





# Paredes de Trombe na Arquitectura Contemporânea

Nuno Rafael Mota Mendes

Trabalho Teórico submetido como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em  
Arquitectura

Orientador:

Doutor Vasco Moreira Rato, Professor Auxiliar

ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa



## Resumo

Num momento em que a sociedade contemporânea se consciencializa dos excessos e atrocidades que anda a cometer ao meio ambiente; é importante que se tome uma posição e apliquem medidas, que de algum modo, possam atrasar a degradação do planeta.

Os sistemas passivos, para a regulação térmica das construções, apresentam-se desta forma, como uma resposta a esta problemática. Todavia durante muito tempo foram colocados entraves à aplicação destes sistemas, pela inexistência de normas capazes de contemplar a capacidade adaptativa do ser humano, exigindo assim um elevado consumo de energia para que fossem mantidas as condições térmicas “racionalmente” confortáveis.

As paredes de Trombe, de fácil compreensão de funcionamento, é um sistema que sem grande dificuldade se consegue aplicar no projecto de arquitectura. É de todo uma opção viável, todavia são poucas as experiências satisfatórias do ponto de vista arquitectónico, o que não invalida o recurso ao mesmo. É então preciso sensibilizar os arquitectos para este tipo de mecanismos, mostrando-lhes que se derem ao trabalho de explorar as suas potencialidades, facilmente conseguem integrar nos seus projectos meios que não iram aumentar em muito ou até mesmo nada os orçamentos de obra. Estas são soluções que tornaram a vida dos seus utente mais económica, ajudando a preservar o planeta

A Arquitectura deverá servir o ser humano respeitando porem o meio ambiente.



## Abstract

When contemporary society is aware of the atrocities that were committing to the environment; it is important to take a position and implement measures, which somehow could delay the degradation of the planet.

Passive systems for thermal regulation of buildings are presented, as a response to this problem. However for a period of time some standards were impeding the application of these systems, forgetting the adaptive capacity of human beings and requiring a high consumption of energy for thermal conditions to be kept "reasonably" comfortable.

Trombe walls are easy to understand who it works. It's a viable option, however there aren't few satisfactory experiences from architectural point of view, which does not invalidate the use of theme. It is necessary to sensitize the architects for this type of mechanism, showing them that if they give the work to explore their potential, it can be easily integrated in the architectural design without increase as much or even nothing the budgets work. These are solutions that have made life of its wearer more economical, helping to preserve the planet

The architecture should serve the human being, but being able to respect the environment.



## Agradecimentos

Antes de mais quero agradecer aos meus pais pelo apoio psico-financeiro que me prestaram, nunca deixando de acreditar nas capacidades do seu filho mais novo, que se encontra a trezentos quilómetros de casa. Ainda dentro do seio familiar não me posso esquecer de referenciar os meus três irmãos que me ajudaram sempre que os acudia.

Agradeço também aos meus amigos de turma mais próximos por toda a companhia e apoio mutuo que disponibilizaram, em muitos momentos e alguns deles de aflição escolar, são eles: Barbara Varela, Flávia Falcão, Hugo Coelho, Ricardo Careiro, Tiago Cruz. Não me esqueço dos meus amigos de infância e de juventude, que apesar de afastados deste processo escolar, tiveram e têm um papel importante neste meu percurso que é a vida, obrigado. Ao Alexandre Moinhos, António Costa, Diogo Madeira, Duarte Rodrigues, Joana Sousa, Márcia Nunes e Mariana Pisco pelos momentos de descontração.

Agradeço como não podia deixar de ser a todo o Departamento de Arquitectura do ISCTE-IUL por ter montado um curso que montado este curso , fomentado o interesse dos alunos do MIA. Ao professor Vasco Moreira Rato um obrigado por toda a compreensão e paciência que deliberou aos alunos do seu laboratório. À professora Ana Vaz Milheiro por ter compartilhado a sua paixão pela teoria de arquitectura. Ao professor Pedro Botelho por ter mostrado a cidade como parte integrante da arquitectura. E ao professor Paulo Tormenta Pinto pelo apoio e dedicação prestado neste ultimo ano de formação.



## Índice das ilustrações

Figura 01: Aumento esperado da temperatura ambiente	18
Figura 02: Comparação entre formas	30
Figura 03: Exemplo de uma carta solar (Lisboa – Latitude 38'7"N)	30
Figura 04: Dispositivos de sombreamento e isolamento térmico pelo exterior	34
Figura 05: Eficiência de armazenamento de calor em diversos materiais	40
Figura 06: Convecção de ar ao longo do ano recorrendo a grelhas de ventilação	44
Figura 07: Paredes de Trombe que não recorrem a grelhas de ventilação	46
Figura 08: SNOW HOUSE - Alçado Norte e Oeste	52
Figura 09: SNOW HOUSE - Alçado Norte e Este	53
Figura 10: SNOW HOUSE - Alçado Sul e Oeste	54

Figura 11: SNOW HOUSE - Vista interior - cozinha e sala	55
Figura 12: SNOW HOUSE - Organização, Flexibilidade	59
Figura 13: SNOW HOUSE - Joseph Beuys, <i>I like America and America likes me</i>	60
Figura 14: SNOW HOUSE - Esquema de funcionamento da Parede de Trombe	61
Figura 15: SNOW HOUSE - Esquema de funcionamento dos sistemas passivos	62
Figura 16: SNOW HOUSE - Esquema de funcionamento dos sistemas passivos	63
Figura 17: SEE-TROUGH WALL - Fotografia da maquete	67
Figura 18: SEE-TROUGH WALL - Alçado Sul e Planta; Corte transversal	69
Figura 19: SEE-TROUGH WALL - Aproveitamento das águas pluviais	71
Figura 20: SEE-TROUGH WALL - Funcionamento mediante as estações do ano	72

# Índice

<b>Introdução</b>	15
<b>Ambiente (considerações)</b>	17
<b>Conforto térmico</b>	21
O metabolismo humano	21
As normas e a capacidade de adaptação do ser humano	23
<b>Directrizes de projecto</b>	31
Projectar com sistemas passivos	37
<b>Paredes de Trombe</b>	41
Inércia térmica	41
O que é? & Como funciona?	43
<b>Casos de Estudo</b>	51
SNOW HOUSE – Emilio Marin	51
SEE-TROUGH WALL – Jorge Graça Costa	68
<b>Conclusão</b>	75
<b>Bibliografia</b>	77
Artigos em Periódicos	77
Monografias	77
Papers	78
Webgrafia	79
Teses Académicas	80



## Introdução

A preocupação com os aspectos “verdes” passou rapidamente de um tema subjacente à sociedade a uma questão económica e social de grande relevância. O repentino aumento do preço do petróleo e todas as questões ambientais que lhe estão associadas fazem com que este seja um tema merecedor de atenção. Antevendo a degradação ambiental, é “determinante repensar o futuro, antecipando cenários previsíveis e contrapondo-lhe soluções possíveis” (BAPTISTA, 2010). Contudo, perante uma sociedade focada no presente, na necessidade de satisfação momentânea do indivíduo, esta intenção pode não passar da utopia. Reflexo disto podem ser algumas atitudes tomadas pelo mercado onde há tendência para ofuscar as suas intenções políticas e sociais ao ponto da palavra sustentabilidade se tornar num slogan publicitário. É então importante que a sociedade seja ela própria sustentável (BAPTISTA, 2010).

A questão da Arquitectura ser hábil, ou não, de se construir em concordância com o ambiente, resume-se à capacidade, por parte da equipa de projecto, de utilizar inteligente e racionalmente os recursos e tecnologias disponíveis, tendo em consideração o contexto geográfico e climático, como também a realidade económica e social, onde se vai implantar. Neste sentido, não se pretende implementar modelos ideológicos, mas sim traçar novas estratégias e táticas projectuais (BAPTISTA, 2007).

A construção de um edifício origina um elevado impacto sobre a natureza. A escolha de materiais e processos construtivos deve ser uma preocupação da fase de projecto, pois

acarreta consequências quanto aos métodos de extração e aos mecanismos da sua transformação, a gastos de energia e emissões associadas, e ainda a requisitos de manutenção, depois da construção. Contudo, são poucos aqueles que se preocupam com tais factos. O mal nem sempre é do arquitecto, muitas das vezes são os promotores do projecto exigem determinadas circunstancias, tendo somente em mente as questões económicas.

Os edifícios representam grande parte do consumo de energia de cada país. Neste sentido, é importante que a arquitectura tome consciência desta problemática e que implemente nas suas práticas projectuais medidas que possam ajudar a reduzir tal situação. Melhorar a eficiência dos mesmos quanto ao seu aproveitamento energético é um objectivo ao qual a arquitectura não deverá virar as costas.

As questões relacionadas com o consumo de energia é das mais importantes para a manutenção de uma boa qualidade de vida. A adequação de um edifício para que seja eficiente energeticamente, não requer necessariamente o aumento de custos de obra. A implementação de sistemas passivos é de todo benéfico para esta causa, com a vantagem de se poder integrar na arquitectura sem que o projecto seja condenado. Estes melhoram as condições de habitabilidade, fazendo com que os consumos energéticos sejam reduzidos.

A eficácia energética em arquitectura resulta não pela integração de novas tecnologias ou dos materiais mais avançados, mas sim na capacidade que esta possui em responder racionalmente às exigências que o Homem lhe submete.

## Ambiente (considerações)

A sociedade acostumou-se às comodidades que os avanços tecnológicos lhe proporciona. Na verdade, o modo de vida é sustentado à base de quantidades absurdas de energia. Energia esta obtida em grande parte a partir de combustíveis fósseis. Pela *Energy Information Administration*<sup>1</sup> é possível saber que em 2006 o consumo mundial de energia recorria ao petróleo (36.58%), carvão (27.17%), gás natural (23.0%), hidroelétrica (6.33%), nuclear (5.91%) e geotérmica, solar, marés, vento, lenha e lixo (1.01%) (EIA, 2008). Ou seja 86.75% da energia consumida mundialmente é proveniente de combustíveis fósseis. O petróleo é então dos combustíveis fósseis o que se destaca mais, apresentando um elevado impacto sobre o meio ambiente e sobre a economia mundial. Como fonte de energia não renovável que é, a sua reserva geológica de matéria-prima inevitavelmente acabará por desaparecer, dado que actualmente o índice de consumo é de tal forma elevado que não permite a reposição do mesmo por parte da natureza. A principal razão para este aumento deve-se essencialmente à manutenção do consumo ocidental e à crescente procura por parte de países emergentes, que necessitam de petróleo para sustentar o seu desenvolvimento.

---

<sup>1</sup> EIA - centro oficial de estatísticas energéticas do governo dos Estados Unidos da América

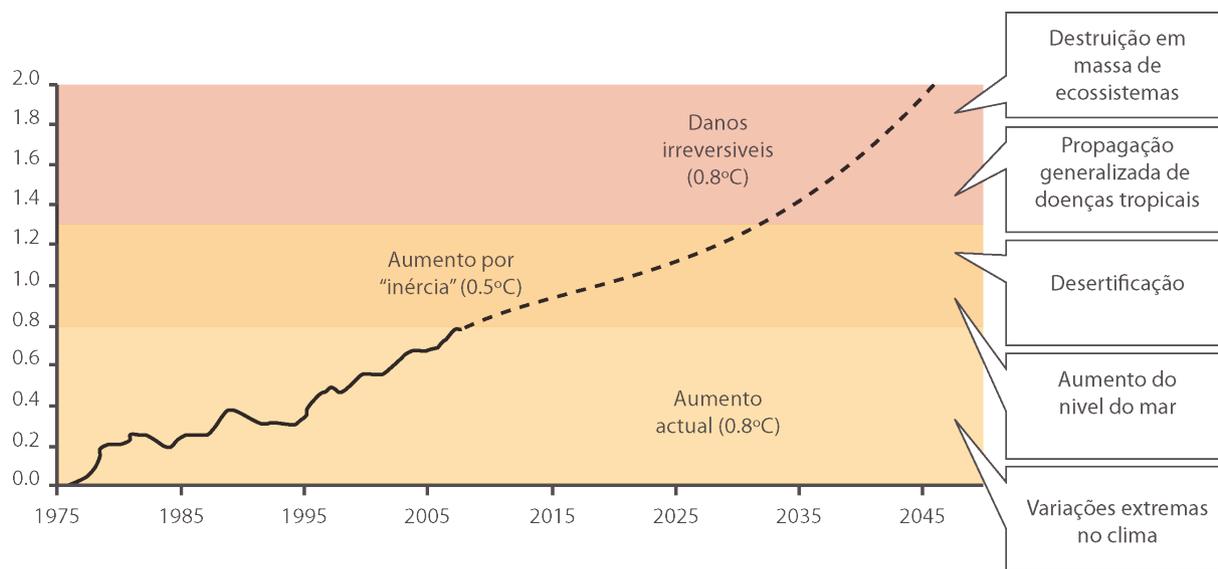


Fig.01: Aumento esperado da temperatura ambiente sem a aplicação de medidas de redução, e as suas possíveis consequências(OFFSETE).

