

PEDRO JORGE BETTENCOURT DE OLIVEIRA PINHO

INFLUÊNCIA DE VÃOS ENVIDRAÇADOS
NO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS

ESTUDO PARA CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DE VERÃO

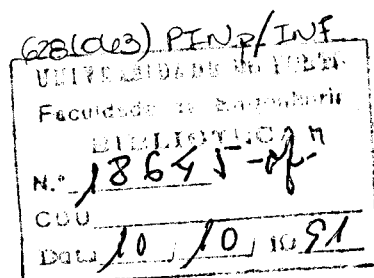
PORTO

1991

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Departamento de Engenharia Civil
Secção de Construções Civas

PEDRO JORGE BETTENCOURT DE OLIVEIRA PINHO

INFLUÊNCIA DE VÃOS ENVIDRAÇADOS
NO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS
ESTUDO PARA CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DE VERÃO



ORIENTADOR CIENTÍFICO

PROFESSOR DOUTOR VÍTOR ABRANTES

043M
P 7242

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
para obtenção do Grau de Mestre em Construção de Edifícios

Porto
1991

em memória da minha avó
aos meus pais
à Cápi
e ao Miguel

AGRADECIMENTOS

O estudo que aqui se inclui é o remate de um longo trabalho, iniciado com a ingénua intenção de alcançar o saber que a licenciatura não dá e que a actividade do dia-a-dia não proporciona rapidamente. Se uns quantos graus alargaram entretanto o meu horizonte deram-me também uma maior medida da minha ignorância e uma melhor percepção da complexidade das coisas e da infinidade do conhecimento. Significa isto que o presente estudo se situa necessariamente a uma escala reduzida num universo igualmente limitado. A quem, apesar portanto destes magros frutos, me dedicou o seu tempo, me estendeu a sua amizade ou apoio desejo exprimir de forma simples mas sentida o meu agradecimento:

Ao Professor Vítor Abrantes a sua orientação e confiança, o seu exemplo de serenidade e contagiante simpatia.

Ao Professor Barbosa de Abreu a oportunidade de realizar este Curso, a sua dedicação em prol do mesmo e dos seus alunos.

Ao Professor Armando Oliveira a sua ajuda, disponibilidade e ensinamentos, tidos sempre com eterna paciência.

Ao Engenheiro Rangel das Neves a sua abertura e colaboração na pesquisa e cedência de bibliografia.

A Manuel Guimarães, meu 'socorro informático', o seu esclarecimento e apoio nas horas de maior aflição computacional.

Ao Banco Português do Atlântico a concessão de uma bolsa de estudos, precioso estímulo e suporte para realização deste Curso.

Ao Instituto Nacional de Investigação Científica a receptividade e subsídio ao meu trabalho de especialização.

Aos meus pais o empenhamento, compreensão e generosidade com que sempre me têm acompanhado, particularmente agora nestas lides e devaneios 'científicos'.

À minha esposa, Cápi, mais do que agradecimento, uma grande dívida pelo rumo e transtornos da nossa vida em boa parte devidos a esta ligação quase eclesiástica com os estudos e o trabalho.

ÍNDICE

ÍNDICE

| | Pág. |
|---|------|
| 1. - INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. - Âmbito do estudo | 2 |
| 1.2. - Objectivos e estruturação do trabalho | 5 |
| 2. - OS ENVIDRAÇADOS NA CONSTRUÇÃO | 7 |
| 2.1. - Vãos e envidraçados | 8 |
| 2.2. - Domínios dos envidraçados | 15 |
| 2.2.1. - Conforto psicológico | 16 |
| 2.2.2. - Iluminação natural | 18 |
| 2.2.3. - Acústica | 20 |
| 2.2.4. - Segurança contra incêndio | 25 |
| 2.2.5. - Ventilação | 26 |
| 2.2.6. - Térmica | 30 |
| 2.3. - O «solar passivo» e os envidraçados | 40 |
| 3. - ANÁLISE TÉRMICA DE EDIFÍCIOS. O PROGRAMA ESP. | 49 |
| 3.1. - Métodos de análise térmica de edifícios | 51 |
| 3.1.1. - Métodos simplificados | 52 |
| 3.1.2. - Métodos de simulação dinâmica | 55 |

| | |
|--|-----|
| 3.2. - O programa ESP | 58 |
| 3.2.1. - Génese e desenvolvimento | 58 |
| 3.2.2. - Estrutura de funcionamento e utilização | 59 |
| 3.2.3. - Perspectivas de evolução | 64 |
| | |
| 4. - ESTUDO NUMÉRICO SOBRE VÃOS ENVIDRAÇADOS | 67 |
| | |
| 4.1. - Enquadramento e apresentação | 68 |
| 4.1.1. - Estudos no domínio dos envidraçados | 68 |
| 4.1.2. - Síntese do trabalho desenvolvido | 71 |
| 4.2. - Caracterização do estudo numérico | 72 |
| 4.2.1. - Dados e critérios gerais | 72 |
| 4.2.2. - Análise paramétrica. Critérios específicos. | 82 |
| | |
| 5. - ANÁLISE DE RESULTADOS | 92 |
| | |
| 5.1. - Orientação da construção e dos envidraçados | 95 |
| 5.2. - Distribuição de envidraçados pela envolvente | 105 |
| 5.3. - Isolamento térmico dos elementos opacos | 110 |
| 5.4. - Inércia da construção | 116 |
| 5.5. - Côr das superfícies exteriores | 121 |
| 5.6. - Vidro / tipo e espessura | 126 |
| 5.7. - Ventilação natural | 135 |
| 5.8. - Sombreamento dos vãos | 141 |
| 5.9. - Volumetria da construção | 145 |

| | |
|--|-----|
| 6. - CONCLUSÕES | 148 |
| 6.1. - Apreciação do estudo desenvolvido | 149 |
| 6.1.1. - Considerações gerais | 149 |
| 6.1.2. - Resultados | 150 |
| 6.2. - Perspectivas de trabalho futuro | 151 |
| | |
| BIBLIOGRAFIA | 153 |

ANEXO I

Exemplo de ficheiros utilizados nas simulações com o programa ESP.

ANEXO II

Dados climáticos. Processamento e caracterização.

ANEXO III

Estudo numérico. Elementos e justificações complementares.

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1. - INTRODUÇÃO

1.1. - ÂMBITO DO ESTUDO

Hoje em dia é comum generalizar-se qualquer construção 'habitável' pela designação de «edifício». Edifício escolar, de habitação, comércio, escritórios, de pequeno ou grande porte, em meio rural ou urbano mas, enfim, um edifício. Em qualquer destes casos não será difícil reconhecer funções mais ou menos específicas à construção em causa. Uma habitação, por exemplo, mesmo na sua forma mais primitiva, sempre constituiu um elemento de protecção e privacidade para os seus ocupantes.

A par com esta perspectiva imediata, o nosso mundo tecnológico descobriu uma nova faceta para o edifício encarando-o agora também como um sistema energético. Isto significa, basicamente, que na construção se desenvolve um processo complexo de transferências de calor entre interior e exterior (que não são no entanto as únicas) com perdas e ganhos através da sua envolvente. Desta aceção e por razões que se prendem ao conforto, à economia e à escassez de recursos energéticos resulta a necessidade de reger ou controlar aquele processo dentro de limites considerados aceitáveis.

É óbvio que, no seu 'habitat', o homem sempre se procurou defender da agressividade do clima e por isso não é recente esta 'preocupação com o frio, o calor, a chuva ou o vento'. De uma forma empírica, mas não necessariamente rudimentar ou ineficaz, encontram-se ao longo dos tempos soluções de construção que são para nós bom exemplo, se já não da técnica, pelo menos de uma filosofia simples de correcta adaptação ao meio.

Entretanto, a explosão demográfica e o desenvolvimento industrial modificaram radicalmente a face da Terra, a vivência e as necessidades do homem. As fontes de energia são outras e utilizadas numa escala determinada pela evolução e pelo consumo desregrado. Há, em simultâneo, uma aspiração crescente e legítima de maior conforto que se tem assumido, quase fatalmente, como um bem de elevado preço.

A conjugação destes factores, assistida pelo actual desenvolvimento científico e tecnológico, tem levado à busca de uma maior racionalização e economia na construção em geral e neste domínio da Térmica de Edifícios em particular. Os estudos centram-se aqui em três vectores principais - homem, clima e construção - quer individualmente considerados, quer nas suas relações. Aprofunda-se o conhecimento sobre os fenómenos físicos, os materiais e o comportamento humano, com vista a melhorar a concepção e o desempenho térmico das construções. A este propósito podem-se distinguir ainda, classicamente, duas áreas de investigação: aquela, dita de Inverno, que diz respeito aos meses mais frios - o que no nosso país corresponde, de um modo geral, ao período de Outubro a Maio - e a de Verão que compreende os meses restantes.

Na estação fria o principal objectivo (aqui simplistamente considerado) é dispôr de uma temperatura interior satisfatória - cujo valor depende de vários factores e hábitos mas que entre nós se pode estimar, sensivelmente, em 18 °C - aproveitando para esse efeito as características da construção e a energia solar captada através dos vãos envidraçados; deste modo, com mais ganhos (estes entendidos como gratuitos) e menos perdas de calor, procura-se obter, simultaneamente, um nível de conforto aceitável e um menor consumo de energia de aquecimento.

Na estação quente a preocupação dominante é evitar um sobreaquecimento excessivo reduzindo também a necessidade ou o consumo de energia em arrefecimento. Considera-se que existe sobreaquecimento e portanto desconforto daí resultante, quando se ultrapassa determinado limiar da temperatura que, embora função de diversos parâmetros como nível de vestuário, tipo de actividade e humidade do ar, se situa normalmente entre os 24 e os 26 °C.

É curioso notar que os estudos nesta matéria se têm centrado quase exclusivamente na situação de Inverno e que os trabalhos referentes à estação quente são relativamente escassos e na sua maioria recentes. A isto não será concerteza estranho o facto de os principais centros de investigação na área, onde assumem especial relevo países do Norte da Europa e América, se localizarem em regiões predominantemente frias. Nos últimos anos registou-se no entanto uma atenção crescente às questões de Verão sobretudo em países mediterrânicos como Itália, Espanha e Grécia nos quais se tem verificado uma escalada preocupante no recurso a sistemas de climatização [1].

A importância deste domínio foi já consensualmente reconhecida pela criação no CEN (Comité Europeu de Normalização) de um grupo de trabalho (TC89 WG6) empenhado na elaboração de um método para estimativa de temperaturas interiores no período de Verão [2]. Também no projecto PASSYS⁽¹⁾ actualmente em curso se incluem diversos trabalhos na perspectiva do conforto térmico na estação quente, desenvolvidos no âmbito das actividades do seu sub-grupo SDT (Simplified Design Tools).

(1) PASSYS, projecto no domínio da Arquitectura Solar Passiva iniciado em 1986 e que conta, de momento, com a participação de 10 países europeus.

O facto de o nosso país se integrar neste projecto e partilhar também dos efeitos críticos da estação quente, contribuiu decisivamente para a realização deste trabalho. O tema centra-se pois no comportamento térmico dos edifícios no período de Verão. O objecto de estudo são os envidraçados que constituem um elemento fundamental, de características muito particulares e, no presente, profusamente utilizados na envolvente da construção.

1.2. - OBJECTIVOS E ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho que se desenvolve é sobretudo de natureza numérica baseado num largo conjunto de simulações por computador. Fazendo uso das vantagens computacionais de simular com certa facilidade e rapidez diferentes casos devidamente condicionados pelo utilizador (cenários que de outra forma seria difícil ou impossível estabelecer e analisar) estuda-se o efeito dos envidraçados a par com outros parâmetros, tomados à vez, de reconhecida importância no comportamento térmico das construções. Deste modo é possível detalhar a influência de alguns elementos ou acções quando considerados em estação quente e na presença de envidraçados.

O trabalho apresenta-se organizado em seis capítulos nos quais se inclui este primeiro de carácter introdutório e um último de conclusões, desenvolvendo-se os restantes, em sequência e conteúdo, da forma a seguir sumarizada.

No capítulo 2 aprecia-se o modo como os vãos envidraçados têm sido encarados e integrados na construção. Destacando o seu carácter pluridisciplinar analisam-se as suas funções e características segundo diferentes perspectivas dando natural relevo ao seu desempenho no domínio da Térmica. Aborda-se o conceito de «edifício solar passivo» e pormenoriza-se o papel dos envidraçados aqui incluídos.

O capítulo 3 expõe diferentes vias de análise térmica de edifícios focando, respectivamente, as suas vantagens, inconvenientes, estrutura e campo de aplicação. Apresenta-se o programa empregue nas simulações e as suas principais características em termos de funcionamento, utilização e produção de resultados. Inclui-se ainda uma referência à sua evolução e aos instrumentos que se perspectivam num futuro próximo (aplicação, nomeadamente, da Inteligência Artificial).

No capítulo 4 apontam-se os estudos predominantes nesta área e justifica-se o trabalho desenvolvido. Expõem-se os dados e critérios utilizados nas simulações e caracterizam-se detalhadamente os parâmetros em análise.

O capítulo 5 trata da análise de resultados do estudo numérico. Esclarece-se a apreciação efectuada e faz-se a síntese e comentário dos resultados obtidos.

Capítulo 2

OS ENVIDRAÇADOS NA CONSTRUÇÃO

2. - OS ENVIDRAÇADOS NA CONSTRUÇÃO

A aplicação de vidro nos edifícios tem conhecido, nas últimas décadas, um surto com diversas implicações algumas das quais se pretende aqui analisar. Antes, porém, é nosso dever reflectir sobre a sua utilização e aprofundar um pouco do seu comportamento e do papel que desempenha, ou que se lhe preconiza, quando integrado na construção.

2.1. - VÃOS E ENVIDRAÇADOS

Desde logo impõe-se um esclarecimento que porventura já tardava. O que são ou o que se entende afinal por «vãos» e «envidraçados»? O termo «vão», de múltiplos sentidos no vocabulário da construção, restringe-se neste estudo à ideia de rasgo na envolvente vertical. O «envidraçado», por seu lado, define-se como uma composição de caixilharia e vidro, o que significa que nem toda a sua superfície é transparente ou translúcida e que o caixilho representa, portanto, uma fracção dessa área e um obstáculo à luz solar [3]. No âmbito deste trabalho tal consideração nem sempre se justificará - conforme se depreende adiante no capítulo 4 - e por isso o envidraçado será aqui deliberada e frequentemente 'confundido' com superfície de vidro em toda a sua extensão.

Refere-se atrás, separadamente, «vãos» e «envidraçados» com o propósito de sublinhar que nem todos os vãos são necessariamente envidraçados. Claro que as portas são o melhor exemplo disso mas, mesmo as janelas, não foram ou nem sempre são constituídas por vidro. A verdade é que o vidro, conhecido desde há muito (sabe-se que em 1500 a.c. existia já uma indústria vidreira no Egipto), foi praticamente até ao

séc. XVII um luxo ao alcance de poucos e o seu fabrico inclusivamente um monopólio. A produção de vidro incolor, só conseguida com os Romanos (até aí todo o vidro era verde ou azulado devido a impurezas das matérias-primas), era ainda, por volta de 1500, uma exclusividade detida na época pelo mercado veneziano [4]. Não admira pois que durante muito tempo e com ecos no presente as ditas janelas tenham tido outras 'formas' nomeadamente a de aberturas com portadas de madeira.

Num breve relance sobre a construção rural portuguesa não só encontramos numerosos exemplos do que se referiu como se distinguem também outros casos, já com envidraçado, com características e condicionantes particulares. De Norte a Sul a arquitectura popular é função da actividade do homem, dos rigores do clima e estragos do tempo. «Constrói-se com os materiais que estão mais ao pé da porta e não longe da forma como a natureza os dá» [5]. Os vãos são determinados, em número, dimensões e orientação, pelo frio, sol, chuva ou ventos dominantes. A sua execução é limitada pela disponibilidade de matéria-prima e até mesmo pelos recursos económicos. «Entre outras razões as aberturas são escassas porque são caras» [5]. Onde a pedra abunda as construções são geralmente de granito ou xisto erguidas em paredes espessas. Nas vergas e ombreiras empregam-se peças maiores, de granito quando possível. Quando este falta recorre-se a uma boa madeira sólida e duradoura pois só em regiões privilegiadas se pode extrair duma peça de xisto a verga para um vão de porta ou de janela. Se a pedra é mais miúda e o solo é rico em barro utiliza-se por exemplo a taipa, tão comum no Alentejo, constituída por grãos de areia e brita ligados por argila. Nas paredes assim construídas, com excelentes características térmicas e espessuras de 0.45 a 0.70 m, abrem-se depois os vãos onde foram previamente deixadas as padieiras de madeira.

