

Note-se que o fluxo de calor criado, como resultado das diferenças de temperatura, além do processo de acumulação e libertação de calor, é acompanhado pela variação da temperatura interior. Este fluxo deve ser mantido dentro dum intervalo tolerável, pois o problema chave do sistema directo é captar o máximo de energia solar necessária no Inverno e paralelamente minimizar os ganhos solares no Verão, quando estes não são desejáveis, com uma oscilação de temperatura o mais reduzida possível.

Vantagens:

- O sistema de ganho directo é o de maior rendimento energético. A energia utilizada por metro quadrado de captador é máxima;
- É um dos sistemas construtivamente mais baratos já que os materiais e sistemas construtivos utilizados podem ser os comuns, mesmo sem necessidade de recorrer a massa

térmica adicional (já que esta está uniformemente distribuída no interior);

- A superfície vidrada de captação produz iluminação dos espaços interiores e permite a visibilidade para o exterior. (se for utilizado vidro ou material translúcido);
- O princípio de funcionamento do sistema é simples, excepto na determinação da oscilação de temperatura dentro do edifício;
- O sistema permite grande flexibilidade na concepção arquitectónica. Apenas é necessário ter algum bom senso, bastando seguir as recomendações do RCCTE em termos de massa térmica, orientação e área de envidraçados, dispositivos de sombreamento e coeficientes U recomendados.

Inconvenientes:

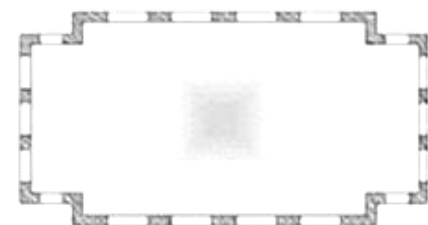
- As grandes superfícies de envidraçado podem provocar falta de privacidade e iluminação excessiva;
- A radiação solar directa pode provocar degradação e descoloração dos materiais localizados no interior;
- Necessidade de orientação solar favorável (Sul) para os envidraçados do sistema;
- A radiação directa pode provocar assimetrias na temperatura radiante, provocando desconforto durante as horas de maior incidência do Sol (precisamente no Inverno quando os ganhos são necessários, especialmente nas fachadas orientadas a Sul);
- Pelas razões referidas anteriormente, corre-se o risco do sistema, ainda que esteja bem dimensionado, não se tornar realmente efectivo quando a habitação está ocupada e nos períodos de Inverno, já que a tendência dos seus ocupantes será de fechar os sistemas de oclusão e assim impedir os ganhos;
- É ainda necessário prever a quantidade de massa de armazenamento térmico do edifício para evitar sobreaquecimentos que provoquem desconforto. A oscilação máxima de temperaturas não deverá ultrapassar os 6°C. Grandes superfícies de captação podem provocar um aumento de custo do sistema, pelos envidraçados em si, pela massa térmica adicional e pelos dispositivos de isolamento térmico necessários para proteger os envidraçados durante a noite;
- Para se poder cobrir uma percentagem elevada das necessidades de aquecimento do edifício, deverá ser colocada uma grande quantidade de massa térmica, pelo que o edifício se torna mais pesado e também mais caro, limitando por exemplo o número de pisos e incrementando também o impacte ambiental da construção (Mitjá 1986).

5.1.1.1. Forma e disposição do edifício

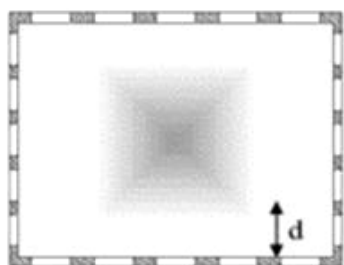
Os ganhos energéticos estão em função da orientação, inclinação e tipo do material translúcido utilizado. No Inverno, para conseguir um máximo de radiação solar incidente deve-se orientar o sistema captador a Sul. Desvios de 15° a Este e Oeste não ocasionam variações significativas. A inclinação óptima para a latitude

Portuguesa será entre 55 e 60°, mas os problemas construtivos que advêm, além da maior probabilidade de acumulação de sujidades, não tornam recomendável a utilização de janelas com esta inclinação (Mitjá 1986).

As perdas térmicas pelas superfícies da envolvente exterior são proporcionais ao produto das áreas das superfícies expostas pelos respectivos valores dos seus coeficientes U. Regra geral, dado um certo volume para ser aquecido, quanto menor é a área exposta da envolvente, menores serão as perdas térmicas. O factor de forma (F_f), referido no Anexo 1 (expressão A1.2.1) está contido no intervalo: $0,2 \leq S/V \leq 1,2$ (FABUTE 2003).



a)



b)

Figura 5.1.6. Duas áreas equivalentes com distintos factores de forma e zonas não iluminadas

Para edifícios solares passivos de ganho directo, a redução do factor de forma é aplicável apenas se a área de construção é pequena: $A < 120\text{m}^2$ (FABUTE 2003). A profundidade do edifício a que os ganhos solares e a iluminação são vantajosos, é aproximadamente o dobro do pé direito. Os compartimentos onde são necessários mais ganhos, como os Quartos, deverão ser posicionados ao longo da fachada orientada a Sul. Se a área de pavimento é grande, a fachada orientada a Sul deverá ser alongada, mesmo em detrimento do factor de forma (Figura 5.1.6.a). Para além deste limite, não deverá ser negligenciado que a redução das perdas pelo factor de forma não garantem por si só baixos consumos de energia. Uma determinada área com uma forma excessivamente compacta, indo além da distância entre fachadas recomendada, torna inevitável a inclusão de janelas mal orientadas, mas deixa igualmente uma área central sem qualidade de iluminação (Figura 5.1.6.b). A necessidade de fornecer a estas áreas interiores, ventilação mecânica e iluminação artificial aumenta os consumos energéticos, excepto em edifícios de um piso com iluminação pela cobertura, ou edifícios com 2/3 andares possuindo condutas solares interiores. Estas formas de ganho directo, neste caso localizada em coberturas, fazem-se através de lanternins e clarabóias (Secções 5.1.1.3 e 5.1.1.4).

5.1.1.2. Vãos envidraçados em fachada

Nos edifícios desenhados com ganho directo apresenta-se muitas vezes o dilema da instalação de janelas com vidro simples ou duplo. Quando a janela não é captadora (orientação diferente do Sul) a decisão é clara, já que o vidro duplo diminui as perdas de calor do edifício. No caso de janelas captadoras, os vidros simples apresentam grandes perdas térmicas, mas também uma máxima captação da radiação solar, pelo que será necessário fazer um balanço energético global para avaliar a mais eficaz de entre as duas opções.

No entanto, ainda que se revele mais viável instalar vidro simples numa habitação, a utilização de isolamento térmico em sistemas de oclusão nocturnos nas janelas é uma medida indispensável. A utilização de vidro duplo reduz em grande parte (da ordem de 30-40%) as perdas térmicas do sistema, mas também se reduzem os ganhos, por causa da menor transmitância do vidro duplo. No caso da utilização de vidro duplo, o isolamento térmico nocturno não é

indispensável, mas continua a ser no entanto recomendável (Mitjá 1986).

Se se incrementa a área de envidraçado captadora, torna-se igualmente necessário considerar como se armazena o calor nos materiais do edifício e qual a oscilação de temperatura resultante. Esta oscilação não deverá ultrapassar os 6°C, para permitir manter uma situação de conforto (Mitjá 1986).

Com o objectivo de amortecer as oscilações de temperatura, o calor deverá ser armazenado numa massa térmica situada dentro do espaço que recebe a radiação directamente. As superfícies que recebem directamente a radiação solar são ligeiramente mais efectivas que as que a recebem por reflexão (ver avaliação de Inércia Térmica duma Habitação no Anexo 1). Como regra geral, para a generalidade dos materiais pesados, é essencial uma superfície mínima igual a três vezes a superfície de captação e é recomendável um valor de 6 a 9 vezes para conseguir uma oscilação térmica moderada (Mitjá 1986). Este valor depende da situação da massa térmica em relação à superfície captadora. Se se quer obter uma eficácia real, a superfície da massa térmica deverá estar exposta à radiação solar, directamente ou por reflexão. A radiação solar directa pode-se difundir por toda a superfície da massa térmica situada dentro do espaço, utilizando vidros ou polímeros translúcidos ou reflectindo a radiação solar sobre uma superfície clara que a espalhará por todas as superfícies.

A capacidade calorífica diurna total (DHC) mínima de inércia a utilizar por unidade de superfície de captador orientado a Sul pode calcular-se através da expressão (Mitjá 1986):

$$DHC = 0,61 \cdot \frac{Q_s}{\Delta T} \quad (5.1.1)$$

Onde:

DHC: Capacidade calorífica diurna mínima total (Wh/°C);

Q_s : Ganhos solares diários dos captadores (Wh);

ΔT : Amplitude térmica máxima admissível (°C).

Para grandes superfícies de captação, a quantidade de massa térmica a colocar é muito elevada e isso comporta muitas vezes um custo elevado. Segundo estudos realizados (Balcomb et al 1993) com um critério de rentabilidade económica, a superfície captadora máxima não deverá ultrapassar 20% da superfície habitável do edifício, dependendo da zona climática.

Quanto mais clara é a cor da superfície interior maior é o número de reflexões no interior do compartimento, antes da radiação solar ser absorvida (Mitjá 1986). Estas múltiplas reflexões tendem a distribuir o calor e a luz mais uniformemente por todo o interior, mas deverão ser tidas em atenção as perdas pelos envidraçados. A cor do pavimento (se este é pesado) deverá ser escura para otimizar a sua eficácia de forma a manter calor armazenado no nível mais baixo possível, reduzindo assim a tendência de estratificação térmica e aumentando o nível de conforto. Quando somente uma das paredes é de inércia pesada torna-se mais conveniente que a

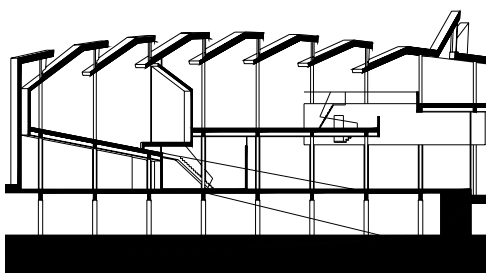


Figura 5.1.7. Cobertura de edifício (biblioteca/audatório) em lanternins em dente de serra



Figura 5.1.8. Cobertura de um laboratório da Universidade de Sevilha

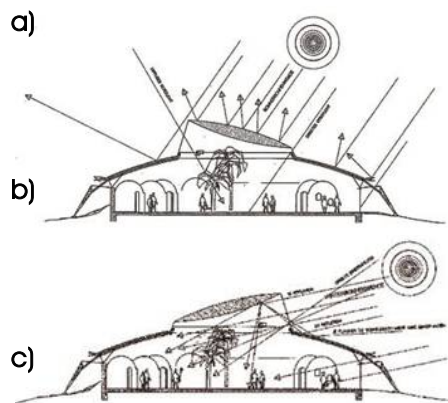


Figura 5.1.9. Sistema de lanternim rotativo, fotografia e esquema de funcionamento de Verão e Inverno (FABUTE 2003)



Figura 5.1.10. Clarabóias tradicionais em telhados do Porto

sua superfície tenha uma cor escura. No entanto, quando todas as superfícies são pesadas, deverão ser todas de cor clara (Mitjá 1986).

5.1.1.3. Lanternim

Um lanternim é uma abertura vertical ou muito inclinada localizada no plano do telhado e constitui uma forma eficaz de dirigir a radiação solar directamente a uma parede de armazenamento térmico que pode inclusivamente estar localizada na fachada Norte do edifício, pelo que a sua principal vantagem é conseguir fazer penetrar a radiação solar a uma maior profundidade no edifício. A sua principal desvantagem é apenas ser possível a sua utilização eficaz em edifícios de poucos pisos, ou nos últimos pisos de edifícios com muitos pisos, já que as aberturas se localizam no telhado. Uma forma particular de lanternim é a cobertura em dente de serra, que permite repartir a radiação numa forma mais uniforme em grandes áreas cobertas, conforme se pode ver na Figura 5.1.7. Na Figura 5.1.8 representa-se uma imagem desde o interior de um laboratório da Universidade de Sevilha da autoria dos arquitectos J. Lopez e J.M. Cabeza com um sistema equivalente.

No caso de lanternins, a utilização de planos não verticais, mas inclinados em função da latitude (perpendiculares aos raios solares no Inverno) é perfeitamente viável e pode ser vantajosa para otimizar os ganhos. O exemplo que se apresenta na Figura 5.1.9 é uma solução mais complexa de lanternim em plano inclinado. Neste caso o lanternim pode ser rodado sobre o seu eixo vertical. No Inverno as partes mais altas estão viradas a sul, assim a radiação directa passa com um ângulo vantajoso, na maior área de exposição, conforme se pode ver na Figura 5.1.9.c). No verão, Figura 5.1.9.b), como a área transparente exposta é menor, a radiação directa é reflectida pela cobertura.

5.1.1.4. Clarabóia

Uma clarabóia é uma superfície envidraçada ou em plástico transparente ou translúcido, horizontal, em forma polidédrica, cónica ou semi-esférica (neste caso geralmente em policarbonato), colocada sobre coberturas planas ou pouco inclinadas e neste último caso acompanhando ou não a inclinação da cobertura. É um sistema mais vocacionado para a iluminação natural e era tradicional nos edifícios do Porto no século XIX para iluminação da caixa de escadas (Figura 5.1.10). Pode resultar mais eficiente sob o ponto de vista de ganhos solares térmicos se se utilizar em conjunto com um elemento reflector, para incrementar os ganhos solares no Inverno, conforme se pode ver na Figura 5.1.11. Também se poderá sombrear no Verão, para evitar ganhos solares excessivos. A clarabóia em plano horizontal sem reflector e sombreador incorporado é um mau sistema de captação de energia solar térmica e especificamente no clima português, já que não permite ganhos de Inverno, mas no entanto ocasiona ganhos excessivos de Verão.

5.1.2. Ganho Indirecto

Nos sistemas de ganho indirecto a radiação solar incide sobre uma massa térmica colocada entre o Sol e o espaço a aquecer. A radiação absorvida pela massa transforma-se em energia térmica e é transferida para o interior do edifício. Já que o espaço a condicionar não recebe directamente a radiação solar, os sistemas de ganho indirecto oferecem mais possibilidade de controlo das oscilações de temperatura, evitando sobreaquecimentos.

Os três sistemas base de ganho indirecto são: as paredes acumuladoras (paredes de Trombe), as paredes e coberturas de água e o ganho separado. A diferença principal entre os três sistemas é a localização da massa térmica, no primeiro caso na superfície lateral, no segundo caso na cobertura e no último caso encontra-se por baixo do espaço a climatizar (Serra e Coch 1995).

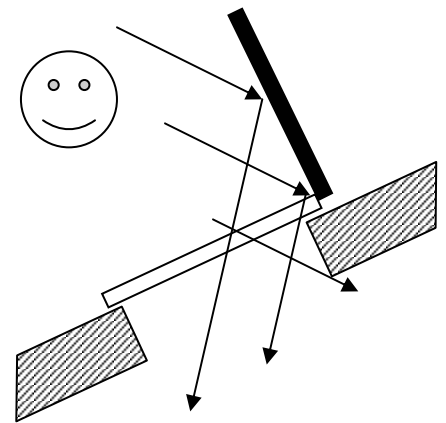


Figura 5.1.11. Clarabóia em plano inclinado com sistema reflector

5.1.2.1. Paredes Trombe

As paredes acumuladoras localizadas em fachada são chamadas de parede Trombe num sentido lato, ainda que existam vários tipos, tais como:

- a) Parede acumuladora (Parede de Trombe não ventilada);
- b) Parede dinâmica;
- c) Parede de Trombe;
- d) Parede de água.

a) **Parede acumuladora:** a parede de armazenamento térmico sem aberturas de termocirculação é denominada parede acumuladora ou parede Trombe não ventilada (Mitjá 1986). Em geral o seu rendimento é menor que o de uma parede Trombe ventilada porque, ainda que a temperatura do ar entre o vidro e a parede de armazenamento seja muito superior, a distribuição do calor para o interior é menos uniforme. (temos uma parede com uma transmissão de calor radiante muito elevada e as restantes superfícies frias.

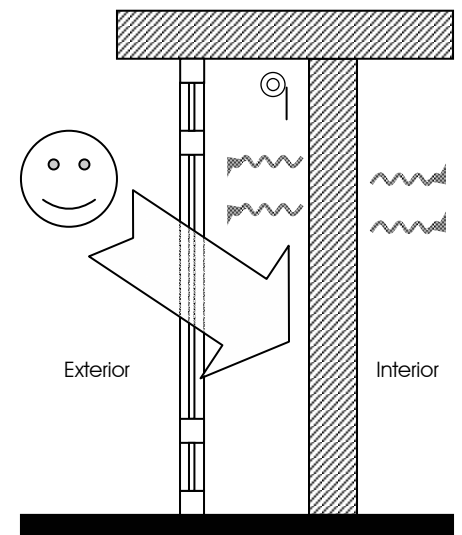


Figura 5.1.12. Parede acumuladora com efeito de Estufa (durante o dia em Inverno)

A face exterior da parede acumuladora com efeito de estufa deverá ser de cor escura e geralmente orientada a Sul, sendo tapada com um vidro ou outro material transparente ou translúcido, afastado entre 5 e 20cm, para evitar a perda da radiação térmica que vai sendo ganha pela exposição solar durante o dia e potenciar o efeito de estufa (Figura 5.1.12). Devido às altas temperaturas, desenvolve-se um fluxo de calor por condução através da parede, até ao interior e ao mesmo tempo as perdas do interior vão sendo reduzidas.

A colocação de materiais opacos com muita condutibilidade e de cor escura, por exemplo uma chapa metálica, é também possível substituindo o vidro, mas neste caso não se pode chamar de parede com efeito de estufa, pois apenas se potencia o aquecimento radiante da parede.

A utilização duma pintura de tipo selectivo permite a redução das perdas térmicas da parede por radiação de comprimento de onda longo. O tipo de material e a espessura determinam a capacidade

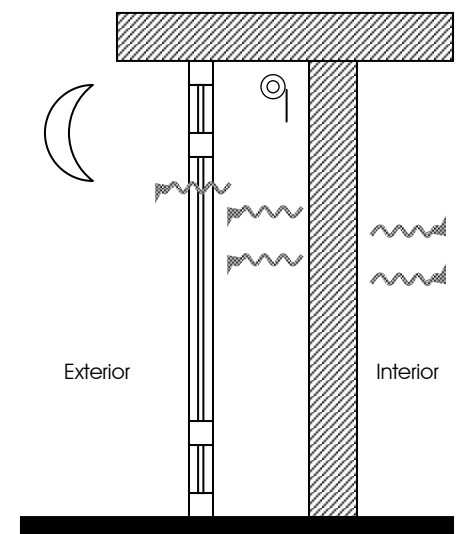


Figura 5.1.13. Parede acumuladora com efeito de Estufa (Durante a Noite em Inverno)

da parede para armazenar e distribuir o calor no espaço a aquecer (Mitjá 1986). A parede acumuladora é geralmente composta por materiais densos como a pedra, o betão, a terra compactada, o tijolo ou outro material com boa capacidade de armazenamento térmico, devendo ser no caso da habitação, calculada de modo a que o calor por ela acumulado durante o dia seja libertado durante a noite (Figura 5.1.13).