A exploração excessiva e abusiva do ambiente, por parte do Homem, para obtenção dos combustíveis fósseis, contribuiu em grande escala para o agravamento do aquecimento global.

Esta exploração origina a resíduos, que de momento são difíceis de controlar, tais como gases nocivos, os Gases do Efeito de Estufa (GEE)<sup>2</sup>. Em particular, o aumento da concentração destes gases na atmosfera fortalece o processo natural do efeito de estufa, contribuindo assim para a degradação da camada do Ozono e conseqüentemente para o aquecimento do planeta. Para um melhor entendimento dos efeitos concretos sobre o planeta, pela subida da temperatura média ambiente de 0,8°C (OFFSETE), é necessário então perceber o que poderá vir a acontecer. De que maneira poderá afectar-nos e afectar os ecossistemas, e entender as diferentes situações que irão variar consoante a diferente localização geográfica (fig.01).

---

<sup>2</sup> GEE - Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Metano (CH<sub>4</sub>) e Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O)



## Conforto Térmico

Pretende-se aqui abordar a noção de conforto térmico do ser humano quando no interior de um edifício.

### O metabolismo humano

O corpo humano é capaz de manter a temperatura de aproximadamente 37°. Contudo este valor não fora sempre fixo, foi-se alterando ao longo de um vasto período de tempo e sob a influencia de diversas variáveis (Thomas, 2006) .

O corpo humano necessita de expelir o calor produzido pelo metabolismo. Em condições de descanso produz cerca de 100W e, em condições de elevado esforço físico, cerca 1000W. Um homem adulto sentado dentro de um edifício produz cerca de 115W, dos quais 90W são de calor sensível<sup>3</sup> e os restantes 25W são calor latente<sup>4</sup>. A perda de calor do corpo humano dá-se de várias formas: o calor sensível é perdido por convecção ou radiação pela pele ou pela roupa, podendo ainda ser perdido pela respiração; enquanto o calor latente ocorre pela evaporação do suor ou pela evaporação da humidade ao respirarmos.

A quantidade de calor perdido pelo corpo humano dependerá da temperatura do ar e da temperatura radiante dos elementos construtivos que o rodeiam, dependendo ainda das

---

<sup>3</sup>Calor Sensível - calor sensível é aquele que provoca apenas uma variação de temperatura dos corpos

<sup>4</sup> Calor Latente - é aquele que, a uma temperatura fixa, é produzido na mudança de estado, na mudança da estrutura física dos corpos(de estado sólido para líquido e deste para gasoso)

correntes de ar e da roupa que vestimos. A humidade presente no ar pode também ela ser relevante em climas muito quentes e húmidos.

A nu, sob sombra e perante níveis moderados de humidade relativa, rondando os 50% o corpo humano consegue suportar razoavelmente bem temperaturas perto dos 28°-30° (Thomas, 2006). Assim que a temperatura ambiente aumenta, o corpo humano reage de imediato aumentando o fluxo sanguíneo, que por consequência faz com que a temperatura da pele aumente, perdendo desta forma calor pela evaporação da transpiração. Começa-se a sentir desconfortáveis quanto mais significativa for esta reacção. Já quando a temperatura ambiente desce o corpo reage diminuindo o fluxo sanguíneo, evitando a perda de calor pelo suor ou evaporação, deixando assim de transpirar. A “pele de galinha” é também uma reacção do corpo humano para minimizar a perda de calor, pequenos músculos levantam os pêlos fazendo com que diminua o movimento de ar junto da pele. Sendo mais eficaz quanto mais peludo for o corpo humano. Esta questão foi resolvida, ao longo do história do Homem, a partir do momento em que este começou a vestir-se, permitindo assim que suporte facilmente baixas temperaturas, dado que o corpo regula a perda de calor consoante a roupa que usamos, que funciona como isolante térmico.

Percebemos então que tanto o corpo humano - como sistema metabólico - tanto como o Homem - como ser vivo hábil de tomar acções - são capazes de se conseguirem adaptar a uma variação de temperatura.

## **As normas e a capacidade de adaptação do ser humano**

No que respeita à concepção de edifícios, para que se consiga que estes sejam termicamente confortáveis, é de todo vital que mantenha uma amplitude térmica apropriada no seu interior, que não será tão vasta quanto a de um ambiente externo. É importante ter consciência, como já foi exposto anteriormente, que o corpo humano é capaz de manter estável a sua temperatura recorrendo ao seu próprio metabolismo mesmo em ambientes com alguma amplitude. Isto é conseguido com pouco ou até mesmo nenhum aumento do consumo de energia eléctrica em sistemas de climatização auxiliares, adaptando também o vestuário às situações. Não é de todo essencial estar de t-shirt dentro de casa quando na rua estão baixas temperaturas.

Os edifícios de hoje conseguem alcançar o objectivo de manter temperaturas constantes segundo os padrões/normas de conforto no seu interior, contudo recorrendo a elevados montantes de energia para o aquecimento e arrefecimento.

Percebendo como é que funciona o metabolismo humano, pelas trocas de calor que este efectua, é possível reduzir em muito o consumo de energia adoptando meios passivos à construção que de alguma forma funcionam à imagem do Homem.

O conforto é, de certa forma, subjectivo variando de individuo para individuo e depende também de variáveis como a intensidade da luz, da presença de ruído ou ainda de odores.

Existem então normas pelas quais os projectistas se deveram guiar, para que consigam proporcionar um ambiente interior termicamente confortável. Conseguir um ambiente confortável é de todo conveniente ao edifício, pelo bem estar dos seus ocupantes, como também se reflectirá no consumo de energia. Estas normas, numa primeira instancia, não faziam a distinção entre a percepção de conforto dos utentes em ambientes climatizados artificialmente e a dos usuários de ambientes que não recorrem a tais meios. Exigindo desta forma gastos energéticos elevadíssimos para a obtenção de amplitude interiores muito baixas, quando no exterior ocorriam elevadas variações. Só recentemente é que começam a existir preocupações relativas ao consumo de energia

De acordo com a *American Society of Heating Refrigeration and Air Conditions*, o conforto térmico é definido como a condição mental que expressa a satisfação do ser humano perante um ambiente térmico, sendo por isto um conceito muito subjectivo. Uma vez que não é um conceito concretamente definido, não se pode exigir que no interior de um edifício ocorram ambientes térmicos rígidos e exactos. O conforto térmico depende então de factores quantificáveis, tais como a temperatura, a velocidade do ar, a humidade do ar, e ainda depende da taxa metabólica do corpo, do isolamento da roupa vestida, entre outros. Este também varia de pessoa para pessoa, entre situações e até mesmo entre sexos.

Segundo Victor Olgyay, a zona de conforto térmico poderá ser descrita como sendo o ponto em que o ser humano despense a menor quantidade possível de energia, para se adaptar ao ambiente envolvente.

“(…) Com uma temperatura média corporal de 37°C, a procura de um meio termicamente confortável, é guiada, pela intuição, a uma área onde a temperatura é aproximadamente a média entre o que podemos tolerar num clima frio, sem estar totalmente desconfortável, e o ponto que poderá requerer algum esforço por parte do sistema circulatório ou sudoríparo, de maneira a permitir a sua adaptação ao calor.” (OLGYAY, 1963)<sup>5</sup>

Normas como a ASHRAE 55 de 1992 (que estabelece zonas de conforto) e a ISO<sup>6</sup> 7730 de 1994 (que estabelece um critério objectivo de avaliação de conforto térmico) (SERRANO, 2004), permitem o cálculo da temperatura de conforto ideal. Estas eram normas muito rígidas. Tanto as acções como as capacidades de adaptação por parte Homem não eram consideradas, tais como abrir uma janela ou uma porta, ou ainda a capacidade de vestir/despir uma ou mais peças de roupa.

Particularmente a ISO 7730 (1994) utilizava o modelo desenvolvido por Fanger em 1982, que tinha como base a observação do corpo humano sujeito a diferentes ambientes térmicos, dentro de uma câmara climática. Este concluiu que o corpo humano, perante determinados ambientes, quando não acumulando calor no seu interior, encontrava-se muito próximo da condição de neutralidade térmica – existe conforto térmico quando é estabelecido um equilíbrio entre o calor produzido e o calor perdido pelo corpo humano. Nesta situação, a maioria dos indivíduos encontra-se numa situação de neutralidade térmica, isto é, sentem-se termicamente confortáveis (SERRANO, 2004). Porém, a condição de neutralidade térmica é

---

<sup>5</sup> Tradução livre

<sup>6</sup> ISO - International Standards Organization

necessária, mas não suficiente para que a pessoa se encontre em conforto térmico, pois a mesma pode encontrar-se ao mesmo tempo em situação de neutralidade térmica e ainda assim estar sujeita a algum tipo de desconforto localizado como por exemplo radiação assimétrica. Pretendendo englobar a todas as diferentes apreciações das variações térmicas, relatadas individualmente pelos voluntários, Fanger elaborou equações teóricas sobre trocas de calor entre corpo humano e o ambiente apresentando os índices PMV<sup>7</sup> e PPD<sup>8</sup>. Estas equações foram consideravelmente aceites e serviram de base para as importantes normas ISO 7730 (1994) e a ASHRAE 55 (1992). Todavia a sua aplicabilidade é discutível, porque actualmente as variáveis térmicas são obtidas já são obtidas com o auxílio de equipamentos cada vez mais precisos, também a aplicação de valores tabelados de índices relativos ao isolamento de roupas e taxas metabólicas proporcionam imprecisões nos resultados finais das experiências. Ainda as sensações térmicas relatadas pelos voluntários deste estudo, estavam sujeitas a factores físicos, psicológicos e físicos que não são bem compreendidos (LAMBERTS, 2003).

Estas normas já sofreram alterações, mediante revisões. A ASHRAE 55 inclui já as novas normalizações de conforto adaptativo (ACS<sup>9</sup>), permitindo assim temperaturas interiores mais quentes para edifícios naturalmente ventilados durante o Verão. Baseia-se no balanço térmico do corpo humano, assumindo que a sensação térmica deste é somente influenciada por quatro factores ambientais – temperatura, radiação térmica, humidade e velocidade do

---

<sup>7</sup> Predicted Mean Vote – avaliação da votação maioritária de um grupo de indivíduos segundo a escala ISO de sensações térmicas (+3 quente; +2 morno; +1 ligeiramente morno; 0 neutro; -1 ligeiramente fresco; -2 fresco; -3 gelado) (OLESEN, 2002)

<sup>8</sup> Predicted Percentage of Dissatisfied – percentagem de indivíduos insatisfeitos

<sup>9</sup> ACS (Adaptive Comfort Standard) – é baseado na análise de 21000 dados, provenientes de 160 edifícios localizados em quatro continentes, em variadas zonas climáticas (deDEAR, 2002)

ar – e por dois factores pessoais – actividade e roupa. Contudo existe uma teoria alternativa e complementar à anterior, que consiste no modelo adaptativo, onde os ocupantes dos edifícios, com as suas preferências e expectativas térmicas, desempenham um papel fundamental. Desta maneira a dimensão psicológica de adaptabilidade é considerada, tornando-se relevante sobre tudo em contextos onde se consiga interagir com os edifícios (deDEAR, 2002).

Segundo Nicol e Humphrey o ser humano possui uma capacidade natural de adaptação a mudanças térmicas. É nesta capacidade natural em que se baseia o pensamento de conforto adaptativo. Humphrey propõe assim a alterações das equações de Fanger, com intenção de torná-las sensíveis ao carácter adaptativo das sensações humanas (NICOL, 2002).

Os modelos de conforto adaptativos são considerados para situações onde as pessoas se possam adaptar ao ambiente em que se encontram, permitindo assim zonas de conforto com maiores amplitudes térmicas do que com o recurso às normas racionais. Desta forma poder-se-á recorrer a equipamentos de climatização só em determinadas áreas do edifício, ou com menor potência, promovendo um menor consumo de energia. Aqueles que habitam em ambientes onde a teoria adaptativa fora usada, toleram maiores amplitudes térmicas nas áreas interiores, desde que tenham o controlo sobre o espaço.