Do Norte para o Sul contrastam o clima, a actividade e a construção mas denota-se a característica comum de adoptar, sistematicamente, vãos reduzidos, em número e tamanho. Exceptua-se apenas um ou outro caso de que se salienta a típica varanda beirã com grande superfície envidraçada. Note-se, porém, que mesmo esta não é deixada ao acaso; orientada a sul-poente toma uma exposição onde o sol penetra mas os ventos não entram.

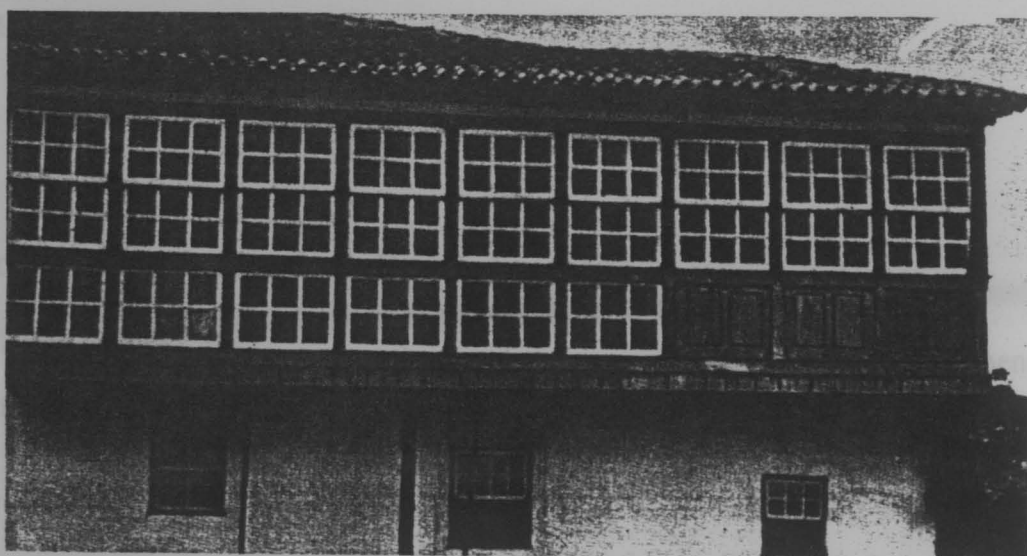


Fig.1 - Varanda beirã [5]

A fim de realçar melhor o aspecto atrás destacado, transcrevem-se algumas passagens de [5] que a este propósito - vãos e envidraçados - nos ajudam a evidenciar as diferenças entre rural e urbano, tradicional e inovador. De acrescentar apenas que as expressões colhidas não particularizam uma região, antes correspondem ao estudo de diferentes zonas do Minho ao Algarve.

Zona 1 (Minho, Douro Litoral e Beira Litoral)

« ... fachada da casa devastada pelas intempéries, onde se destacam as minúsculas janelas dos quartos ... »

« ... no corpo maior, maciço, quase sem aberturas ... »

« ... beirado retraído, dimensões apertadas e aberturas reduzidas aos tamanhos mínimos ... »

« ... o trabalho de pedra cuidado, a redução das dimensões, particularmente dos vãos ... »

Zona 2 (Trás-os-Montes e Alto Douro)

« ... espaço fechado onde o frio e a chuva se imiscuem com maior ou menor dificuldade ... »

« ... normalmente na penumbra, com uma, duas ou três pequenas entradas de luz ... »

« ... panos ... furados por um ou outro buraco ... »

Zona 3 (Beira Alta e Beira Baixa)

« ... quando uma folga financeira o permite, dão às varandas maiores dimensões e protegem-nas com amplos envidraçados ... »

« ... alcôvas diminutas e sem janelas ... »

« ... hermetismo das edificações ... absoluto predomínio das paredes sobre os vãos, só contrariado nas varandas envidraçadas, que são, aliás, elementos exteriores a paredes pouco rasgadas ... »

Quase em oposição ao que foi anteriormente descrito há a «arquitectura erudita», com predominante expressão no meio urbano, cujos traços principais procuraremos também evidenciar.

Na segunda metade do séc. XVIII desponta a utilização do ferro e do vidro e alguns anos mais tarde a do betão armado. A descoberta de novos materiais e a evolução do estudo das suas propriedades e resistência, permitem aligeirar a construção concentrando as cargas num reticulado de elementos portantes. As paredes ficam praticamente dispensadas de qualquer função estrutural, os espaços ganham outra liberdade em planta e as fachadas maior possibilidade de abertura para o exterior.

Entretanto modifica-se também a perspectiva social e a arquitectura passa dos temas áulicos e monumentais para o problema da família e da habitação. Surgem os movimentos da arquitectura moderna divididos em duas correntes principais, a funcionalista e a orgânica. Embora com filosofias diferentes - mais standardizada a primeira, mais humanista a segunda - em qualquer delas se manifesta o gosto pelas grandes superfícies de vidro. Le Corbusier, por exemplo, defende a fachada livre, a estrutura à vista, a janela longitudinal rasgando a parede ou substituindo-a por completo. Com Frank Lloyd Wright a casa expande-se, o interior e o exterior adquirem continuidade através dos vãos envidraçados [6].

Várias dezenas de anos nos separam agora dessa época e no seu seguimento outros percursos houve transitando-se inclusivamente da extroversão arquitectónica para uma maior preocupação com os espaços interiores. Independentemente da repercussão que aqueles movimentos possam ter tido no presente, a verdade é que hoje se assiste a uma 'redescoberta' do vidro no domínio dos edifícios, com especial incidência nos de comércio, escritórios e serviços.

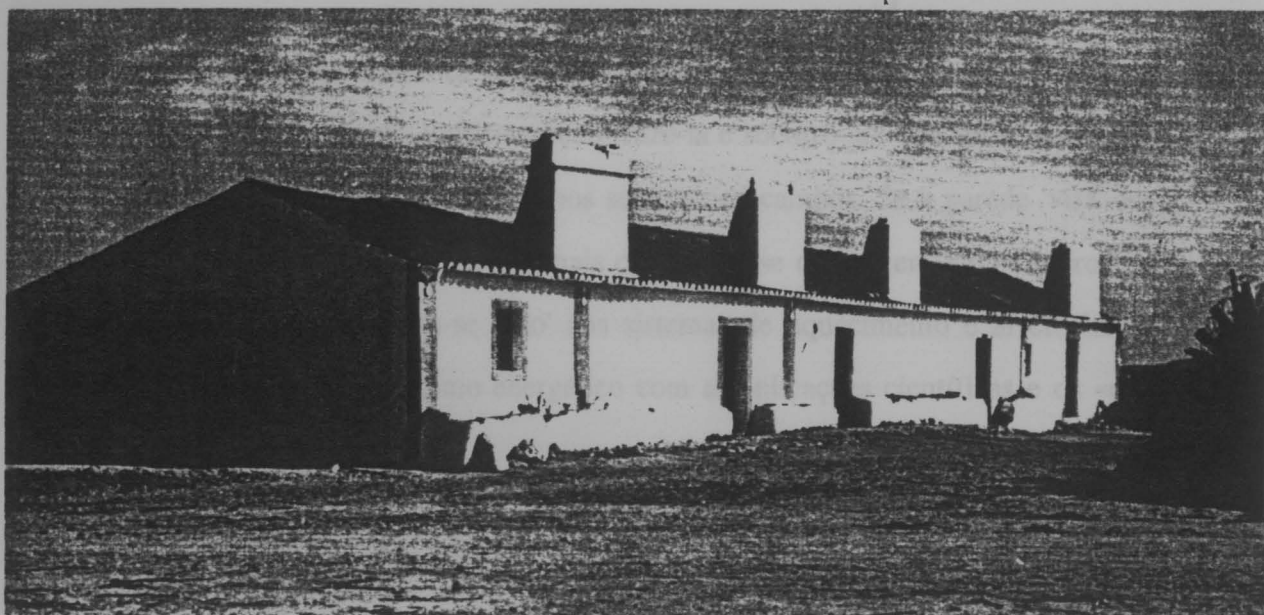


Fig.2 - Vãos numa construção típica alentejana [5]

2.2 - DOMÍNIOS DOS ENVIDRAÇADOS

O vão tem caraterísticas próprias, que se relacionam com a sua utilização mas que influem, simultaneamente, na sua forma e na sua execução. Quando integrado na composição do edifício, o vão apresenta-se apenas à envolvente vertical e não à horizontal. Assim, a sua forma é determinada por todos os aspectos que se relacionam com a sua utilização e com a sua execução. A sua forma é determinada por todos os aspectos que se relacionam com a sua utilização e com a sua execução. A sua forma é determinada por todos os aspectos que se relacionam com a sua utilização e com a sua execução.



Fig.3 - Envidraçados num edifício urbano

Não caberá aqui encontrar razões de arquitectura ou sociologia para tal facto mas é indiscutível que tamanha transformação (fazê-la e socorrê-la), apenas se tornou possível pelo progresso da construção nos seus vários campos. Se a parede 'vira' envidraçado e daí resulta mais frio ou mais calor logo se descobrem novos vidros, isolantes e reflectantes, 'deita-se mão' aos sistemas de aquecimento e arrefecimento, combate-se depois o consumo energético com as aplicações científicas e os «edifícios inteligentes».

2.2. - DOMÍNIOS DOS ENVIDRAÇADOS

O vidro tem características muito particulares que convidam à sua utilização mas que incluem, simultaneamente, diversas vantagens e múltiplos inconvenientes. Quando integrado na construção - relembra-se que o nosso estudo se refere apenas à envolvente vertical - ele constitui o elemento mais permeável em quase todos os aspectos. Mais ou menos transparente à luz, ao som, às transferências de calor e em certa medida ao ar, ele tem implicações em 'domínios' como o do conforto psicológico, da iluminação natural, acústica, segurança contra incêndio, ventilação e térmica. Nesta secção procurar-se-á expôr, em linhas gerais, a sua importância e comportamento segundo cada uma daquelas perspectivas reforçando assim a necessidade integrada de conceber mais criteriosamente, nos edifícios, a disposição e área dos vãos envidraçados.

2.2.1. - Conforto psicológico

«Deve referir-se que a insolação da habitação não é necessária nem para a saúde nem para o conforto físico dos habitantes. Recomenda-se, entretanto, que se aproveite a insolação de Inverno como factor adjuvante de conforto térmico e aceita-se que em qualquer estação uma insolação moderada da habitação pode contribuir para o conforto psicológico dos ocupantes.» [7]

Não é nossa intenção particularizar o estudo aos edifícios de habitação mas a consideração anterior é perfeitamente generalizável aos casos restantes. Na verdade, é relativamente consensual o agrado das pessoas pela existência de envidraçados, embora diferentes, quando apuráveis, as razões da sua satisfação. Tem havido algum trabalho [8] no sentido de analisar a indispensabilidade dos envidraçados e os seus efeitos na saúde e comportamento do homem, assim como na determinação dos factores que condicionam a satisfação referida. Resumem-se, de seguida, as principais orientações e resultados obtidos.

Os estudos relativos a habitações são escassos e os poucos de que se tem conhecimento centram-se no caso das instalações sanitárias com e sem janela. Perante esta última situação, ou na sua eventualidade, verifica-se uma reacção dos ocupantes mesmo muito desfavorável.

As salas de aula com ou sem janelas são outro motivo de interesse. Pelos estudos desenvolvidos concluiu-se não haver influência, em qualquer dos casos, sobre a capacidade intelectual ou de aquisição de conhecimentos. Professores e alunos manifestam, no entanto, reacções diferentes. Os primeiros têm preferência pelas salas desprovidas de janelas argumentando que, deste modo, os alunos se distraem menos, diminui o ruído proveniente do exterior, há melhores condições para utilização de

meios audio-visuais e maior superfície de parede, quer para a escrita em quadro, quer para a afixação de 'posters' e trabalhos. Os alunos, por seu lado, queixam-se da ausência de janelas, comentando sobretudo a impossibilidade de ver ou sentir o sol, o estado do tempo e as horas do dia. Alguns autores, sem extremar posições, adiantam que dispôr de pequenas janelas é preferível à sua completa inexistência.

As instalações industriais são frequentemente exemplo de construções com poucos envidraçados. Um estudo efectuado sobre um conjunto de 100 pessoas trabalhando em cave registou um maior número de indisposições traduzidas em fadiga, dores de cabeça, nervosismo ou insónias, relativamente a igual grupo de operários trabalhando à superfície. Testes sanguíneos mostraram, no entanto, não haver alterações características entre uns e outros.

Ao contrário do que se acabou de ver, os edifícios de escritórios dispõem normalmente de grandes vãos envidraçados se bem que, no seu interior, seja corrente a subdivisão em compartimentos fechados. Diversos inquéritos aos seus ocupantes revelam sensações de isolamento, claustrofobia e depressão. Num desses estudos sugere-se uma maior abertura interior que, facilitando o movimento e contacto entre as pessoas, poderia atenuar a tensão devida à ausência de janelas. Este efeito verifica-se, aliás, em grandes centros comerciais em que a eventual escassez de envidraçados pouco se faz sentir devido a todo o campo de impressões visuais, auditivas e tácteis que o ambiente interior suscita. Ainda a propósito dos escritórios é de acrescentar que as janelas são, com frequência, um sinónimo de hierarquia - em contraste com os tais compartimentos fechados, o chefe ocupa, não poucas vezes, um gabinete superior do qual se desfruta uma bela vista.

Em outras circunstâncias ainda, podem-se reconhecer aos envidraçados importâncias significativamente diferentes. Se num hospital uma janela permite uma 'evasão'

momentânea e contribui como factor de equilíbrio, já num museu ela pode passar despercebida mesmo ao visitante mais atento. É pois necessário estudar, em cada caso, as exigências humanas e o próprio local. A par com as questões técnicas e económicas há que ponderar também os aspectos psicológicos, sobretudo quando mal se dominam os efeitos de determinadas situações a médio ou longo prazo.

2.2.2. - Iluminação natural

O aproveitamento da luz natural fez-se, durante séculos, com recurso ao engenho e à arte e, muitas vezes, sem uma explicação racional para os resultados obtidos. O interesse nesta matéria e a investigação desenvolvida, cuja história conta ainda poucos anos, levaram no entanto a que hoje se disponha já de uma abordagem científica no estudo dos problemas ligados à qualidade, quantidade e distribuição de luz natural em edifícios [9].

Neste domínio são características duas preocupações principais: uma primeira ligada às actividades visuais de trabalho e de ensino e uma outra associada a tarefas correntes. Implicitamente distinguem-se também as necessidades de diferentes espaços. Por exemplo, num escritório ou sala de aula, em que os locais de trabalho são fixos, é desejável a uniformidade de iluminação ambiente enquanto que, numa habitação, se aceita que o ocupante se desloque no compartimento para obter uma iluminação melhor [10].

À luz, seja ela natural ou artificial, colocam-se diversos requisitos de entre os quais se salienta, para um caso geral, a estabilidade, a sua adequação às actividades a exercer e a sua 'dosagem' a níveis que não provoquem incomodidade ou encadeamento

por contrastes de luminosidade [7]. A iluminação natural, quando correctamente concebida e utilizada, apresenta vantagens em que se destaca a redução do consumo de energia. Outros aspectos importantes também reconhecidos à luz natural são o seu dinamismo e diversidade, uma boa modelação das formas e um elevado rendimento luminoso [9,11].

Neste âmbito, simplifcadamente expostas as aplicações, os requisitos e as vantagens de utilização da luz natural, vejamos, mais concretamente, qual o papel dos envidraçados. Condicionando a admissão de luz a sua influência tem de ser naturalmente grande. A orientação dos envidraçados determina, por exemplo, se a luz é mais dirigida ou mais difusa, se produz mais ou menos sombras, em direcção favorável ou inconveniente. A sua posição condiciona também a qualidade e a quantidade de luz: uma iluminação zenital (luz proveniente de cima) revela-se pouco agradável por ser desprovida de sombras e traços distintivos; uma abertura elevada, situada na fachada, favorece a profundidade de iluminação no espaço interior e limita os riscos de encaideamento. A distribuição de envidraçados pela envolvente é também importante; verificam-se os melhores efeitos quando a maior parte da luz provém apenas de um dos lados da divisão. O tipo de vidro facilita ou dificulta a entrada de luz: o vidro incolor apresenta grande transmissão luminosa; o reflectante penaliza em demasia a iluminação natural. O tamanho das janelas implica, evidentemente, num menor ou maior, porventura até excessivo, grau de iluminação interior.

Se aos envidraçados se podem apontar ainda outras influências, resultantes nomeadamente da sua geometria e da presença dos caixilhos ou de outros efeitos relativos aos factores atrás mencionados, há que ressaltar também que eles não constituem elemento único nos estudos de iluminação natural. Condições exteriores e interiores são aspectos igualmente importantes: a quantidade e a distribuição de luz variam com as

estações do ano, com a nebulosidade e com o tempo; do mesmo modo, no interior, dependem por exemplo da relação largura / profundidade dos compartimentos e das propriedades reflectoras das superfícies envolventes.