A espessura a utilizar varia em função das propriedades do material (densidade, calor específico e condutibilidade) e do desfase pretendido e é o factor determinante para conseguir a devolução nocturna do calor ao edifício. A parede desenha-se normalmente para um desfaseamento de 8 a 12 horas, garantindo-se assim que a parede devolva durante a noite o calor absorvido durante as horas de exposição solar a Sul/Sudoeste. É por isso uma solução especialmente adequada à estação fria e em dias de boa insolação, para climas frios ou temperados com um Inverno frio e grandes amplitudes diárias.

O sistema contribui para o balanço de energia do edifício, no entanto, em períodos frios e nublados, podem aumentar as perdas de calor. O valor do Coeficiente U das paredes acumuladoras sem isolamento nocturno e vidro simples, dificilmente toma valores abaixo de $1\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ (para materiais correntes do tipo betão normal, tijolo maciço ou pedra), o qual é, normalmente, superior ao de paredes exteriores correntes. Isto deve-se ao facto de não ser possível a aplicação de uma camada de isolamento térmico na parede acumuladora, pois este iria reduzir, consideravelmente, o fluxo térmico por condução, em direcção ao compartimento e já não seria uma parede deste tipo, mas de ganho separado, que será referida posteriormente. Este mesmo efeito pode ser conseguido se se utilizar um sistema de oclusão nocturno para reduzir as perdas para o exterior apenas durante a noite, mas deixando o sistema funcionar normalmente durante o dia (Figura 5.1.14).

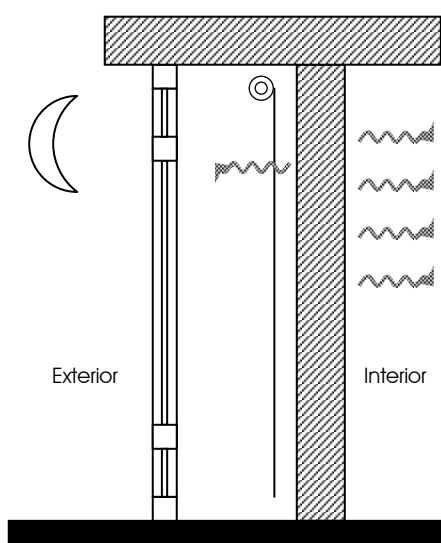


Figura 5.1.14. Parede acumuladora com efeito de Estufa e isolamento nocturno (durante a noite em Inverno)

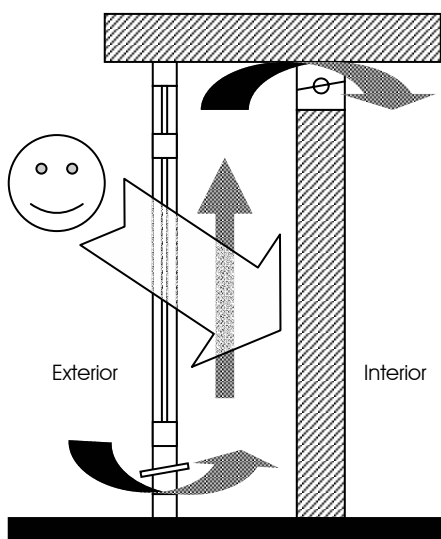


Figura 5.1.15. Parede dinâmica com efeito de Estufa

O desempenho da parede acumuladora é melhor se (FABUTE 2003):

- O factor de obstrução for pequeno no Inverno e grande no Verão;
- O valor do Coeficiente U do vidro for grande, mas conjugado com uma grande transmissão térmica;
- for aplicado isolamento nocturno móvel;
- A absorção da superfície exposta for alta, pintura de cor preta ou aplicado revestimento selectivo da superfície;
- A parede possuir uma capacidade de armazenamento bem dimensionada para devolver o calor nas horas mais necessárias.

Uma variante do sistema de parede estufa consiste na perfuração transversal da parede de armazenamento. Neste caso, os pequenos orifícios produzem um aumento do fluxo de calor por convecção, bem como permitem a entrada de alguma iluminação filtrada.

b) **Parede dinâmica:** um sistema de ventilação combinada com efeito de estufa é o sistema chamado de “parede dinâmica com efeito de estufa” (CSTB 1988) que é apresentado na Figura 5.1.15. Basicamente é uma parede de armazenamento com a particularidade de aquecer o ar exterior durante o dia. Durante a noite no período de Inverno, ou em dias encobertos e sem ganhos, a abertura de ventilação deverá ser encerrada, ficando a parede apenas a aquecer por radiação, como parede acumuladora.

c) **Parede de Trombe:** as paredes acumuladoras podem funcionar com um sistema combinado de radiação e convecção com a aplicação de aberturas nas suas partes inferior e superior.

A opção de colocar ou não orifícios de termocirculação numa parede acumuladora depende essencialmente dos períodos durante os quais se necessita o calor. Se se necessita deste prioritariamente durante o dia, então as aberturas são fundamentais (Mitjá 1986).

Quando a parede aquece por efeito da radiação solar, parte do calor é captado pela parede e outra é transferida ao ar encerrado entre o vidro e a parede. O calor absorvido pela parede é transmitido posteriormente por convecção e condução quando os orifícios são abertos, ou apenas por condução, quando os orifícios estão fechados, pelo que se torna mais versátil que a parede acumuladora simples.

O funcionamento correcto do sistema é muito importante. Se forem abertos os orifícios de ventilação durante as noites de Inverno, o calor do compartimento irá ser transportado pelo ar através do espaço de ar, e irá condensar nos envidraçados e na superfície da parede. A abertura inferior permite a entrada do ar frio que, ao aquecer na caixa-de-ar existente entre o vidro e a parede, diminui de densidade e sobe até sair pela abertura superior da parede, aquecendo assim o espaço interior por um sistema de circulação do ar interior, como se pode ver na Figura 5.1.16. A convecção de ar na parede Trombe permite o aquecimento durante o dia, o calor transmitido por radiação pela parede deverá fornecer o aquecimento durante a noite. A eficiência do sistema pode ser melhorada com o uso de dispositivos de isolamento nocturnos. O funcionamento faz-se de acordo com a seguinte sequência:

- **Inverno, dia:** os orifícios de ventilação apenas deverão ser abertos, quando a temperatura no espaço de ar excede a temperatura do compartimento e seja necessário o aquecimento (Figura 5.1.16). O dispositivo móvel deverá estar aberto;
- **Inverno, noite:** para reduzir as perdas de calor, o eventual dispositivo de oclusão nocturno deverá estar fechado, bem como os orifícios de ventilação (como na parede acumuladora da Figura 5.1.14);
- **Verão, dia:** os orifícios de ventilação devem estar fechados e deverá ser previsto o sombreamento do sistema;
- **Verão, noite:** para facilitar o arrefecimento da parede, devem ser abertos os orifícios de ventilação exteriores (Figura 5.1.17).

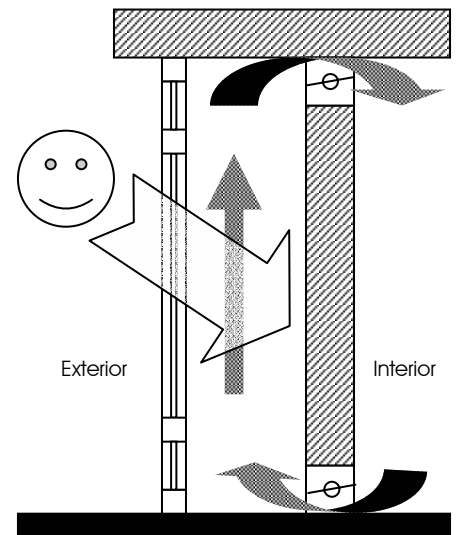


Figura 5.1.16. Parede de Trombe com efeito de Estufa durante o dia em Inverno

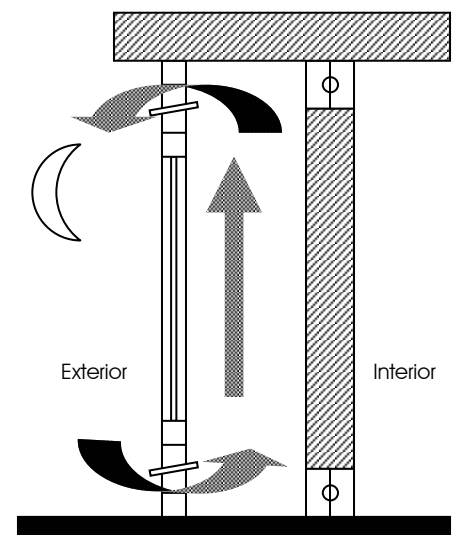


Figura 5.1.17. Parede de Trombe com efeito de Estufa durante a noite no Verão

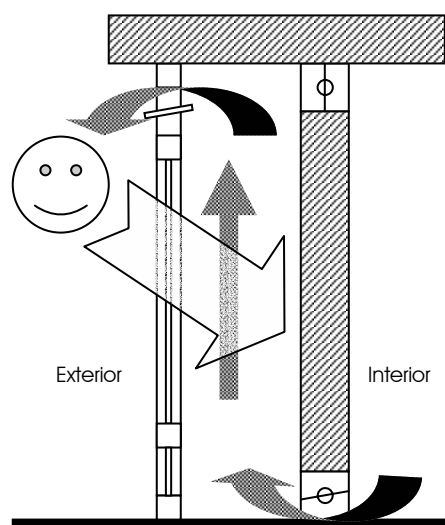


Figura 5.1.18. Parede de Trombe como bomba de ar quente para favorecer ventilação

A superfície óptima das aberturas de termocirculação está entre 0,5% e 3% da superfície total da parede de Trombe. As aberturas serão maiores quando o calor durante o dia é mais necessário (ganhos por convecção). O caudal de ar quente regula-se por persianas móveis situadas nas aberturas de termocirculação (Mitjá 1986). Os orifícios devem dispor de redes mosquiteiras para prevenir a entrada de insectos, bem como dispor duma válvula (geralmente uma lâmina de polietileno) nas aberturas superiores para evitar que a parede de Trombe inverta o sentido de circulação do fluxo de ar durante a noite, arrefecendo assim o espaço interior (Mitjá 1986). Tal como na parede acumuladora, o rendimento da parede de Trombe pode ser incrementado consideravelmente isolando o vidro exterior durante a noite. Durante o Verão a Parede Trombe pode ser aproveitada como bomba de ar quente, favorecendo a ventilação do edifício, fechando a abertura superior na parede e abrindo uma abertura superior no vidro exterior. O ar quente do interior do edifício é absorvido pela baixa pressão criada na caixa-de-ar e são praticadas aberturas na parede Norte para entrada de ar mais frio (Figura 5.1.18).

Tal como nos sistemas indirectos referidos anteriormente também o sistema Trombe pode ser feito com uma chapa ou outro material com boa condutibilidade que aqueça a parede e o espaço de ar, sem efeito de estufa (Figura 5.1.19).

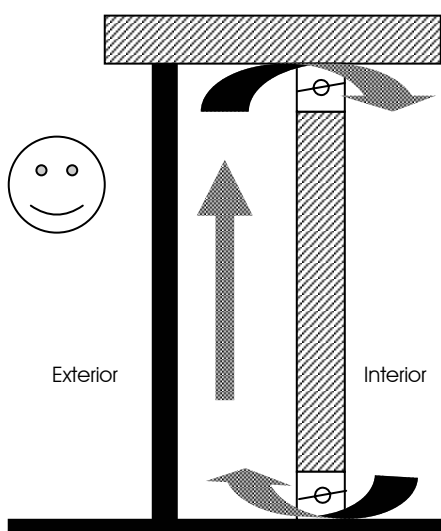


Figura 5.1.19. Parede de Trombe sem efeito de Estufa

5.1.2.2. Paredes de água

Neste tipo de parede, a água é o elemento de armazenamento térmico. Para isso deverá ser contida em recipientes estanques de cor escura ou selectiva para absorver o máximo de radiação solar. A sua capacidade de armazenamento de calor é dez vezes mais elevada do que as paredes de alvenaria de tijolo furado e cinco vezes superior, por exemplo, à do betão, devido ao seu elevado calor específico. Para armazenar a mesma quantidade de energia é necessário apenas 1/5 da massa de água relativamente ao betão (Mitjá 1986). Devido ao elevado calor específico e condutibilidade da água, incrementada pelos fluxos convectivos, existe uma diferença fundamental entre o funcionamento duma parede de água e de uma parede de Trombe. Na parede de Trombe existe um grande desfasamento temporal entre a absorção da energia e a sua cessão ao ambiente. No caso da parede de água, não isolada, a transferência de calor é muito rápida, o que requer um controle adicional da distribuição de calor no interior do espaço a aquecer. Este controle pode fazer-se isolando a armazenagem de calor durante o dia e retirando este isolamento à noite. Este efeito também se pode conseguir pelas características dos contentores utilizados, nomeadamente a sua espessura e dimensões. Assim, os pequenos depósitos têm, para um volume de água total igual, uma superfície de troca com o ambiente maior que os grandes depósitos e portanto uma libertação de calor mais rápida. Por todos estes factos não existe uma espessura óptima para uma parede de água, já que não se pode concluir que a uma maior espessura corresponde um melhor rendimento. No entanto, a partir dos 15cm de espessura, o incremento da eficácia não é significativo comparado com o sobrecusto e a perda de espaço habitável que implica (Mitjá 1986). Para prevenir que a

água gele e se dê o desenvolvimento de fungos, deverá ser acrescentada à água propilo-glicol, bem como óleos especiais para evitar a corrosão dos recipientes (quando metálicos) (Mitjá 1986). Por outro lado, para permitir a dilatação da água ao aquecer, os recipientes não deverão ser totalmente cheios, de forma que 10% do seu volume total fique vazio. Existem já algumas soluções translúcidas, utilizando tubos transparentes de poliéster que, uma vez cheios de água têm uma transmitância à luz do sol de cerca de 20% (Mitjá 1986).

A "Transwall", representada em secção na Figura 5.1.20, consiste na aplicação de água entre duas placas de vidro. Também pode ser aplicado uma terceira placa (placa de vidro, absorvente, pintada).

Os sistemas de paredes de água apresentam o inconveniente do possível perigo de derrame da água depositada e também do ruído ocasionado pela água ao dilatar sobre as paredes dos depósitos.

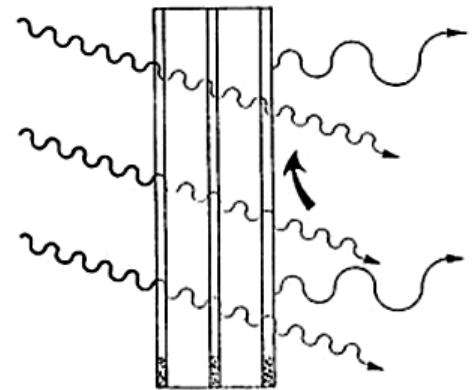


Figura 5.1.20. Sistema Transwall (Goulding 1986)

5.5.2.3. Coberturas de água.

Neste sistema coloca-se sobre a laje da cobertura uma massa de água exposta à radiação solar, para absorver e armazenar calor, como se pode ver na Figura 5.1.21. A água é usualmente contida em recipientes, sobre os quais se coloca uma cobertura plástica com o fim de limitar as perdas por convecção para o exterior. A parte interior da cobertura é usualmente de chapa metálica, com um tratamento anti-humidade, para favorecer a transmissão de calor para o interior, por radiação. Como a distribuição de calor desde a cobertura não é ideal, (já que a estratificação do ar limita o conforto) o pé-direito deverá ser o menor possível, pois a intensidade da radiação decresce rapidamente com a distância. O sistema de cobertura de água dispõe usualmente dum isolamento móvel, necessário para reduzir no Inverno as perdas de calor não desejadas durante a noite e evitar, no Verão, os ganhos solares excessivos durante o dia (Mitjá 1986).

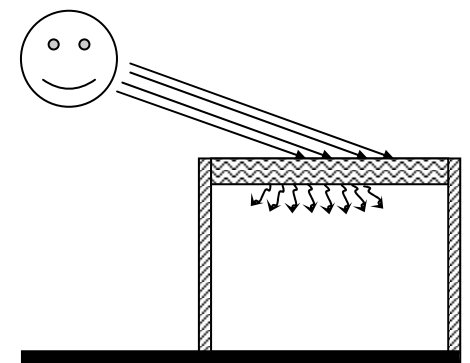


Figura 5.1.21. Cobertura de água

Nos dias de céu limpo de Inverno a água absorve a energia solar, cedendo uma parte ao ambiente interior e armazenando o resto. Durante a noite, a cobertura de água com isolamento móvel irradia calor armazenado durante o dia. Durante os dias quentes de Verão, o isolamento móvel é utilizado para impedir que a radiação solar aqueça a água. Nestas condições a água está mais fria que o ambiente interior e produz-se uma refrigeração deste por transferência de calor para a massa de água. Durante a noite o isolamento móvel é retirado e a água refrigera-se ao irradiar o calor armazenado para o exterior (Mitjá 1986).

5.1.2.4. Sistema indirecto pelo pavimento

Este sistema, representado na Figura 5.1.22, é composto por um elemento acumulador, usualmente um depósito de pedras ou água, colocado por baixo do pavimento do compartimento a climatizar. Na fachada Sul coloca-se um sistema de captação solar, com um vidro exterior proporcionando efeito de estufa. A energia solar passa desde a superfície de captação até ao interior do depósito por convecção natural do ar ou da água. A

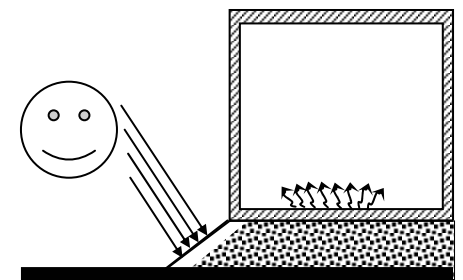


Figura 5.1.22. Sistema de ganho indirecto pelo pavimento

transmissão de energia para o ambiente interior, no caso mais directo, faz-se desde o solo, por condução e radiação de onda longa, produzindo-se um certo atraso e amortecimento da oscilação da temperatura.

Também se pode melhorar o rendimento e o controlo do sistema, mediante um circuito de convecção forçada, fazendo passar o ar do interior pelo depósito de pedras, onde este aquece e assim se cede ao ambiente a energia térmica, mediante aberturas reguláveis (Serra e Coch 1995).