Com as revisões feitas às normas , os arquitectos terão melhores condições para projectar, isto é, deixam de estar restringidos a amplitudes térmicas muito curtas, pois as temperaturas

podem variar de acordo com as condições climáticas exteriores, acompanhando assim as temperaturas de conforto e as variações horárias da temperatura. Conseguindo recorrer a sistemas mecânicos mais fracos, logo mais económicos, podendo também optar, quando possível, por incorporar climatização passiva, pois tira partido da capacidade de adaptação dos usuários, dando-lhes a liberdade de actuação em prol do seu próprio conforto.



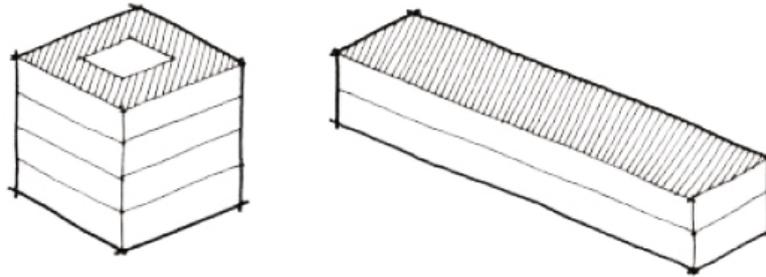


Fig.02: Comparação entre formas.

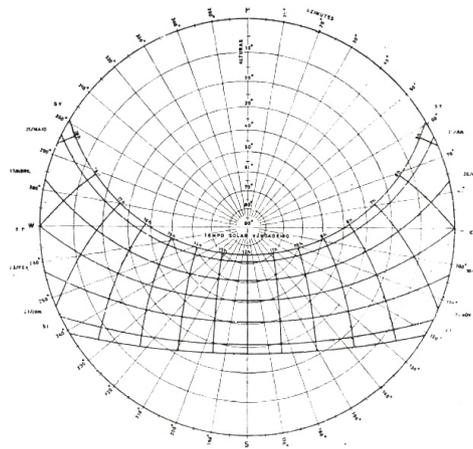


Fig 03: Exemplo de uma carta solar (Lisboa – Latitude 38'7"N).

## Directrizes de projecto

É importante considerar, quando na fase de planeamento de projecto, a relação entre forma e orientação do edifício, para que se consiga encontrar um equilíbrio entre ambas. Não existe uma tipologia que consiga de todo satisfazer todas as questões relacionadas com a eficiência energética, adoptando meios passivos (fig.02) (Holt, 2002). Um edifício de cariz mais compacto, mais concentrado, perderá menos calor pela envolvente, contudo os ganhos solares também serão menores. Excepto em construções de pequena escala - quando a forma compacta se aproxima da de um cubo - grande área do pavimento encontra-se fora do alcance da radiação solar. Por outro lado, um edifício mais estreito e alongado apresentar-se-á mais vantajoso no que respeita à iluminação e ventilação naturais, conseguindo também ter maior área de fachada exposta à radiação solar, mas maior perdas de calor pela fachada oposta. Com isto pode parecer que a forma paralelepípedica é capaz de comprometer a performance térmica do edifício, mas o recurso a um sistema de vãos bem orientados e dimensionados, é suficiente para compensar as perdas pela envolvente.

É importante que no Verão se tire proveito do ângulo com que a radiação solar incide sobre a superfície da Terra, para que desta forma se consiga projectar elementos construtivos capazes de obstruir a entrada da radiação indesejada no interior do edifício. Esta é assim uma estratégia que pode e deve ser usada, para que o recurso a sistemas de arrefecimento auxiliar seja diminuto. Com o apoio de cartas solares (fig.03) facilmente se consegue projectar elementos de sombra de modo a bloquear os ganhos solares, num vão, em

determinada hora e época do ano. Para este efeito os elementos mais eficazes serão aqueles que se encontram no exterior da envolvente tectónica da construção.

Palas, estores e cortinas no interior do edifício poderão ser eficazes no controlo da luminosidade, contudo não serão de todo eficazes na redução dos ganhos solares no interior. É de considerar elementos de sombra de cor clara, para que possam ajudar a difundir a luz para o interior do edifício, evitando assim o excesso de claridade causado muitas vezes pela incidência directa dos raios solares num espaço. As sombras são mais controláveis nas fachadas Norte e Sul – quando no hemisfério Norte. Na fachada Sul, pela sua permanente insolação, facilmente se projectam elementos capazes de sombrear os vãos; na fachada Norte, porque somente recebe radiação solar e iluminação natural difusa, não precisando de sombreamento. Já nas fachadas poente e nascente a situação tornam-se um pouco mais incontrolável. Ao amanhecer e ao final da tarde os raios incidem, nestas fachadas, quase perpendiculares aos vãos, sendo excessivos os ganhos solares. Contudo com o recurso a dispositivos de sombreamento verticais é possível controlar estes ganhos. É então de extrema relevância que se tenha cuidado ao dimensionar os vãos para estas fachadas.

As considerações energéticas não deverão por si só manipular o projecto de arquitectura, contudo muitos dos sistemas que interferem na performance energética de um edifício deverão ser considerados nesse processo desde o princípio. É então importante que o Sol, enquanto fonte de energia, seja considerado como fundamental, tornando-se o orientador do processo, para que se consiga concretizar uma arquitectura que zele por uma melhoria das

condições de habitabilidade dos edifícios dentro dos parâmetros térmicos e lumínicos, de modo a que, a longo prazo, seja possível reduzir as necessidades energéticas, tanto para aquecimento como para arrefecimento e iluminação.

Normalmente a quantidade de energia solar que incide sobre uma cobertura é mais do que o total de energia consumida numa habitação. Os sistemas passivos, quando introduzidos desde o princípio da construção, podem não ser significativos no custo total da obra; contudo, o seu efeito vai representar uma significativa redução do recurso a equipamentos auxiliares de climatização, logo uma redução dos custos energéticos.

Quando um edifício está a ser projectado, equipamentos auxiliares de climatização como condutas de ar ou pavimentos radiantes são incorporados no mesmo, mas funcionam como que apetrechos, isto é, nunca estarão realmente integrados no edifício. Já no que respeita a sistemas passivos, estes encontram-se integrados nos próprios elementos construtivos como paredes, janelas, pavimentos, etc., funcionando como colectores, acumuladores, dissipadores e distribuidores de calor, ou seja, o próprio edifício é um sistema hábil de preservar uma amplitude térmica confortável no seu interior.

É possível conseguir-se grandes níveis de performance energética sem que seja sacrificado o projecto de arquitectura, mas para tal é preciso ter em conta alguns aspectos:

- o local de implantação do edifício e sua orientação solar - toda a envolvente, como árvores e outros edifícios serão influentes. Também os fluxos de ar que circulam nesse mesmo local são importantes;

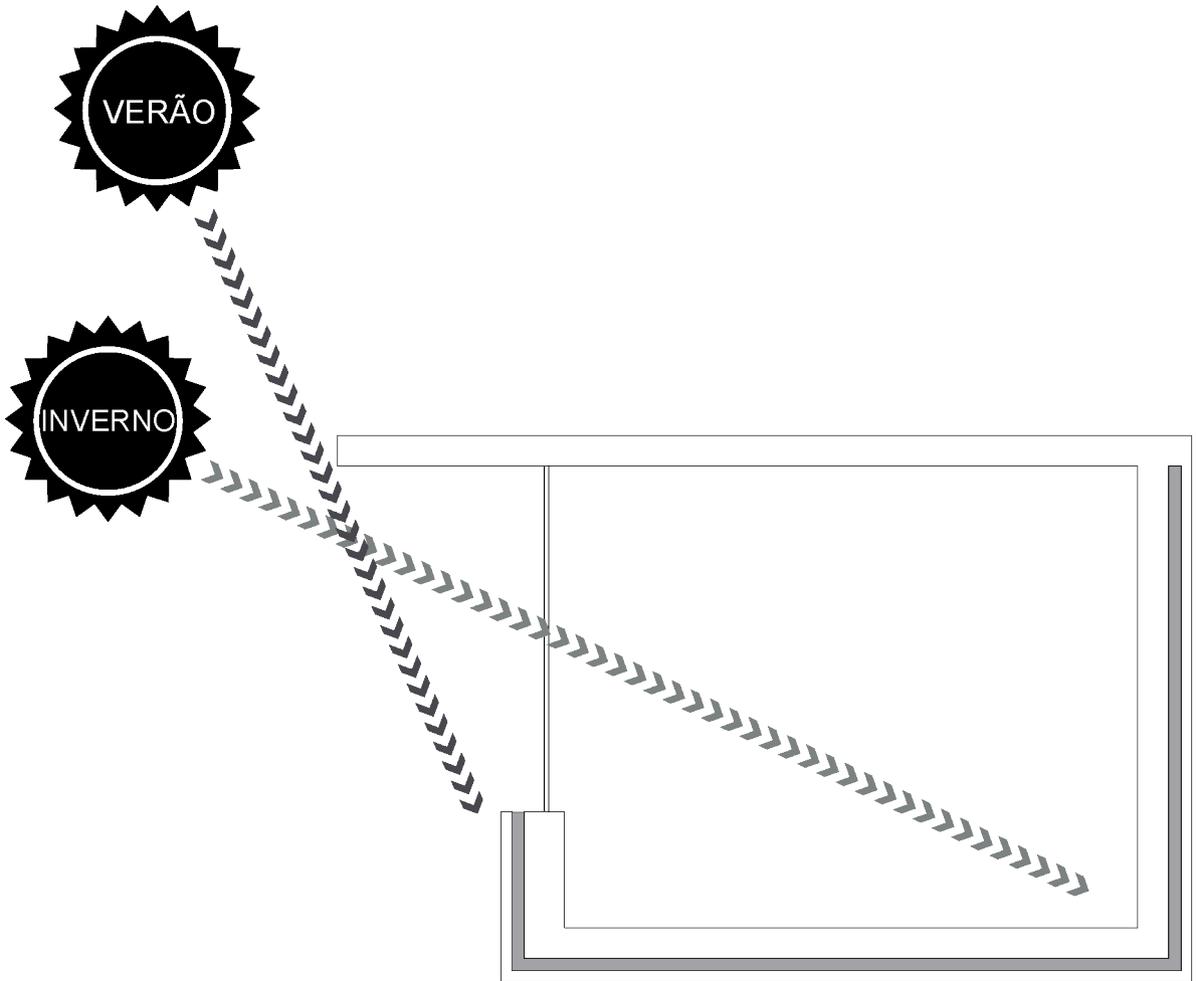


Fig.04: Dispositivos de sombreamento e isolamento térmico pelo exterior.

- o edifício deverá permitir ganhos solares durante o Inverno e permitir uma boa circulação de ar no Verão;
- o posicionamento e dimensionamento das janelas é de todo relevante para a eficácia energética, bem como o tipo de vidro que é escolhido (simples, duplo, triplo; reflector ou não). O sombreamento dos vãos no período de Verão é muito importante para uma maior eficácia e um maior conforto;
- o isolamento térmico deverá ser aplicado em paredes, tectos e pavimentos para uma melhor resistência térmica em conjunto com uma adequada inércia térmica dos materiais (dependendo do seu dimensionamento e orientação dos elementos construtivos em que são aplicados) podem ser vitais para uma boa performance energética do edifício, normalmente com orientações que permitam a radiação directa dos mesmos.

Seguindo estes métodos e preocupações, as épocas de aquecimento e arrefecimento serão mais equilibradas resultando num maior conforto e em menor consumos de energia.

Uma correcta orientação dos vãos é importante, com o mínimo de áreas a Norte, pois não recebendo radiação directa, nessa fachada irão ocorrer as maior perdas de calor. No Verão (fig.04), poder-se-ão utilizar diferentes dispositivos de protecção solar: portadas, estores exteriores como também vegetação de folha caduca; o recurso a dispositivos de sombreamento exteriores e o isolamento térmico pelo exterior pretendem minimizar os ganhos quer pelos vãos quer pela envolvente opaca, quando em período de temperaturas elevadas, ajudando no atraso da subida da temperatura interior. Já no Inverno (fig.04), o

isolamento pelo exterior traduz-se num aumento da inércia térmica possibilitando o armazenamento da energia, nos elementos construtivos, da radiação solar que penetra através dos vãos envidraçados (fig.04).