Na regulamentação portuguesa a iluminação natural é referida mas sumariamente tratada, limitando-se a sua abordagem quase exclusivamente a algumas estipulações de área e de desobstrução dos vãos [12,13].

2.2.3. - Acústica

«Em acústica, o ruído define-se, correntemente, como um estímulo sonoro cujo conteúdo informativo não apresenta interesse para o auditor ou como um estímulo sonoro indesejável ...». «...Como poluente, o ruído atinge essencialmente o homem ... no dia-a-dia dos centros urbanos, em edifícios que não foram pensados para a satisfação plena das (suas) necessidades ... - é todo um choque de intimidades, a própria desvendada aos outros e a destes a penetrar pela transparência das paredes, portas, janelas, que dividem sem separar.» [14]

O problema aqui retratado corresponde a uma das principais preocupações da Acústica de Edifícios - o isolamento sonoro entre diferentes ambientes (interior / exterior) ou entre espaços com diferente ocupação ou actividade. Interessando aqui focar o comportamento e importância dos envidraçados neste domínio, limitar-nos-emos à abordagem da primeira questão que se centra, regra geral, no desempenho da envolvente dos edifícios face ao ruído proveniente do exterior. Os sons aqui em causa são, predominantemente, aqueles designados por sons aéreos, isto é, os que resultam de uma fonte sonora sem acção directa sobre os elementos de construção.

Em jogo estão pois o local de implantação do edifício como emissor, o espaço interior como receptor e a envolvente da construção como 'interface', fronteira, entre um ambiente e outro. O Regulamento Geral Sobre o Ruído [15] classifica os locais de implantação como 'pouco ruidosos', 'ruidosos' ou 'muito ruidosos' em função dos níveis sonoros que aí se verificarem em determinados intervalos do dia. Por outro lado, distingue 4 tipos de edifícios - habitação, escolas, hospitais, indústria / comércio / serviços - estipulando, em cada caso, condições para a sua implantação e o isolamento sonoro médio das paredes exteriores. Os valores mínimos requeridos variam entre 25 e 35 dB.

Este parâmetro (representado simbolicamente por R45) caracteriza o isolamento sonoro de uma fachada, homogénea ou composta por vários elementos, para um ruído incidente segundo um ângulo de 45° [16]. Daqui resultam, no entanto, algumas dificuldades de aplicação pois o isolamento sonoro que se apresenta normalmente tabelado, para paredes ou envidraçados, vem expresso num outro índice, algo diferente, designado por I_a , isolamento sonoro a sons aéreos [17]. Para os efeitos desta análise - de sensibilidade à influência dos envidraçados - vamos abstrair-nos dos detalhes regulamentares e, utilizando o índice I_a , faremos uma breve comparação entre situações com e sem envidraçado.

Admitamos, num local ruidoso, uma construção cuja fachada em estudo tem a dimensão de 12 x 3 m² e é composta por uma parede em alvenaria de 0.11m + 0.11m, rebocada em ambas as faces. A sua massa por unidade de superfície é, aproximadamente, de 280 Kg/m² e o seu isolamento a sons aéreos estima-se em 47 dB [14]. Se nesta fachada se incluir um vão envidraçado verifica-se uma redução do seu isolamento sonoro que podemos aqui apreciar tomando algumas situações [14] para exemplo:

| | I _a (dB) |
|---|---------------------|
| hipótese 1: utilização de uma janela comum sem vedação de frincha no contorno. | 20 |
| hipótese 2: utilização de uma janela com vedação de frincha e vidro de 6 mm de espessura. | 25 |
| hipótese 3: utilização de uma janela fixa com vidro de 12 mm de espessura. | 30 |

A acrescentar a isto suponhamos ainda, em cada hipótese, diferentes áreas de envidraçado incluído na fachada. A partir dos índices I_a calculam-se, através da expressão (1), os coeficientes de transmissão sonora τ_1 e τ_2 correspondentes às superfícies opaca e envidraçada, respectivamente. Pela expressão (2) obtém-se, para cada caso, o isolamento sonoro da envolvente em estudo.

$$I_{a_i} = 10 \log (1/\tau_i) \quad (1)$$

$$I_{a_i} = 10 \log [A_t / (\tau_1 \times A_1 + \tau_2 \times A_2)] \quad (2)$$

Na página seguinte apresentam-se os resultados assim obtidos.

Obs.: por simplificação e na falta de outros dados mais precisos considera-se que o índice I_a dos envidraçados se mantém constante em cada uma destas hipóteses independentemente da sua área (o que não corresponde absolutamente à realidade pois o aumento de área de envidraçado implica um maior comprimento de juntas que se pode traduzir numa diminuição do isolamento sonoro do elemento).

| Aenv./Atotal (%) | Aenv. (m2) | Aopaca (m2) | Isolamento sonoro Ia (dB) | | |
|---------------------|---------------|----------------|---------------------------|--------|--------|
| | | | Hip. 1 | Hip. 2 | Hip. 3 |
| 0.0 | 0.0 | 36.0 | 47.0 | 47.0 | 47.0 |
| 2.5 | 0.9 | 35.1 | 35.7 | 40.1 | 43.5 |
| 5.0 | 1.8 | 34.2 | 32.8 | 37.5 | 41.6 |
| 10.0 | 3.6 | 32.4 | 29.9 | 34.8 | 39.3 |
| 15.0 | 5.4 | 30.6 | 28.2 | 33.1 | 37.8 |
| 20.0 | 7.2 | 28.8 | 27.0 | 31.9 | 36.7 |
| 25.0 | 9.0 | 27.0 | 26.0 | 30.9 | 35.8 |
| 50.0 | 18.0 | 18.0 | 23.0 | 28.0 | 32.9 |
| 75.0 | 27.0 | 9.0 | 21.2 | 26.2 | 31.2 |
| 100.0 | 36.0 | 0.0 | 20.0 | 25.0 | 30.0 |

Quadro 1 - Isolamento sonoro de uma fachada envidraçada.
Resultados para 3 hipóteses em estudo.

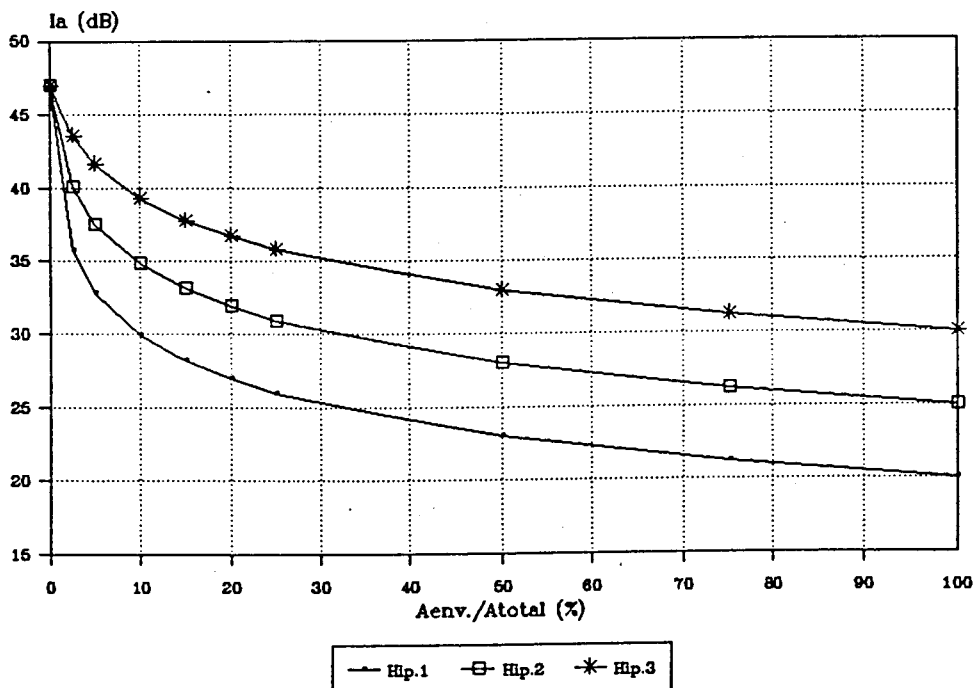


Fig.4 - Isolamento sonoro de uma fachada envidraçada.
Variação de I_a com $A_{env.}/A_{total}$.

Por via do quadro e gráfico apresentados é possível verificar que as janelas penalizam fortemente o isolamento sonoro de uma fachada distinguindo-se, a este propósito, três factores condicionantes: frinchas ou juntas, área e massa do envidraçado.

Pela sua particularidade é de referir ainda o comportamento dos vãos com vidro duplo ou janela dupla. Em qualquer destes casos o vão possui mais do que uma superfície de vidro, embora a distância entre essas superfícies e o próprio 'peso' do conjunto sejam diferentes num caso e noutro. Se, num dado vão, as lâminas de vidro têm igual espessura podem-se desencadear fenómenos de ressonância pelo facto das vibrações no elemento exterior se propagarem ao elemento interior com a mesma frequência crítica. Por este motivo portanto, é conveniente ter, num vidro ou janela dupla, superfícies envidraçadas de diferente espessura. Outro parâmetro igualmente importante é a distância entre as lâminas de vidro. A título de exemplo, é elucidativa a figura seguinte. Tomando duas lâminas de espessuras diferentes (7 + 4 mm) faz-se variar o espaço entre si e analisa-se o seu efeito sobre o isolamento sonoro. No caso exposto verifica-se que só para uma distância superior a 8 cm é que se ultrapassa o isolamento obtido pela situação inicial. O isolamento sonoro proporcionado pelos vidros duplos é, por isso, muitas vezes pior do que aquele de um vidro simples com massa igual à do vidro duplo [19].

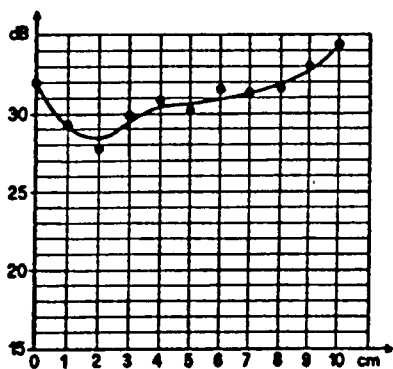


Fig.5 - Efeito do espaçamento entre vidros sobre o isolamento sonoro [18]

2.2.4. - Segurança contra incêndio

A sensibilidade crescente em matéria de segurança contra incêndio em edifícios justifica-se principalmente pelas características da construção e natureza dos materiais que se tornou corrente adoptar. Na verdade, a proliferação de edifícios de média e grande altura - compactos, autênticas colmeias de gente - de outros que não sendo altos são relativamente fechados e pólos de grande aglomeração humana - centros comerciais, hipermercados, recintos de espectáculos, etc. - e a utilização de novos produtos tecnológicos - materiais com reacção e comportamento ao fogo muitas vezes inadequados face ao uso que se lhes dá - fazem da segurança contra incêndio um capítulo próprio, com reconhecida dimensão e acuidade, no domínio dos edifícios.

Também aqui têm particular importância os vãos envidraçados. Em caso de incêndio proporcionam quase sempre uma via de penetração no edifício e, em determinadas circunstâncias, funcionam também como saída de emergência. Podem ter significativa influência tanto no 'combate' como no desenvolvimento do incêndio pois se por um lado promovem a ventilação de fumos e gases, por outro admitem oxigénio o que incrementa a combustão.

Devido ao calor e à diferença de pressão entre o compartimento onde se verifica o incêndio e as zonas que lhe são vizinhas, ou entre aquele e o exterior, os gases expandem-se, assim como o fogo que tende a propagar-se para além do seu foco inicial. Se o incêndio se desenvolve numa divisão fechada mas com envidraçados (também estes fechados) duas situações se podem dar: o fogo perde intensidade e tende a extinguir-se por consumo do ar ou do material combustível existente, ou os vidros quebram não resistindo à elevação de temperatura e o fogo evolui para o exterior com emissão de chamas, gases quentes e inflamáveis [20]. Nesta segunda hipótese, por radiação e convecção, o calor transmite-se a edifícios próximos ou a outras zonas

do mesmo, aumentando o perigo de propagação do incêndio com a proximidade de outros vãos e a existência, nas fachadas, de produtos relativamente inflamáveis.

Por este motivo dá-se ênfase especial aos elementos envidraçados no Regulamento de Segurança Contra Incêndios [21], quer no que se refere à sua caixilharia como também à sua disposição relativa e inserção nas paredes exteriores. Outras questões regulamentares, de maior particularidade, que lhes dizem igualmente respeito tratam as suas funções na ventilação e as suas características quando situados na proximidade de caminhos de evacuação.

2.2.5. - Ventilação

Como é evidente, os envidraçados desempenham um importante papel também no capítulo da ventilação dos edifícios ou, mais propriamente, na renovação do seu ar interior. Em boa verdade, excluindo os processos mecânicos, podemos distinguir duas vias principais de renovação do ar - renovação natural, portanto - entre as quais se inclui a ventilação. Enquanto que à ventilação se associa a ideia de renovação controlada ou deliberada, como a que resulta por exemplo da abertura de janelas, à outra via, a infiltração, corresponde o fenómeno, mais ou menos limitado mas não intencional, das entradas ou saídas de ar que se verificam através de juntas e frinchas da construção.

De um modo ou de outro a renovação de ar em edifícios é indispensável, podendo assumir diferentes razões e requisitos consoante as circunstâncias (imaginem-se, nomeadamente e em comparação, as necessidades de um edifício industrial e as de

um edifício de habitação). Nos locais com ocupação humana são reconhecidas as seguintes justificações para a renovação de ar interior [22,23]:

- fornecimento de oxigénio (40 a 50 litros/hora, por adulto em actividade média);
- remoção de contaminantes de origem humana como o anidrido carbónico, fumos e odores;
- idem de proveniência material (formaldeído, radão, etc.);
- manutenção da humidade relativa em valores aceitáveis (40 a 70%).

A ventilação e a infiltração resultam de diferenças de pressão e temperatura entre o exterior e o ambiente interior. Assim, em face das condicionantes climáticas (como temperatura do ar, velocidade e direcção do vento), das características da construção (sua estanqueidade ou permeabilidade ao ar) e do comportamento humano (utilização de janelas e portas) verificam-se movimentos de ar através da envolvente substituindo por ar 'fresco' o ar viciado. A disposição e dimensão das janelas tem significativa influência neste processo como se exemplifica nas figuras seguintes.

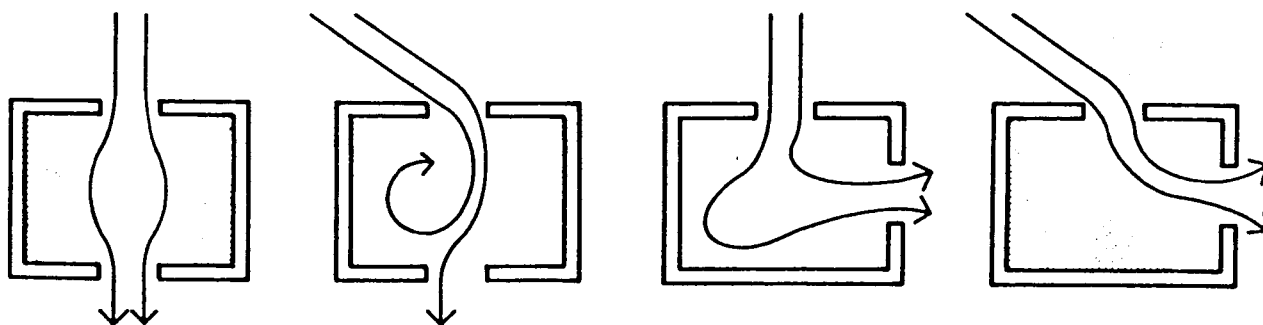


Fig.6 - Influência da posição das janelas e da direcção do vento no movimento de ar interior [22]

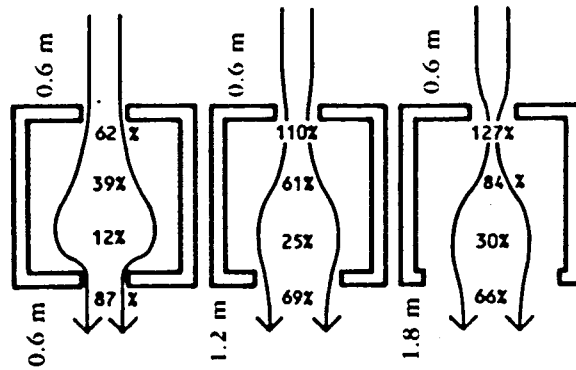


Fig.7 - Efeito da dimensão das janelas sobre a velocidade de circulação do ar [22]
(velocidade interior como percentagem da velocidade do vento)

Como se verifica, estes mesmos elementos são também determinantes (a par com outros como por exemplo a compartimentação interior) no percurso efectuado pelo fluxo de ar no interior dos edifícios. A este propósito, aliás, é bem conhecida a ideia ou conveniência de, em habitações, promover a entrada de ar pela sala e quartos e a sua saída pela cozinha e casa de banho.