Vantagens do ganho indirecto:

- Os sistemas de ganho indirecto proporcionam calor durante o dia, por convecção de ar quente, e também durante a noite, normalmente quando é mais necessário, por radiação da energia armazenada na massa térmica;
- Permitem um controle mais rigoroso sobre a quantidade de calor cedida ao ambiente interior do que no caso do ganho directo, pelo que a oscilação da temperatura interior é normalmente menor;
- Podem actuar como aquecedores no Inverno e refrigeradores no Verão;
- Evitam os problemas da degradação dos objectos expostos directamente à radiação solar e o deslumbramento;
- No caso das coberturas de água, existe a vantagem adicional que, devido à grande superfície de radiação de calor, os efeitos de aquecimento e refrigeração são mais uniformes que no caso das paredes. Também a orientação solar neste caso não é vinculativa (excepto se houver obstáculos exteriores que produzam sombra), pelo que a organização do espaço interior do edifício é mais flexível.

Inconvenientes do ganho indirecto:

- As paredes de armazenamento térmico com ganho indirecto obrigam à orientação Sul;
- As perdas térmicas nocturnas destes sistemas costumam ser elevadas. O isolamento em alguns casos (nomeadamente em paredes de água) torna-se complexo e de difícil instalação e manutenção (Mitjá 1986);
- As paredes de armazenamento ocupam espaço habitável e incrementam muito significativamente o peso do edifício;
- As paredes de armazenamento impedem as vistas para o exterior pelo que obrigam à abertura de envidraçados maiores ou orientados a outras direcções (por exemplo Norte);
- No caso das coberturas de água o sistema obriga a um pé direito baixo e climatizar com este sistema apenas o piso adjacente à cobertura. A estrutura de suporte da cobertura é mais cara, pois terá de ser sobredimensionada para suportar o peso adicional da água (Mitjá 1986).

5.1.3. Ganho separado

Os sistemas de ganho separado são aqueles onde a captação de energia solar se realiza num espaço (estufa) ou num elemento

(sistema de termosifão) separado da zona habitável do edifício. Também aqui a utilização de vidro simples e caixilharia metálica será de considerar já que, apesar de maiores perdas térmicas, o factor de obstrução é neste caso menor do que no caso de caixilhari­as em PVC ou madeira e vidros duplos. Permite maiores ganhos e poderá compensar no balanço energético global, como já foi referido anteriormente relativamente aos sistemas de ganho indirecto do tipo parede de Trombe.

5.1.3.1. Estufas

O primeiro requisito para a introdução duma estufa numa habitação é dispor de um espaço orientado a Sul. As superfícies vidradas a Este, Oeste e da cobertura deverão ser reduzidas ao mínimo, ou mesmo ser opacas, já que proporcionam pouco calor no Inverno e produzem problemas de sobreaquecimento no Verão e nas estações intermédias (Mitjá 1999).

Quando a área de envidraçado da estufa é pequena em comparação com a área útil do edifício, não se torna necessária massa térmica, sendo o ar quente introduzido na habitação através de aberturas ou por ventilação forçada. Quando a proporção da superfície de vidro captador em relação à área útil da habitação é de 1/6 ou mais, deverá ser incluída massa térmica para reduzir as flutuações de temperatura na estufa. Uma parede de separação habitação/estufa de 20 a 30cm de material pesado, um pavimento de estufa de 10 a 15cm de betão ou bidões de água poderão ser utilizados para este fim (Mitjá 1999).

Um outro aspecto é o isolamento da estufa durante a noite. Deverá ser isolada tanto a superfície vidrada (com um estore que proporcione algum isolamento térmico nocturno) como as paredes e vãos de separação entre a estufa e a habitação.

A estufa aplicada enquanto sistema de ganho directo (estufa adossada) tem alguns conceitos e princípios de funcionamento comuns aos duma estufa agrícola, já que em ambos os casos se pretende a criação de um microclima, onde a temperatura é incrementada por influência da radiação solar, sendo o mecanismo que ocasiona este incremento o efeito de estufa.

Vários aspectos são importantes na concepção de estufas, dos quais se destacam:

- **Orientação:** desta depende em grande medida a eficácia da captação de energia solar por parte da estufa. A orientação a Sul é sempre a óptima para a estufa adossada, já que neste caso o importante é o incremento dos ganhos na estação fria;
- **O tipo de estrutura:** dependendo do material que se utilize, o tipo de estrutura do caixilho vai influenciar o factor de obstrução do sistema, pelo que se torna importante otimizar este, para além do aspecto económico;
- **O material transparente empregue:** o mais importante factor é o tipo de material transparente utilizado. Deste depende a quantidade de energia transmitida e retida, em função da selectividade do seu espectro. As suas características fixam a

opacidade aos comprimentos de onda larga e portanto estabelecem a intensidade do efeito de estufa (Colás 1987).

Na escolha do tipo de material transparente empregue deverão ser tidos vários aspectos em conta, dos quais se destaca:

- Espectro da transmitância;
- Vida útil do material;
- Custo económico;
- Energia incorporada.

Os principais materiais transparentes utilizados em estufas são o vidro e os plásticos.

a) Vidro

O vidro é o material que inicialmente se utilizou nas estufas, já que era o único material que dispunha das características que se exigiam para o invólucro da estufa.

Podem referir-se as seguintes características vantajosas do vidro quando utilizado em estufas:

- Bom comportamento face ao espectro de radiação solar. Para comprimentos de onda curtos ($<0,8\mu\text{m}$) a transparência do vidro simples é da ordem dos 90%. No entanto é praticamente opaco às radiações de comprimentos de onda longos ($>5\mu\text{m}$), pelo que a radiação libertada pelo solo ou laje de pavimento e paredes se reflecte praticamente toda na face interior do vidro e não se perde para o exterior, produzindo-se assim o efeito de estufa. Outra característica é que o espectro de radiação solar praticamente não se altera ao atravessar o vidro;
- Grande durabilidade. A radiação térmica não produz nenhum efeito de degradação ao vidro, tal como a água ou mesmo os elementos químicos resultantes da poluição atmosférica, pelo que se pode utilizar por um longo período de tempo, quase indeterminado em condições normais (Colás 1987).

O vidro possui também algumas desvantagens, tais como:

- Pouca resistência mecânica (ao impacto);
- Peso: o peso do vidro exige uma estrutura de suporte de alguma dimensão, o que limita os ganhos solares, já que esta produz sombra;
- Custo: o preço elevado do vidro advém de um processo de fabrico onde são necessárias altas temperaturas e portanto um gasto intensivo de energia, com reflexo igualmente no impacte ambiental, pela produção de CO_2 , bem como um transporte e manuseamento delicados.

b) Plásticos

A introdução dos plásticos em estufas agrícolas representou uma autêntica revolução, já que permitiu um aumento muito significativo da superfície de estufas agrícolas devido à utilização massiva dos plásticos. Estes trouxeram igualmente a utilização de estruturas mais simples e ligeiras, com o que se conseguiu um menor factor de obstrução e uma redução muito significativa do custo. Em termos de

habitação, como a área não é significativa, a utilização de plástico não é tão vantajosa como no caso das estufas agrícolas.

As principais desvantagens dos plásticos são:

- Baixo custo;
- Menor peso próprio, o que permite reduzir a estrutura de suporte, eliminando sombras;
- Boa estanquicidade ao ar e à chuva que advém da redução dos elementos de suporte e da maior superfície de cada pano (praticamente só limitada numa das dimensões);
- Maior resistência mecânica ao impacto.

A características negativas que poderão ser apontadas são as seguintes:

- Menor transparência;
- Efeitos de condensação devido ao arrefecimento nocturno. Podem reduzir-se introduzindo uma duplicação da membrana com uma caixa de ar de 3 a 5cm;
- Muito menor durabilidade que o vidro, tendo que ser substituído nalguns casos após somente dois a cinco anos de uso;
- Pouca resistência à intrusão;
- Reduzido isolamento sonoro

Em forma de membrana os plásticos mais utilizados em estufas são:

- Polietileno de baixa densidade (espessuras: normal-0,15mm, de longa duração-0,18mm ou isolante térmico-0,20mm) (Colás 1987). De todos os materiais plásticos é o mais económico, e por isso o mais utilizado. Tem boa resistência mecânica ao rasgo que pode ser produzido pelo vento. Gera um bom efeito de estufa. Apresenta também uma boa resistência química aos poluentes atmosféricos. Apresenta uma condutibilidade térmica menor que o vidro;
- Etileno Vinilo de Acetato (EVA) (espessura: 0,20mm);
- Cloreto de Polivinilo (PVC) (espessura: 0,20mm). Na resistência mecânica é igual ao polietileno. É superior ao polietileno no efeito de estufa produzido, já que é mais opaco às radiações infra-vermelhas. Tem uma condutividade térmica menor que o polietileno.

Com as películas (membranas) o efeito de estufa é menor que com as placas, já que com estas últimas se conseguem maiores diferenças de temperatura entre o interior e o exterior (Colás 1987).

Em forma de placas os plásticos mais utilizados em estufas são:

- Resina de poliéster reforçado com fibra de vidro ou nylon (espessura: 0,7mm). Das resinas de poliéster a mais conhecida é o polimetilmetacrilato. Este apresenta um factor de transparência tão bom como o vidro e ainda é mais opaco às radiações de infra-vermelho, com o que melhora o efeito de estufa. No que respeita à resistência mecânica, ao ser reforçado com fibras perde as suas boas propriedades ópticas mas obtém uma boa resistência mecânica. Possui uma elevada durabilidade. Existem outras resinas de poliéster com propriedades diversas, mas que também têm uma

durabilidade elevada. A propriedade comum a estas é a de difundirem bem a luz no interior da estufa;

- Cloreto de Polivinilo (PVC) biorientado (espessuras de 7mm ou mais). Em placa, o PVC tem uma durabilidade mais elevada que em película, podendo chegar aos 6 anos em condições de radiação solar intensa;
- Policarbonato alveolar (espessuras de 4, 6, 8, 10, 16mm) (Colás 1987).

c) Estrutura da estufa

Para a realização das estruturas de suporte dos envidraçados podem empregar-se diversos materiais: madeira, metal (ferro, aço inox e alumínio), plásticos (usualmente PVC), betão ou tijolo.

O primeiro a ser utilizado foi a madeira, por ser o material mais acessível. Continua a ser o mais económico, apesar de ter uma durabilidade menor que as outras soluções, se não for prévia e periodicamente tratada. Outras desvantagens têm a ver com a sua estanquicidade, que fica comprometida pelas dilatações que sofre, além do elevado factor de obstrução devido ao facto da secção dos perfis ser normalmente de grande espessura. A sua grande vantagem é a baixa condutibilidade térmica, além do factor ambiental, já que se trata de um material renovável e com pouca energia incorporada.

Os materiais metálicos têm a vantagem, relativamente à madeira de, com pequenas secções, se conseguir a mesma resistência, com o qual diminui muito o factor de sombreamento do envidraçado (Colás 1987). Outra vantagem tem a ver com a boa estanquicidade que normalmente é superior nas soluções de alumínio. Os principais problemas têm a ver com o elevado impacte ambiental associado com a produção dos perfis e o custo de fabrico.

Devido à grande superfície de captação solar, as temperaturas diurnas que se fazem sentir no seu interior são muito elevadas e, durante a noite, pelos inevitavelmente elevados Coeficientes U dos envidraçados, tornam-se frias. Por este facto, as elevadas oscilações de temperatura só podem ser toleradas em espaços anexos não úteis, onde não se necessita um nível de conforto elevado.

No desenho de estufas adossadas a espaços habitáveis, temos uma situação de ganho indirecto, podendo neste caso aproveitar-se ao máximo esta possibilidade. O calor captado pela estufa pode levar-se directamente a qualquer lugar da habitação ou ser armazenado para se poder utilizar quando não há radiação solar. As estufas podem servir igualmente para reduzir as perdas térmicas das partes contíguas do espaço habitado, actuando como espaço tampão entre o espaço útil interior e o exterior. Tal como nas Paredes de Trombe, esta solução apresenta, como vantagem sobre o ganho directo, a possibilidade de redução das perdas de calor pelos envidraçados.

Se existir uma área de envidraçado a separar a estufa do compartimento útil, um fragmento da radiação solar pode atravessar a estufa, sendo transmitido directamente pelos

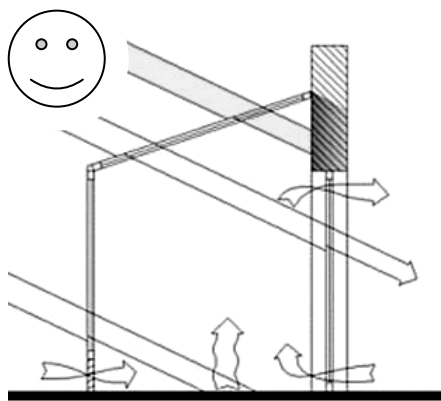


Figura 5.1.23. Estufa adossada durante o dia

envidraçados. O seu efeito neste caso é semelhante ao de um sistema directo (Figura 5.1.23). Neste caso, uma parte considerável da radiação solar que a estufa captou introduz-se directamente na habitação através do vidro, especialmente quando a altura do Sol é baixa, nos meses de Inverno.

No caso de também existirem paredes maciças localizadas entre a estufa e a habitação, estas jogam um papel similar ao duma parede de Trombe, pelo que neste caso temos um sistema de ganho indirecto. A radiação solar é absorvida e conduzida ao interior da habitação por radiação e convecção. Desenvolve-se, então, um fluxo de calor por condução, da superfície quente para o pavimento e o solo, e uma troca de calor por convecção irá aquecer o ar da estufa. Este último fenómeno reduz as perdas de calor da casa e providencia ganhos de calor. O colar acumulado irá ser libertado durante a noite (Figura 5.1.24).

A inclusão de massa térmica na estufa permite amortecer as oscilações de temperatura. Não é indispensável, mas será importante se se querem obter condições mínimas de habitabilidade dentro da estufa, que permitam o uso como espaço habitável (Mitjá 1986). As paredes de separação entre habitação e estufa são as mais indicadas para a colocação da massa térmica. Estas recebem durante o dia a radiação solar directa, conduzem uma parte para a habitação e outra serve para manter quente a estufa. As considerações de desenho para as paredes de armazenamento térmico são, em grande parte, aplicáveis neste caso. A massa da parede servirá também para reduzir a amplitude térmica diária no compartimento útil, bem como retardar a onda térmica. A espessura recomendada para esta parede é de 20 a 30cm para a parede de betão e de 25cm no caso de tijolo maciço (Mitjá 1986).

Uma outra posição para colocar a massa térmica é o pavimento da estufa. Neste caso este deverá ser dum material pesado, com uma grande capacidade térmica. Se fôr num piso térreo, não deverá ser isolada relativamente ao terreno situado por baixo, já que este também pode constituir uma fonte de calor quando a temperatura da estufa é baixa. No entanto, é importante um bom isolamento perimetral do pavimento da estufa para evitar a perda do calor armazenado (FABUTE 2003).

Outros elementos pesados situados dentro da estufa podem também actuar eficientemente como massa térmica. Podem utilizar-se contentores de água, piscinas, terra em vasos de plantas, blocos de betão, etc.

A circulação de ar, em sistema fechado, entre o compartimento útil e a estufa, é desenvolvida devido ao efeito de estratificação, tal como na Parede de Trombe. Esta transferência de calor por convecção pode ser diminuída, aplicando portas e janelas estanques ao ar, ou aumentada com a aplicação de aberturas e orifícios (podendo ainda aumentar o seu efeito com o uso de ventiladores). O ar quente poderá ser direccionado naturalmente para o interior do compartimento útil através de aberturas na parte

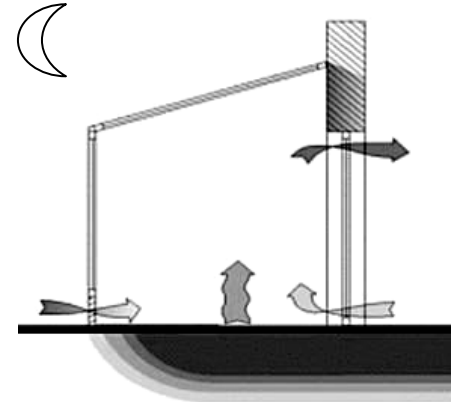


Figura 5.1.24. Estufa adossada durante a noite

superior, ou forçado a dirigir-se para baixo, através de ventilação forçada. Os ventiladores podem ser accionados manual ou automaticamente, no caso de serem controlados por termostatos situados dentro da habitação. Se a temperatura do ar na estufa, excede a do compartimento, as aberturas entre a estufa e a casa deverão ser abertas – o fluxo de calor por convecção proporciona um ganho de calor.

As estufas deverão ser avaliadas considerando dois aspectos: por um lado elas melhoram o balanço energético da habitação, por outro, elas representam uma zona que pode ser temporariamente habitável. Será importante definir antecipadamente, quais são os aspectos mais importantes em cada caso, pois muitos parâmetros possuem efeitos opostos destes aspectos (FABUTE 2003).

Podem ser referidas duas opções para a posição da porta ou de outros elementos de ligação envidraçados entre a estufa e o compartimento a climatizar, em relação à satisfação das necessidades de aquecimento pontuais:

- **“de porta aberta”**: quando a temperatura na estufa é superior à temperatura requerida no interior - a porta entre a estufa e a casa, pode e deve, estar aberta, quando se necessitam ganhos;
- **“de porta fechada”**: quando a temperatura no interior da estufa é menor do que no interior da casa, a porta de ligação deverá estar fechada, reduzindo as perdas e, se o céu estiver limpo, ainda poderá ser fornecido algum ganho por radiação directa.

A grande superfície exterior envidraçada da estufa permite a captação da energia solar, mas apresenta o inconveniente das grandes perdas térmicas a que dá origem. As medidas para reduzir estas perdas podem ser de vários tipos, destacando-se:

- Tipo de material transparente ou translúcido utilizado: a utilização de vidro simples permite a máxima entrada de radiação solar, mas não evita a rápida descida da temperatura durante o período nocturno, acompanhando a eventual descida da temperatura exterior em regiões de grande amplitude térmica diária. Uma forma de reduzir este fenómeno é pela utilização de vidro duplo, reduzindo-se assim as perdas. A colocação de três ou mais panos de vidro não é recomendável, pois o efeito de redução das perdas térmicas não compensa a diminuição na quantidade de radiação solar que entra na habitação e, sobretudo, pela complexidade e custo acrescidos;
- Isolamento nocturno: o isolamento móvel é mais eficaz já que permite reduzir drasticamente as perdas térmicas nocturnas da estufa sem diminuir a quantidade de radiação solar captada durante o dia. Os problemas que esta solução comporta são económicos e de localização e recolha do isolamento durante o dia, quando não é necessário;

Devido ao pré-aquecimento do ar na estufa, diminuem-se as perdas por renovação de ar na habitação. A sala de estar poderá estar entre a cozinha e a estufa. Se existirem muitas plantas na

estufa, a humidade do ar que entra na sala de estar, em qualquer direcção, pode ser demasiada elevada. Um fluxo invertido não influencia as perdas por renovação, mas aumenta o número de horas habitáveis na estufa. Para períodos frios, e no caso de fluxos invertidos, não deve ser desprezado o risco de condensações nos envidraçados da estufa. Uma terceira direcção para o fluxo (é desejável um fluxo directo entre o compartimento e o ambiente) deverá ser providenciada, de modo a prevenir o risco de aparecimento de bolores e fungos (FABUTE 2003).