Atenção! É preciso ter em mente que o recurso a sistemas passivos não significa necessariamente a exclusão por completo de sistemas auxiliares de climatização. É então preciso recorrer a sistemas eficiente de aquecimento e arrefecimento, para que as preocupações tidas em conta anteriormente não sejam meras intenções. Hoje em dia, já é possível acoplar aos edifício sistemas de design compacto e de elevado rendimento não recorrendo a combustíveis fósseis para manter temperaturas confortáveis mesmo nos climas mais agressivos.

## **Projectar com sistemas passivos**

Muito simplesmente consiste em projectar de modo a conseguir-se, no Inverno, ganhos directos no interior do edifício, e no Verão, evitar esses mesmos ganhos solar.

O sol penetra no espaço interior pela fachada Sul e uma parte significativa é aproveitada como energia calorífica. Desta forma, as paredes e os pavimentos são usados como colectores e armazenadores de energia, pela recepção directa dos raios solares e ainda pela absorção da energia reflectida. Enquanto as temperaturas se mantiverem elevadas no interior do espaço, estes elementos construtivos armazenam calor. Assim que a temperatura começa a baixar, as paredes e pavimentos iniciam um processo de radiação de energia, libertando calor para o interior do espaço até se conseguir um equilíbrio de temperaturas. Esta acção por parte dos elementos construtivos consegue manter temperaturas amenas e confortáveis durante noites frias e pode ser estendida durante alguns dias nebulosos sem a necessidade de “recarregamento”. Este método permite uma variedade de materiais e diferentes maneiras de ser concebido. Como é de esperar, tudo dependerá do local onde será implantado o edifício. Para que seja eficiente é necessário que metade ou dois terços da área total interior seja constituída por materiais capazes de armazenar energia. Aqui incluem-se paredes, pavimentos e tectos, podendo os materiais variar desde do betão, pedra, tijolo maciço até à água (Arizona Solar Center).

Outra forma será através de ganhos indirectos. Aqui os elementos construtivos que irão armazenar a energia proveniente do Sol localizam-se entre o espaço interior e a radiação

solar, logo não existe incidência directa de radiação no interior do espaço habitado. É então colocada uma parede de armazenamento de energia logo por trás de uma fachada envidraçada, orientada de modo a conseguir a maior incidência da luz solar (parede Trombe). Existe ainda a possibilidade de existir água dentro desta parede de armazenamento de energia – contida em tubagens no interior da mesma.

É também possível recorrer a estufas – um pequeno espaço coberto por materiais translúcidos, que faz parte do próprio edifício – associado a uma parede de armazenamento que receba radiação solar directa. Aqui a pequena estufa orientada a sul é construída em frente da parede que irá armazenar a energia proveniente da radiação solar. Esta parede localizar-se-á assim entre a estufa e o espaço interior que se pretende aquecer. Enquanto a parede recebe e armazena calor, o interior da estufa está sendo aquecido. Se esta parede conter grelhas de ventilação, o espaço interior será mais rapidamente aquecido por convecção. Também se poderá recorrer a água no interior da parede de armazenamento. A estufa é então aquecida por ganhos directos de calor enquanto o espaço interior é aquecido por ganhos indirectos. Este sistema tem a vantagem da temperatura da estufa se manter durante alguns dias nebulosos.



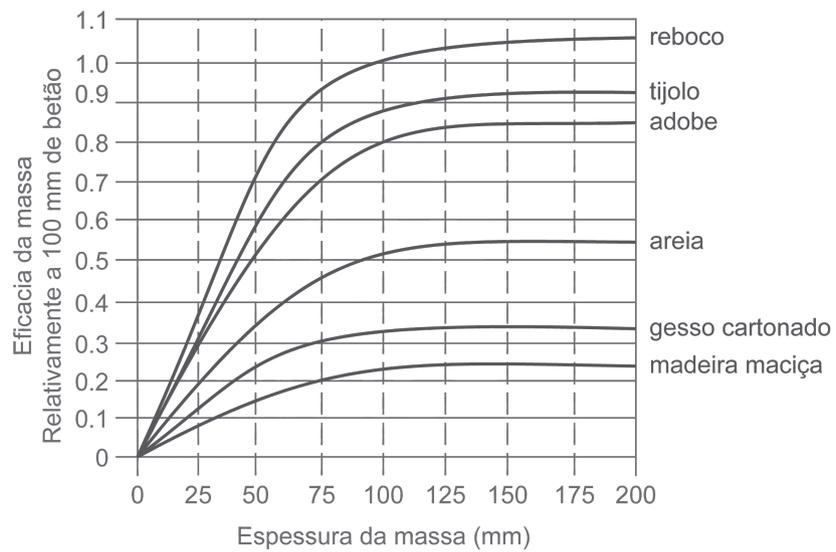


Fig.05: Eficiência de armazenamento de calor em diversos materiais (Holtz, 1990).

## Paredes de Trombe

### Inércia térmica

De uma forma genérica, a inércia térmica é a capacidade de armazenamento de calor que os materiais constituintes de um edifício possuem. Caso sejam eficientemente projectados, podem reduzir a necessidade auxiliar de energia para o aquecimento ou arrefecimento. Tais materiais podem ser os mesmos materiais banais usados na construção, como tijolos maciços, alvenaria de pedra, betão armado, entre outros.

Durante a estação de aquecimento, os elementos construtivos de elevada inércia térmica podem poupar muita energia, substituindo os aquecedores, pela energia por eles armazenada proveniente da radiação solar. O Sol de Inverno é suficiente para “carregar” esses elementos construtivos com calor; contudo, se a insolação não for contínua, os ganhos solares podem ser insuficientes, aumentando desta maneira o recurso aos aquecedores, porque para atingir a temperatura ambiente pretendida é preciso aquecer toda a massa que não fora aquecida pelo Sol.

Na estação de arrefecimento, os elementos anteriormente referidos, ao absorverem e armazenarem o calor proveniente da radiação solar, atrasam a subida da temperatura interior no período mais quente do dia. Quando começam a libertar calor, é já fim do dia, e com o auxílio da ventilação natural é possível baixar a temperatura interior; porem esta situação só será viável em climas onde a amplitude térmica entre o dia e a noite o permita.

O pavimento pode e deve também ele ser um elemento de massa, para que consiga ser um elemento de elevada inércia térmica. Assim deverão estar expostos à radiação directa para melhor eficiência, tendo em conta que não mais de 10% a 15% deverá estar coberta com tapetes e carpetes, por conseguinte tais peças decorativas contribuirão para reduzir em muito o desempenho térmico. De preferência deveram ser de cor escura e com um elevado coeficiente de absorção. Betão pintado ou coberto com vinyl é muito eficiente. Outros elementos que não sejam tratamentos de superfícies estruturais, como por exemplo pedras, são menos eficientes, contudo bem mais atractivos. A sua espessura deverá rondar os 10cm dado que se baixarmos para 5cm a eficiência do mesmo é reduzida para dois terços e se aumentarmos para 15cm só beneficiamos com mais 8% (fig.05) (Holtz,1990).

Paredes interiores em áreas que recebam luz solar, não necessitando de ser directa, deverão também elas ser de elevada inércia térmica. A luz solar difundida e o ar aquecido pelo Sol são o suficiente para que as paredes consigam armazenar calor. De preferência de cor clara para que a luz seja mais facilmente difundida e constituídas por materiais termicamente mais sensíveis.

Na estação de arrefecimento, todas as paredes e pavimentos deverão ser sombreados para minimizar os ganhos solares e, durante o período nocturno, todo o edifício deverá ser ventilado convenientemente.

## O que é? & Como funciona?

Nos primórdios da arquitectura, as pessoas recorriam a espessas paredes constituídas de adobe/taipa ou até mesmo pedra. Eram usados estes materiais na construção pela inexistência de técnicas mais avançadas e também por serem materiais da região. Na verdade, estas paredes, pelas suas características tectónicas, permitiam o armazenamento de energia proveniente da radiação solar que incidisse sobre as mesmas, e lentamente libertavam essa energia à medida que a temperatura ia diminuindo. Perante a observação desta construção vernacular e estudando os factores físicos e químicos envolvidos na capacidade que tais elementos construtivos possuem em armazenar e radiar energia, foi possível desenvolver um sistema passivo para o aquecimento das construções. O sistema que aqui é referido é a parede de Trombe. Recebeu este nome pelo francês Félix Trombe. Este foi responsável, em conjunto com o arquitecto Jacques Michel, pela popularização do mesmo em meados da década de 60, contudo este sistema já teria sido patenteado em 1881 pelo seu inventor Edward Morse.

A parede de Trombe resume-se a uma superfície orientada, de preferência a Sul (caso a localização do edifício seja no hemisfério Norte), de modo a conseguir uma boa exposição à radiação solar directa. Constituída por uma primeira camada composta por materiais transparentes (normalmente vidro) capazes de permitir a passagem dos raios solares até uma segunda camada de materiais de elevada inércia térmica (como betão, alvenaria de pedra, podendo ainda conter no interior destes depósitos com água) capazes de absorver e armazenar o calor solar. Entre estas camadas encontra-se uma caixa de ar que irá criar

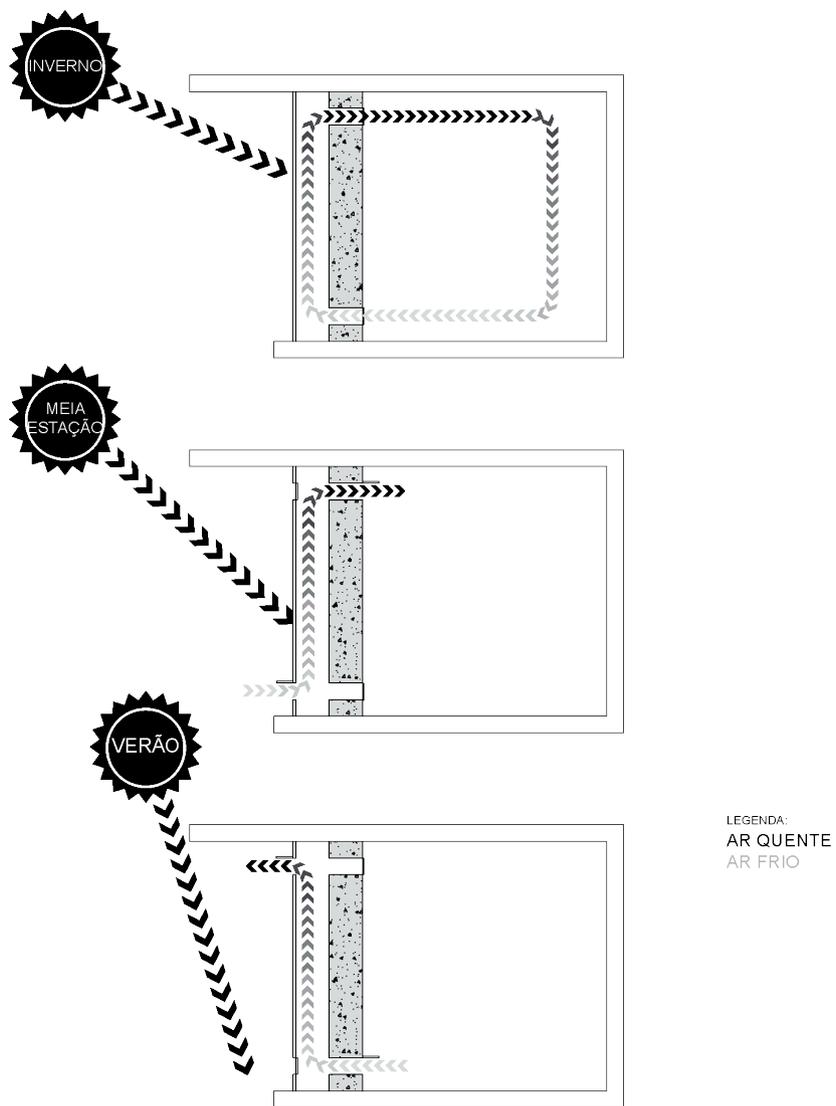
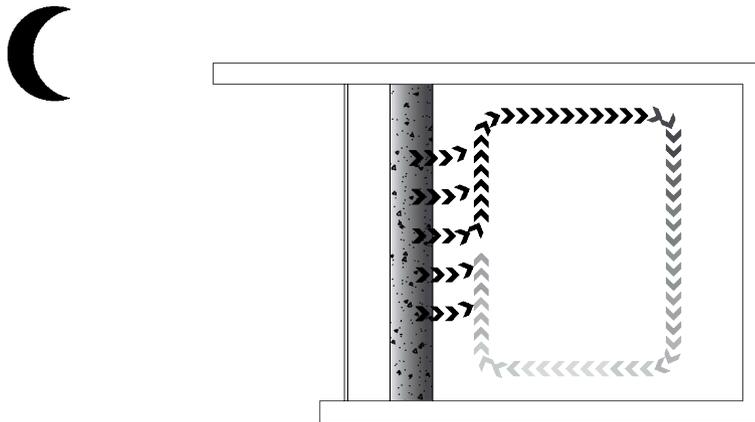
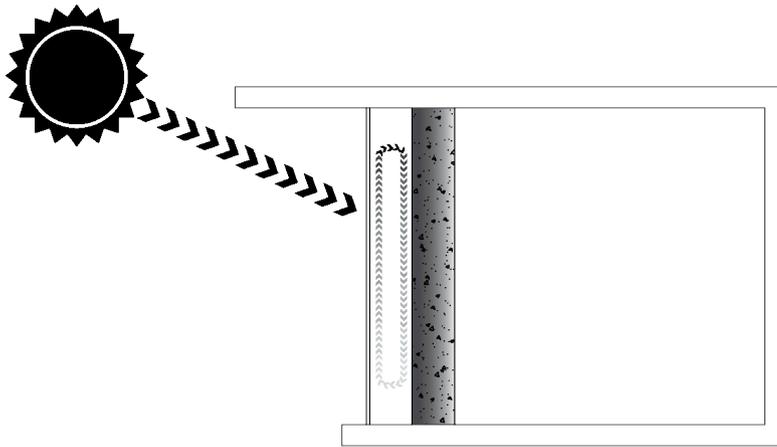