Sendo o 'arejamento' uma necessidade há que garantir então uma boa renovação de ar. Acontece porém que, deste movimento de ar, resultam simultaneamente outras implicações, algumas delas nem sempre favoráveis. É o caso, por exemplo, do conforto térmico interior. No Inverno a ventilação e as infiltrações agravam a situação diminuindo a temperatura do ar interior e provocando, muitas vezes, a desagradável sensação de 'correntes de ar'. Do ponto de vista energético as saídas de ar constituem perdas ou desperdícios de calor pois, obrigando, por equilíbrio, à entrada de ar que se encontra mais frio, induzem a um maior consumo de energia para seu aquecimento. Na estação fria é portanto desejável reduzir a taxa de ventilação praticamente ao mínimo indispensável. Esta taxa, que se pode expressar de diferentes modos [24], é correntemente referida ao volume do ambiente em estudo e apresentada na forma de X renovações (desse volume) por hora. A figura 8 esquematiza uma via de obtenção

dessa taxa em função da densidade e tipo de ocupação, admitindo um espaço com pé direito de, aproximadamente, 2.5 m.

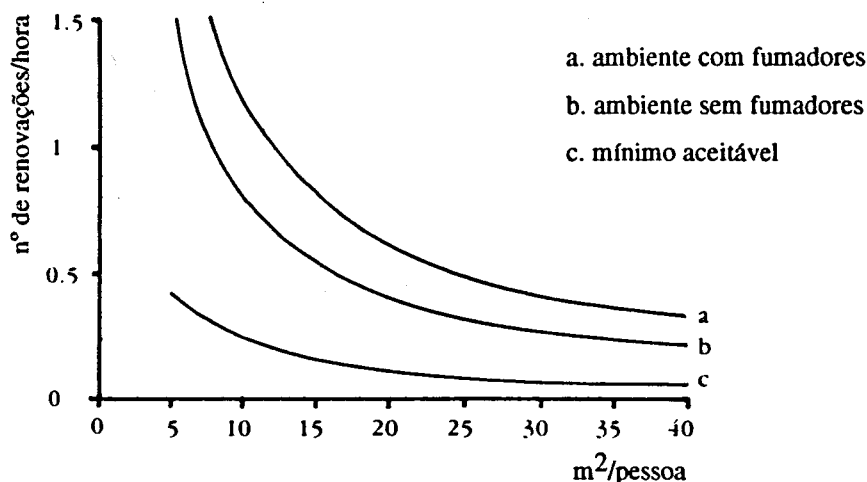


Fig.8 - Renovação do ar em função da densidade e tipo de ocupação [22]

Relativamente ao Verão é quase sempre desejável dispôr de uma franca ventilação interior (limitada normalmente a certos períodos do dia como se verá adiante) o que contribui sobretudo para a dissipação do calor armazenado na envolvente. Sob o ponto de vista de conforto humano convém no entanto destacar a influência da velocidade do ar. Se até certo ponto ela promove o arrefecimento do corpo - fase em que predominam as trocas por evaporação - a partir de determinado valor (que depende da temperatura e humidade do ar, tipo de vestuário e actividade humana), na presença de elevada temperatura ambiente, pode dar-se um efeito contrário que gera maior desconforto. Na verdade, se aquela temperatura é superior à do sistema corpo-roupa e a velocidade do ar é significativa, dão-se ganhos por convecção que ultrapassam as perdas conseguidas por evaporação [24].

Nesta breve perspectiva esboçaram-se, em traços largos, as principais razões e características da ventilação natural e, de forma mais ou menos implícita, a intervenção dos envidraçados nesta matéria. Porque talvez menos óbvio, importa sublinhar que as

juntas e frinchas atrás referidas se verificam também nos envidraçados podendo ocorrer nas ligações da caixilharia com a fachada ou com o vidro, ou entre partes fixas e móveis da mesma. A entrada ou saída de ar não se condiciona pois, exclusivamente, à abertura ou fecho de janelas, aspecto determinado por um outro factor, ainda mal estudado e muitas vezes negligenciado, que é o comportamento humano.

2.2.6. - Térmica

No estudo do comportamento térmico de edifícios existem, como foi já referido, três componentes principais que são o homem, o clima e a construção. Simplificadamente poderemos dizer que, tendo por objectivo proporcionar o melhor bem-estar, se procura, dentro de certas condicionantes entre as quais a económica, adequar a construção às necessidades que serve e ao ambiente em que se integra. Aqui reconhecem-se como particularmente importantes os factores radiação, temperatura e humidade do ar, velocidade e direcção do vento. Actuando sobre a construção desencadeiam um conjunto de acções, de carácter mais ou menos cíclico, em que participam o próprio ambiente exterior, os elementos da envolvente, o espaço, as superfícies e os componentes interiores. Neste todo incluem-se e destacam-se os envidraçados, sobretudo pelas suas características face a gradientes de temperatura e à incidência de radiação. A importância destes dois factores, bem como a dos fenómenos de transferência de calor que lhes estão associados - no âmbito dos envidraçados como no da Térmica em geral - requer naturalmente a sua compreensão e, portanto, o seu esclarecimento, ainda que feito aqui abreviadamente.

Como ponto de partida tomemos o Sol. Desde há 6 biliões de anos que, pela fusão do seu núcleo, o Sol é fonte de energia. Sob a forma de radiações electromagnéticas ela

viaja pelo espaço, interceptando a Terra no seu trajecto. O espectro solar, composto por radiações com diferente comprimento de onda, distingue-se normalmente em luz visível (que corresponde a comprimentos de onda entre 0.35 e 0.75 microns), ultravioletas (abaixo de 0.35 μm) e infravermelhos (para além de 0.75 μm).

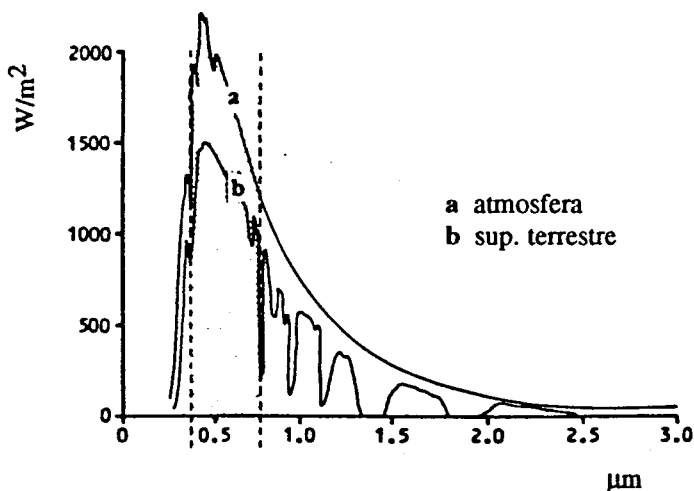


Fig.9 - Espectro solar [22]

A radiação emitida atinge a atmosfera com pequenas variações, com um valor médio de $1370 W/m^2$, motivo pelo qual se designa de constante solar [25]. Por acção das nuvens, poeira e da própria superfície terrestre, parte desta energia (35 a 40%) é no entanto reflectida para o espaço e outra ainda (10 a 15%) absorvida por agentes atmosféricos como o ozono, o dióxido de carbono e o vapor de água [26]. Ao longo do seu percurso na atmosfera, a radiação é ainda difundida por contacto com as partículas que encontra, facto de que resulta, por um lado, a radiação difusa (que se verifica em maior ou menor grau mesmo com sol encoberto) e, por outro, a cor do céu (azul ou acinzentada conforme as dimensões das partículas e o comprimento de onda das radiações que nelas embatem). A radiação que, apesar de todos estes obstáculos, nos chega na forma de 'raios solares' é conhecida mais propriamente por radiação directa.

Da radiação solar absorvida pela superfície terrestre resulta o seu aquecimento e, conseqüentemente, uma elevação de temperatura das camadas de ar que a contactam. Este calor transfere-se entretanto para camadas superiores por efeito da menor densidade do ar aquecido (fenómeno da convecção adiante descrito) ou por turbulências devidas nomeadamente a correntes e vento. A seqüência dia-noite e a sucessão das estações do ano, causadas respectivamente pelo movimento de rotação da Terra e pela sua translacção em torno do Sol, originam por sua vez ciclos de aquecimento-arrefecimento e as evoluções diárias ou sazonais de temperatura [27].

As diferenças energéticas assim induzidas - por via da radiação, da temperatura e das propriedades dos materiais ou elementos envolvidos - geram um estado de 'tensão' que procura, continuamente, obter um equilíbrio por transferências de calor. A este propósito distinguem-se normalmente três mecanismos principais - condução, convecção e radiação.

Na condução a transferência de calor dá-se por contacto entre as moléculas - as mais quentes transmitem parte da sua vibração às que lhes são vizinhas e se encontram mais frias.

Por convecção ocorre um movimento, em meio fluido, através do qual se dá a passagem de calor de uns pontos para outros. Um exemplo comum mas elucidativo é o de imaginar uma superfície quente em contacto com o ar. O processo inicia-se por condução (neste caso troca de calor entre moléculas de substâncias diferentes) mas, progressivamente, desenvolve-se um movimento convectivo que contribui para o arrefecimento da superfície considerada. As moléculas de ar aquecidas expandem-se e, menos densas, sobem, dando lugar a outras com temperatura inferior e ainda capazes de receber energia.

Finalmente, pelo último mecanismo referido - a radiação - dão-se trocas de calor com 'suporte' em radiações electromagnéticas de grande comprimento de onda. A ocorrência de radiação não depende de uma diferença de temperatura como acontece no fenómeno da condução. Qualquer superfície emite radiação, independentemente da proximidade de outros corpos, em função da sua temperatura e emissividade (ϵ), parâmetro que traduz a facilidade do material em produzir essa mesma emissão.

A acrescentar aos três mecanismos descritos encontram-se também referências à evaporação ou à condensação como um 4º processo, igualmente importante, de transferência de calor [25,27,28]. Por esta via dá-se uma mudança de estado, de líquido a gasoso ou vice-versa, o que implica, respectivamente, uma absorção ou libertação de calor. Este aspecto tem particular relevo em análises do conforto humano e na aplicação de técnicas de arrefecimento - recurso por exemplo a massas de água e a vegetação - no período de Verão.

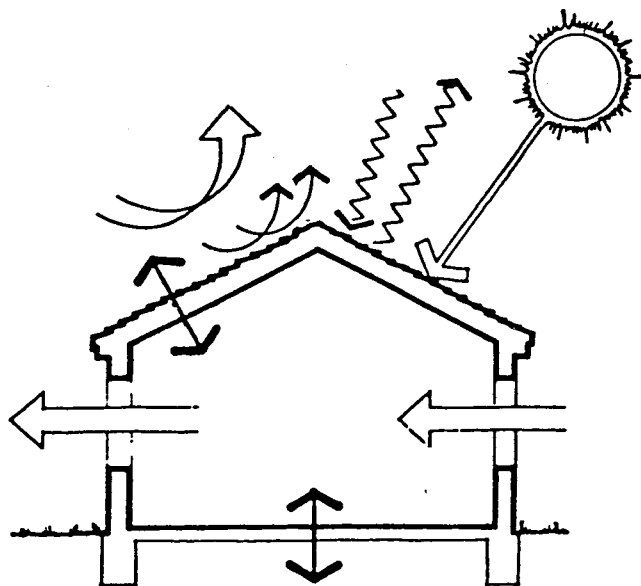


Fig.10 - Trocas de calor entre um edifício e o exterior [36]

As transferências de calor assim estruturadas implicam-se mutuamente e verificam-se com a participação dos elementos e materiais empregues na construção. A estes reconhecem-se propriedades denominadas termofísicas, condicionantes do seu comportamento e, também por isso, do balanço energético total. De entre essas propriedades salientam-se:

- a conductibilidade térmica de um material e a capacidade térmica de um elemento;
- a absorção, reflexão, transmissão e emissão de uma superfície, no que respeita a radiação.

Evitando incorrer em definições procuraremos muito rapidamente esclarecer o seu significado e a sua importância. A conductibilidade térmica, representada por λ e expressa em $W/m \cdot ^\circ C$, pode-se entender como um avaliador do comportamento do material face a um fluxo de calor que o atravessa. Assim, consoante o valor de λ seja elevado ou reduzido, estaremos respectivamente em presença de um material mais ou menos condutor ou, de outra forma, pouco ou muito isolante. Estendendo agora esta noção a um elemento homogéneo e fazendo intervir a sua espessura (e) obtêm-se dois outros parâmetros de uso corrente e de compreensão imediata:

1. Resistência térmica do elemento, $R = e/\lambda$ ($m^2 \cdot ^\circ C/W$) (3)

2. Transmissão térmica do elemento, $K = 1/R$ ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) (4)

Em rigor, o cálculo de R não se limita à expressão anterior havendo ainda a considerar o efeito das 'lâminas de ar' adjacentes às faces do elemento e a eventualidade de este ser constituído por várias camadas de diferentes materiais. No caso geral ter-se-á

então uma expressão do seguinte tipo:

$$R = 1/h_i + \Sigma(e_i/\lambda_i) + 1/h_e \quad (5)$$

Os coeficientes h_i e h_e determinam a troca de calor (por convecção e radiação) entre as superfícies, interior e exterior, e o ambiente que as rodeia. Deste modo, tanto em h_i como em h_e , existem duas componentes, uma convectiva e outra radiativa. A primeira é sobretudo influenciada pela velocidade do ar na proximidade da superfície e pela rugosidade que esta apresenta. A segunda depende da sua emissividade e temperatura média. Na expressão (5) as parcelas $1/h_i$ e $1/h_e$ representam, portanto, resistências térmicas que são designadas por resistência térmica superficial interior e exterior [27,29].

Um envidraçado considerado em toda a sua espessura e 'acréscimos' (as referidas lâminas de ar) apresenta, normalmente, um fraco desempenho nesta perspectiva de resistência ou de isolamento térmico. Por um lado a conductibilidade do vidro é elevada (embora até menor que a de outros materiais como a pedra e o betão) e, por outro, a espessura em que se utiliza é muito reduzida (em janelas de dimensão corrente é usual uma espessura de 4 ou 6 milímetros). Para solucionar ou remediar o problema é clássico apontar a alternativa do vidro duplo. Fazendo uso da propriedade dos gases serem, em geral, maus condutores do calor, encerra-se em poucos milímetros e entre duas lâminas de vidro, um espaço com gás inerte ou ar desidratado. Observe-se no entanto que, mesmo assim, os resultados obtidos ficam bastante aquém do que é proporcionado por uma parede exterior, por exemplo de alvenaria de tijolo de características correntes. Concretizando melhor, ao passar de vidro simples de 6 mm para duplo de 6+6 com caixa de ar de 6 mm, o coeficiente de transmissão do envidraçado pode baixar, arredondadamente, de 6 para 3 W/m².°C enquanto que

numa parede de tijolo, simples ou dupla (digamos de 0.22 m ou de 0.11+0.11), aquele mesmo parâmetro apresenta valores entre 1.6 e 1.2 W/m².°C [29].

É oportuno referir que, fruto dos estudos e desenvolvimento nesta área, surgem entretanto novos tipos de envidraçado de características excepcionais. Documentação técnica, de origem belga e data recente, faz referência a envidraçados, ditos de isolamento térmico reforçado, com coeficientes de transmissão de 1.5 a 1.9 W/m².°C. Segundo a mesma fonte, esta melhoria notável deve-se à utilização, em vidro duplo, de uma superfície interior de baixa emissividade e à introdução de um gás, particularmente isolante, no espaço entre as duas folhas de vidro [30].

No que respeita à capacidade térmica podemos dizer que ela traduz, para um dado elemento, o seu poder de acumulação de energia. Esta possibilidade de armazenamento é normalmente desejável contribuindo, em regra, para a estabilização de temperaturas interiores, ou seja, para o amortecimento das suas flutuações. No Inverno por exemplo, uma parede ou pavimento 'batidos' pelo sol, podem armazenar calor que libertam depois à noite evitando, nessa altura, arrefecimentos sensíveis ou excessivos consumos de energia. No Verão, por seu lado, aqueles mesmos elementos reduzem o sobreaquecimento do ambiente interior, absorvendo parte do calor excedente.

A capacidade térmica (efectiva) depende, de forma íntima mas não exclusiva, da densidade e calor específico do material. Na verdade, pela sua exposição, há zonas do elemento que, nestas transferências de calor, são mais participativas que outras verificando-se por isso que o aumento de espessura, por exemplo de uma parede, não é acompanhado de um proporcional crescimento da capacidade de armazenamento. Para um dado elemento, a partir de determinada espessura, esse crescimento pode mesmo anular-se [22,31].