Vantagens:

As estufas reduzem as perdas de calor do edifício, actuando como espaço tampão;

- A variação de temperaturas dia/noite nos espaços habitáveis adjacentes é pequena;
- A estufa adossada pode adaptar-se perfeitamente a edifícios já existentes e permite o incremento da superfície habitável;

Inconvenientes:

- A eficácia térmica da estufa varia muito segundo o desenho, o que torna difícil prever o seu comportamento;
- A construção de estufas de elevada eficácia térmica é cara (grandes superfícies a isolar durante a noite);
- As oscilações de temperatura dentro da estufa são consideráveis e convertê-la em espaço habitável é caro pois requer a inclusão duma elevada massa térmica adicional (Mitjá 1986) (principalmente se não for num piso térreo);
- O principal inconveniente da solução de estufa integrada é a dificuldade de adaptação a edifícios já construídos.

Considerando a disposição da estufa, podem ser considerados vários tipos: adossadas, integradas e fechadas (átrios). Na Figura 5.1.25.a) mostra-se um exemplo de estufa adossada e, na Figura 5.1.25.b), de estufa integrada.

a) Estufa adossada

As estufas adossadas apenas partilham uma parede com a casa. Apresentam muita flexibilidade para a concepção arquitectónica, incluindo o aproveitamento solar passivo em edifícios já existentes, por exemplo permitindo cobrir terraços ou varandas existentes. Tanto podem ser aplicadas em paredes exteriores transparentes, como opacas, mas geralmente numa combinação das duas.

As estufas adossadas com fachadas laterais e coberturas transparentes, devido à maior área envidraçada recolhem mais energia, teoricamente. No entanto, existe risco de sobreaquecimento, especialmente no Verão. As mudanças sazonais na altura e azimute da radiação solar podem resultar em importantes ganhos no verão em superfícies horizontais e em superfícies verticais orientadas a Este ou Oeste, bem como maiores perdas durante no Inverno pela superfície de envidraçado, tornam o balanço energético mais desfavorável, pelo menos para o clima temperado português. Devido a este fenómeno, as estufas adossadas são menos indicadas que as integradas.

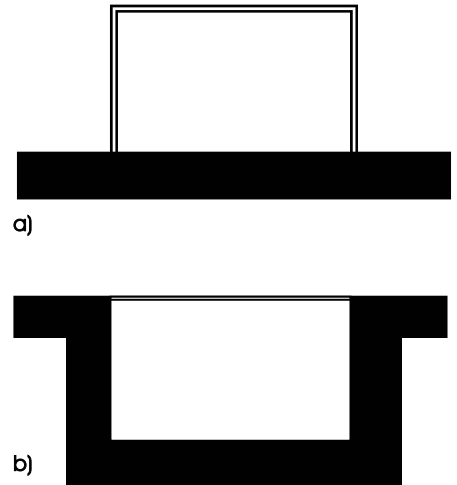


Figura 5.1.25. Planta esquemática de Estufa Adossada (a) e Estufa Integrada (b)



Figura 5.1.26. Vista Sul da casa Koppányi com estufa adossada (FABUTE 2003)

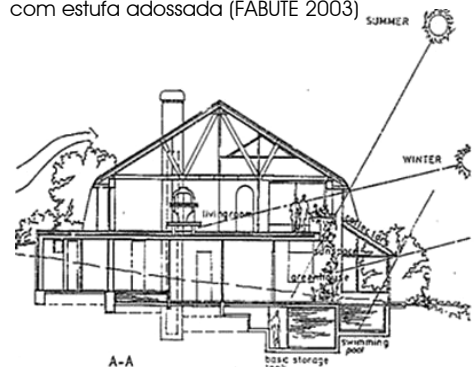


Figura 5.1.27. Corte transversal da casa Koppányi: piscina na estufa adossada e esquema de insolação (FABUTE 2003)

A Casa Koppányi, situada em Budapeste (Figuras 5.1.26 e 5.1.27), projectada pelo arquitecto I. Koppányi apresenta um exemplo de estufa adossada. Existe uma pequena piscina na estufa, a qual representa uma considerável capacidade de armazenamento térmico. A temperatura média no Inverno é de 15,6°C, para uma temperatura exterior de 6°C. A temperatura máxima no interior da casa, no dia mais quente no Verão, não excede os 25°C. Foi estimado que 60% do consumo da energia de aquecimento é providenciado pelos ganhos solares (FABUTE 2003).

Os arquitectos Lacaton e Vassal têm desenvolvido muitos dos seus projectos sobre os conceitos de estufa. Na casa Latapie, em Floirac, eles utilizam uma estufa adossada de volume igual ao da própria habitação. A estufa é construída com estrutura em aço e painéis de policarbonato ondulados e ocupa toda a fachada Este da habitação, pretendendo ser um importante espaço habitável desta (Figura 5.1.28).

b) Estufa integrada

A estufa integrada na habitação apresenta vantagens, tais como a redução das perdas térmicas da habitação e da estufa, pela redução da superfície exterior de envidraçado, a facilidade de transferência de calor da estufa para a habitação, pela maior superfície de ligação entre ambas, a possibilidade de construção de habitações mais compactas, com redução de custo (Mitjá 1986). Apesar de menos versáteis, já que se adequam menos a recuperações, as estufas integradas, quando previstas na concepção, fornecem uma variedade de possibilidades de ligações arquitectónicas e funcionais, entre a estufa e a casa.

Do ponto de vista do efeito tampão é possível uma maior poupança de energia para aquecimento se a estufa for alongada mas não profunda. A utilização de vidros duplos (eventualmente com revestimentos de baixa emissividade) e isolamento móvel nocturno torna-se aqui uma solução a ponderar e a instalar com muito menor custo que numa estufa adossada.

Apresenta-se um exemplo duma estufa integrada na Figura 5.1.29 a casa Cooper, em Middleton, Grã-Bretanha, projectada pelo arquitecto C.J. Cooper. Um tipo comum de estufa integrada é a varanda envidraçada, vulgarmente chamada de “marquise”. Este tipo de solução encontra-se frequentemente nas fachadas posteriores de edifícios do Porto, dos finais do século XIX e início do século XX, como se pode ver no exemplo da Figura 5.1.30.

a) Estufa Fechada

Os Átrios podem também ser considerados como estufas integradas, sendo rodeados por todos os lados por compartimentos da casa. Neste caso, os elementos transparentes só podem estar localizados acima do nível da casa. Este tipo de estufa tem aplicação privilegiada em edifícios de poucos pisos e muito horizontais. O átrio pode ser uma forma especial de uma estufa, não fornecendo aquecimento auxiliar.

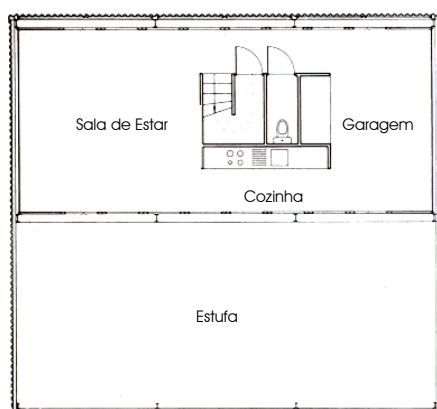
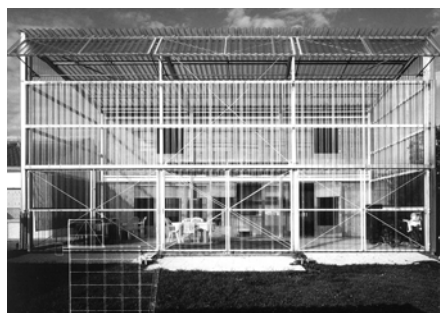


Figura 5.1.28. Vista exterior da estufa e plantas do piso térreo e 1º piso da casa Latapie, de Lacaton & Vassal (2G 2002)



Figura 5.1.29. Casa Cooper, com estufa integrada (FABUTE 2003)

5.1.3.2. Termosifão

Nestes sistemas a captação, absorção e armazenamento de energia realiza-se em espaços independentes da habitação. Um captador separado da habitação aquece o ar que, por efeito de termosifão, ou forçado por ventilador (neste caso um sistema híbrido e não somente passivo) é introduzido nos espaços habitáveis, aquecendo-os. O sistema pode incluir um elemento de armazenamento térmico também separado do espaço a aquecer, como é o caso do leito de brita. O elemento de armazenamento térmico mais adequado é um depósito de material granular, pela sua dupla função de armazenamento e troca de calor (Mitjá 1986). Existem diversos materiais que se podem utilizar, tanto para armazenamento em forma de calor sensível, como em forma de calor latente. O mais comum é o leito de brita (depósito de pedras). A configuração típica dum sistema de termosifão consta dum sistema captador, o leito de brita e dois circuitos de condutas para a carga e descarga térmica do leito para o espaço a aquecer. O efeito termosifão baseia-se na diminuição da densidade dum fluido ao aumentar a sua temperatura. Desta forma, o ar ao aquecer tem tendência a subir e o seu lugar ocupado por ar mais frio (Mitjá et al 1986).

O sistema de termosifão pode ser obtido a partir duma estufa adossada ou integrada. Este sistema, mais adequado a pisos térreos, pode ser justificado em situações onde não há possibilidade de armazenamento de calor na estufa e no próprio edifício (por exemplo construções leves a reabilitar em termos térmicos) e pela intenção de aquecer compartimentos afastados da melhor orientação durante a noite. No caso específico dos edifícios de habitação multi-familiar, a dimensão necessária para um sistema de ganho separado e das suas conductas para os pisos superiores inviabiliza a sua utilização, pelo que não será apropriado para estas situações.

Neste sistema, o ar quente pode ser captado da estufa e transferido para o armazenamento remoto e seguidamente para o compartimento a climatizar, por ventilação mecânica ou por radiação (Figura 5.1.31). Dependendo da situação, podem existir diferentes trajetórias para o fluxo:

- Se na estufa os ganhos são maiores que as perdas, tem-se o sistema como unidade de armazenamento a carregar - compartimento a aquecer/ventilar;
- se na estufa as perdas são maiores que os ganhos tem-se a unidade de armazenamento a descarregar - compartimento a arrefecer.

O sistema pode também ser usado para "arrefecimento" no Verão, descarregando a unidade acumuladora com ar exterior, fresco, durante a noite.

Podem ser enfatizados dois aspectos, em relação ao armazenamento remoto de calor (FABUTE 2003):

- uma grande capacidade de armazenamento é providenciado (isto é, com capacidade de armazenamento que pode chegar a alguns dias);



Figura 5.1.30. Varanda envidraçada tradicional do Porto (solução de estufa integrada)

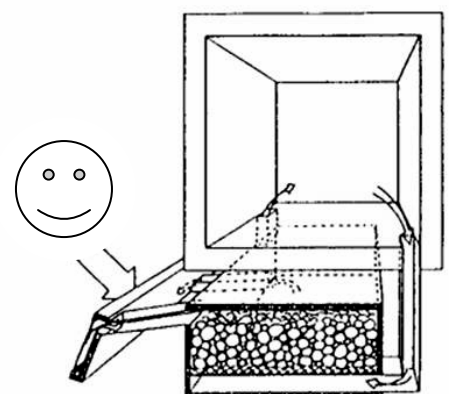


Figura 5.1.31. Sistema de termosifão com leito de rochas (FABUTE 2003)

- devem preferentemente ser construídas unidades acumuladoras de pequena dimensão, isoladas umas das outras, pois devido à grande massa de armazenamento, a temperatura pode não ser suficientemente alta para aquecimento, nem mesmo para ventilação se fôr utilizada apenas uma unidade de grande dimensão. Em unidades mais pequenas, mesmo uma quantidade mais limitada de energia poderá permitir o funcionamento do sistema duma forma mais efectiva.

As unidades remotas de armazenamento podem ser constituídas por placas ocas de betão, ou leitos de pedras. Estes últimos são constituídos por um amontoado de pedras com um tamanho uniforme, entre 20 a 50mm, num contentor de betão, estanque ao ar. Esta estrutura tem uma razão de superfície por volume muito alta, ou seja, condições favoráveis para o carregamento ou descarregamento. O comprimento do leito de pedras na direcção do fluxo de ar não deve exceder os 2m – o abaixamento da diferença de temperatura entre o ar e o material acumulador, não facilita a transferência de calor.

O volume do leito de pedras deverá ser cerca de 0,6 vezes a área de elementos transparentes (FABUTE 2003).

5.1.3.3. Sistemas com aquecimento de ar (por convecção)

a) Parede acumuladora com isolamento interior

A parede opaca possui um isolamento térmico pelo interior, consequentemente o fluxo de calor por condução direccionado ao compartimento é negligenciável. A energia absorvida irá ser transportada para o compartimento pelo fluxo de ar (apenas por convecção) pelo que neste caso se pode classificar como um sistema de ganho separado. O ar novo irá entrar no espaço de ar, através dos orifícios situados na parte inferior dos envidraçados. Ar pré-aquecido entra no compartimento através dos orifícios situados na parte superior da parede opaca, como se pode ver na Figura 5.1.32. O efeito do armazenamento de calor é negligenciável, pois os ganhos de calor por convecção estão em sincronia com a intensidade da radiação solar. O uso apropriado dos orifícios é fulcral.

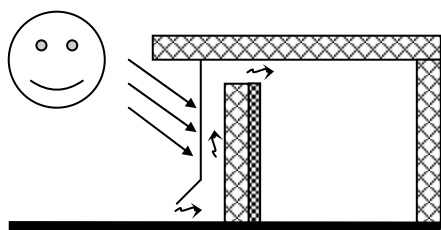


Figura 5.1.32. Ganho separado por parede acumuladora

b) Sistema Barra-Constantini

Neste sistema a fachada orientada a Sul é isolada e funciona como um colector de ar. O ar quente flui horizontalmente através das placas de betão ocas, as quais irão funcionar como o principal elemento colector de calor do sistema, e, seguidamente, ele flui de volta para as entradas da parte inferior da parede armazenadora (Figura 5.1.33). Devido à pequena diferença de pressões promovida pelo efeito de estratificação, o comprimento das condutas de ar é limitado: não deve exceder os 10m (FABUTE 2003). Ao mesmo tempo, durante o dia, a circulação natural providencia um bom efeito de auto-regulação. De noite, deverá ser impedido o fluxo inverso, devido às unidades posteriores de saída, pois corre-se o risco de perdas de calor e de condensações no colector.

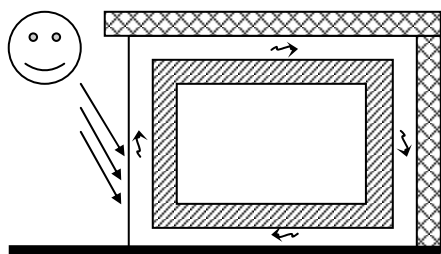


Figura 5.1.33. Sistema Barra-Constantini

Devido aos elementos armazenadores serem totalmente interiores, dentro de uma envolvente isolada, é assegurada a eficiência do sistema. São assim minimizadas as perdas de calor durante a noite e em períodos de céu encoberto.

5.1.4. Sistemas de ganho solar híbridos

Em sistemas solares de aquecimento do ar, a energia é transportada pelo fluxo de ar (transferência de calor por convecção). O fluxo de ar pode ser natural (devido ao efeito de estratificação) como nos sistemas já referidos anteriormente, ou forçado (sistemas mecânicos, com ventiladores). Devido à estratificação, a temperatura do ar é maior por baixo da cobertura da estufa. Este ar quente pode ser extraído e transferido para a casa.

Neste Capítulo, são apresentados resumidamente sistemas com fluxo de ar forçado. Estes constituem sistemas híbridos, pelo que não podem ser considerados sistemas solares passivos puros. Existe uma grande variedade de sistemas caracterizáveis pelo papel dominante do ar como transportador de energia, com auxílio de ventilação mecânica. A ventilação forçada melhora a utilização dos ganhos.

A aplicação de ventilação mecânica é aconselhável se:

- a estufa é alta;
- o compartimento da casa não pode ser ventilado directamente.

Os sistemas de ganho solar híbridos têm aplicações em edifícios bem estanques, onde a ventilação com entrada de ar para aquecimento pode ser uma necessidade. Eles podem fornecer calor, a partir da fachada Sul até zonas distantes, que teriam de ser aquecidas de outra maneira. A fachada do edifício pode ser utilizada como superfície captadora, enquanto a fachada dupla ou elementos ociosos podem ser utilizados como sistema de distribuição. Os elementos construtivos funcionam como armazenadores de calor, fazendo a integração funcional do edifício no sistema energético. No Verão, várias configurações podem induzir ventilação e arrefecimento natural ou forçado.

a) Sistema em circuito fechado: o circuito é fechado se o fluxo de ar não entra no compartimento. O circuito de ar dá-se apenas sob os elementos radiantes, como a parede ou o chão. Exemplo disto é o aquecimento por piso radiante com leito de rocha e sistema captador separado (Figura 5.1.34). O circuito pode também ser feito em todos os elementos ou pelo menos em quatro, rodeando todo o compartimento. Assim, o ar é recirculado em paredes duplas ou elementos ociosos, constituindo um sistema com circulação forçada de ar periférica que se assemelha ao sistema Barra-Constantini apresentado anteriormente (Figura 5.1.35).

Vantagens:

- sem risco de contaminação;
- temperatura radiante uniforme, melhor conforto térmico;

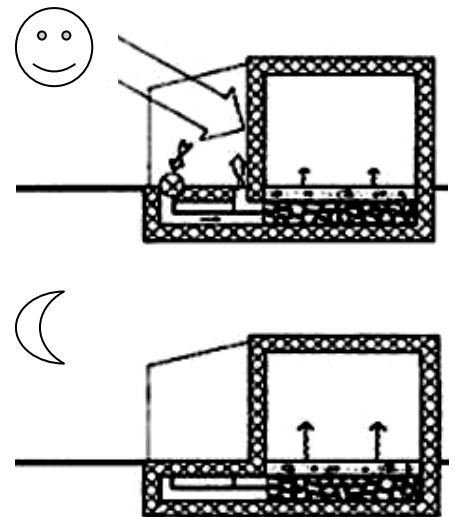


Figura 5.1.34. Piso radiante por ganho separado por estufa e leito de rocha acumuladora (FABUTE 2003)

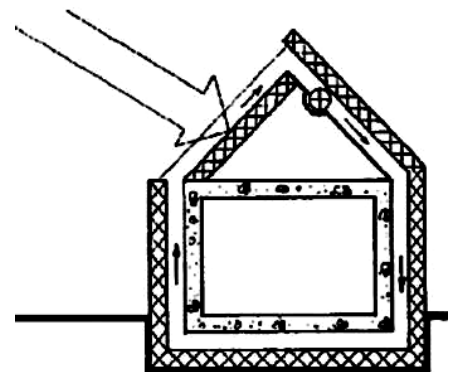


Figura 5.1.35. Sistema em circuito fechado com circulação sobre todo o compartimento (FABUTE 2003)

- grande capacidade de armazenamento de calor.