Fig.06: Convecção de ar nas diferentes estações do ano, quando recorrendo a grelhas de ventilação.

efeito de estufa aumentando a temperatura e potenciando a absorção de calor pelo elemento de massa, fazendo também com que esta energia armazenada na parede não seja tão dificilmente libertada para o exterior.

Ficando exposta à radiação solar durante o período diurno, a parede absorve e armazena energia. A radiação solar penetra o vidro sendo imediatamente a seguir absorvida pela superfície da parede, em seguida é armazenada ou conduzida pelo material da mesma até ao interior do edifício, dependendo dos materiais e espessuras dos mesmos. No espaço localizado entre a primeira camada de vidro e a segunda camada constituída pela parede, criar-se-á o efeito de estufa, onde poderão obter-se temperaturas muito elevadas facilmente atingindo os 30-60°C (Gonçalves, 2004). Deste modo o calor armazenado será transferido para o interior do edifício por meio de radiação e/ou convecção dado que a face exterior da parede se encontra a uma temperatura superior à do interior. O calor contido entre o vidro e a camada de massa, pode ser usado para rapidamente aquecer o interior por intermédio da ventilação natural recorrendo a grelhas de ventilação para uma eficiente distribuição de calor (fig.06). Se tal for a utilização pretendida, o interior será aquecido por uma corrente de convecção natural, que trará ar exterior aquecido previamente no espaço “estufa”.No entanto, desta forma, a maior parte da energia incidente é transferida e utilizada de imediato, sendo que a energia acumulada na parede é reduzida. As grelhas localizam-se na base, para que haja admissão de ar fresco na área de aquecimento - espaço contido entre a camada de vidro e a camada de massa - tanto como no topo para passagem do ar aquecido. Durante o período nocturno, estas grelhas dever-se-ão fechar para que o ar fresco seja mantido no exterior e o interior é então aquecido pelo calor armazenado na



LEGENDA:  
AR QUENTE  
AR FRIO

Fig.07: Paredes de Trombe que não recorrem a grelhas de ventilação.

parede, o qual é transferido por radiação à medida que a temperatura interior vai baixando. Outra vantagem deste tipo de sistema é o de poder ser utilizado na meia estação (Primavera e Outono) para pré-aquecimento do ar exterior, necessitando para isso de grelhas de ventilação para o exterior, permitindo assim a admissão de ar exterior para o interior do "estufa" (fig.06).

No caso de não se pretender utilizar a estratégia de ventilação natural - recorrendo às grelhas - a energia incidente na parede sendo acumulada durante o dia e, por condução e radiação, será transferida para o interior do espaço a aquecer. Assim armazena-se energia que estará disponível no período nocturno, estabilizando as temperaturas (fig.07). As paredes de Trombe permitem um desfasamento da onda de calor de algumas horas. Numa situação de Inverno e no caso de esta não ser ventilada, o "calor" atinge o interior do edifício no final do dia quando a temperatura exterior começa a diminuir. Já se forem ventiladas, todo o processo de transferência de calor poderá ocorrer ao longo do dia; contudo, o armazenamento de energia por parte da parede é menor, logo no período nocturno torna-se desfavorável.

A vantagem de recorrer a materiais como a água é a sua elevada capacidade de armazenamento de calor, dada a sua sensibilidade térmica, que estes apresentam por unidade volúmica e peso relativamente ao betão e alvenarias de pedra. Aqui deixam de ser necessárias as grelhas de ventilação, pois assim que esta aquece o processo de convecção

encarrega-se de rapidamente distribuir o calor pela massa de água sendo o interior aquecido rapidamente mais uma vez pelo calor irradiado da parede.

Embora o desenho destes elementos dependa das condições específicas locais e das condicionantes arquitectónicas, e tratando-se este trabalho, acima de tudo, da respectiva integração destes na arquitectura contemporânea, a “vontade” da arquitectura deverá prevalecer até certo ponto. Contudo, necessitará de respeitar os seguintes princípios: o dimensionamento da parede de Trombe deverá rondar os 5% a 15% da área total do compartimento em questão e com uma orientação dentro dos 5° a 10° relativamente ao verdadeiro Sul quando no hemisfério Norte) (Holtz, Michael J., 1990). Tendo em mente que, para maior eficiência, esta deve estar o maior tempo possível exposta à radiação solar na estação de aquecimento, mas sombreada na estação de arrefecimento; pode recorrer-se a sistemas de sombreamento como palas ou até mesmo vegetação de folha caduca. O vidro constituinte da primeira camada é importante que seja simples e de fraca reflexão, para que os raios solares o atravessem sem dificuldades; a segunda camada deverá ser sólida e compacta com espessuras que rondem os 10 a 30cm de espessura (Gonçalves, Hélder e João Mariz Graça, 2004), e geralmente pintada de cor escura na sua superfície exterior, aumentando assim a captação da radiação solar incidente.

### Vantagens:

- O calor irradiado da parede é mais agradável e confortável do que aquele proveniente de sistemas auxiliares de climatização;
- Fraca necessidade de manutenção;
- De construção simples e relativamente fácil de incorporar na construção, tanto como parede interior ou exterior do edifício. Sendo constituída por materiais banais na construção, tais como pedra e betão;
- Acima de tudo é capaz de reduzir em muito o consumo de energia.

### Desvantagens:

- Durante um elevado período nebuloso, estas paredes, dada a inexistência de isolamentos, podem ser uma fonte de perda de calor para o exterior;
- Se não projectadas cuidadosamente, são facilmente objectos inestéticos podendo arruinar a construção.

(ALLAN, David, 2008)



## Casos de Estudo

**SNOW HOUSE (Xella house)** – uma casa sustentável na montanha

Arquitectos: Emilio Marin em colaboração com Nicolas Dorval-Bory, Juan C. Lopez Huerta,  
Competição para Xella. 2009

3º premio

140m<sup>2</sup>

Santiago - Chile

Hoje em dia, perante o aquecimento global e a exponencial exploração do planeta pela procura de energias, o conceito de sustentabilidade está-se a tornar cada vez mais um ponto central em arquitectura. Contudo, é comum verificar que as respostas estão mais voltadas para a aplicação de tecnologias, do que propriamente a aplicação das tradicionais estratégias de projecto, e são poucos aqueles que elaboram uma pesquisa na procura de nova soluções.

Para a Xella house, quiseram responder de forma a contemplar as tradicionais estratégias projectuais de arquitectura que não fosse simplesmente a aplicação de técnicas por si só. Na sua arquitectura, conseguiram combinar tanto a funcionalidade técnica como integrar o projecto no local respondendo ao programa. Trabalhando com a gama de blocos de betão da Xella, desenvolveram uma estratégia simples capaz de utilizar da melhor forma as propriedades deste material.

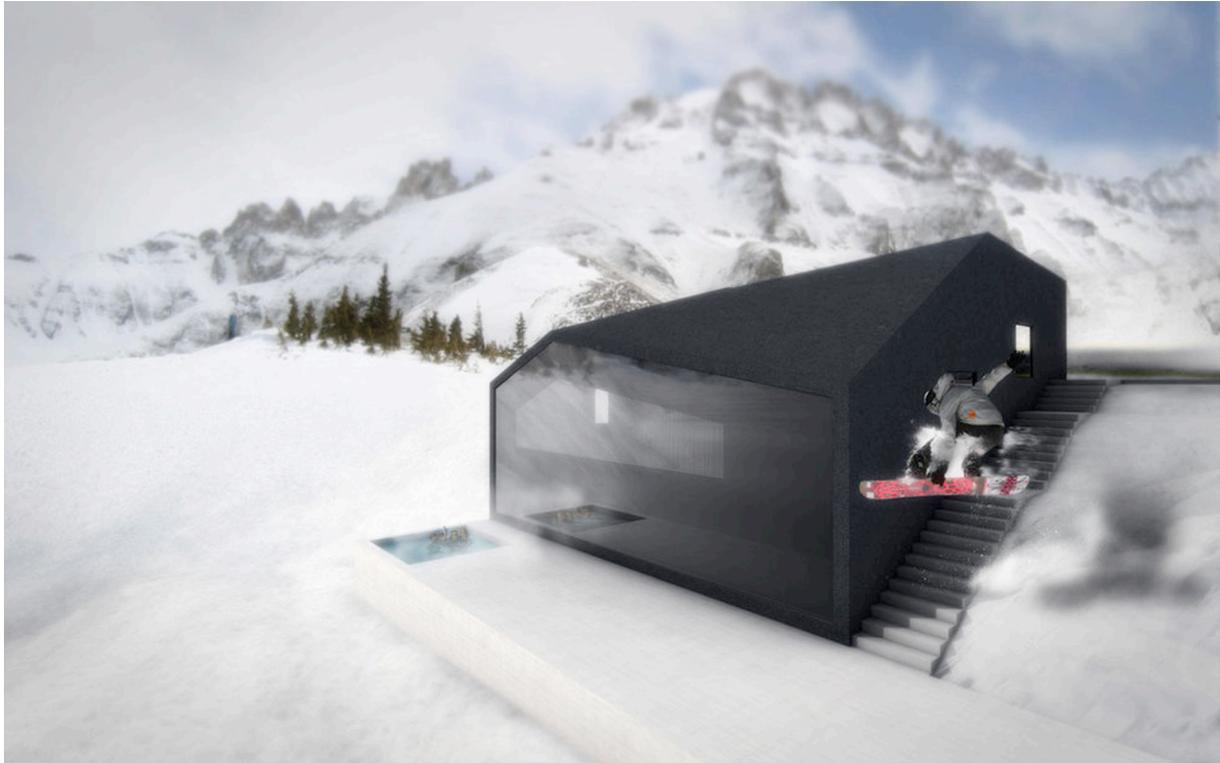


Fig.08: Alçado Norte e Oeste (Emilio Marin ©).



Fig.09: Alçado Norte e Este (Emilio Marin ©).



Fig.10: Alçado Sul e Oeste (Emilio Marin ©).



Fig.11: Vista interior - cozinha e sala (Emilio Marin ©).

O programa consistia em projectar um refugio de montanha, localizado num terreno íngreme, nas colinas de Santiago, Chile. Este deveria ser exemplar na funcionalidade e na eficiência energética, muito mais que uma tradicional segunda casa nas montanhas. Como refugio ou um châlet o projecto integra-se no local procurando primeiramente proteger-se do frio, o qual poderá ser extremamente agressivo. Este projecto tem com propósito albergar hóspedes praticantes de desportos de Inverno; deve portanto garantir um ambiente acolhedor e confortável e ser um local prático dado que se supõe o descanso dentro do mesmo.