Esta propriedade de acumulação de energia que, como se pôde depreender, tem grande importância no equilíbrio térmico interior, não se verifica, praticamente, nos elementos envidraçados. Pelas suas dimensões e transparência o fluxo de calor penetra através deles, quase instantaneamente, implicando assim com o espaço e com as superfícies interiores que poderão depois exercer aquele efeito de armazenamento (e também, portanto, de desfasamento) em maior ou menor grau.

Foi atrás referido o modo como a radiação solar se transmite e chega aos elementos da construção. Sob o efeito desta radiação incidente as superfícies têm, no entanto, diferentes comportamentos em função das suas características de absorção, reflexão e transmissão. Da radiação incidente há pois uma fracção que é absorvida, outra que é reflectida e, nalguns casos, outra ainda que é transmitida através do próprio elemento. Estas fracções, que se representam respectivamente por α , ρ e τ e se expressam como percentagem da radiação total incidente, satisfazem a seguinte relação:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (6)$$

Enquanto que para os materiais opacos existe apenas absorção e reflexão, nos envidraçados verifica-se também transmissão que assume normalmente o maior peso naquele total. A figura seguinte é esclarecedora do que se passa neste último caso.

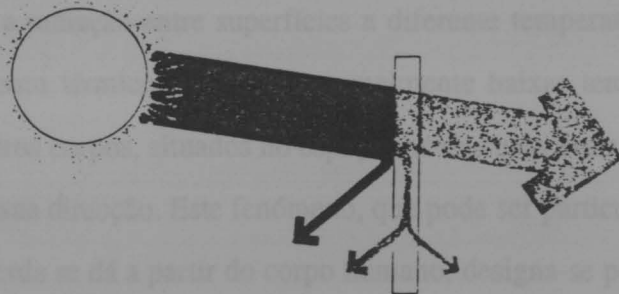


Fig.11 - Comportamento de um envidraçado face à radiação solar [26]

Da radiação incidente no envidraçado grande parte o atravessa envolvendo depois outras superfícies - interiores e em princípio opacas - num fenómeno de sucessivos 'embates' com reflexão e absorção. Apesar da transmissão que permite, o envidraçado reflecte parte da radiação que o atinge e absorve uma outra. A fracção que é reflectida permanece portanto no exterior. Aquela que é absorvida reparte-se mais tarde pelos dois ambientes, interior e exterior, por fenómenos de convecção e por radiação das suas faces. São vários os factores que influenciam a grandeza relativa destas 3 fracções podendo destacar-se os seguintes [27,32]:

- ângulo de incidência da radiação (do qual não depende no entanto a componente absorvida);
- côr e textura (superfícies lisas e claras contribuem para uma maior reflexão);
- composição do vidro ou de elementos que lhe são especialmente aplicados (uma massa com elevado teor em óxidos de ferro aumenta a sua absorção enquanto que um fino depósito metálico, aplicado à superfície, aumenta a sua reflexão).

A propósito de radiação e envidraçados é indispensável salientar ainda dois importantes efeitos que lhes estão associados. O primeiro verifica-se sobretudo no Inverno e tem a ver com a radiação entre superfícies a diferente temperatura. O vidro, pelo seu fraco isolamento térmico, apresenta normalmente baixas temperaturas superficiais pelo que outros corpos, situados no espaço interior e na sua vizinhança, tendem a perder calor na sua direcção. Este fenómeno, que pode ser particularmente desagradável quando a perda se dá a partir do corpo humano, designa-se por «efeito de parede fria».

O segundo efeito atrás destacado é o que resulta do comportamento do vidro face a radiações com diferente comprimento de onda. Um vidro incolor, por exemplo, é praticamente transparente à radiação solar (que, recorde-se, é caracterizada por radiações de pequeno comprimento de onda - de 0.28 a 3 μm) enquanto que para a radiação emitida por outras superfícies (radiação de grande comprimento de onda - 10 μm sensivelmente) ele se comporta como opaco. Isto significa então que a radiação que atravessa um envidraçado e entra num compartimento, sendo absorvida e depois emitida pelas superfícies interiores, tem dificuldade em 'escapar' e provoca um sobre-aquecimento desse espaço. Se esta mesma ocorrência se der num espaço limitado, a circulação do ar diminui e verificam-se menos trocas por convecção. Há assim ainda uma segunda parcela que pode contribuir, de forma importante, para a elevação de temperatura. Este fenómeno, que no seu conjunto é conhecido por «efeito de estufa», se bem que procurado e desejável em determinadas circunstâncias (nomeadamente como aquecimento na estação fria) pode ser também muito inconveniente se não fôr devidamente moderado ou até mesmo evitado (caso do período de Verão).

Daqui ressalta a importância dos elementos de sombreamento que, de uma forma ou de outra e com maior ou menor eficácia, se associam normalmente aos vãos envidraçados. Esses elementos podem ser fixos ou reguláveis - até mesmo amovíveis - interiores ou exteriores, ou ainda incluídos no próprio componente envidraçado. Protegendo o espaço interior da radiação directa (e, também, de parte da difusa) que penetra pelos envidraçados, eles constituem o principal instrumento para limitar a 'entrada de sol' em período quente. Pelas suas características eles devem, naturalmente, satisfazer este propósito (que se aplica sobretudo ao Verão e a alguns dias de meia estação) mas também a necessidade de não oferecer obstáculo aos ganhos solares na estação fria.

Este último aspecto - os envidraçados como elementos de captação da energia solar - constitui a essência, ou uma das traves-mestras, da 'filosofia solar passiva', sentido em que se integra o presente trabalho. Os conceitos anteriormente abordados servem como base de entendimento para essa mesma 'filosofia' e para este estudo em geral.

2.3. - O «SOLAR PASSIVO» E OS ENVIDRAÇADOS

A perspectiva de esgotamento das reservas de combustíveis fósseis, o progressivo aumento do seu consumo e custos e a consciência de preservação da qualidade do ambiente têm determinado a crescente procura de novas fontes de energia. De entre as fontes ditas «renováveis» conta-se a energia solar com numerosas possibilidades de aplicação nomeadamente no domínio dos edifícios. Esta 'nova' fonte não é, porém, uma descoberta recente pois desde há muitos séculos que, de uma forma ou de outra, se procura utilizar a energia solar. A importância que hoje se lhe atribui é, no entanto, muito diferente podendo afirmar-se que esse novo espírito desponta, neste campo, por volta dos anos 60 [33].

Presentemente são correntes algumas expressões como arquitectura «solar», «bioclimática» ou «ecológica». À parte as variantes na designação e o que, em certa medida, elas possam conter de moda, existe aqui subjacente uma (renascida) filosofia de racionalidade e de adaptação à natureza. A preocupação energética, o factor económico e as actuais exigências de conforto e bem-estar, obrigam a pensar a construção de forma conjugada com o clima, no que este envolve de bom e de menos bom. Não se trata apenas de um conceito solar limitado a princípios de boa orientação, de

aproveitamento do Sol e de isolamento contra o frio. É sim, como foi dito, uma concepção mais ampla que equaciona, na arquitectura ou construção, elementos como a topografia, os ventos, a vegetação e a água, temperatura e radiação, materiais, tecnologias e conforto humano.

Reconheça-se no entanto que, neste panorama, o Sol tem justamente um lugar destacado sobretudo no que respeita à sua contribuição no aquecimento. Penetrando directamente pelos envidraçados, ou indirectamente pelas paredes e cobertura, o calor do Sol permite elevar a temperatura interior minimizando, ou dispensando mesmo, a utilização dos habituais aparelhos de aquecimento ambiente.

Entende-se como «passivo» o sistema que envolve a captação, o armazenamento e a distribuição de energia por processos naturais de transferência de calor [34]. Neste sentido qualquer edifício pode ser entendido, em maior ou menor grau, como um «sistema solar passivo». Para demarcar no entanto, dos edifícios tradicionais, aqueles com 'concepção mais solar' reserva-se a referida classificação para os edifícios em que é substancial (acima de 40%) a percentagem de ganho solar na satisfação das exigências de conforto de Inverno [35].

Nos sistemas solares passivos distinguem-se normalmente como principais os dois seguintes componentes [26]:

- superfície envidraçada, orientada a sul, servindo como elemento de captação;
- massa térmica, com funções de absorção, armazenamento e distribuição da energia captada.

Da combinação destes componentes resultam diferentes sistemas solares passivos que se classificam como de ganho directo, indirecto ou independente. De entre todos estes, até porque mais comuns, interessam-nos sobretudo os primeiros.

Nos sistemas de ganho directo a radiação solar, passando através dos envidraçados, penetra de forma imediata no interior da construção. Por efeito da sua incidência, directa ou reflectida, nas superfícies interiores dá-se o aquecimento de elementos que, possuindo massa térmica (caso corrente do pavimento, paredes e tecto quando não encobertos), conseguem armazenar parte da energia recebida. À noite, em consequência do arrefecimento interior, inverte-se o fluxo e aqueles elementos passam a libertar o calor acumulado. Posto isto, em ajuste à ideia simplista de que tudo se resume a envidraçados a sul, cabe então observar:

- que uma janela, por exemplo, não constitui por si só um sistema de ganho directo;
- que a existência de massa térmica é indispensável para amortecimento das variações de temperatura;
- que essa massa deve estar adequada aos ganhos solares obtidos (isto é, sumariamente, à exposição e dimensões dos envidraçados);
- que na eficiência destes sistemas é importante atender ao período nocturno (e a outros em que as perdas de calor predominam sobre os ganhos) o que implica ainda dispôr de uma boa ocultação dos envidraçados.

Como foi já referido, para um bom aproveitamento da radiação solar, os envidraçados devem estar orientados a sul (ou com pequenos desvios até 30°, altura em que se verifica uma diminuição sensível na transmissão do vidro). De facto, como se depreende pela figura seguinte, de entre várias orientações possíveis, a superfície vertical orientada a sul é a que apresenta maiores valores de radiação incidente no período de Inverno.

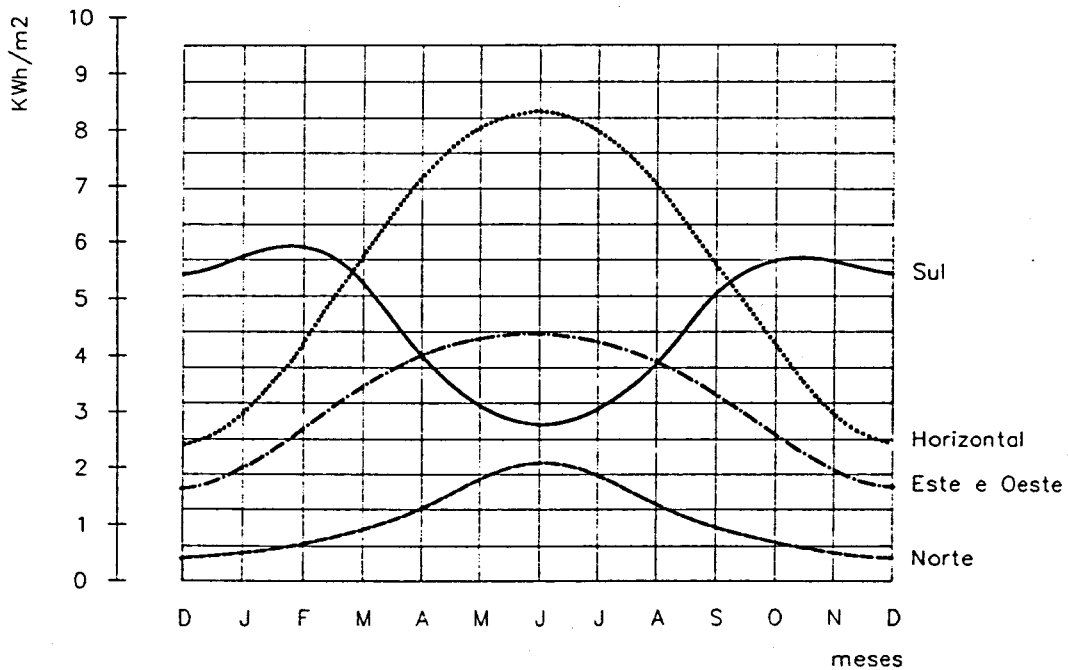


Fig.12 - Radiação solar em superfícies com diferente orientação [26]

Esta característica é de fácil entendimento tendo presente o movimento aparente do Sol na estação fria - relativamente baixo, com um percurso de pequena amplitude aproximadamente entre sudeste e sudoeste e direcção quase perpendicular aos envidraçados de sul, a meio do dia. No Verão, período em que interessa reduzir os ganhos solares, estas superfícies têm também um comportamento interessante e muito conveniente. Nas horas em que se encontram expostas à radiação directa, o Sol 'passa' a grande altura projectando os seus raios com muita inclinação sobre os envidraçados. Porque a reflexão do vidro aumenta com o ângulo de incidência resulta assim uma menor transmissão de calor para o espaço interior.

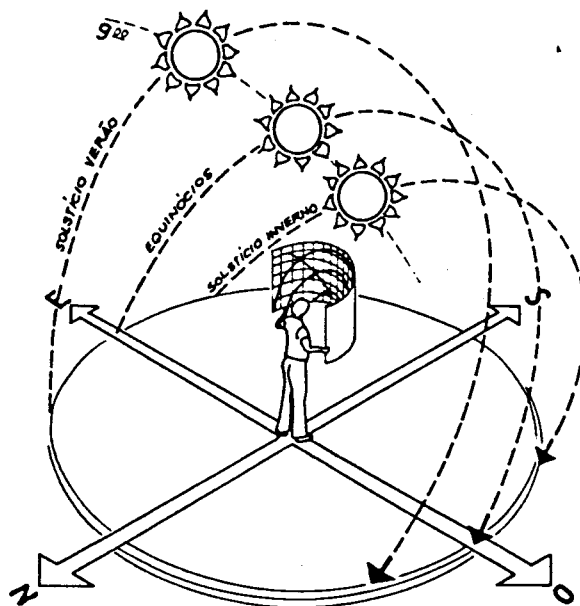


Fig.13 - Fases características do movimento aparente do Sol [25]

Nos sistemas de ganho indirecto há interposição de uma massa térmica entre o Sol e o interior da construção, distinguindo-se habitualmente dois casos típicos consoante aquela massa esteja localizada nas paredes ou na cobertura. Um conhecido exemplo de um sistema deste tipo é a parede de Trombe (concebida pelo francês Felix Trombe) constituída por um elemento de grande capacidade térmica e por uma superfície de vidro duplo colocada pelo exterior. O espaçamento entre o envidraçado e a parede e a cor escura da sua face exterior (pintada de negro) criam um efeito de estufa que origina o aquecimento do intervalo de ar e da própria parede. O calor assim obtido é transmitido, por condução, até à outra face da parede e depois, por radiação e convecção, ao ambiente interior. Este efeito de propagação e aquecimento pode ser acelerado pela abertura de pequenos rasgos na parede ('vents') o que permite um movimento convectivo entre o intervalo de ar referido e o compartimento anexo. No que respeita ao sistema aplicado na cobertura é comum destacar os casos em terraço nos quais se cria um reservatório de água que, sob efeito da radiação solar, funciona como elemento acumulador. Em qualquer dos sistemas exemplificados é também indispensável a existência e controle de um elemento de ocultação exterior para isolamento nocturno.

Por último, os sistemas de ganho independente também denominados de ganho isolado ou separado. Aqui, a captação e o armazenamento dão-se num espaço independente da zona habitável. Um exemplo deste sistema é o termosifão que consiste basicamente num circuito em que se desloca um fluido (ar ou água) que, depois de naturalmente aquecido junto a um envidraçado de grande extensão, é conduzido, por convecção, a um outro espaço com elevada capacidade térmica (preenchido, em regra, por enrocamento ou água). Daqui faz-se a distribuição de calor para o ambiente interior. A ascensão do fluido aquecido obriga também à descida de massas de ar ou água a temperatura mais baixa que são por sua vez conduzidas à zona de captação solar. Este circuito pode ser controlado ou interrompido por um mecanismo de abertura e fecho incluído na ligação entre as áreas de captação e de armazenamento.

Pela exposição feita, facilmente se verifica que, na essência dos sistemas solares passivos, está o propósito do recurso à energia solar para efeitos de aquecimento. Como já foi referido, este facto resulta principalmente das características climáticas dos países que estão na génese destes estudos e aplicações. O problema do conforto térmico não se limita porém a necessidades de aquecimento, sobretudo em países de clima temperado nos quais há preocupações, ou motivos para preocupação, tanto no Inverno como no Verão. Se na estação fria importa obter e gerir os ganhos solares, na estação quente interessa evitá-los ou reduzir o seu efeito. Os envidraçados, elementos de captação por excelência no Inverno e primeira via de sobreaquecimento no Verão, têm pois que compatibilizar funções opostas nestas diferentes ocasiões.