Desvantagens:

- não fornece ar novo;
- a saída de ar requer um mínimo de 25°C de temperatura no sistema.

b) Sistema em circuito aberto

O circuito é aberto se o fluxo de ar forçado quente entra no compartimento, como no exemplo da Figura 5.1.36.

Vantagens:

- fornece ar novo;
- poupança de energia na temperatura de entrada de ar (aquecimento, ou pelo menos, pré-aquecimento do ar novo).

Desvantagens:

- menor capacidade de armazenamento;
- risco de contaminação (necessidade de aplicação de filtros de ar e manutenção dos mesmos).

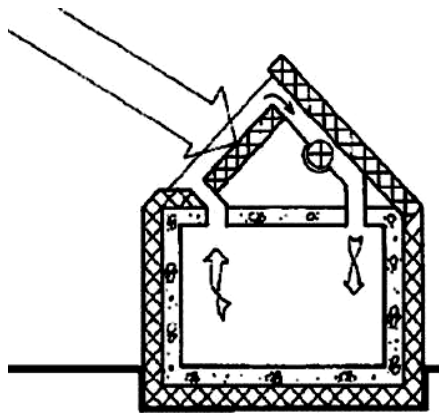


Figura 5.1.36. Sistema em circuito aberto com circulação sobre todo o compartimento (FABUTE 2003)

c) Sistema em circuito combinado

Sistemas com circuito aberto e fechado podem ser combinados. Sistemas combinados possuem todas as vantagens de ambos os sistemas, no entanto devem também ser considerados os riscos de contaminação do ar.

d) Colectores de ar sem armazenamento

Elementos colectores de energia, integrados no tecto ou parede. O absorber é tipicamente metálico (alumínio), e o transportador de energia é o ar. A eficiência pode ser melhorada se forem aplicados revestimentos de superfície selectivos. São utilizadas versões sem e com efeito de estufa.

1. **Colector de ar sem efeito de estufa:** o ar flui por baixo do elemento absorber, normalmente uma chapa metálica (Figura 5.1.37). Este elemento recebe a totalidade da radiação solar. As perdas de calor pelo colector são altas.
2. **Colector de ar com efeito de estufa:** o elemento absorber é tapado por uma placa transparente. O ar flui entre o absorber e a placa transparente (construção mais simples, perdas de calor altas), ou por baixo do absorber e entre este e o isolamento (perdas de calor mais baixas), como se vê na Figura 5.1.38.

Considerações gerais dos sistemas solares de aquecimento de ar

Nestes sistemas o ar desempenha duas funções: é um meio de transporte do calor entre o colector/armazenador e os elementos de aquecimento; por outro lado contribui para a renovação do ar do ambiente interior.

Quando se projecta um sistema de aquecimento em circuito aberto, o ar é canalizado por fachadas duplas ou condutas não acessíveis, pelo que as questões de limpeza têm de ser bem ponderadas.

Quanto maior a taxa específica do fluxo de ar por unidade, maior é a eficiência, assim mais energia pode ser acumulada. Por outro lado, o fluxo de ar deverá ser limitado: tendo em atenção que

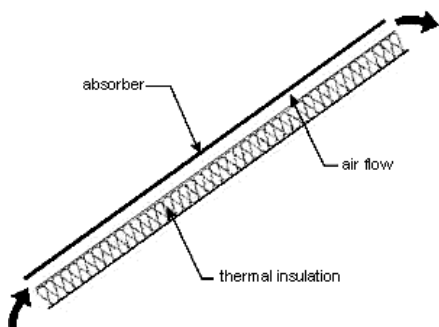


Figura 5.1.37. Colector de ar sem efeito de estufa (FABUTE 2003)

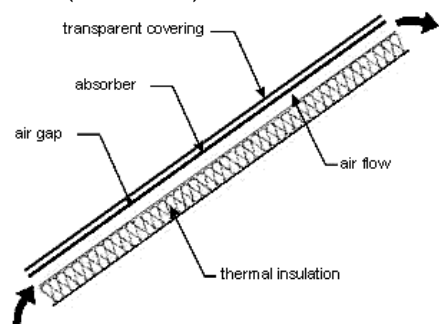


Figura 5.1.38. Colector de ar com efeito de estufa (FABUTE 2003)

$\phi=0,34.q.(t_s-t_a)$, ou seja, uma taxa de fluxo de ar muito elevada pode resultar numa temperatura muito baixa, não aplicável nem ao aquecimento, nem à ventilação (FABUTE 2003).

Janelas com fluxo de ar forçado podem ser aplicadas como elementos constituintes de sistemas combinados de ventilação mecânica. O ar de saída flui entre placas: as perdas de calor através dos envidraçados exteriores são absorvidas pela entalpia do ar de saída, enquanto que as perdas de calor dentro dos envidraçados são muito limitadas. Em dias descobertos, um sombreador veneziano localizado entre vidros, transforma a janela num colector de ar, como na Figura 5.1.39. O factor de sombra é reduzido, pois a energia absorvida irá ser “arrastada” da janela pelo fluxo de ar. O ar pode ser devolvido através de condutas até ao sistema central, para recirculação, recuperação de calor, etc.

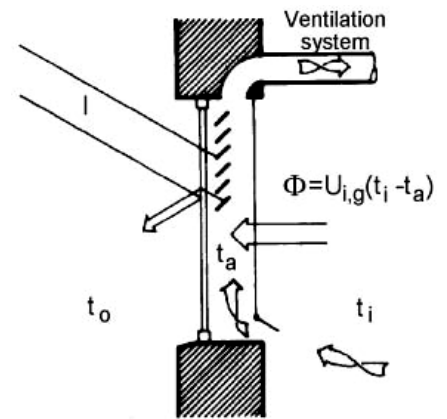
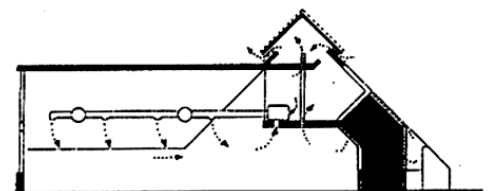


Figura 5.1.39. Sistema de colector de ar forçado em elemento de janela (FABUTE 2003)

Como exemplo de um sistema de colectores solares a ar pode referir-se a Escola básica de Netley Abbe, em Hampshire e projectada pelo Departamento de Arquitectura do Município de Hampshire. Neste edifício existe igualmente uma estufa adossada na Fachada sul, consistindo na zona de circulação.

Na Figura 5.1.40 apresenta-se o exemplo dum edifício com um sistema híbrido de ventilação forçada com aquecimento solar do ar. A unidade captadora de ar quente solar está situada no tecto falso. Existe uma unidade para cada sala. A energia conseguida para aquecimento através dos colectores de ar e estufa adossada é de 70kWh/m² de área de pavimento. No Verão o ar é expelido através das condutas situadas no tecto. O movimento do ar é intensificado através do efeito de estratificação e do efeito Venturi (FABUTE 2003).



5.1.5. Refrigeração directa

Tal como os sistemas passivos de aquecimento permitem, durante as épocas frias, alcançar total ou parcialmente condições ambientais de conforto, nas épocas quentes, a utilização de mecanismos passivos de refrigeração pode desempenhar o mesmo papel. Isto pode servir para uma redução dos gastos energéticos em edifícios que disponham de sistemas mecânicos de refrigeração. Podem inclusivamente servir para os dispensar totalmente e obter assim um ambiente de conforto, em climas sem Verões muito quentes, como é o caso de Portugal, essencialmente no Norte litoral. Pode inclusivamente afirmar-se que, na maior parte das zonas climáticas de Portugal, pela amenidade do clima, os edifícios de habitação, desde que correctamente concebidos, nunca necessitam de sistemas mecânicos de arrefecimento.

Os sistemas passivos de refrigeração podem ter uma eficácia incrementada se forem previstos logo na fase de concepção do edifício. Alguns dos critérios são específicos para a refrigeração. Outros são comuns à satisfação das necessidades de aquecimento, tais como a orientação do edifício, a utilização de isolamentos ou uma inércia térmica adequada.

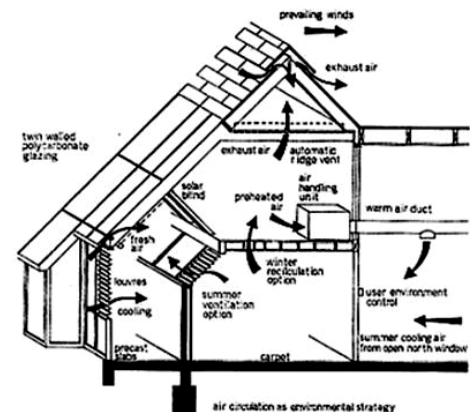


Figura 5.1.40. Sistema híbrido de ventilação forçada com aquecimento de ar solar (FABUTE 2003)

Os critérios gerais para favorecer a refrigeração natural dum edifício são diversos, segundo a estação quente seja seca ou húmida. Em ambos os casos, no entanto, a orientação do edifício com as fachadas principais a Sul e Norte permite favorecer a ventilação natural, devido ao gradiente térmico provocado pelo Sol entre as zonas Sul e Norte do edifício. Em ambos os casos é também necessário isolar a cobertura do edifício, não esquecendo que, no Verão, é a superfície que recebe a maior quantidade de radiação solar. No caso da arquitectura vernacular, estes aspectos são geralmente contemplados e presentes nos exemplos existentes, como já foi referido no Capítulo III:

- Em climas secos as habitações são preferencialmente compactas e encerradas, com uma superfície exterior mínima, sendo inclusivamente enterrados parcial ou totalmente. As paredes são espessas, com grande inércia térmica e acabadas em cor clara, para reflectir o máximo de radiação solar. As aberturas são pequenas e com elementos de protecção solar. É frequente a utilização de pátios interiores e água (fontes ou lagos) que humidifiquem o ar.
- Em climas quentes e húmidos a construção é geralmente dispersa, com uma grande superfície exterior. As paredes são ligeiras. As aberturas são amplas para favorecer a ventilação natural e dispendo de mecanismos para protecção solar e da chuva. São muitas vezes utilizados sistemas desumidificadores de ar, utilizando por exemplo substâncias higroscópicas como a madeira ou as paredes em terra.

Estas ideias gerais de desenho favorecem a adopção de diferentes tecnologias de refrigeração passiva. Estas, tais como nos tipos de sistemas passivos de aquecimento, podem classificar-se em três grupos, que já foram nalguns casos abordados anteriormente nos sistemas passivos de aquecimento, quando dispunham das duas funções combinadas:

- **Refrigeração directa:**
 - Protecção solar;
 - Ventilação;
- **Refrigeração indirecta:**
 - Paredes com armazenamento térmico (parede de Trombe com efeito de estufa e sem efeito de estufa, parede dinâmica com efeito de estufa e sem efeito de estufa e parede acumuladora com efeito de estufa);
 - Cobertura com armazenamento térmico;
 - Estufa adossada e estufa integrada;
 - Convecção natural (termosifão);
- **Refrigeração separada:**
 - Ganho indirecto onde existe uma maior separação - por distância ou isolamento entre o armazenamento térmico e o ambiente a climatizar.

A refrigeração directa inclui a protecção solar e aqueles procedimentos de refrigerar um ambiente pondo-o em contacto directo com uma fonte fria (o céu durante a noite, o ar fresco nocturno, a terra ou a absorção do calor pela água ao evaporar-se. A refrigeração directa inclui cinco mecanismos: protecção solar,

ventilação, construções enterradas, refrigeração por evaporação de água e refrigeração por desumidificação (Mitjá 1986).

5.1.5.1. Protecção solar

O sombreamento, praticamente em todos os climas (com excepção dos muito frios), é sempre um factor essencial para um bom comportamento térmico destas fachadas. O seu desenho e características devem obedecer a certas regras, nomeadamente ter em conta as diferentes alturas e azimutes do Sol durante o ano, pela análise das respectivas cartas solares. O sombreamento pode ser feito por elementos naturais: através de vegetação - que poderá ser de folha caduca e desta forma permitir a passagem dos raios solares no Inverno e/ou através da posição relativamente ao relevo geográfico. Pode ser também feito pela concepção arquitectónica, através da diferente orientação dos vãos, pela posição relativa a outras construções, pela própria volumetria e forma da construção. Podem também ser utilizados elementos construtivos acessórios tais como palas (metálicas, de betão armado, de pedra, etc), estores manobráveis, com a vantagem adicional do baixo peso e custo, e de ser possível obter vários graus de transparência e regulação do fluxo solar, com maiores ou menores factores de sombreamento e mesmo isolamento nocturno. Alguns destes sistemas estão representados na Figura 5.1.41.

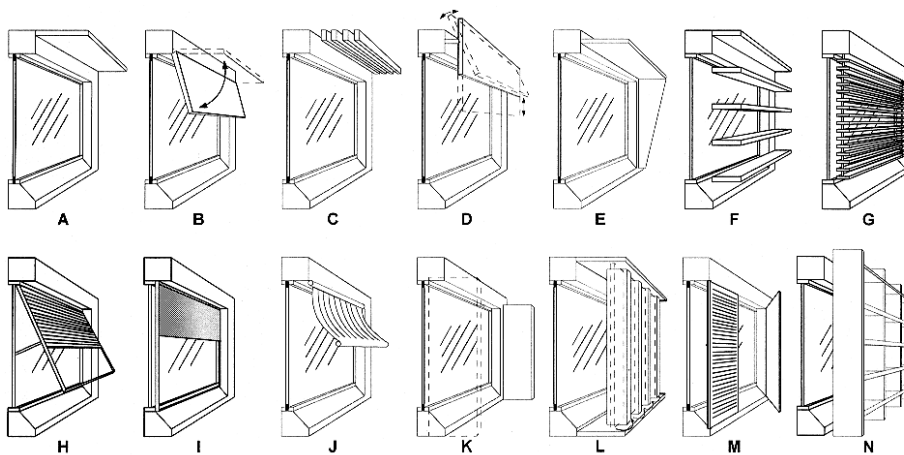


Figura 5.1.41. Exemplos de sistemas de protecção solar exteriores de janelas

A opção por sistemas fixos de sombreamento é sempre menos versátil que a de elementos móveis ou orientáveis, já que estes podem ser realizados em materiais e sistemas de fácil reutilização, pelo que o seu impacto ambiental é normalmente reduzido, sendo rapidamente amortizáveis em termos de balanço energético entre a energia gasta na sua produção e a energia economizada pela sua utilização. O uso de dispositivos de sombreamento e isolamento reguláveis é importante, tanto no Inverno como no Verão, do ponto de vista da redução das perdas de calor por transmissão, e do controlo da penetração do sol. O efeito dos dispositivos de sombreamento pode ser expresso pelo factor de ganhos solares ou pelo coeficiente de sombreamento.

Os elementos construtivos sombreadores são quase sempre associados à pele exterior e deverão preferencialmente localizar-se

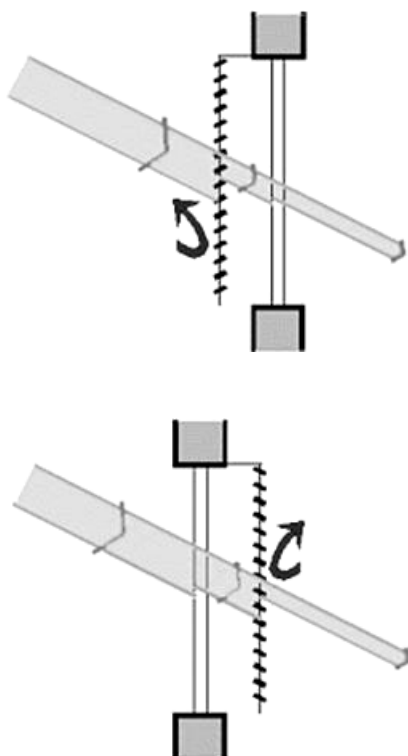


Figura 5.1.42. Estor de lâminas exterior (solução de Verão) e interior (solução de Inverno) (FABUTE 2003)

no exterior do envidraçado, pois os elementos localizados no interior são muito menos eficazes. “A utilização de estores interiores não reduz mais de 20% os consumos energéticos para arrefecimento” (Schittich 2001). Pela análise da Tabela 5.1.1 pode ver-se que os valores de factor solar, para alguns tipos de envidraçados correntes, diferem bastante, nas situações de protecção exterior, em relação às situações de protecção interior.

Estes valores dependem do material, geometria, propriedades das superfícies e da posição do dispositivo. Se este está colocado pelo exterior, e em frente ao vidro, o coeficiente de sombreamento pode ser tão baixo como 0,1 a 0,2. Para os mesmos dispositivos, mas pela parte interior, este coeficiente pode chegar a valores da ordem de 0,4 a 0,7, como se pode ver na Tabela 5.1.2.

Assim, os dispositivos de sombreamento exterior são mais eficientes, no que diz respeito ao risco de sobreaquecimento do compartimento, durante o Verão, com excepção da orientação Norte, onde é praticamente indiferente. Este fenómeno pode ser explicado, devido ao facto dos dispositivos, ao serem colocados pelo interior do compartimento, fazer com que a radiação solar absorvida seja transferida por convecção e por radiação infravermelha de onda-longa, para o interior do compartimento. Na Figura 5.1.42 pode ver-se um exemplo de janela com estor de lâminas exterior e interior e as respectivas transmissões de radiação esquematizadas.

Pela análise das Tabelas 5.1.1. e 5.1.2 pode ver-se que a colocação de protecções de cor clara no exterior é especialmente eficaz no Verão pois, além de impedir a radiação directa de atingir o vidro, a ventilação conseguida no exterior permite a dissipação do calor absorvido pelo tecido e reflectido pelo vidro, como já foi referido. Se protecções do mesmo tipo forem colocadas no interior, dá-se a formação dum mini efeito de estufa, obtendo-se um factor de ganho solar cerca de 30% maior, o que no Inverno será mais favorável, especialmente com a utilização de um estor interior com boa capacidade de absorção e de cor escura. A solução ideal seria a de se poder contar com as duas situações.

Tabela 5.1.1. Coeficiente de sombreamento para sistemas de sombreamento e isolamento nocturno

Tipos		Só vidro	Estore veneziano ou cortina interiores			Estore veneziano exterior		Pala exterior		Tecido exterior	
			claro	médio	escuro	claro	médio	médio	escuro	claro	Médio ou escuro
Vidro incolor 3 mm		1,00	0,56	0,65	0,73	0,15	0,13	0,22	0,15	0,15	0,25
Vidro incolor 6 mm		0,94	0,56	0,65	0,74	0,14	0,12	0,21	0,21	0,14	0,24
Vidro absorvente	a = 0,40-0,48	0,80	0,56	0,62	0,72	0,12	0,11	0,18	0,18	0,12	0,20
	a = 0,48-0,58	0,73	0,53	0,59	0,62	0,11	0,10	0,10	0,10	0,11	0,10
	a= 0,58-0,70	0,62	0,51	0,54	0,56	0,10	0,10	0,14	0,14	0,10	0,16
Vidro duplo	d = 3 mm	0,90	0,54	0,61	0,67	0,14	0,12	0,20	0,20	0,14	0,22
	d = 6 mm	0,80	0,52	0,59	0,65	0,12	0,11	0,18	0,18	0,12	0,20
	a = 0,48-0,58 ext;	0,52	0,36	0,39	0,43	0,10	0,10	0,11	0,11	0,10	0,13
	d = 3 mm int.	0,50	0,36	0,39	0,43	0,10	0,10	0,11	0,11	0,10	0,12
Vidro triplo	d = 3 mm	0,83	0,48	0,56	0,64	0,12	0,11	0,18	0,18	0,12	0,20
	d = 6 mm	0,69	0,47	0,52	0,57	0,10	0,10	0,15	0,15	0,10	0,17

Fonte: (FABUTE 2003).