O projecto organiza-se sem redor de uma planta de forma quadrangular, possibilitando a flexibilidade e o uso eficiente da arquitectura. De desenho compacto, permite a máxima optimização dos blocos de betão (Xella), demonstrando também um baixo coeficiente de perda de calor para o exterior. Para reter o máximo de calor possível, este abrigo é implantado junto ao terreno, sem se recorrer a consolas, aproveitando as características isolantes do terreno. É projectado no interior do abrigo um espaço capaz de gerar em torno de si mesmo diferentes possibilidades de organização do programa; esse espaço é um pátio que providencia iluminação natural e durante o Verão torna-se numa fonte de ar fresco (fig.12).

Todo o abrigo é revestido a cor preta, a sua fachada Norte – o projecto situa-se no hemisfério Sul – contém uma parede de Trombe, que em conjunto com outros sistemas passivos de aquecimento dão origem a uma atmosfera agradável no seu interior durante o Inverno. Dado que a construção acomoda-se à inclinação natural do terreno, esta é

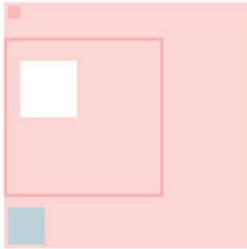
transposta para o interior criando-se diferentes cotas. Tirando partido deste facto, e da sua organização concêntrica, a distribuição funcional dos espaços é organizada de acordo com a temperatura mais apropriada para cada actividade.

A cozinha e a sala de estar situam-se por detrás da fachada Norte, onde se encontra o maior vão envidraçado; caminhando para o interior, deparamo-nos com os quartos, e no final, junto à fachada Sul, embora com a maior temperatura ambiente - porque se encontra a uma cota superior, dá-se a acumulação de calor - , estão as casas de banho. As funções mais importantes encontram-se agrupadas no centro do abrigo, por ser a área mais amena, logo a mais confortável (fig.12). Liberta-se desta forma espaço para que o ar possa circular livremente junto aos alçados Este e Oeste. A separação dos quartos é somente estabelecida por espessa cortina de feltro - inspirando-se no trabalho e história do artista plástico Joseph Beuys (fig.13) – enquanto o pátio é envolvido por paredes compostas por várias camadas de blocos Xella, mais isolamento e impermeabilização. A planta da casa é concebida, desta forma, como uma sucessão de diferentes camadas, dentro das quais as propriedades variam, dependendo da quantidade de radiação solar a que o abrigo está exposto.

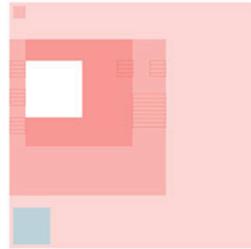
Para aquecer o abrigo são usados sistemas passivos que trabalham em conjunto: bomba geotérmica e parede de Trombe.



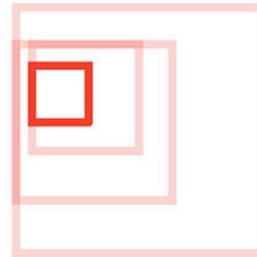
Monoespaço



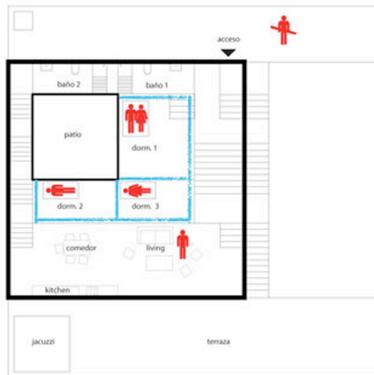
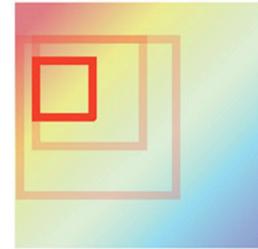
Diferentes cotas



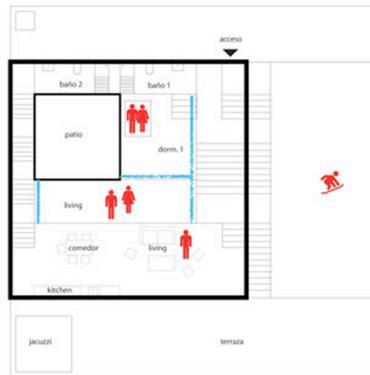
Camadas



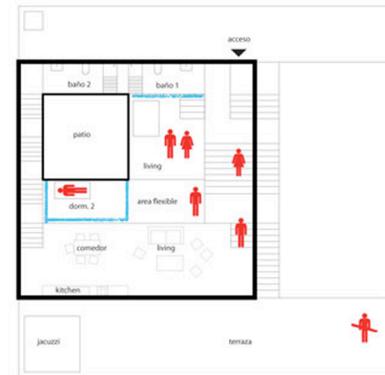
T°



1 Usos Diferenciados



2 Uso Misto



3 Escalas no espaço comum

Fig.12: Organização, Flexibilidade (Emilio Marin ©).



Fig.13: Joseph Beuys, *I like America and America likes me*, 1974 (Caroline Tisdall©).

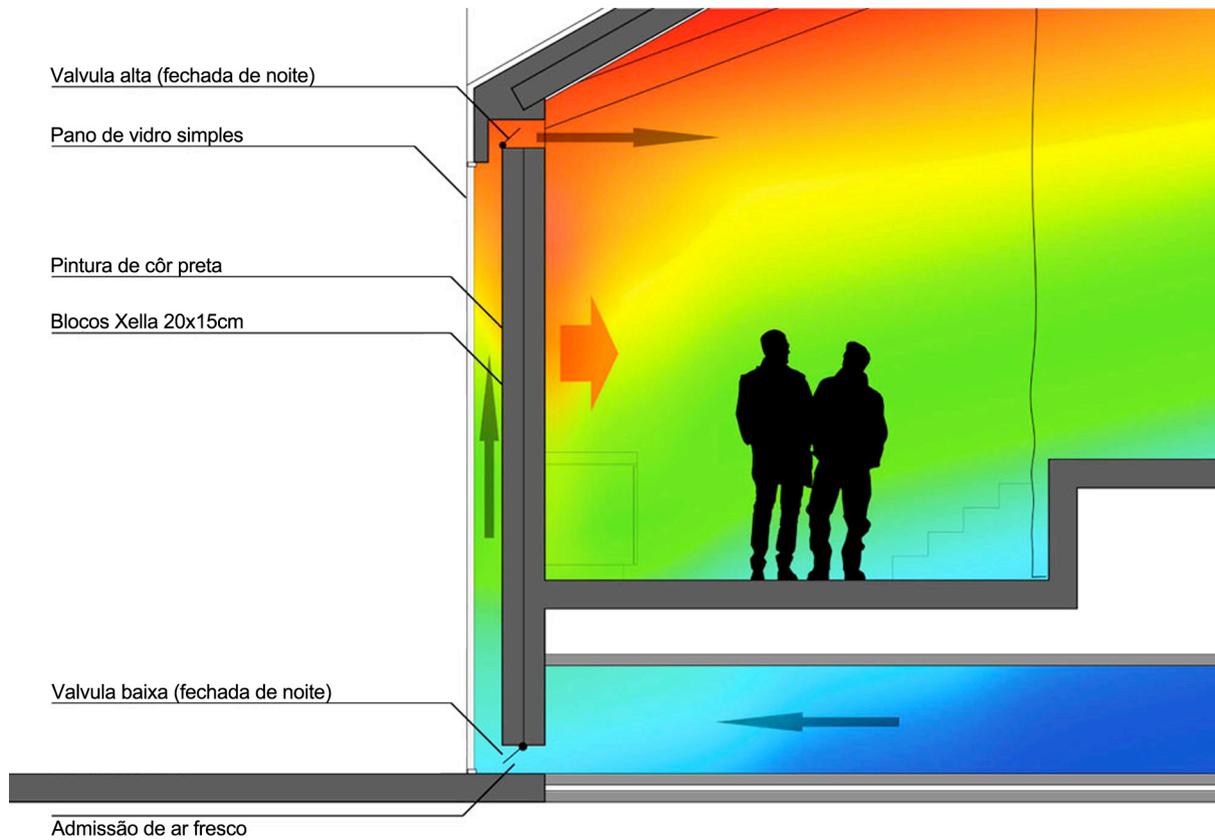
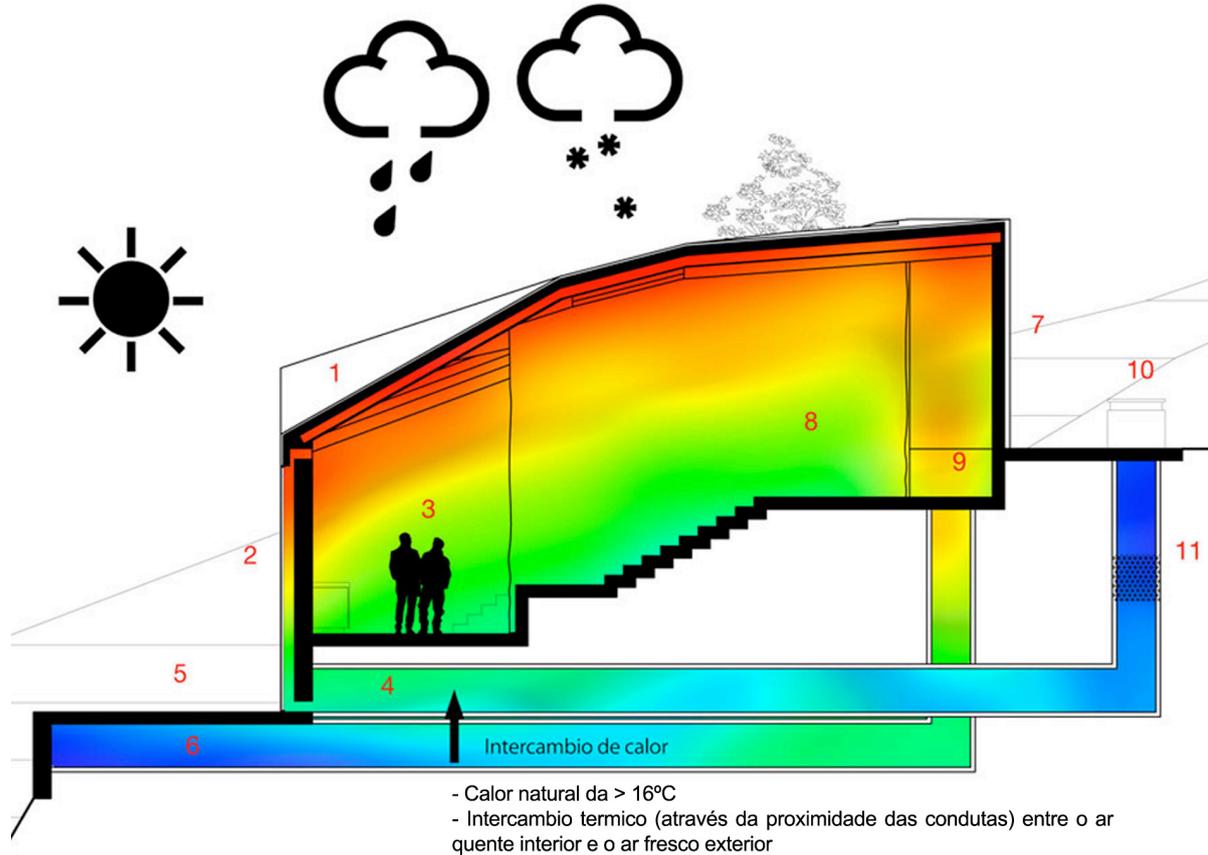


Fig.14: Esquema de funcionamento da Parede de Trombe (Emilio Marin ©).



1. Cobertura revestida com uma camada impermeabilizante de cor preta, para maximizar a absorção de calor; 2. Fachada Norte: Grande Vão Envidraçado + Parede de Trombe + Sala de Estar + Cozinha = Temperaturas Frescas; 3. Sistema passivo, Parede de Trombe: ar quente de dia, radiação de calor de noite; 4. Ar fresco proveniente do exterior, que irá passar pela parede de Trombe; 5. Reflexão da luz solar para a parede de Trombe; 6. Evacuação do ar interior; 7. Fachada Sul; 8. A organização do programa a diferentes cotas favorece o balance térmico; 9. O ar sujo do interior é extraído junto das instalações sanitárias; 10. admissão de ar fresco proveniente do exterior; 11. filtragem do ar exterior.

Fig.15: Esquema de funcionamento dos diferentes sistemas passivos (Emilio Marin ©).