Na perspectiva solar passiva o conforto térmico de Verão tem sido tratado como um problema menor ou de simples resolução por extensão de alguns conceitos e técnicas aplicados no Inverno.

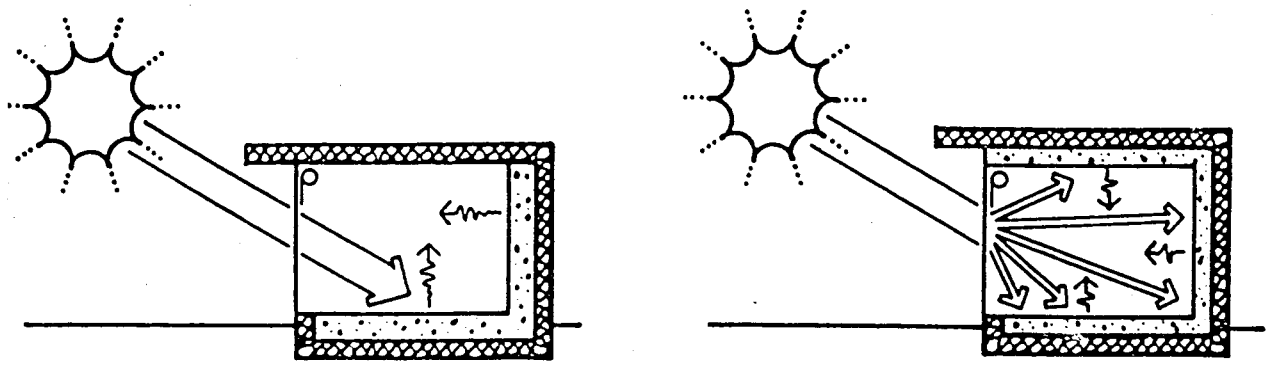


Fig.14 - Sistemas de ganho directo [22]

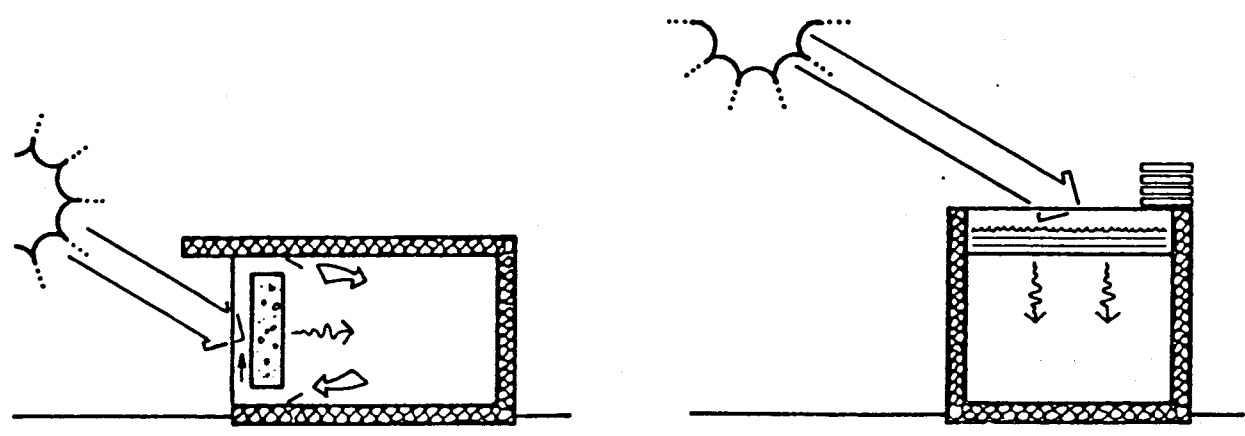


Fig.15 - Sistemas de ganho indirecto [22]

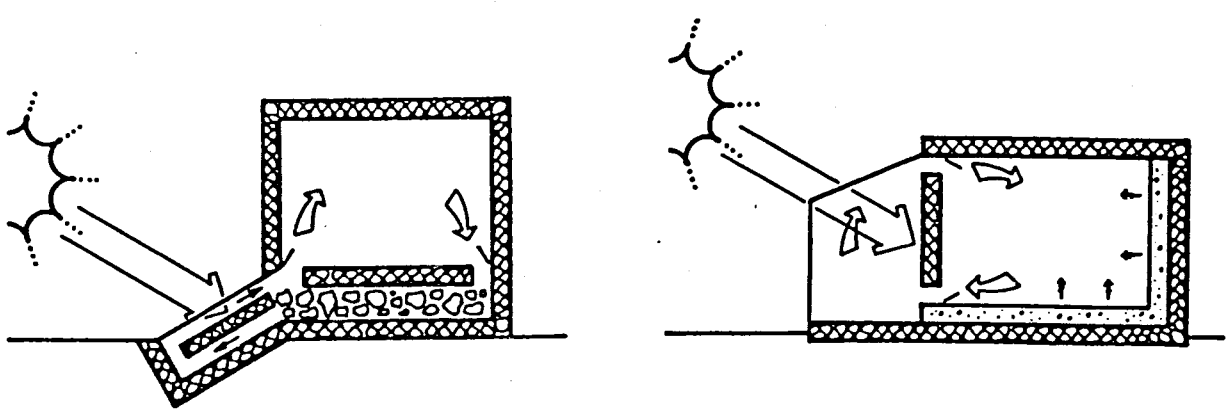


Fig.16 - Sistemas de ganho independente [22]

« ... desde que assegurado o cumprimento dos conceitos solares passivos ..., a utilização de envolventes massivas adequadamente isoladas, associada à protecção da entrada da radiação solar no interior e à ventilação nocturna, é, em princípio, suficiente para (garantir) as condições mínimas de conforto (no período de Verão) ... » [31].

Na verdade muitas das disposições preconizadas para Inverno revelam-se adequadas face aos requisitos de Verão. É o caso, atrás mencionado, dos envidraçados a sul, com aptidão natural para uma e outra estação. É o caso ainda das massas térmicas que tanto podem contribuir para aquecimento no Inverno como para arrefecimento no Verão (para este efeito promove-se a ventilação nocturna e portanto a libertação e saída, para o exterior, do calor acumulado nas horas mais quentes).

No Verão, além das componentes principais - vidro a sul e massa térmica - que mantêm aqui a sua importância, há outras técnicas passivas para limitar a radiação e a temperatura. O sombreamento é, sem dúvida, um dos meios mais correntes e eficazes. Ele pode estender-se a uma fachada, por exemplo, pela existência de vegetação circundante ou por beirados salientes numa construção de pequeno porte. Numa cobertura a protecção pode ser conseguida por um desvão ventilado ou, se horizontal, por um terraço ajardinado. Relativamente aos vãos envidraçados, cujo sombreamento é, de um modo geral, absolutamente indispensável, há inúmeros dispositivos que é possível adoptar sendo no entanto preferíveis aqueles colocados pelo exterior e classificados de «móveis» (isto é, com possibilidade de regulação no tempo). A definição ou dimensionamento dos sistemas de sombreamento deve ser objecto de uma análise cuidada de modo a conseguir o melhor sombreamento no Verão sem prejuízo da captação solar no Inverno.

Outro processo de arrefecimento é a ventilação em que se destacam duas 'variantes'. Numa o movimento de ar dá-se dos pisos inferiores para os superiores com saída, por exemplo, no topo da caixa de escadas junto a uma clarabóia - efeito de chaminé [36]. Na outra, conhecida por ventilação cruzada, a deslocação de ar verifica-se entre fachadas opostas, transversalmente à construção. Quando neste movimento é predominante a acção do vento pode-se incorrer numa situação que, apesar de vantajosa no Verão, é demasiado exposta e pouco conveniente no Inverno.

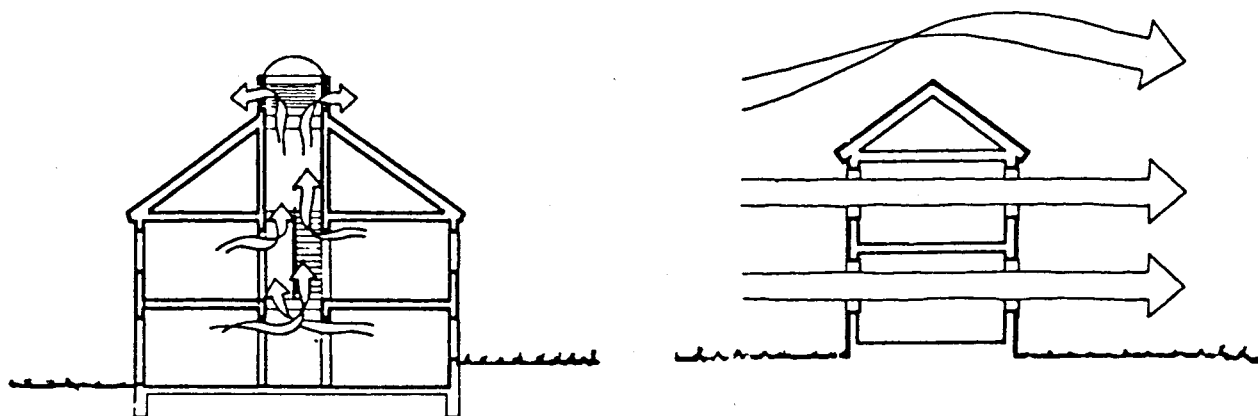


Fig.17 - Esquemas de ventilação natural. Efeito de chaminé e ventilação cruzada. [36]

Como referência final é de salientar ainda as técnicas de arrefecimento por evaporação. Foi já dito - a propósito das transferências de calor - que a evaporação ocorre com determinado consumo energético. Sendo assim é possível conceber diferentes sistemas passivos que, baseando-se no mecanismo descrito, originam com alguma influência uma diminuição da temperatura exterior. De igual modo, pelo fenómeno da evapotranspiração, verifica-se este efeito com a proximidade de vegetação ou zonas verdes.

Capítulo 3

ANÁLISE TÉRMICA DE EDIFÍCIOS. O PROGRAMA ESP.

3. - ANÁLISE TÉRMICA DE EDIFÍCIOS. O PROGRAMA ESP.

É um facto que a construção tem evoluído com grande desenvolvimento de técnicas e materiais empregues, o que significa, por um lado, maior liberdade na sua concepção mas, por outro, maiores dificuldades na escolha e avaliação das soluções possíveis. Os edifícios afastam-se gradualmente do tradicional e a sua execução já não se limita à aplicação de um saber de experiências feito, de um padrão-tipo com provas dadas.

Torna-se assim necessário dominar melhor as características e o comportamento dos materiais - de uma forma mais científica, digamos - até porque o crescimento, a competitividade do mercado e a exigência dos utentes determinam, cada vez mais, o aparecimento de novos produtos. O conhecimento empírico já não chega para atender, devidamente, a preocupações energéticas ou de bem-estar e a este panorama de transformação geral. Projectar e construir são actividades que evoluem num sentido mais técnico e especializado onde ganha também lugar o analista térmico.

Tal como a concepção de estruturas dispõe de um campo específico de formulação e cálculo, também a análise térmica requer instrumentos próprios que permitam, no seu caso, estimar o desempenho térmico dos edifícios. Esses meios procuram explicitar os fenómenos de transferência de calor que aí se verificam, conjugando condicionantes climáticas, características da construção e factores humanos, numa abordagem que, em face de diversas circunstâncias, se pode apresentar mais expedita ou elaborada.

3.1. - MÉTODOS DE ANÁLISE TÉRMICA DE EDIFÍCIOS

Como já certamente se depreendeu, existem métodos de análise térmica que se distinguem nas suas características ou grau de complexidade. Embora não haja uma perspectiva única para sua classificação é relativamente corrente estruturá-los em dois grupos principais:

- métodos simplificados
- métodos de simulação dinâmica

Os simplificados são, regra geral, de aplicação manual, eventualmente implementados em pequenas calculadoras programáveis ou em micros para maior facilidade de uso. Obrigam normalmente a um pequeno número de dados quer para descrição do edifício, quer para caracterização do clima. Possuem, frequentemente, limitações significativas e um âmbito restrito. Como resultado conduzem, quase sempre, a um parâmetro apenas, que pode ser meramente 'simbólico', isto é, de expressão relativa por exemplo a mínimos ou a casos-tipo, ou perfeitamente concreto, contabilizando nomeadamente consumos energéticos, médias ou gradientes de temperatura.

Nos métodos de simulação dinâmica faz-se a integração da equação de balanço térmico (com 'passo' de uma hora normalmente) pelo que se torna indispensável o recurso a meios de cálculo automático que consistem quase exclusivamente em 'main-frames' e só raras vezes em micros. Estes métodos são muito mais versáteis - tanto no seu campo de aplicação, como nos resultados que oferecem - e bastante mais precisos que os anteriores. Exigem, no entanto, um grande volume de dados o que se pode manifestar trabalhoso ou até de obtenção difícil (caso dos dados horários das variáveis climáticas). Para sua utilização é ainda necessária uma certa especialização na área e um bom domínio do programa e do equipamento informático [31].

É importante salientar que, mesmo com aplicação dos métodos mais elaborados, podem-se verificar apreciáveis diferenças entre os resultados estimados e os valores reais (obtidos por exemplo em casas-laboratório ou pela monitorização de edifícios ocupados). Na base dessas diferenças podem estar diversos factores entre os quais se destacam:

- pouco cuidado na execução dos trabalhos durante a fase de construção;
- desvio entre os dados climáticos reais e as condições pressupostas;
- hábitos ou níveis sociais que condicionam a utilização dos edifícios.

A propósito deste último factor refira-se, aliás, que em estudos de comparação entre edifícios semelhantes situados numa mesma zona é comum observar grandes diferenças no consumo energético anual (valores na razão de 1 para 4 chegando mesmo, em alguns casos extremos, a ser de 1 para 8) [22,37]. A acrescentar aos factores referidos pode também dar-se uma utilização menos correcta do método ou verificar-se que alguns critérios aqui incluídos - por exemplo simplificações adoptadas ou valores por defeito - são pouco adequados ao problema em estudo.

3.1.1. - Métodos simplificados

Estes métodos destinam-se quase exclusivamente ao problema do aquecimento na estação de Inverno e dividem-se, normalmente, em métodos analíticos e métodos baseados em correlações. Os primeiros, aplicando hipóteses simplificativas, fazem a resolução analítica das equações que regem os diversos fenómenos de transferência

de calor num edifício. Os segundos, de mais fácil utilização (e também por isso mais correntes), expressam-se em correlações obtidas por grande número de simulações efectuadas com programas detalhados. Por esta via estudam-se diferentes casos cujos resultados se traduzem depois em curvas que relacionam variáveis em princípio adimensionais [31].

A aplicação destes métodos, com recurso a correlações e na perspectiva de Inverno, apresenta tipicamente as seguintes fases:

1. quantificação das perdas de calor através dos elementos da construção e por renovação de ar;
2. determinação dos ganhos solares;
3. cálculo da fracção solar útil;
4. obtenção das necessidades em energia auxiliar de aquecimento.

A correlação intervém na fase 3 podendo o cálculo daquela fracção ser efectuado através de um ou mais gráficos como o exemplificado na fig.18.

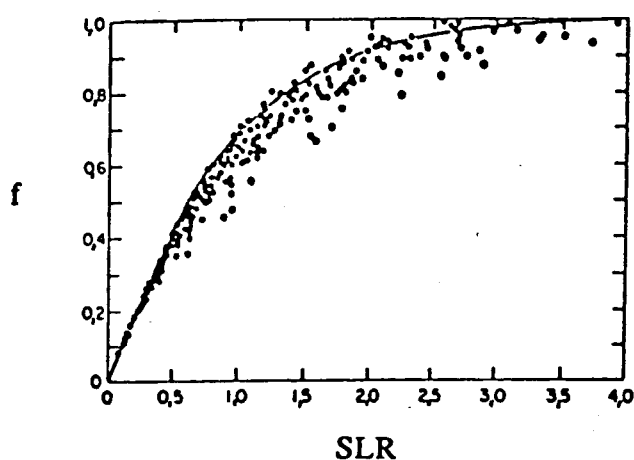


Fig.18 - Exemplo de uma correlação num método simplificado [31]

O exemplo apresentado corresponde a uma situação particular pois, como foi dito, estabelecem-se diferentes correlações para diferentes casos. Aqui relacionados encontram-se a variável SLR ('Solar Load Ratio') - quociente entre a radiação solar absorvida e as perdas térmicas uma vez descontados os ganhos internos (devidos a ocupação e equipamento) - e o parâmetro f (ou SHF, 'Solar Heating Fraction') que representa a fracção de energia solar que contribui para o aquecimento [35].