Tabela 5.1.2. Valores do factor solar² de alguns tipos de protecção solar de vãos envidraçados correntemente utilizados

Tipo		Vidro simples			Vidro duplo		
		Cor da protecção			Cor da protecção		
		Clara	Média	Escuro	Clara	Média	Escuro
Protecções exteriores	Portada de madeira	0,04	0,07	0,09	0,03	0,05	0,06
	Persiana de madeira	0,05	0,08	0,10	0,04	0,05	0,07
	Persiana metálica ou plástica	0,07	0,10	0,13	0,04	0,07	0,09
	Estore veneziano de madeira	-	0,11	-	-	0,08	-
	Estore veneziano metálico	-	0,14	-	-	0,09	-
	Estore de lona opaco	0,07	0,09	0,12	0,04	0,06	0,08
	Estore de lona pouco transparente	0,14	0,17	0,19	0,10	0,12	0,14
	Estore de lona muito transparente	0,21	0,23	0,25	0,16	0,18	0,20
Protecções interiores	Pala (ou equivalente) com sombreamento total de Junho a Setembro	-	0,25	-	-	0,22	-
	Estores de lâminas	0,45	0,56	0,65	0,47	0,59	0,69
	Cortinas opacas	0,34	0,45	0,57	0,39	0,54	0,63
	Cortinas pouco transparentes	0,36	0,47	0,59	0,39	0,54	0,63
	Cortinas muito transparentes	0,39	0,50	0,61	0,42	0,55	0,68
	Portadas de madeira	0,30	0,40	0,50	0,35	0,46	0,58
	Persianas de madeira	0,35	0,45	0,57	0,40	0,55	0,65

Fonte: RCCTE

Uma possibilidade de aproveitar este fenómeno consiste em utilizar tecidos, telas ou membranas, colocadas em plano vertical, em plano horizontal ou com inclinação regulável (caso dos toldos) normalmente poliméricas ou compósitas, como as de Poliéster/PVC no exterior (Figura 5.1.43) e em tecidos comuns no interior. Os estores de tela, têm a vantagem adicional de um peso reduzido e consequente energia incorporada também reduzida. No caso das telas exteriores, a cor não tem uma influência significativa nos ganhos solares, mas antes o seu factor de obstrução, sendo possível obter vários graus de transparência aos raios solares. No caso dos cortinas interiores, a cor vai ter mais influência nos ganhos solares, conforme se pode ver nas Figuras 5.1.44 e 5.1.45 e Tabela 5.1.3.

Tabela 5.1.3. Influência da cor e posição dos estores em tela nas fachadas exteriores transparentes

	Factor de ganho solar (vidro simples)	Factor de ganho solar (vidro duplo)
Sem estore	0,76	0,64
Com estore interior escuro	0,62	0,56
Com estore interior branco	0,41	0,40
Com estore exterior escuro	0,22	0,17
Com estore exterior branco	0,14	0,11

Fonte: (Goulding et al 1994)

Também no caso das paredes opacas, os ganhos térmicos podem ser controlados. Os factores que influenciam os ganhos térmicos solares através das paredes envolventes exteriores são: a área destas, o material em que são realizadas, a sua espessura, a orientação solar, as sombras provocadas pelos elementos exteriores, que podem ser naturais como as árvores, ou outras construções, a temperatura e humidade relativa ambientes e a cor. Normalmente, este último factor é apenas ponderado em termos estáticos, ou seja, toma-se como um dado adquirido que a

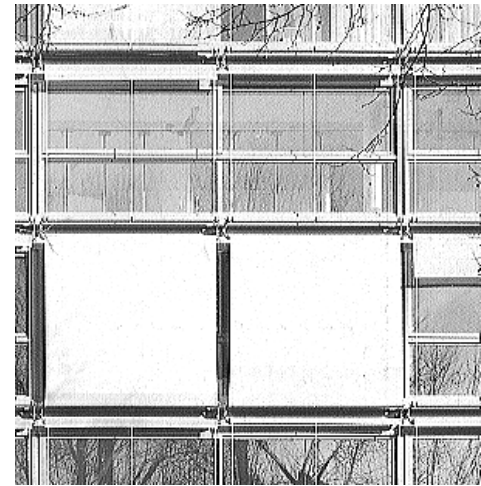


Figura 5.1.43. Sombreamento por telas exteriores

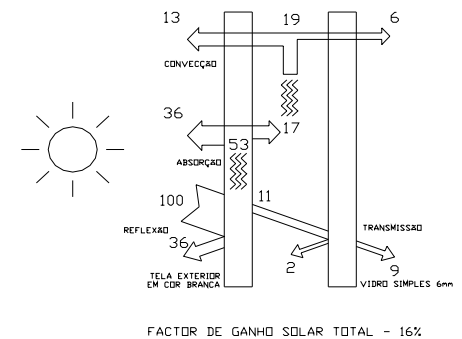


Figura 5.1.44. Estore de tela exterior de cor branca (Mendonça 1997)

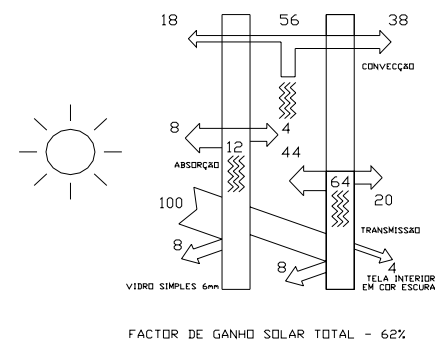


Figura 5.1.45. Cortina de tela interior de cor escura (Mendonça 1997)

² O factor de ganho solar é a fracção de energia solar que passa por um envidraçado em relação à energia incidente (Goulding et. al.).

reflectância de um determinado material é a mesma e que por isso o valor da sua transmissibilidade é fixo, mas depende da sua cor (Bradshaw 1993).

Os dispositivos de sombreamento possuem igualmente um efeito de isolamento. Mesmo que a sua própria resistência térmica pudesse ser negligenciável, o espaço de ar formado na sua posição fechada, aumenta a resistência térmica. O efeito de isolamento pode ser melhorado de várias formas (FABUTE 2003):

- Dois ou mais dispositivos (como estores venezianos ou estores + cortinas) produzem um aumento de, dois ou mais, espaços de ar;
- Revestimentos de baixa emissividade diminuem a radiação enviada para o ambiente;
- Espaços de ar fechados, são mais eficientes que os semi-fechados;
- Se forem utilizados materiais isolantes, como o PVC, a madeira ou o alumínio com núcleo de espuma plástica o dispositivo pode apresentar uma considerável resistência térmica. Supondo que os elementos de isolamento variáveis são usados convenientemente, as perdas de calor por transmissão, em elementos transparentes de edifícios, podem ser calculadas pela média pesada de U_{dia} (isolamento variável aberto) e U_{noite} (isolamento variável fechado)- $U_{dia-noite}$ (Coeficiente global de transferência de calor médio dia-noite).

Tabela 5.1.4. valor do Coeficiente U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) para diferentes janelas + combinações de isolamentos nocturnos

	Caixilho	Caixilho+ cortina	Caixilho+ portada	Caixilho+ cortina+ estore	Caixilho+ Portada isolada
Caixilharia dupla	3,0	2,20	1,90	1,50	0,50
Vidro duplo	2,8	2,10	1,82	1,45	0,49
Vidro triplo	2,2	1,74	1,54	1,27	0,47
Vidro duplo+LEC*	1,8	1,48	1,34	1,13	0,45

*LEC: revestimento de baixa emissividade

Também no caso dos sistemas de paredes Trombe é aconselhável a aplicação dum dispositivo de oclusão nocturno, móvel, preferencialmente localizado no exterior. O dispositivo móvel representa isolamento térmico adicional, para a noite, no Inverno, e previne o sobreaquecimento de verão. Em noites de Inverno o dispositivo móvel está fechado, representando assim isolamento térmico adicional (o dispositivo mais o espaço de ar adicional) entre a parede e o ambiente. Em noites de Verão o dispositivo móvel encontra-se preferencialmente aberto, facilitando o arrefecimento da parede.

Durante a época de Verão, não deverão apenas ser sombreadas as aberturas a Sul, mas especialmente a Nascente e Poente (Mitjá 1986). O sombreamento nestas orientações permite evitar a entrada dos raios solares quando o Sol está mais baixo, que neste período do ano são as horas de maiores ganhos no Verão, já que as radiações se encontram mais perpendiculares aos envidraçados. O sombreamento estival das aberturas a Nascente e Poente não se pode realizar com o mesmo tipo de sombreadores

que numa orientação a Sul, pela baixa altura do sol no Verão para estas orientações. Não se poderá neste caso utilizar sombreadores fixos tipo palas horizontais ou brise soleils horizontais. Um procedimento para conseguir este sombreamento é por exemplo a utilização de brise-soleils verticais. Estores móveis exteriores de lâminas ou de PVC em plano vertical são soluções universais em termos de orientações e latitudes.

5.1.5.2. Ventilação natural

O movimento de ar através dum edifício incrementa a transferência de calor pela pele dos seus ocupantes e melhora o conforto do ambiente ao substituir ar quente e húmido por ar fresco e seco (ver anexo 2 - conforto). A forma mais usual de criar movimento de ar é abrir as janelas do edifício e permitir que ar mais fresco penetre no interior. É importante não esquecer que podem desta forma entrar partículas de pó em suspensão, bem como se anula a capacidade de isolamento ao ruído exterior. Poderá também ser desconfortável uma ventilação que supere uma determinada velocidade. Para otimizar a ventilação natural do edifício este deverá apresentar a superfície de fachada maior na zona que recebe geralmente o vento na Estação Quente (Mitjá 1986). Uma possibilidade é realizar edifícios altos e com pouca profundidade, de forma que se aproveitem as velocidades maiores que se produzem a maior altura do solo. A disposição e dimensionamento das aberturas são aspectos determinantes para conseguir uma boa ventilação. A área das aberturas deverá ser maior na fachada orientada ao vento dominante de Verão e menor na fachada oposta. A circulação do ar pelo interior pode otimizar-se instalando nas portas e janelas exteriores grelhas que permitam a passagem do ar, com sistemas de regulação de caudal. A entrada de ar através das janelas incrementa-se criando uma zona de sobrepressão em frente destas, através do bloqueio do ar incidente com a utilização de palas, varandas ou outros obstáculos arquitectónicos, ou pela colocação de árvores que impeçam o fluxo do ar de se dispersar pelos lados do edifício.

a) Ventilação cruzada: este sistema consiste em favorecer o movimento de ar de um espaço, ou de uma sucessão de espaços associados, mediante a colocação de aberturas em fachadas opostas, como se pode ver na Figura 5.1.46. Este sistema é aconselhável em climas secos e em climas temperados, para arrefecimento nocturno durante o Verão. As aberturas devem situar-se em fachadas que estejam em comunicação com espaços exteriores, que possuam condições de radiação ou de exposição ao vento, com características muito diferentes. Os valores típicos gerados por ventilação cruzada situam-se na ordem das 8 a 20 renovações por hora, em presença de um vento fraco no exterior (Serra e Coch 1995).

b) Ventilação induzida (por estratificação): o efeito da estratificação do ar nos edifícios pode produzir ventilação quando não existe deslocação do ar exterior. Assim, colocando uma abertura na parte superior do espaço, o ar quente tenderá a sair e será substituído por ar fresco exterior introduzido no edifício por aberturas localizadas a um nível mais baixo, como se pode ver no exemplo

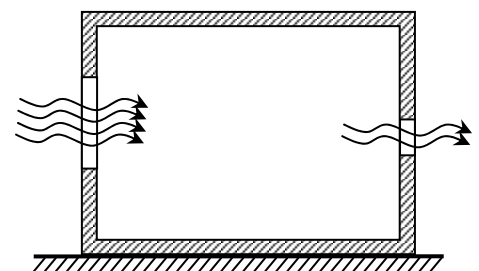


Figura 5.1.46. Sistema de Ventilação cruzada

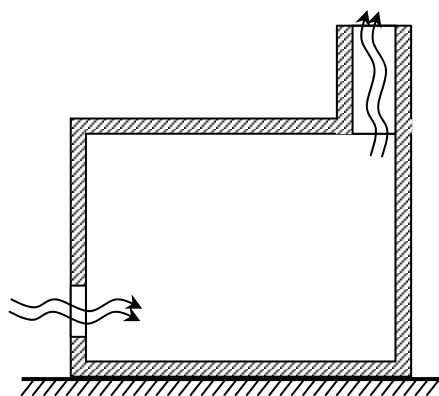


Figura 5.1.47. Sistema de extração do ar por efeito chaminé

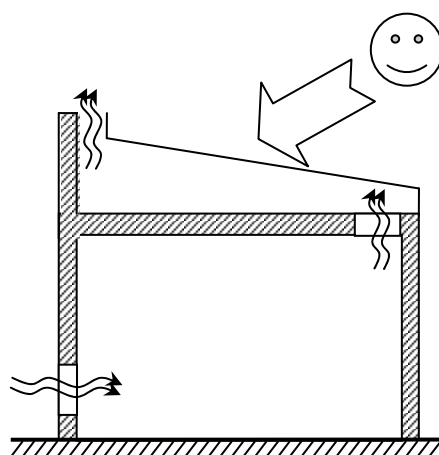


Figura 5.1.48. Sistema de câmara solar na cobertura

da Figura 5.1.47. Este sistema já foi apresentado no caso das paredes de Trombe e das estufas. Nestes casos o ar deverá ser introduzido desde a parte mais fresca do edifício, geralmente a fachada Norte (Mitjá 1986). Este sistema também pode ser chamado de efeito chaminé. Se a temperatura exterior é alta não se gera uma boa extração por efeito chaminé. Para que funcione correctamente deve existir uma diferença de temperatura entre o ar quente que está na parte mais alta do espaço habitado e o ar exterior (Serra e Coch 1995). Uma forma de favorecer o movimento do ar interior por estratificação pode ser através do aquecimento do ar no desvão da cobertura, chamando-se neste caso de câmara solar.

c) Câmara solar ou chaminé solar: para este tipo de sistema, o espaço a condicionar tem de possuir na cobertura uma câmara com um captador de cor escura e protegido por uma coberta de vidro (Figura 5.1.48). Assim, o ar dentro da câmara é aquecido, diminuindo a sua densidade e produzindo um efeito de sucção nas aberturas inferiores, que estão em contacto com o ambiente interior. Consequentemente irá existir extração do ar interior. As câmaras solares orientam-se sempre para a máxima intensidade da radiação solar. Segundo a latitude, estas podem orientar-se para Sul, Este ou Oeste, de acordo com o horário de utilização previsto. Estes sistemas captadores não criam uma ventilação muito alta, estando na ordem das 5 a 10 renovações por hora. Como vantagens destes sistemas, temos o facto de se poderem combinar facilmente com outros sistemas de tratamento de ar, assim como o de terem um maior rendimento quando a intensidade da radiação é maior, ou seja, exactamente quando o sistema é mais necessário (Serra e Coch 1995).

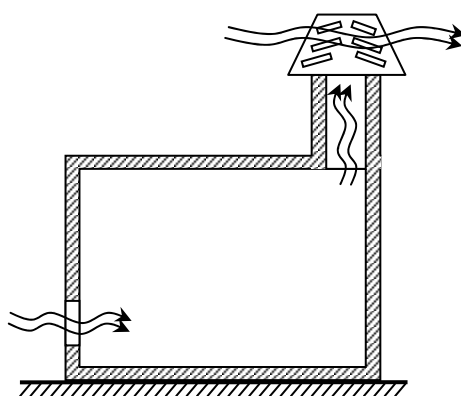


Figura 5.1.49. Sistema de ventilação com aspirador estático

d) Aspirador estático: este é outro sistema para gerar movimento de ar no interior do espaço, a partir de uma extração de ar pela cobertura, combinada com entrada do ar de renovação pela parte inferior do circuito, para assegurar o funcionamento correcto do sistema. Estes aspiradores produzem uma depressão no ar interior devido à sucção produzida por um dispositivo estático, situado na cobertura. Assim o vento ao atravessar este dispositivo vai criar o efeito Venturi, causa da aspiração do ar interior. Existe uma grande variedade de dispositivos aspiradores estáticos, tanto em termos de tamanho, o que permite a adaptação em vários tipos de cobertura, como em termos de formas. Um exemplo pode ver-se na Figura 5.1.49. É um sistema de ventilação aplicável a climas temperados e quentes, para favorecer a refrigeração, mas devem ser utilizados em zonas com ventos constantes se desejamos que tenham utilidade efectiva. Os caudais de extração são muito variáveis, já que dependem do tipo de dispositivo, assim como da velocidade do vento. Mas em presença de ventos com alguma intensidade é fácil gerar mais de 10 renovações por hora (Serra e Coch 1995).

e) Torre de vento: também se pode criar movimento de ar no interior do edifício, em sentido contrário aos sistemas referidos anteriormente. A introdução de ar exterior no ambiente interior faz-se através de uma torre que se eleva a uma altura suficiente da

cobertura do edifício, recolhendo o vento onde este é mais intenso. O ar captado é conduzido para a parte mais baixa do edifício mediante condutas. Em zonas onde a direcção do vento é constante, existe apenas uma abertura nesta direcção, em zonas com várias direcções dominantes, combinam-se diversas entradas de ar na parte superior da torre. Em geral este é um sistema válido para climas quentes, com ventos frequentes e intensos, já que o sistema depende basicamente desta característica climática. Podem gerar-se até 3 a 6 renovações por hora. Este tipo de torres têm a vantagem de se poder combinar com diferentes sistemas de tratamento de ar, assim como, sistemas de extracção (Serra e Coch 1995). Na Figura 5.1.50 pode ver-se um exemplo do funcionamento duma torre de vento num compartimento

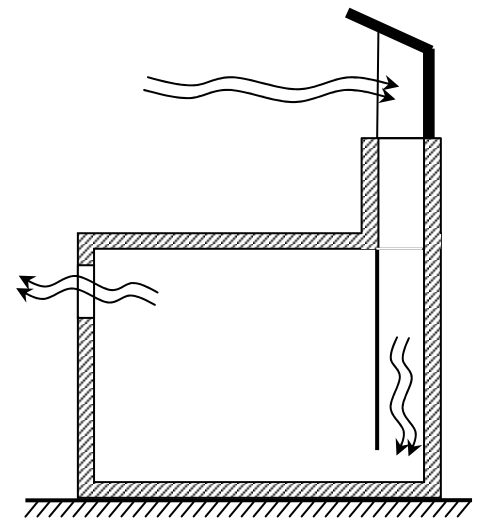


Figura 5.1.50. Sistema de ventilação de torre de vento

f) Construções enterradas: a temperatura do solo mantém-se relativamente constante ao longo do ano, variando apenas com a latitude e a profundidade do ponto considerado. Em zonas climáticas temperadas a temperatura da terra a uma profundidade de 1,2m varia apenas cerca de 10°C (Balcomb et al 1993). Portanto, a terra encontra-se no Verão mais fria que a temperatura ambiente exterior, pelo que um maior contacto do edifício com o terreno implica uma descida da temperatura. No Inverno sucede o oposto. A forma mais fácil de obter um maior contacto com o terreno consiste em enterrar o edifício, aproveitando o desnível do terreno em socalco ou encostando terra às paredes. Enterrar os edifícios permite igualmente criar uma elevada protecção acústica ao ruído exterior (Mitjá 1986).

g) Refrigeração por evaporação de água: quando existe um lençol de água num espaço quente e seco, a água evapora-se incrementando a humidade do ar. Neste processo a água absorve energia em forma de calor latente de evaporação, sem incrementar a sua temperatura. Assim, produz-se um efeito de refrigeração e humidificação do ambiente. Os factores mais importantes que propiciam a evaporação da água são a presença duma boa superfície de contacto entre ar e água e o estado de agitação desta. Por este motivo é uma boa solução a instalação de fontes e correntes de água que incrementem a turbulência e a superfície de evaporação. Um outro factor a considerar é a incidência do vento, que favorece consideravelmente a evaporação. Um procedimento, já referido, para manter o edifício fresco é utilizar uma cobertura com água. Deste modo, a evaporação refresca a superfície do tecto favorecendo a absorção do calor procedente do interior do edifício. Outra forma de conseguir refrigeração por evaporação é a de criar uma fachada em que a água escorre, de preferência sobre uma rede que deixe a corrente de ar atravessar e dessa forma incrementar a evaporação. Um exemplo de aplicação desta solução é o Pavilhão da Holanda na Expo 92 de Sevilha, das Figuras 5.1.51 e 5.1.52. Consiste numa estrutura metálica, cujas fachadas são superfícies planas em tela de rede aberta "Twaron" pelas quais o ar flui, arrefecendo o ambiente interior (Desert Cooling System) (catálogo Versaidag – Indutex).