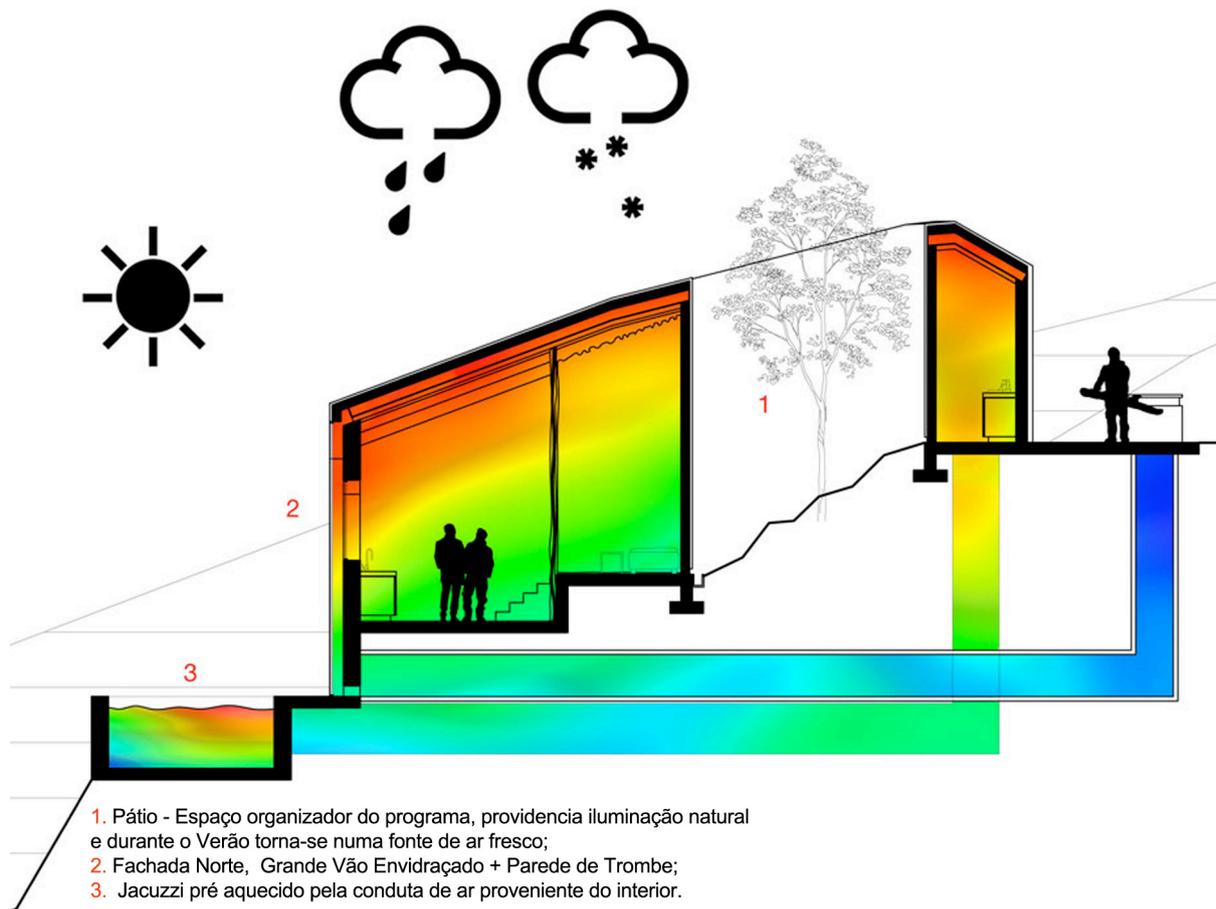


Fig.16: Esquema de funcionamento dos diferentes sistemas passivos (Emilio Marin ©).

A bomba geotérmica faz com que o ar fresco do exterior seja bombeado, pela fachada Sul, passando por um filtro e seguindo por tubagens que se encontram sob o abrigo enterradas no solo. Aqui, o ar é aquecido pela energia contida no terreno, que ronda os 16°C, prosseguindo até ao interior. O novo ar entra então em contacto com o ar contido no interior, compartilhando deste modo o mesmo circuito. A temperatura do ar interior rondará os 19°C. Por fim o ar volta a ser evacuado para o exterior.

A parede de Trombe permite que, durante o dia, o ar fresco seja aquecido pelo efeito de estufa que ocorre entre a camada de vidro e a parede. Pela noite, o calor armazenado na parede de elevada inércia - constituída por duas camadas de blocos Xella de 15cm – é transmitido ao interior do abrigo por radiação. O sistema é controlado por válvulas motorizadas de modo a prevenir que o circuito de ar inverta durante a noite (fig.14).

O ar fresco pré-aquecido pela bomba geotérmica entra directamente no sistema de ventilação da parede de Trombe, pela base, para que atinja uma temperatura adequada. O ar é então insuflado para o interior pelo topo da parede a elevada temperatura; na maioria das vezes, é o suficiente para que seja evitado o uso de sistemas de aquecimento auxiliares. O fluxo de ar é então distribuído livremente, dada a configuração do abrigo, circulando em redor do pátio por convecção. Aquele que já se encontra há mais tempo no interior, é conduzido para as casa de banho, que se encontram com grande humidade, sendo em seguida expelido para o exterior. Durante o percurso a ser efectuado, desde as casa de banho até ao exterior, este ar quente irá transmitir a sua energia calorífica ao ar

fresco que está a ser bombeado para o interior do abrigo pela bomba geotérmica, mas também irá contribuir para o aquecimento do jacuzzi que se encontra no terraço, junto da fachada Norte (fig.15 e 16).

O abrigo é construído a partir de uma estrutura de blocos de betão com 15 cm de espessura e por uma camada de painéis da Xella de 10cm e entre estas duas camadas encontra-se isolamento térmico. Uma tela impermeabilizante de cor preta cobre a construção de modo a maximizar os ganhos solares, fazendo ainda com que a acumulação de neves na cobertura seja limitada, pela sua inclinação e capacidade de absorção de calor. A estrutura da cobertura é conseguida por meio de um ripado de madeira, que irá contribuir para uma melhor acústica.





Fig.17: Fotografia da maquete (Jorge Graça Costa ©).

SEE-TROUGH WALL – a rain water system for saving energy  
Arquitecto: Jorge Graça Costa  
Competição para International Design Competition Osaka. 2005  
Gold Prize  
2000m<sup>2</sup>  
Santo Amaro de Oeiras

Este arquitecto português interessou-se desde cedo pela importância da eficiência energética em arquitectura. Desenvolveu um trabalho de investigação na área da arquitectura bioclimática, sendo igualmente premiado em diversos concursos nacionais e internacionais. Destaca-se, como mais notável, a medalha de ouro recebida em 2005 no concurso internacional de design promovido pela Fundação Japonesa de Design - exactamente sob o tema «Energia - Vida sustentável».

Jorge Graça Costa concebeu o projecto «See-Trough Wall», um sistema ecológico em que o aproveitamento da água (pluvial ou da rede) desempenha um papel fundamental no aumento da eficiência energética e no combate ao desperdício. No centro da ideia está o termo japonês «mottainai», que significa reduzir, reutilizar, reciclar e, ainda, reparar os danos já causados ao ambiente. Jorge Graça Costa quis com este projecto mostrar à arquitectura que é possível tirar partido das potencialidades térmicas da água e da sua aptidão como elemento termo-regulador, para desempenhar um papel de extrema relevância na redução dos consumos energéticos dos edifícios promovendo a então eficiência energética.

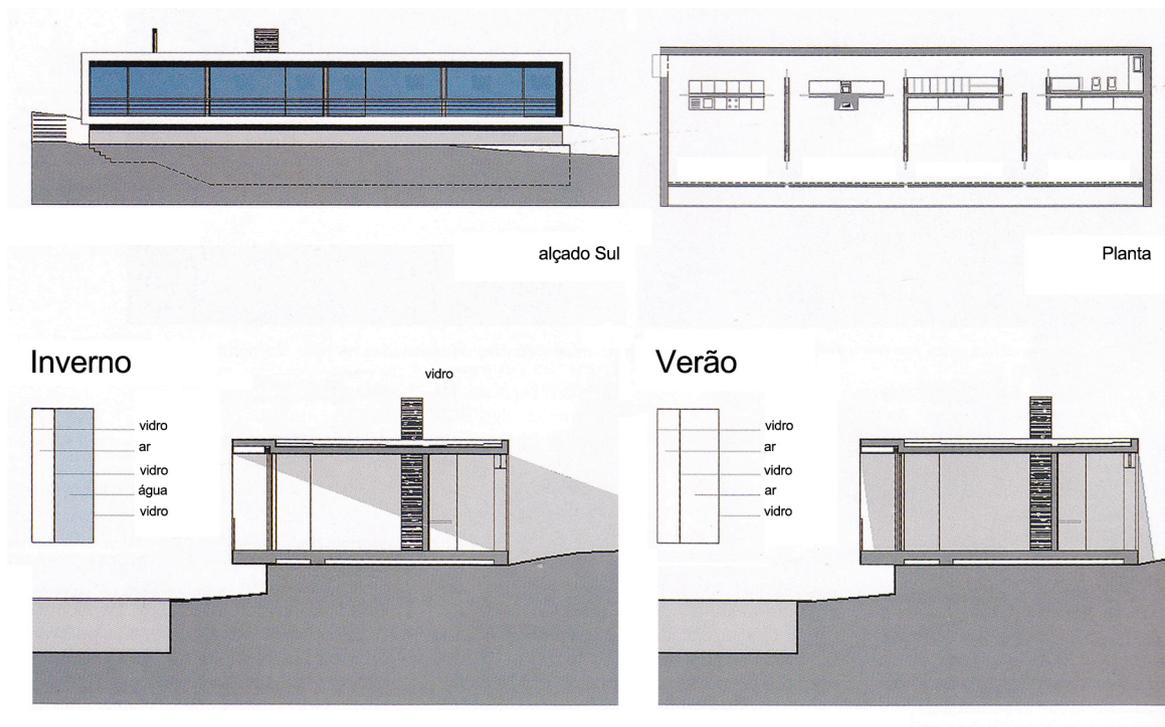


Fig.18: Alçado Sul e Planta; Corte transversal que mostra qual a constituição da parede consoante a estação do ano (Jorge Graça Costa ©).

Este projecto implanta-se numa colina próxima da praia de Santo Amaro de Oeiras. De modo a tirar partido das vistas sobre o atlântico surge um volume branco, que tenta adaptar-se ao modo de vida dos seus utilizadores recorrendo a uma estrutura organizacional tradicional. Para que sejam reduzidas as perdas de calor, a zona de circulação situa-se junto à fachada Norte, e surgem aqui vãos mínimos. Com isto, o arquitecto pretende expor as zonas habitáveis à radiação solar durante o período de Inverno; contudo, no Verão, estas mesmas áreas são protegidas do Sol por uma pala. Na Primavera e no Outono, são usados estores exteriores, para controlo da radiação solar.

A parede de água encontra-se incorporada na fachada Sul, para que consiga estar exposta à radiação solar. É constituída por um vidro triplo, com dois espaços entre os vidros, que formam caixas-de-ar. No Inverno, um dos espaços é preenchido por água (condutor de calor) e o outro, mais próximo do exterior, por ar (isolante de calor). No Verão, ambos os espaços são preenchidos por ar. Esta “parede de água” funciona assim, durante o Inverno, como uma parede de trombe em que o espaço preenchido com água desempenha o papel de um elemento construtivo capaz de armazenar e de redistribuir a energia recebida. Durante o Inverno a água acumula calor, durante o período a que fica exposta à radiação solar e, no fim do dia, o calor, devido à baixa da temperatura, dissipa-se para o interior dado que a caixa de ar, junto da face exterior da parede, cria um obstáculo à perda dessa energia para o exterior (fig.18). O sistema prevê, através de colectores solares, a possibilidade de aquecer a água previamente e injectá-la já aquecida, quando em dias nebulosos de fraca radiação solar.

## Sistema

See-trough wall é um sistema ecologico no qual a água desempenha um importante papel, no que respeita ao consumo de energia. este consiste então em três espaçados. O espaço exterior funciona como caixa de ar; o interior é cheio com água (condutor de calor) no Inverno e com ar (isolante de calor) no Verão.