De entre os vários métodos que, com algumas 'variantes', compreendem a estrutura atrás descrita, são de referir o 'método SLR', de origem americana e pioneiro nesta orientação, e o 'método 5000' francês, destacado num trabalho de pesquisa e apreciação de métodos de análise térmica promovido pela Comissão das Comunidades Europeias' (CEC) [22]. A metodologia definida no RCCTE⁽¹⁾ para estimativa das necessidades de aquecimento [3] e a determinação do coeficiente B⁽²⁾[38], que durante bastante tempo constituiu para nós uma referência e um instrumento preferencial nesta matéria, podem igualmente incluir-se no grupo de métodos simplificados com aplicação de correlações.

As diferenças entre os métodos existentes derivam sobretudo da sua validade e das simplificações que contêm. Assim podem-se distinguir, mais nuns que noutros, limitações nos seguintes aspectos [31]:

- subdivisão do edifício em zonas térmicas (zona única ou multizona);
- regime de temperatura admitido (termostático ou flutuante, isto é, temperatura sempre acima de um valor mínimo ou, pelo contrário, variando sem restrições);

⁽¹⁾ RCCTE, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios.

⁽²⁾ B, Índice de origem francesa designado por 'coef. volumétrico das necessidades de aquecimento'.

- sistemas solares passivos que é possível considerar;
- contabilização da inércia e capacidade térmica;
- dados climáticos empregues (sequência de dias iguais ou dados médios anuais ou mensais, etc.).

O tipo de resultados que proporcionam pode também diferir, resumindo-se normalmente a consumos ou temperaturas (intervalos ou valores médios) conforme atrás referido.

No que respeita ao Verão, a acompanhar o desinteresse a que tem sido votado (cujos motivos foram já anteriormente expostos), há uma quase inexistência de métodos (simplificados) que lhe sejam aplicáveis. Como excepção destaque-se o método do RCCTE para cálculo das necessidades nominais de arrefecimento [3], que aos ganhos solares através da envolvente (incluindo o efeito da radiação sobre os elementos opacos) procura 'subtrair' o efeito favorável do isolamento, da inércia e da protecção solar dos envidraçados. O seu esquema de desenvolvimento e o tipo de resultados são naturalmente semelhantes aos que se verificam na metodologia de Inverno.

3.1.2. - Métodos de simulação dinâmica

Foi já referido que estes métodos permitem conhecer, com precisão relativa, a resposta de um edifício face às acções térmicas exteriores e interiores, o que significa que é possível determinar os seus requisitos energéticos ou as suas condições inte-

riores, nomeadamente de temperatura ou conforto. Para este efeito pode-se abordar o problema de diferentes modos, de entre os quais se referem os que têm tido maior expansão e aplicação entre nós.

Uma primeira via considera o edifício decomposto nos seus principais elementos e calcula, com intervalo constante, os fluxos que os envolvem e a sua contribuição para a carga térmica interior. Neste sentido utiliza determinados parâmetros, conhecidos por factores de ponderação, que aplicados a esses fluxos permitem a sua transformação e a quantificação da rapidez ou atraso com que se fazem sentir. Exprimindo a temperatura interior em função da carga térmica e de dadas condições iniciais é possível calcular a sua variação iterativamente e a intervalos constantes. Esta técnica - de funções de resposta - foi por exemplo utilizada no desenvolvimento do programa BETEH aplicado ao estudo térmico de coberturas com desvão [39].

Outra via, que tem tido grande crescimento e se apresenta actualmente como principal, faz uso dos métodos numéricos onde se distinguem o método dos elementos finitos e o das diferenças finitas. Este último é o que conhece maior divulgação, quer pela sua simplicidade e facilidade de implementação, quer mesmo pela natureza dos problemas em térmica de edifícios (normalmente sem fronteiras de geometria complicada). Deste modo a construção é dividida num conjunto de volumes finitos - representado por um sistema nodal - cada um deles caracterizado por determinadas propriedades termofísicas e temperatura uniforme. O edifício é assim interpretado como uma malha cujos nós e ligações traduzem, respectivamente, os volumes considerados e as transferências de calor que se verificam. A cada nó é imposta a condição de satisfazer o princípio de conservação de energia em instantes definidos e igualmente espaçados (intervalo que constitui o 'passo' da simulação). Este balanço

térmico permite assim, ciclicamente, o estabelecimento de um sistema de equações que, uma vez resolvido, nos dá a temperatura nos nós. Como exemplo de aplicação deste método pode-se apontar o programa PRESOP elaborado no IST e ainda com perspectivas de futuro desenvolvimento [40].

De um modo geral os programas de simulação dinâmica obrigam a uma descrição pormenorizada do edifício (geometria, dimensões, composição, localização, etc.) e à entrada de uma extensa série de dados climáticos. Todos estes elementos são normalmente fornecidos através de ficheiros cuja construção e edição pode ser mais ou menos facilitada e é muito específica de cada programa (nalguns existe mesmo a possibilidade de entrar alguns dados, indirectamente, com aplicações de CAD - depois de 'esboçado' o edifício, o 'computador' faz a interpretação e registo de dimensões e coordenadas podendo, inclusivé, determinar, por referência, os materiais constituintes das superfícies definidas). A este propósito referem-se seguidamente as principais características do programa utilizado nos estudos que se apresentam nos capítulos 4 e 5.

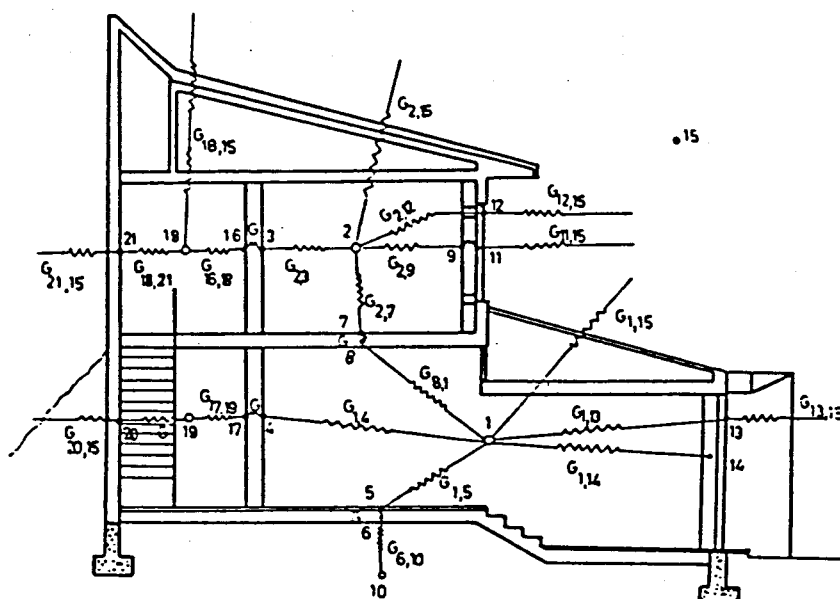


Fig.19 - Interpretação de um edifício como um sistema nodal [37]

3.2. - O PROGRAMA ESP

3.2.1. - Génese e desenvolvimento

O programa ESP (abreviatura de «Environmental Systems Performance») teve origem na Escócia por volta de 1974 e o seu desenvolvimento tem conhecido várias fases com o esforço e apoio de diversas entidades. O programa surge com Joe Clarke, na Universidade de Strathclyde, como parte do seu trabalho de doutoramento. De 1977 a 1980, com fundos do SERC ('UK Science and Engineering Research Council'), o programa é aperfeiçoado na sua estrutura e 'interface' de utilização, estende-se o seu domínio ao processamento multizona e prossegue-se com mais detalhe na sua validação. Em 1981, o ESP tem novo incremento com o apoio do CEC que lhe reconhece então o mérito e as características promissoras entre outros programas da mesma gama (implementação em computadores de médio e grande 'porte') existentes na altura (caso do PASOLE, DOE.2 e DEROBÉ). Desde 1987 o seu desenvolvimento tem estado a cargo de um organismo de investigação denominado ESRU ('Energy Simulation Research Unit') e de outros grupos que o utilizam em diversos projectos (entre os quais o 'PASSYS' já anteriormente referido). Nos últimos anos, merecendo atenção especial, a validação do programa tem sido feita por diferentes entidades incluindo verificações empíricas e analíticas e análise de resultados por comparação aos obtidos com outros programas ou com edifícios monitorizados. Pelas suas características e pelo ajuste e fiabilidade demonstrados o ESP foi entretanto classificado como Modelo Europeu de Referência para a Arquitectura Solar Passiva [41].

3.2.2. - Estrutura de funcionamento e utilização

Em termos de caracterização o ESP apresenta-se como um método de simulação dinâmica que aplica a técnica das diferenças finitas. Contrariamente a outros programas que obrigam ao posicionamento de nós e à definição das suas ligações (o PASSIM, por exemplo [34]) o ESP tem no entanto a particularidade de não requerer ao utilizador a construção do sistema nodal. O processo empregue consiste, basicamente, em subdividir o edifício em zonas e cada uma destas nos seus elementos. Internamente o programa procede então à colocação de nós de acordo com os critérios que lhe foram incluídos: um nó associado à massa de ar, três a um elemento opaco (um por cada face e o terceiro no interior), partilha de nós superficiais no caso de elementos heterogéneos com camadas adjacentes, etc. [42]. Este esquema facilita portanto a definição do problema em estudo e não constitui restrição de maior já que o refinamento da malha depende da discretização (em zonas e elementos) feita pelo utilizador.

O ESP permite a análise térmica de edifícios com ou sem sistemas energéticos auxiliares. Para este efeito dispõe de 13 programas-módulo cujas principais características se passa a descrever.

imp - módulo em que se efectua, de forma simples e interactiva, a construção dos ficheiros de dados.

con - módulo que apoia o 'imp' na caracterização termofísica dos elementos (base de dados que pode ser facilmente acedida e utilizada a partir daí).

pro - base de dados, também, na qual se define o modo como variam no tempo a

ocupação, a iluminação e o uso de equipamento.

pdb - base de dados que assiste na definição do sistema energético auxiliar.

win - módulo que estima o comportamento de um envidraçado, relativamente a transmissão, reflexão e absorção, para diferentes ângulos de incidência da radiação directa.

clm - módulo que possibilita a transformação e a análise estatística de dados climáticos.

bps - módulo que constitui a 'máquina' de equacionamento e resolução numérica.

res - módulo que utiliza o ficheiro de resultados e permite o seu processamento e 'output' sob variados aspectos.

shd - módulo que determina o sombreamento produzido por elementos exteriores sobre superfícies da envolvente.

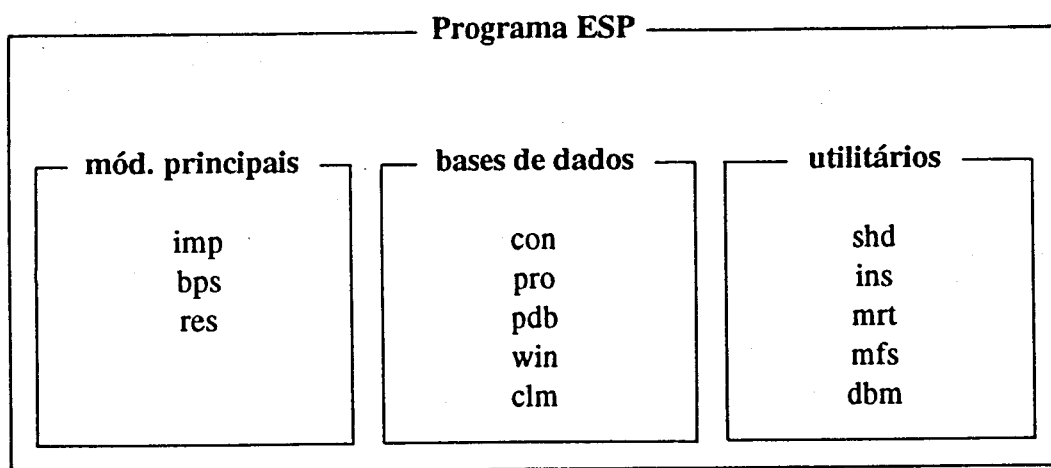
ins - módulo que prevê a insolação de superfícies interiores devida à entrada de radiação solar pelos envidraçados.

mrt - módulo que calcula os factores de forma necessários para obter as trocas internas por radiação de grande comprimento de onda.

mfs - módulo que estima a infiltração e os fluxos de ar no interior da construção.

dbm - módulo que executa a transformação de ficheiros, de formato ASCII para binário ou vice-versa.

Estes módulos possuem funções e importâncias diferentes e, naturalmente, nem todos têm que ser utilizados para efectuar uma simulação com o ESP. Atendendo a esses aspectos podem-se estruturar os módulos em três grupos distintos de acordo com o exposto no seguinte quadro.



Quadro 2 - Estrutura e módulos do programa ESP

Os módulos principais são aqueles absolutamente indispensáveis enquanto os outros facilitam o seu uso ou incrementam o rigor e os estudos possíveis. No seu funcionamento mais elementar o ESP utiliza então os módulos 'imp', 'bps' e 'res' com os quais se procede, respectivamente, à entrada de dados, à simulação e ao processamento e saída de resultados. Como dados, por cada zona, são necessários, no mínimo, três ficheiros com as designações e características seguintes:

'Geometry file' (extensão .geo) - define a geometria da zona, as suas dimensões e orientação; são possíveis três diferentes vias na sua expressão que será escolhida consoante a complexidade ou subdivisão da zona (tipo e número de superfícies constituintes).

'**Construction file**' (extensão .con) - admitindo cada superfície como uma sequência de camadas homogêneas, define a espessura e algumas propriedades termofísicas das respectivas camadas.

'**Operation file**' (extensão .opr) - define ganhos internos e taxas de renovação do ar em diferentes intervalos horários e separadamente para dias úteis, sábados e domingos.

De entre os ficheiros que, em complemento, podem também figurar como dados salientam-se:

'**Transparent multi-layered constructions file**' (extensão .tmc) - caracteriza as várias superfícies envidraçadas no que respeita à sua absorção e transmissão; o valor destes parâmetros é fornecido para cinco ângulos de incidência da radiação directa (com base nisto o programa efectua uma interpolação para outros casos).

'**Site obstructions file**' (extensão .obs) - caracteriza obstáculos exteriores à construção, definindo-os como paralelepípedos elementares.

'**Shading file**' (extensão .shd) - inclui factores de sombreamento para determinadas superfícies escolhidas (em princípio envidraçadas); esses valores são obtidos pelo módulo 'shd' em função da geometria e obstáculos definidos.

'**Utilities file**' (extensão .utl) - funcionando como um índice, aponta a existência de outros ficheiros para além dos três referidos como indispensáveis.

Uma vez terminada a construção deste conjunto de ficheiros para cada zona, é ainda necessário condensar toda a informação numa **'system configuration file'** (extensão .cfg). Aqui especifica-se o tipo de simulação pretendida (aplicada ao edifício, ao sistema energético auxiliar ou a ambos), fornecem-se dados relativos ao local (coordenadas, exposição e reflexão), discriminam-se os ficheiros de cada zona e caracterizam-se as ligações entre as diferentes zonas.

Tudo isto é portanto efectuado com o módulo 'imp', eventualmente com apoio das bases de dados ou de alguns utilitários. Concluída esta fase passa-se então à simulação propriamente dita através do módulo 'bps'. Os dados principais consistem agora em especificar o ficheiro de configuração, um ficheiro climático e outro para registo de resultados, o período de simulação (momento inicial e final) e o 'passo' a utilizar.

O ficheiro climático contém valores horários da temperatura e humidade relativa do ar, radiação difusa e directa (ou, em alternativa, a radiação global em superfície horizontal), velocidade e direcção do vento. Estes dados conseguem-se normalmente a partir de ficheiros - conhecidos por TRY ('Test Reference Year') e correspondentes a uma localidade ou a uma estação meteorológica - que caracterizam um ano 'típico' construído com base num registo de dez ou mais anos.

O 'passo' da simulação é implicitamente de uma hora embora o programa aceite intervalos menores (fracções dessa hora) até ao mínimo de dois minutos (nestes casos os dados climáticos são interpolados a partir dos valores horários e o tempo de computação aumenta de forma significativa).

Como dados é preciso, ainda, definir um período de arranque (para cujas condições iniciais se admitem fluxos nulos e temperatura de 15°C em todos os nós [42]) e o nível de resultados que se pretende obter. Relativamente ao primeiro, o programa faz

a sua estimativa em função das características do edifício e sugere uma duração que pode ser aceite ou modificada pelo utilizador (de qualquer modo o mínimo são dois dias). Quanto ao segundo, pode-se escolher o tipo e quantidade de resultados de entre seis opções disponíveis, com reflexos naturalmente diferentes no seu tempo de cálculo, registo e posterior processamento.