Figura 5.1.51. Vista exterior do Pavilhão da Holanda na Expo 1992 de Sevilha – Catálogo (Versaidag – Indutex)



Figura 5.1.52. Vista interior do Pavilhão da Holanda na Expo 1992 de Sevilha – Catálogo (Versaidag – Indutex)

h) Refrigeração por desumidificação: o corpo humano perde energia em excesso por evaporação, através do suor. Em climas quente e húmidos, o suor não pode evaporar-se e o corpo encontra-se assim em desconforto por excesso de calor. Os desumidificadores são materiais porosos que captam a humidade do ar. Se o ar húmido atravessa um leito de material desumidificador, o vapor de água é absorvido e o ar seca. Este processo liberta energia e, portanto, o ar aquece. É preciso, então, uma superfície de baixa temperatura para absorver esta energia e manter o conforto. Quando o leito de material desumidificador se satura de água, faz-se passar através deste uma corrente de ar quente que o seca, permitindo novamente a desumidificação. Os materiais desumidificadores mais utilizados são o gel de sílica e a alumina (Mitjá 1986).

5.1.6. Refrigeração indirecta

A refrigeração indirecta utiliza elementos (superfície radiante ou elemento de armazenamento térmico) que absorvem o calor do edifício e o refrigeram radiando energia para o exterior ou permitindo o fluxo de ar fresco através dele. Os dois sistemas de refrigeração indirecta são: a radiação e a ventilação nocturna dos elementos que armazenam o calor (Mitjá 1986).

5.1.6.1. Refrigeração por radiação nocturna

Entre dois corpos localizados frente a frente existe sempre uma troca de calor por radiação, de tal forma que, em balanço, existe sempre uma transferência de calor do corpo quente para o corpo frio. Pode-se aproveitar este fenómeno para refrigerar o edifício. Neste caso utiliza-se um elemento de armazenamento térmico (material pesado ou água) na cobertura do edifício. Como já foi explicado anteriormente no sistema de cobertura com água, quando estavam a ser referenciados os sistemas solares passivos, este sistema tem a dupla função de aquecimento no Inverno e arrefecimento no Verão. No Verão, e durante o dia, este material é coberto com isolamento, de tal forma que absorve o calor do ambiente interior e não a radiação do Sol. Durante a noite o isolamento é retirado e o elemento de armazenamento irradia o calor para o exterior. A refrigeração por radiação nocturna é especialmente útil quando a diferença de temperaturas entre o dia e a noite ultrapassa os 10°C e quando as noites são de céu limpo, já que a presença das nuvens diminui a radiação de energia para o céu. Por esta razão é conveniente que a superfície radiante seja na cobertura, porque esta tem um factor de exposição ao céu maior que as superfícies verticais (que irradiam apenas 50% em relação às superfícies horizontais (Mitjá 1986).

5.1.6.2. Refrigeração por ventilação nocturna dos elementos de armazenamento térmico

O princípio deste sistema é fazer circular pelo edifício o ar fresco da noite e das primeiras horas do dia. Este ar refresca os elementos de armazenamento térmico do edifício. Durante o dia estes elementos captam o calor do ambiente interior, refrigerando-o. Uma variante deste sistema produz-se quando o elemento de armazenamento

térmico é um leito de pedras situado sob o espaço a climatizar. Durante a noite o ar fresco exterior atravessa as pedras, arrefecendo-as. Durante o dia, o ar mais quente do ambiente exterior atravessa as pedras, perdendo parte do seu calor e arrefecendo o ambiente (Mitjá 1986).

5.5.7. Refrigeração separada

A refrigeração separada obtém ar fresco numa zona separada do ambiente a refrigerar. A fonte fria é a terra, um leito de pedras ou um volume de água. O procedimento é fazer circular o ar exterior por uma tubagem enterrada ou que atravessasse um leito de água. O ar arrefecerá mais quanto maior for o percurso antes de chegar ao edifício. As tubagens de refrigeração podem constituir um sistema aberto que arrefece o ar do exterior, ou fechado, refrigerando o ar recolhido no próprio edifício (Mitjá 1986).

5.2. Exemplos de tecnologias solares passivas ligeiras e mistas não convencionais existentes

5.2.1. Membranas como reguladores térmicos

O facto de serem o material de construção mais leve e de terem actualmente durabilidades que podem ultrapassar os 25 anos torna as membranas poliméricas ou telas compósitas materiais com um desempenho em termos de custo e energia incorporada de fabrico muito competitivo, além de que podem ter um duplo papel de elemento opaco ou translúcido / transparente. No entanto, o desempenho térmico de grande parte das telas para construção actuais - elevada reflectância e pouca capacidade de isolamento, torna-as mais viáveis para serem utilizadas em climas invariavelmente quentes durante todo o ano, como os tropicais. A pesquisa de novos materiais têxteis para construção, com melhor desempenho térmico e isolamento sonoro, mostra-se oportuna, pois permite estender as suas possibilidades de utilização em direcção às necessidades actuais de conforto. A Figura 5.2.1 apresenta um organograma onde se pretende fazer uma classificação das membranas e painéis leves utilizados em construção e suas potencialidades enquanto elementos de regulação térmica;

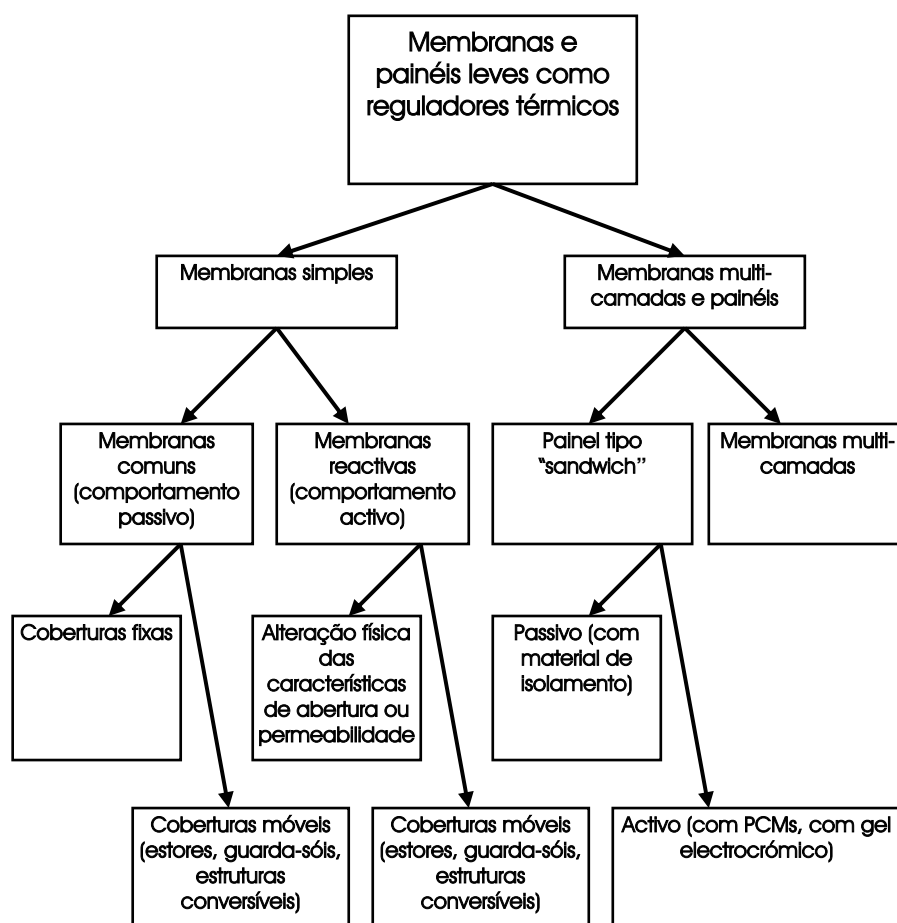


Figura 5.2.1. Classificação, enquanto elementos de regulação térmica, das membranas e painéis leves (Mendonça 1997)

A utilização de telas compostas de duas ou mais camadas com caixa-de-ar ou com isolamentos translúcidos são sistemas já utilizados para obviar estes problemas em climas frios. O problema neste caso serão as condensações que se dão no interior das coberturas realizadas em telas com muita capacidade de isolamento, especialmente em locais com uma temperatura interior e um grau de humidade elevados; como piscinas ou estufas. Para evitar estas condensações, ou minimizar os seus inconvenientes, podem ser consideradas várias soluções, como sistemas de ventilação com incremento da circulação de ar e sistemas de drenagem para recolha das águas de condensação.

Com qualquer tipo de materiais, torna-se difícil conseguir soluções que apresentem uma grande capacidade de transmissão de calor e ao mesmo tempo de isolamento, em climas frios ou durante a estação fria, em climas temperados. As membranas duplas, com caixa-de-ar e mesmo com mais camadas têm sido utilizadas em algumas estruturas, cujos coeficientes de condutibilidade térmica podem chegar a valores interessantes (Tabela 4.3.3), e ainda mais com a utilização de materiais de isolamento na caixa-de-ar, dizendo respeito a um comportamento passivo face ao aproveitamento da energia solar. Este tipo de solução tem mais lógica em zonas climáticas invariavelmente frias e durante o Inverno em zonas temperadas, já que os ganhos térmicos solares diurnos são normalmente perdidos em construções leves.

No Aquatic Center do Lindsay Park (Figura 5.2.2) em Calgary, Alberta, um complexo de piscinas terminado em 1983, David Geiger e David Campbell provam que as telas podem ser ao mesmo tempo translúcidas e isolantes, permitindo assim adequar-se a climas frios. Nesta cobertura existem quatro camadas de tela de Fibra de Vidro / PTFE (Sheerfill II - Chemfab), com isolamento interior translúcido, suportadas por arcos metálicos com 128 metros de vão. Durante o dia a iluminação natural é suficiente para a utilização do edifício sem apoio de luz artificial. "A tela do Lindsey Park também tem boas capacidades de isolamento acústico; a fina barreira de vapor plástica abaixo do isolamento conduz o som para a tela "Sheerfill" onde é absorvida" (Robbin 1996).

A utilização de telas simples em coberturas é uma solução pouco eficiente em termos de comportamento térmico, que pode ser corrigida, como já se viu, com soluções de isolamento que se adequam a climas invariavelmente frios. Em climas com duas estações do ano opostas e grandes amplitudes térmicas anuais, como Portugal, a situação apresenta uma dificuldade acrescida para estes materiais. Aqui, a utilização de materiais isolantes não é por si só eficaz, não apenas pela falta de inércia térmica já que se coloca o problema, especialmente durante a estação quente, de se tornar mais difícil o arrefecimento, por o isolamento dificultar a dissipação do calor acumulado. As construções solares passivas leves deverão não apenas ser capazes de provocar aumento e conservação da temperatura no Inverno, mas também de provocar arrefecimento natural durante a estação quente, não só pela protecção em relação à luz solar, mas por exemplo com o recurso a ventilação por chaminés solares ou fachadas duplas

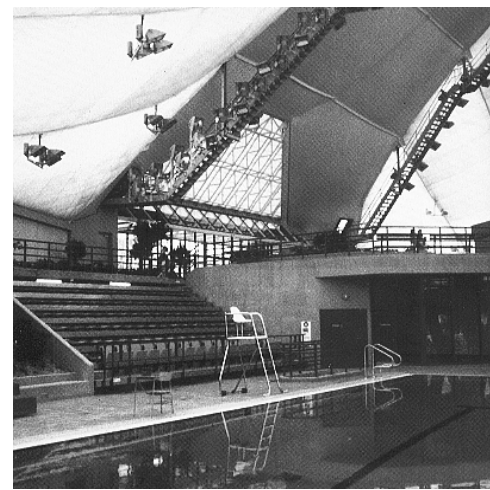


Figura 5.2.2. O "Aquatic Center" do "Lindsay Park" de Calgary (Robbin 1996)

ventiladas. Nos exemplos tradicionais de arquitectura leve são utilizados empiricamente sistemas de ventilação, no caso dos Tipis semelhante a uma chaminé solar e no caso das tendas negras do norte de África, aberturas laterais além dum processo de arrefecimento que explora a evaporação da humidade retida nas fibras de lã dos tecidos utilizados.



Figura 5.2.3. Casa "Lyon-Vaise" em França (Doriez e Blin 1990)

Uma outra hipótese consiste em aproveitar as membranas como elementos sombreadores. São diversos os exemplos contemporâneos de habitações com carácter permanente e que fazem utilização de telas têxteis para sombreamento. Pode-se apresentar como exemplo a casa "Lyon-Vaise" (Figura 5.2.3) projectada por Françoise Jourda e Gilles Perraudin, onde a cobertura em membrana têxtil é concebida como uma estrutura exterior à casa, criando uma zona de sombra e abrigo que se desenvolve sobre esta (Doriez e Blin 1990). O efeito obtido é semelhante a uma ramada de vegetação, prolongando a zona de sombra das árvores circundantes e assim protegendo a habitação do sol excessivo de Verão, bem como da chuva. Não se trata propriamente duma habitação de membrana, mas antes duma cobertura de membrana construída sobre uma habitação de materiais mais convencionais, ainda que com um sistema construtivo leve (madeira, ferro e vidro).



Figura 5.2.4. Casa unifamiliar na Austrália (Detail 1994)

Um exemplo semelhante, mas onde a cobertura é composta de duas telas com um espaço ventilado entre elas, uma exterior e outra interior, é a solução proposta pelo arquitecto Gabriel Poole para uma habitação unifamiliar na Austrália, cuja imagem se representa na Figura 5.2.4. A diferença em relação ao exemplo anterior é o facto da cobertura interior ser também uma membrana do mesmo tipo. A solução ligeira das paredes inclui sistemas de abertura, de modo a tornar a casa numa área ventilada quando se pretende o arrefecimento do interior, transformando-a numa solução solar passiva adequada ao clima tropical, onde se encontra. A cobertura exterior é em tela de Poliéster revestido a PVC, e a interior é Vinílica (Dralon).

Em 1977, David Geiger iniciou a investigação do uso de telas triplas como elementos de controle dos ganhos solares. Criou um sistema que consiste em "almofadas pneumáticas" localizadas na cobertura do edifício com um sistema combinado de ganho directo e indirecto. Dentro destas almofadas existe uma tela que se pode mover entre as duas telas exteriores. A tela superior e a do meio são ambas compostas de duas faces de características diferentes. A metade exposta a Sul da tela superior é transparente, a outra metade, exposta a Norte é reflectante. A posição da tela do meio inverte-se, como se pode ver no esquema da Figura 5.2.5, conforme a situação seja de Verão ou de Inverno. Durante o Verão a parte superior da almofada transforma-se numa superfície reflectante, já que a camada de ar entre a tela do meio e a tela de baixo é insuflada de modo a juntar as telas de cima e do meio, impedindo a transmissão solar. A caixa-de-ar que fica entre as duas superfícies da almofada é também responsável por uma boa capacidade de isolamento. Durante o Inverno, a almofada que acumulou o ar quente durante o Verão é progressivamente

"esvaziada", com a pressão da tela do meio ao baixar, permitindo o aquecimento do recinto interior quer pelo ar libertado, quer pela transmissão de radiação solar, quando inteiramente encostada à tela inferior. Para o edifício do "Florida Junior College", em Jacksonville, foi previsto um sistema solar deste tipo, mas não foi construído. Neste projecto, o ar aquecido pelas almofadas é passado por gel de sílica, secando-o ao ser misturado com o ar do interior, obtendo-se uma redução no conteúdo de humidade, consistindo assim num sistema híbrido activo / passivo de climatização.