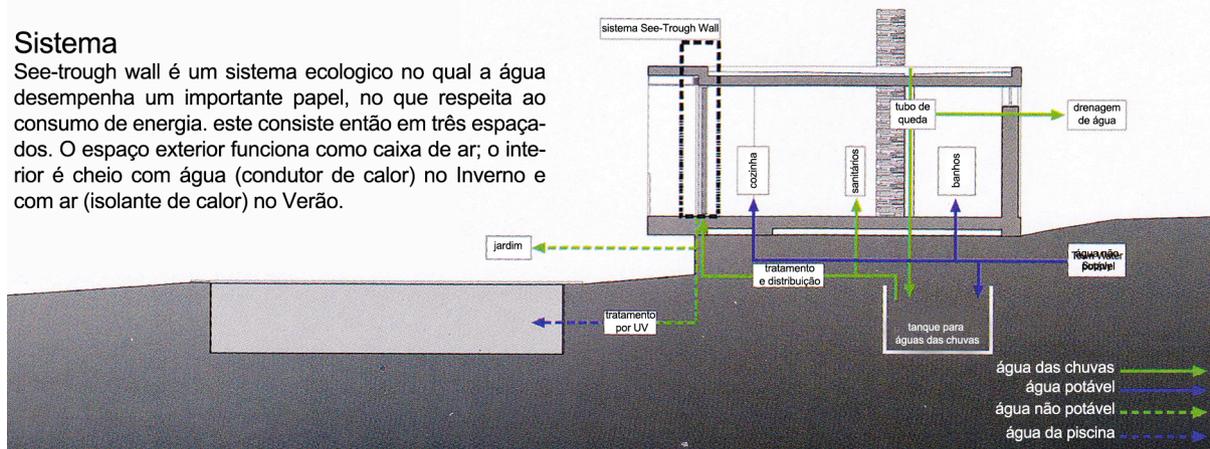
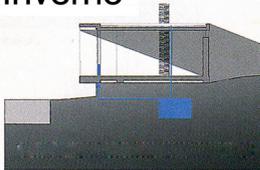
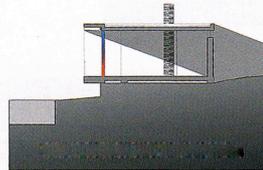


Fig.19: Aproveitamento das águas pluviais (Jorge Graça Costa ©).

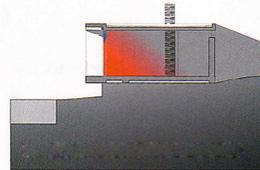
## Inverno



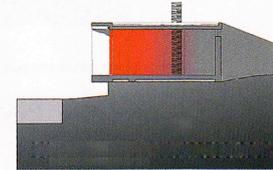
1 - a água é fornecida pelo tanque das águas pluviais.



2 - o Sol baixo de Inverno penetra o interior...

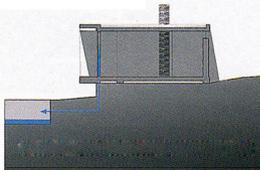


3 - a água na Waterwall é aquecida...

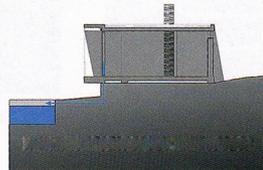


4 - durante a noite a parede erradia calor para o interior

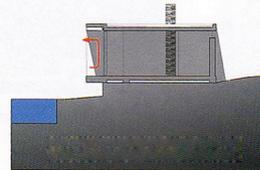
## Verão



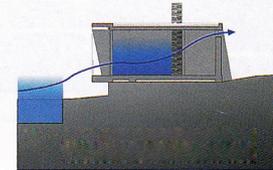
1 - a água contida na parede pode ser reutilizada para a piscina ou jardim



2 - uma pala bloqueia o Sol alto de Verão...



3 - o sistema agora com ar reduz os ganhos de calor...



4 - ventilação cruzada ajuda a temperatura a manter-se amena (água da piscina ao evaporar contribui para o arrefecimento do ar)

Fig.20: Funcionamento mediante as estações do ano (Jorge Graça Costa ©).

Com este sistema, o arquitecto pretende ultrapassar as limitações da parede de Trombe no que respeita à visualização para exterior, dado que, nas soluções mais típicas, este tipo de parede não permite visibilidade nenhuma. Recorrendo à água em vez de materiais sólidos e compactos, como o betão ou alvenarias, os aspectos de visualização para o exterior são em muito melhorados. Contudo acredito que não se obtenha uma transparência tão clara como se tratasse de um sistema de vidros sem introdução de água.

O sistema baseia-se num aproveitamento das águas da chuva, que serão recolhidas e armazenadas num tanque, sendo posteriormente usadas para descargas domésticas, para rega do jardim e piscina. A água é filtrada e bombeada para as paredes do sistema idealizado pelo arquitecto (fig.19 e 20).

A parede de água recicla a água das chuvas, reduzindo desta forma substancialmente o consumo de energia - em condições ideais, é capaz de reduzir o consumo até 30% - reutiliza a água que está dentro das paredes, aproveitando-a para descargas e regas; com isto, a redução do consumo de água de rede para usos domésticos pode chegar a 50%, contribuindo para a redução do consumo de energia, que faz com que as emissões de dióxido de carbono desçam cerca de 30%.



## Conclusão

Optando-se pela aplicação de sistemas passivos num projecto de arquitectura dever-se-á recorrer a fachadas de preferência orientadas a Sul (quando no hemisfério Norte) com predomínio de elementos transparentes como vidro ou plástico, para que a radiação solar possa penetrar o interior da construção; aplicando posteriormente materiais de elevada inércia térmica na envolvente tectónica, para que sejam capazes de absorver e armazenar energia calorífica.

Tendo em mente o que foi anteriormente referido são inúmeras as possibilidades de concepção de uma arquitectura capaz de manter amplitudes térmicas confortáveis no seu interior sem recorrer a elevados gastos energéticos em sistemas auxiliares de climatização.

As paredes de Trombe aparecem, assim neste contexto, como um meio passivo capaz de satisfazer as normas de regularização térmica de edifícios. De fácil compreensão de funcionamento, e sem necessariamente recorrer a complexos mecanismos, este sistema consegue ser aplicado na arquitectura contemporânea sem grande dificuldade. É de todo uma opção viável, todavia são poucas as experiências satisfatórias do ponto de vista arquitectónico. É um sistema, a meu ver, pouco explorado pelos arquitectos. Só recentemente surgem soluções interessantes e inovadoras, tais como a do arquitecto Jorge Graça Costa - percebendo os mecanismos de transferências de energia, foi capaz de elaborar um sistema funcional e esteticamente agradável, hábil de ser aplicado em muitas ocasiões.

É preciso ter em conta que muitos destes sistemas requerem acção do homem para que seja possível retirar deles o seu maior rendimento. É então necessário não aclamar somente ao bom senso do arquitecto, mas também do(s) utente(s).

Considero ainda assim que esta questão da eficiência energética não deverá de modo algum se sobrepor à Arquitectura. É preciso que estes dois se fundam de modo a conseguirem criar um espaço à medida do Homem; um espaço onde este se consiga sentir confortável, não meramente pela temperatura que o rodeia, mas também pela tectónica que o cobre, que o protege do exterior. Como ser vivo que é, não é único, não existe “Um Homem” existem vários; sendo impossível assim racionalizar as sensações deste. Penso que não se deverá caminhar na procura da incubadora, onde nada sai fora do seu lugar, onde tudo é pensado para lá do “ridículo”. No fundo a Arquitectura é feita pelo e para o Homem.

## Bibliografia:

### Artigos em Periódicos:

BAPTISTA, L.S 2007. *Ecologias Alternativas – MVRDV e S’A arquitectos*. *Arquitectura e Arte* 52.

BAPTISTA, L.S., 2009. *Forwarding Dallas*. *Arquitectura e Arte* 75/76.

BAPTISTA, L.S., 2010. *Praticas Sustentáveis – Entre a investigação tecnológica e a transformação cultural*. *Arquitectura e Arte* 78/79.

COSTA, J.G., 2006. “*Repensar a sustentabilidade: mottainai*”. *Arquitectura e Construção* 39 (1), 16-22

### Monografias:

GONÇALVES, Hélder , Pedro Cabrita, Marta Oliveira e Anita Patrício, 1997. *Edifícios Solares Passivos em Portugal*. Lisboa: INETI.

GONÇALVES, Hélder e João Mariz Graça, 2004. *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*, Lisboa: DGGE

OLGYAY, Victor, 1963. *Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton: Princeton University Press

THOMAS, Randall, 2006. *Environmental Design - An introduction for architects and engineers*, 3ª Edição. Londres: Taylor and Francis.

HOLTZ, Michael J. 1990. *Passive and Hybrid Solar Low Energy Buildings - Design Guidelines :An International Summary, Vol.3*. Colorado: Architectural Energy Corporation.

#### **Papers:**

CIONI, Philipe, Michelle Odete dos Santos e Martin Hoffman, 2007. *Aplicação de métodos empíricos e sua validação através do estudo do conforto térmico na cidade universitária Armando Salles de Oliveira*. São Paulo: Universidade de São Paulo

de DEAR, Richard J. e Gail S. Brager, 2002. *Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revision to ASHRAE Standard 55*. Elsevier Science B. V.

HOLT, Jim e William H. Jones, 2002. *Sustainable Design Guide*. Los Alamos: LANL.

NICOL, J. F. e M. A. Humphreys, 2002. *Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standarts for buildgs*. Elsevier Science B. V.

OLESEN, B. W. e K. C. Parsons, 2002. *Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730*. Elsevier Science B. V.

TORCELLINI, P. e S. Pless, 2004. *Trombe Walls in Low-Energy Buildings: Practical Experiences*. Colorado: National Renewable Energy Laboratory.

### **Webgrafia:**

ALLAN, David, 2008. Consult. 14 de Julho de 2010]. Disponível em <URL: [http://www.allanstime.com/SolarHome/Trombe\\_Wall/index.html](http://www.allanstime.com/SolarHome/Trombe_Wall/index.html)>

ARIZONA SOLAR CENTER. Consult. 25 de Fevereiro de 2010]. Disponível em <URL: <http://www.azsolarcenter.org/tech-science/solar-architecture/passive-solar-design-manual/passive-solar-design-manual-intro.html>>

ASHRAE. Consult. 22 de Julho de 2010]. Disponível em <URL: <http://www.ashrae.org/>>

ASHRAE, 2003. Consult. 2 de Setembro de 2010]. Disponível em <URL: [http://www.krueger-hvac.com/lit/pdf/therm\\_comf.pdf](http://www.krueger-hvac.com/lit/pdf/therm_comf.pdf)>

ASHRAE, 2008. Consult. 2 de Setembro de 2010]. Disponível em <URL: [https://osr.ashrae.org/Public%20Review%20Draft%20Standards%20Lib/Add-55-2004-d-PPR1-Draft%20\(chair-approved\).pdf](https://osr.ashrae.org/Public%20Review%20Draft%20Standards%20Lib/Add-55-2004-d-PPR1-Draft%20(chair-approved).pdf)>

DARLING, David. Consult. 14 de Julho de 2010]. Disponível em <URL:  
[http://www.daviddarling.info/encyclopedia/T/AE\\_trombe\\_wall.html](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/T/AE_trombe_wall.html)>

DORVAL-BORY, Nicolas, 2009. Consult. 27 de Fevereiro de 2010]. Disponível em <URL:  
<http://www.nicolasdorvalbory.com/projects/snow-house/>>

EIA. Consult. 22 de Julho de 2010]. Disponível em <URL:  
<http://www.eia.doe.gov/>>

EIA, 2008. Consult. 30 de Agosto de 2010]. Disponível em <URL:  
[http://www.columbia.edu/~mhs119/Emissions/Emis\\_moreFigs/EIA.Table1.3.USPrimaryEnergyConsumption.1949-2008.inBtu.pdf](http://www.columbia.edu/~mhs119/Emissions/Emis_moreFigs/EIA.Table1.3.USPrimaryEnergyConsumption.1949-2008.inBtu.pdf)>

OFFSETE. Consult. 30 de Agosto de 2010]. Disponível em <URL:  
[http://www.off7.pt/index.php?option=com\\_content&task=view&id=11&Itemid=21](http://www.off7.pt/index.php?option=com_content&task=view&id=11&Itemid=21)>

SERRANO, Luís, 2004. Consult. 7 de outubro de 2010]. Disponível em <URL:  
[http://www.estg.ipleiria.pt/files/288071\\_Clim\\_QA\\_42b1dc5ad4589.pdf](http://www.estg.ipleiria.pt/files/288071_Clim_QA_42b1dc5ad4589.pdf)>

### **Teses Académicas:**

LAMBERTS, Roberto, 2003. *Tópicos avançados em conforto térmico. Dissertação para Pós-Graduação em Construção Civil*. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina