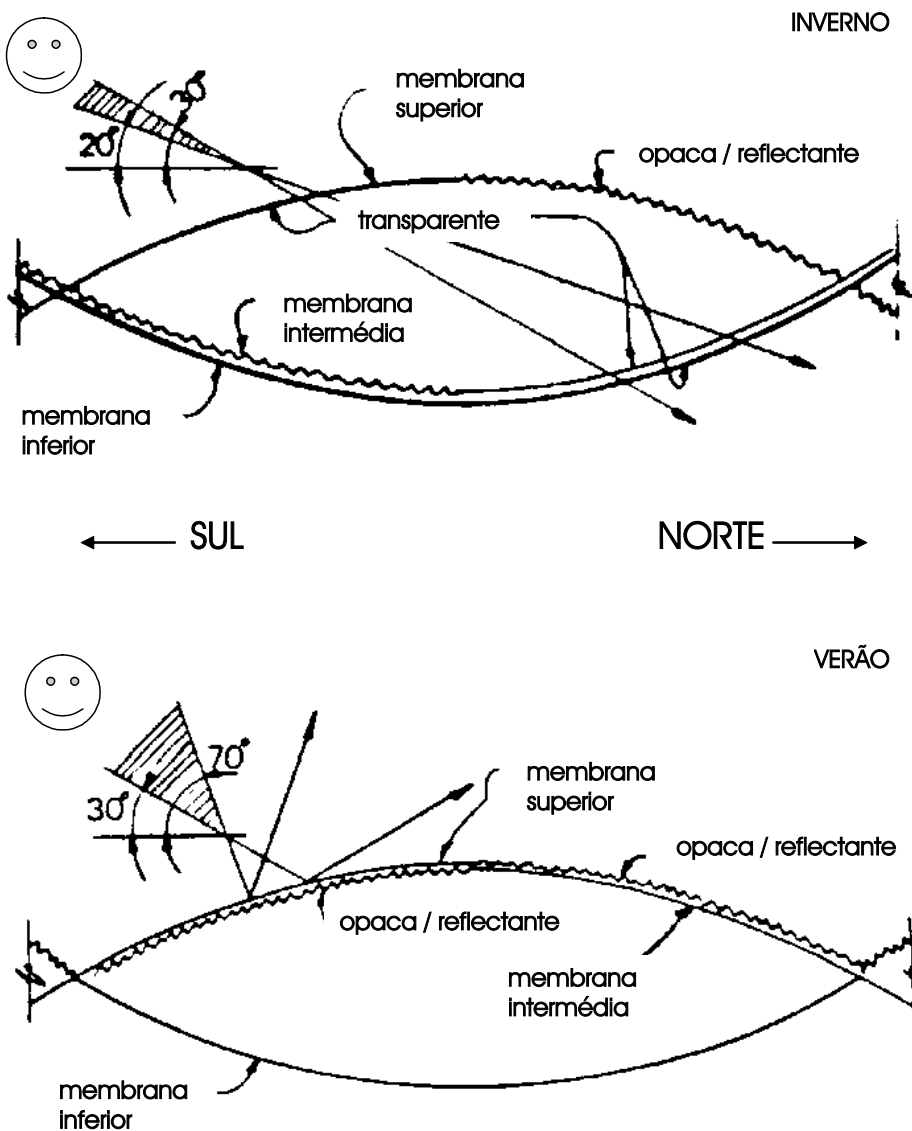


Figura 5.2.5. Sistema solar híbrido de almofadas pneumáticas (Robbin 1996)

5.2.2. Painéis com PCMs

Utilizando telas duplas interligadas, flexíveis ou endurecidas com resinas, em painéis no interior das quais se colocam os PCMs, as propriedades destes podem ser aproveitadas tanto associadas aos paramentos verticais em painéis flexíveis, como em coberturas e pavimentos em painéis rígidos (Pause 1997). Durante os períodos de aumento da temperatura ambiente, o calor é absorvido pelo PCM, à

medida que se dá a mudança para o estado líquido, enquanto durante os períodos de descida da temperatura, dá-se a solidificação do PCM e a consequente libertação de energia em forma de calor (Pause 1995).

Os PCMs funcionam assim como sistemas auto-reguladores de temperatura, mas deverão ser calculados e ajustados à dimensão e características do espaço onde se localizam. São relevantes determinados aspectos:

- a temperatura a que se dá a mudança de estado e a libertação e absorção associadas a essas mudanças, que devem ser equivalentes;
- a capacidade de absorção e emissão de calor sensível³;
- as características de estabilidade aos múltiplos ciclos de mudança de estado, que podem ocorrer durante o seu tempo de vida útil;
- a não toxicidade;
- a não corrosibilidade;
- o comportamento relativamente ao fogo;
- o custo (Salzer 1993).

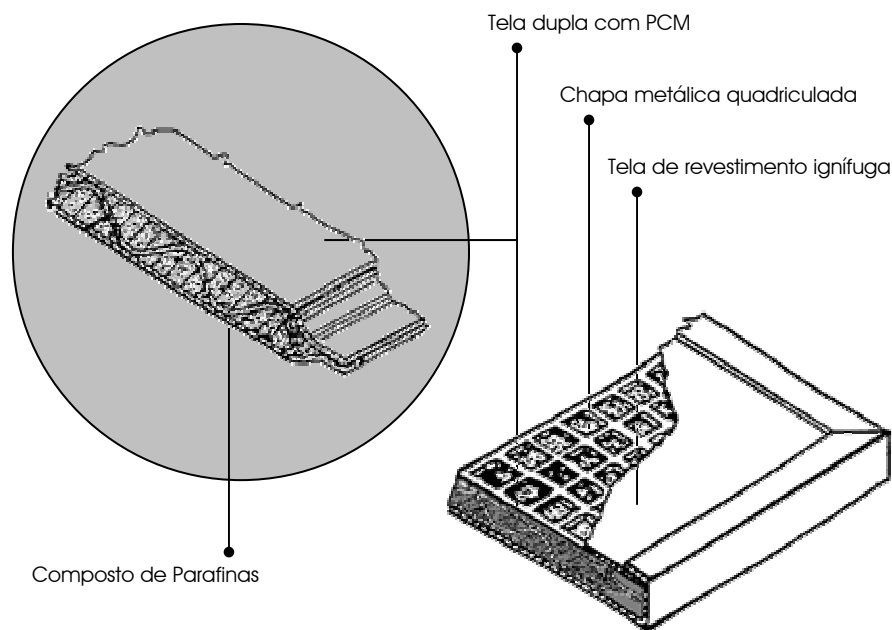


Figura 5.2.6. Painel térmico com parafinas – adaptado de (Pause 1997)

A empresa Gateway Technologies propõe os painéis representados na Figura 5.2.6, que são compostos por telas duplas reforçadas com chapas metálicas e com parafinas no seu interior (Pause 1997). Foi desenvolvida para estes painéis uma mistura de três tipos de parafinas: o Hexadecano, o Heptadecano e o Octadecano. A mistura destes três PCMs possui um ponto de fusão de 24°C e um ponto de solidificação de 20°C. A emissão e absorção de calor latente é de aproximadamente 50Cal/g (Pause 1997).

³ Que é um valor pequeno mas constante e não se dá apenas nas fases de mudança (Pause 1997).

Dos pré-requisitos a que este PCM deveria responder, apenas o que diz respeito ao comportamento ao fogo se apresenta como problemático, mas poderá ser resolvido pela inclusão de aditivos retardantes do fogo (Salzer 1989). O painel duplo interior de tipo "sandwich" que alberga o PCM, é na realidade triplo pois é composto por duas telas lisas exteriores e uma tela de ligação interior que "ondula" entre as duas, criando alvéolos capazes de abrigar as Parafinas. Deverá ser suficientemente flexível para permitir as dilatações, que podem atingir cerca de 10%, devido às variações de densidade durante as fases de mudança de estado (Pause 1997). Pela necessária elasticidade que o painel interior deverá ter, este torna-se necessariamente instável do ponto de vista mecânico, pelo que neste caso é associado a duas chapas metálicas perfuradas em quadrículas e a um revestimento exterior com boa condutibilidade térmica e ignífugo. O preenchimento dos espaços vazios e a solidificação destas camadas exteriores é feita com sílica, melhorando também a resistência ao fogo e aumentando a condutibilidade térmica (Pause 1997).

O sistema de painel com PCMs pode ser utilizado de duas formas distintas (Pause 1997):

- Efeito directo;
- Efeito indirecto.

Efeito directo: tal como já foi explicado nos sistemas solares passivos, num sistema de ganho directo, os ganhos são optimizados com envidraçados orientados a Sul. Para manter os espaços interiores com o mínimo de oscilação térmica, os painéis de PCM's são colocados nos elementos construtivos que vão sofrer a incidência directa dos raios solares, normalmente a parede oposta à janela e o pavimento (Figura 5.2.7). A energia do Sol pode ser, desta forma, directamente absorvida pelo painel, obrigando este a passar do estado sólido a líquido, quando se ultrapasse a temperatura de conforto, absorvendo assim calor latente de fusão. O calor absorvido durante o dia será libertado durante a noite já que ao voltar ao estado sólido as Parafinas libertam calor latente reiniciando o ciclo novamente.

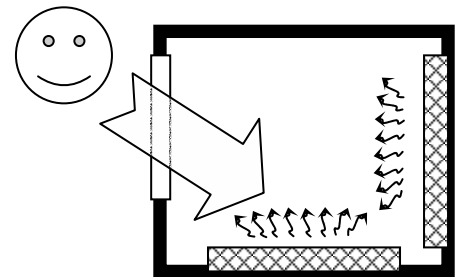


Figura 5.2.7. Painéis com efeito de ganho directo

Foram feitas estimativas de economia associadas à utilização destes painéis, comparando a sua capacidade de armazenamento térmico, com a de uma laje e parede de betão armado normal, com uma densidade de 2.200kg/m^3 , podendo concluir-se que estas teriam de ter uma espessura de cerca de 1m para se obter, para uma sala de 20m^2 (35m^2 de área preenchida com a placa no pavimento e parede oposta), a mesma capacidade de absorção térmica (Pause 1997). A sala considerada para o estudo tinha, além da área referida, uma altura de 3m e uma janela com 6m^2 . Nos meses de Verão foi considerada uma radiação solar incidente de aproximadamente 3kWh/m^2 , já descontando a absorção e reflexão do vidro e caixilharia e ignorando a energia transmitida pelas paredes opacas, pavimento e cobertura. Sendo assim, para a área de vidro considerada, foi obtido o valor de 18kWh (ou seja 15.000kcal) (Pause 1997). O composto de parafinas utilizado, tem uma capacidade de absorção de 50cal/g , o que implica uma massa total de 300Kg para se poder obter a absorção de toda a

energia solar incidente. Em termos de painel, calculou-se o preenchimento correspondente a toda a parede oposta à janela e do pavimento (num total de 35m^2) para uma espessura de painel de 25mm, que inclui 10mm de composto de PCM's com uma densidade de 800kg/m^3 (Pause 1997).

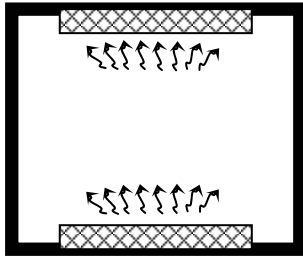


Figura 5.2.8. Painéis com efeito indirecto

Efeito indirecto: este efeito pode ser favorável para orientações a Sul no Verão, quando não há incidência directa do Sol nos painéis, mas ainda assim a temperatura ultrapassa os valores de conforto, funcionando como um sistema de arrefecimento passivo para regulação por incremento da inércia térmica. Pode estar também associado a soluções destinadas a locais de fraca exposição solar, ou mesmo nula, como em salas interiores sem janelas, funcionando passivamente da mesma forma já descrita, ou como complemento de sistema activo para reforço de aquecimento por piso radiante. Neste caso, os painéis são colocados no pavimento e no tecto (Figura 5.2.8), com o objectivo de se obterem os resultados ideais. Para se conseguir o aquecimento das salas sem exposição solar, os painéis de chão são previamente aquecidos, ficando os PCMs em estado líquido, e os do tecto mantêm-se em estado sólido. A emissão de calor feita pelo chão e a absorção deste pelo tecto permitem a manutenção duma temperatura ambiente mais confortável e constante. Quando as mudanças de estado se dão completamente, inicia-se um novo ciclo, pelo que deverão ser novamente aquecidos os painéis de chão. Com este sistema podem igualmente obter-se vantagens económicas pela inversão dos consumos energéticos para as horas nocturnas (Pause 1997).

Numa versão mais complicada, os painéis de PCMs podem ser rodados, ficando assim as diferentes superfícies dos contentores viradas para dentro durante o dia, e para fora durante a noite, devendo neste caso possuir diferentes revestimentos superficiais.

5.2.3. Paredes acumuladoras com isolamento transparente/translúcido



Figura 5.2.9. Parede acumuladora com isolamento (FABUTE 2003)

Têm surgido alternativas às soluções de paredes acumuladoras convencionais com vidro pelo exterior (Paredes de Trombe já descritas anteriormente neste Capítulo), substituindo este por materiais de isolamento transparente, como se pode ver no exemplo da Figura 5.2.9. Esta solução revela-se bastante viável tendo em conta que os materiais de isolamento transparente combinam boas propriedades de transmissão, com elevada resistência térmica, e um efeito estético mais salvaguardado que o vidro convencional, já que não se formam condensações tão facilmente. Um problema são as altas temperaturas que se formam na face exterior da parede acumuladora, que podem danificar o isolamento transparente e criar problemas de conforto, pelo que o sobreaquecimento destes deve ser prevenido no Verão, com o uso de sombreadores. O sombreamento pode ser providenciado com dispositivos fixos ou móveis convencionais, ainda que neste caso a opção por dispositivos fixos do tipo palas ou sombreadores de lâminas seja mais económica, simples e eficaz, pois não

necessitam de ser operados e o isolamento nocturno é já assegurado pelo próprio painel.

Existem várias formas de posicionar o isolamento transparente na parede acumuladora. Na Figura 5.2.10 são apresentados cortes transversais de diversas soluções de paredes acumuladoras com isolamento transparente:

- envidraçado, dispositivo sombreador, isolamento transparente, espaço de ar, parede opaca acumuladora (a);
- dispositivo sombreador externo, envidraçado, isolamento transparente, espaço de ar, parede opaca acumuladora (b);
- dispositivo sombreador externo, envidraçado, isolamento transparente, parede opaca acumuladora (c).

A aplicação mais óbvia e económica é a descrita em último lugar, a de posicionar o isolamento transparente imediatamente sobre a face exterior das paredes acumuladoras, sem caixa-de-ar (Figura 5.2.11). Devido à boa transmissibilidade do isolamento (e do "acabamento superficial", que nalgumas soluções é também vidro), a maior parte da radiação incidente é absorvida pela superfície exterior da parede sólida. A razão entre os fluxos de calor deste plano em direcção ao compartimento, e do ambiente, depende da razão das resistências térmicas entre a superfície absorvente e o ambiente, e entre a superfície absorvente e o espaço interior. Este plano é separado do ambiente por uma alta resistência térmica. Isto explica o facto da energia absorvida fluir pela parede, por condução (a qual possui uma resistência menor), em direcção ao compartimento. Quando a temperatura na superfície exterior da parede é alta, o compartimento tem ganhos, ou pelo menos baixa as perdas por transmissão.

Tal como nas soluções de paredes acumuladoras convencionais, a espessura das paredes acumuladoras deverá ser dimensionada de forma a providenciar o atraso temporal apropriado e uma boa complementaridade com os eventuais ganhos directos.

Um fragmento da radiação solar é absorvido pelo isolamento transparente, o restante é absorvido pela superfície externa da parede opaca. Aumentando a temperatura, desenvolve-se um fluxo de calor em direcção ao compartimento, ou pelo menos, as perdas por transmissão diminuem. Desenvolve-se um fluxo de calor em direcção ao interior devido à alta resistência térmica do isolamento transparente, como se pode ver na Figura 5.2.12. O fluxo de calor através da parede opaca é atrasado devido à capacidade de armazenamento térmico.

Do ponto de vista económico, a espessura de materiais para o isolamento transparente / translúcido deve ser avaliada de acordo com as condições específicas do local da obra e do tipo de isolamento. Deve ser tido em conta que camadas espessas reduzem os ganhos solares e camadas mais finas apresentam maiores perdas de calor por transmissão. A espessura típica do isolamento transparente é entre 4 e 8cm, a sua Resistência térmica está compreendida entre 0,8 e 1,6m²K/W, e o seu Factor de transmissão solar situa-se entre 0,5 e 0,7 (FABUTE 2003).

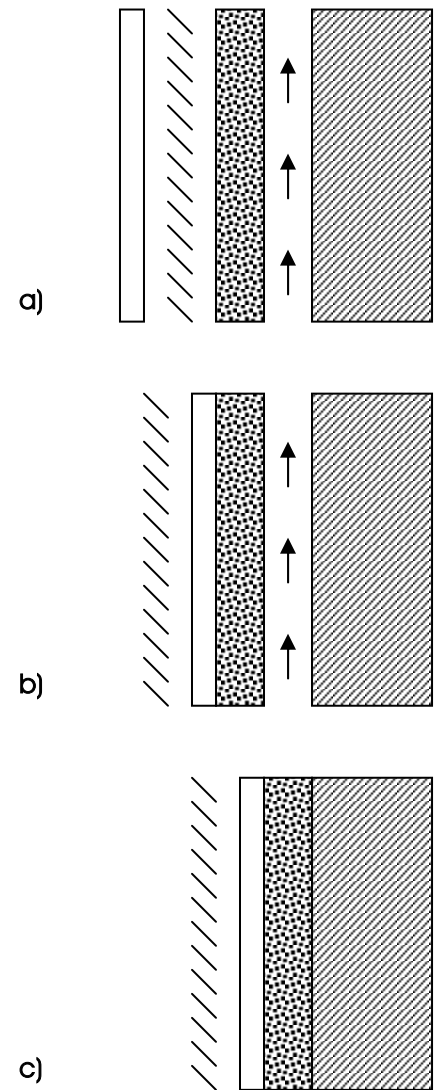


Figura 5.2.10. Soluções de paredes acumuladoras com isolamento transparente

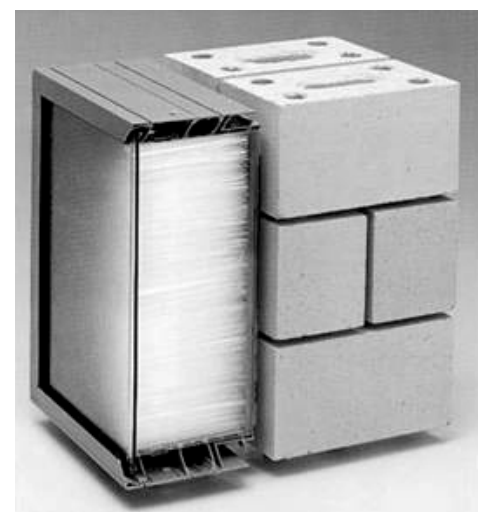
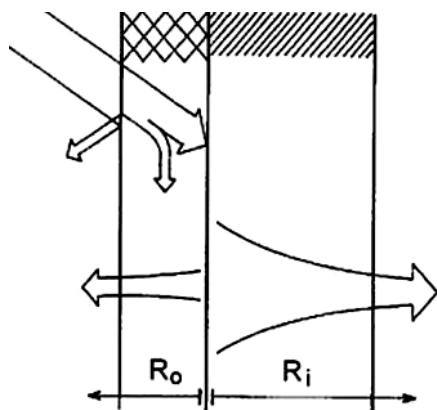


Figura 5.2.11. Isolamento transparente (SolFas) sobre parede acumuladora (Herzog 1996)



O isolamento transparente deve ser protegido com vidro ou plásticos resistentes pelo exterior, como Policarbonato ou ETFE. Dispositivos de sombreamento móveis, tradicionais, podem ser colocados em frente ao envidraçado, ou entre o envidraçado e o isolamento transparente.

Figura 5.2.12. Fluxos de calor em parede acumuladora com isolamento transparente (FABUTE 2003)