Com o módulo 'bps' cria-se então um ficheiro que, uma vez introduzido no módulo 'res', permite diversas saídas para os resultados obtidos. Neste campo as facilidades que o programa oferece são notáveis, quer pela variedade de parâmetros e análises que proporciona (temperaturas, fluxos, cargas, balanços térmicos, conforto, condensações, etc.), quer pelo aspecto ou 'tratamento' que lhes é possível dar (quadros e gráficos com múltiplas variáveis e diferentes combinações, análises estatísticas, etc.).

O esquema de utilização atrás descrito - em sequência, módulos aplicados e ficheiros construídos - pode-se condensar num diagrama simples conforme exemplificado na fig.20. A estrutura apresentada, não sendo a mais elementar nem tão pouco a mais completa de que o ESP dispõe, corresponde aproximadamente aos contornos e aplicação que o programa teve no presente trabalho (capítulos 4 e 5).

3.2.3 - Perspectivas de evolução

O programa ESP continua a ser desenvolvido com trabalhos de validação, de expansão das suas possibilidades e de aperfeiçoamento dos seus algoritmos e características principais.

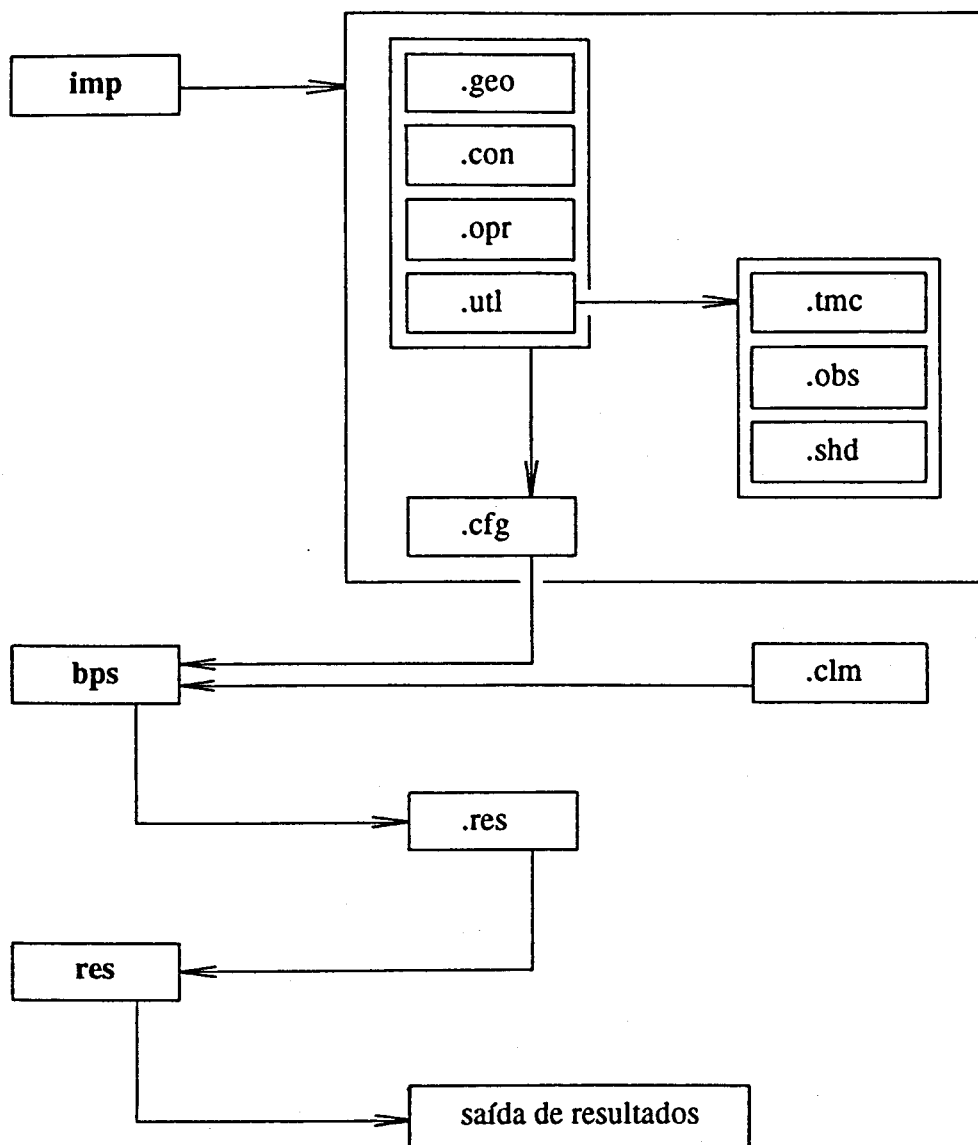


Fig.20 - Programa ESP.
Estrutura utilizada na análise de uma construção de zona única.

De entre estes estudos são particularmente de realçar aqueles que incidem nos aspectos de utilização e de entrada de dados. Recorde-se que aos métodos de simulação dinâmica se tinha apontado como inconveniente o volume de informação a fornecer e a especialização requerida ao utilizador. Cientes deste óbice têm-se adicionado ao ESP novas ferramentas que permitem aligeirar o problema.

Na entrada de dados, a alternativa ao procedimento corrente é a utilização de um sistema gráfico suplementar denominado 'BIBLE'. Relativamente à obtenção de resultados, para maior facilidade foram incluídas várias rotinas ('scripts') que proporcionam análises específicas (por exemplo da ocorrência de condensações ou de sobreaquecimento) e apenas requerem a pressão de uma tecla e um curto diálogo com o utilizador. Esta via de funcionamento designa-se por 'expert mode' e envolve um esquema (algum raciocínio da própria 'máquina') que não se encontra habitualmente em sequências de programação [41].

O desenvolvimento e aplicação das técnicas de computação gráfica e de inteligência artificial (de que são exemplos as melhorias referidas) permitem antever uma transformação sensível nos métodos em geral. Como se pôde depreender, daqui resulta uma maior elegância na introdução de dados e uma menor exigência em trabalho ou especialização. Para além disto dá-se uma modificação importante na sua utilização. De elementos de avaliação, empregues quase sempre em fase última de projecto, passam a instrumentos de concepção com capacidade para um apoio mais determinante nas suas fases de elaboração.

Como reflexo desta orientação e em acréscimo aos mecanismos anteriormente descritos desenvolve-se actualmente no programa ESP uma 'interface' inteligente ('Intelligent Front-End', IFE) que permita a definição de estratégias de simulação, o seu controle e condução, com intervenção exterior limitada a uma entrada de dados que o programa se encarrega aliás de organizar [43].

Capítulo 4

ESTUDO NUMÉRICO SOBRE VÃOS ENVIDRAÇADOS

4. - ESTUDO NUMÉRICO SOBRE VÃOS ENVIDRAÇADOS

4.1. - ENQUADRAMENTO E APRESENTAÇÃO

4.1.1. - Estudos no domínio dos envidraçados

Como foi já salientado, os envidraçados têm um vasto domínio que não se reduz ao campo da Térmica mas, mesmo quando apenas encarados nesta óptica, são muitos e diversos os trabalhos que lhes dedicam atenção. Numa breve síntese podem-se apontar os estudos para a sua caracterização termofísica, os ensaios relativos ao seu uso como componentes da construção (janelas, por exemplo, nos aspectos de resistência ao vento, permeabilidade ao ar e estanqueidade à água) e a análise da sua influência no comportamento térmico dos edifícios. Nesta última perspectiva - sem dúvida a mais fértil em matéria de investigação - é ainda corrente uma atenção distinta para os problemas de Inverno e de Verão.

No que respeita ao Inverno as preocupações centram-se no isolamento térmico (onde intervêm as características e qualidade dos envidraçados e de elementos de ocultação) e na captação da radiação solar (em que, por sua vez, implica o tipo de vidro, a orientação, o dimensionamento e utilização de sistemas solares passivos). De grande interesse, também, é o estudo do comportamento humano na medida em que condiciona significativamente os referidos aspectos de isolamento e de captação (a este propósito são exemplo, como acções influentes, a abertura de janelas e o posicionamento de estores) [44].

Relativamente ao Verão destacam-se sobretudo (poder-se-ia dizer 'quase em exclusivo') os trabalhos dedicados, directa ou indirectamente, ao sombreamento de vãos envidraçados. Os estudos baseiam-se fundamentalmente no movimento aparente do Sol cuja caracterização permite determinar a incidência dos raios solares sobre as superfícies da construção.

Neste âmbito têm-se desenvolvido vários métodos que, de acordo com a via utilizada, se podem estruturar do seguinte modo:

- métodos numéricos;
- métodos com recurso a modelos simplificados e em escala reduzida;
- métodos gráficos.

Os primeiros oferecem grande precisão mas são muito trabalhosos pelo que a sua aplicação está praticamente excluída do domínio dos edifícios.

Com os segundos é possível apreciar a insolação e sombreamento produzidos num modelo por acção de uma fonte luminosa que representa o Sol. Os efeitos da latitude do lugar, o movimento aparente do Sol e o 'paralelismo' dos raios solares são simulados através de múltiplos engenhos que se distinguem nas suas capacidades e nos artifícios empregues. De entre os vários instrumentos deste tipo salienta-se o «Heliodon» que apresenta grande divulgação e do qual o LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) possui um exemplar.

Finalmente, pelos métodos gráficos, dispõe-se da ferramenta mais simples (em acessibilidade e utilização) para este tipo de estudos. Os diagramas aqui utilizados baseiam-se na interpretação de que, para um observador algures na Terra, o Sol se move em círculos, paralelos entre si, no intervalo de duas posições extremas que

constituem os solstícios. A projecção deste movimento sobre uma superfície cilíndrica vertical ou, de forma mais comum, sobre uma superfície plana horizontal dá origem aos referidos diagramas que podem assumir, portanto, diferentes aspectos.

A aplicação de qualquer destes métodos permite analisar o efeito de dispositivos de sombreamento, delimitando áreas sombreadas da envolvente da construção ou aquelas por si projectadas [45,46]. Ainda pela caracterização do movimento aparente do Sol e com apoio de valores de radiação solar é possível determinar (quantificar) a exposição das superfícies exteriores, nomeadamente dos vãos envidraçados quando não protegidos [47].

Em acréscimo aos métodos atrás descritos é forçoso mencionar ainda a utilização do computador que pode ser aqui um importante auxiliar tanto na condução dos cálculos como na saída e interpretação de resultados. Na verdade, com 'software' gráfico (uma vez mais os sistemas CAD) dispõe-se normalmente de comandos para definição de objectos a três dimensões e execução de perspectivas. Um problema de sombreamento (numa das suas facetas) pode ser então facilmente resolvido por uma projecção cilíndrica ('raios' paralelos entre si) efectuada sobre a construção. A imagem obtida corresponderia ao que 'é visto pelo Sol', ou seja, às superfícies insoladas. Um algoritmo adequado, para obter o azimute e altura do Sol no local e momento escolhido, seria o único esforço requerido (uma vez) ao utilizador. Com base neste raciocínio pode-se depois 'dar largas à imaginação' concebendo, por exemplo, a projecção de uma sequência de imagens deste tipo, cada uma correspondente a um certo instante do dia (afinal de contas a tradução aproximada do efeito dinâmico do Sol).

Antes de passar à apresentação do estudo feito (de simulação numérica) vale a pena uma referência - por certa analogia com o presente trabalho - a alguns ensaios realizados em Haifa e descritos por Givoni [27].

Trata-se de experiências efectuadas em período de Verão sobre quatro modelos de dimensões exteriores não especificadas (provavelmente cúbicos com 1.5 m de lado), com uma envolvente em blocos Ytong de 15 cm de espessura; cada modelo possuía uma janela numa parede e uma pequena abertura na parede oposta; a sua orientação foi feita de modo a obter, no conjunto, uma janela por cada direcção cardinal. A análise incidiu nos efeitos da ventilação e da oclusão sobre a temperatura interior. As variantes estudadas foram: sem ventilação e com ventilação transversal; sem oclusão, com oclusão interior e com oclusão exterior. Os resultados são expressos pela evolução das temperaturas interiores e exterior ao longo de um dia.

4.1.2. - Síntese do trabalho desenvolvido

O trabalho efectuado integra-se de certa maneira na actividade do projecto 'PASSYS' onde alguns países membros manifestaram interesse no desenvolvimento de estudos relativos ao comportamento térmico de edifícios na estação quente. Este empenho teve bom acolhimento e desde então (um ano e meio, sensivelmente) existe um grupo de trabalho orientado no sentido de obter, a médio prazo, um método simplificado para análise térmica no período de Verão. Uma das hipóteses possíveis na abordagem do problema (à semelhança do que existe para Inverno) é a definição de correlações construídas com base numa extensa campanha de simulações efectuadas com o programa ESP.

Neste contexto iniciou-se o presente trabalho com a perspectiva de fundamento ou base à elaboração de um método simplificado conforme descrito. No seio daquele grupo surgiram entretanto novas propostas sobre a metodologia a adoptar, o que

obrigou ao seu aprofundamento e ponderação e, conseqüentemente, a alguns desvios e atrasos relativamente à programação inicial.

Apesar desta inesperada dificuldade prosseguiu-se com este trabalho reformulando parte dos objectivos mas mantendo algumas das suas características principais de modo a não impedir o intercâmbio de informação e resultados com outros parceiros do grupo. Optou-se então por um estudo centrado nos envidraçados com apreciação dos seus efeitos em diferentes circunstâncias. Deste modo faz-se aqui uma análise paramétrica em que a constante são os envidraçados e os factores variáveis são diversos elementos influentes em Térmica, particularmente quando sob condições de Verão.

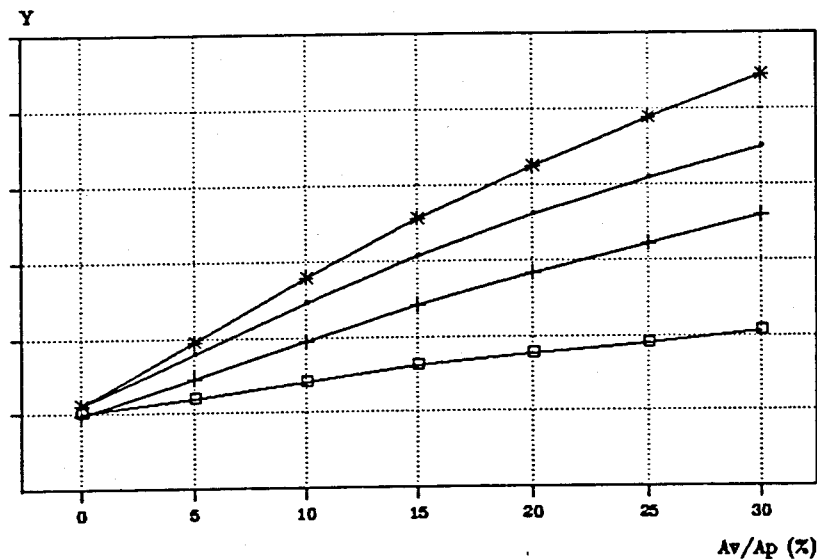
4.2. - CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO NUMÉRICO

4.2.1. - Dados e critérios gerais

As simulações desenvolveram-se em computador sobre o modelo de um edifício, semelhante, na generalidade, a um adoptado como referência em anteriores trabalhos do 'PASSYS' [43]. O modelo utilizado é paralelepípedo com planta interior de $12 \times 8 \text{ m}^2$ e um pé direito de 2.5 m. Numa das suas fachadas maiores inclui-se um envidraçado (consideram-se vários casos de diferentes dimensões conforme adiante especificado) e na que lhe é oposta dispõe-se de uma porta com 2 m de altura e 0.9 m de largura. Para limitar a complexidade do estudo e os factores intervenientes admite-se a construção sobreelevada em relação ao terreno (isto é, sem contacto com o solo) e ainda a existência de uma cobertura inclinada da qual resulta um desvão que

se define como ventilado (temperatura igual à do ambiente exterior). Na sua descrição ao programa ESP o modelo é constituído por uma única zona.

Foi já referido que o envidraçado se estuda com outros parâmetros e que são várias as dimensões para ele consideradas. Para simular a variação da área de envidraçado (A_v) tomou-se uma superfície rectangular cujas dimensões foram sendo alteradas homoteticamente em relação aos contornos da fachada. Para quantificar A_v e o incremento da variação referida utilizou-se a razão A_v/A_p com A_p (área de pavimento) constante e igual a 96 m^2 . O incremento considerado foi de 5% com valores de A_v/A_p situados entre um mínimo de 0% (caso de inexistência de envidraçado) e um máximo de 30% (o que corresponde, praticamente, à fachada envidraçada no seu todo). O resultado dos estudos efectuados apresenta-se, regra geral, para determinado parâmetro, através de gráficos como o esquematizado na fig.21.

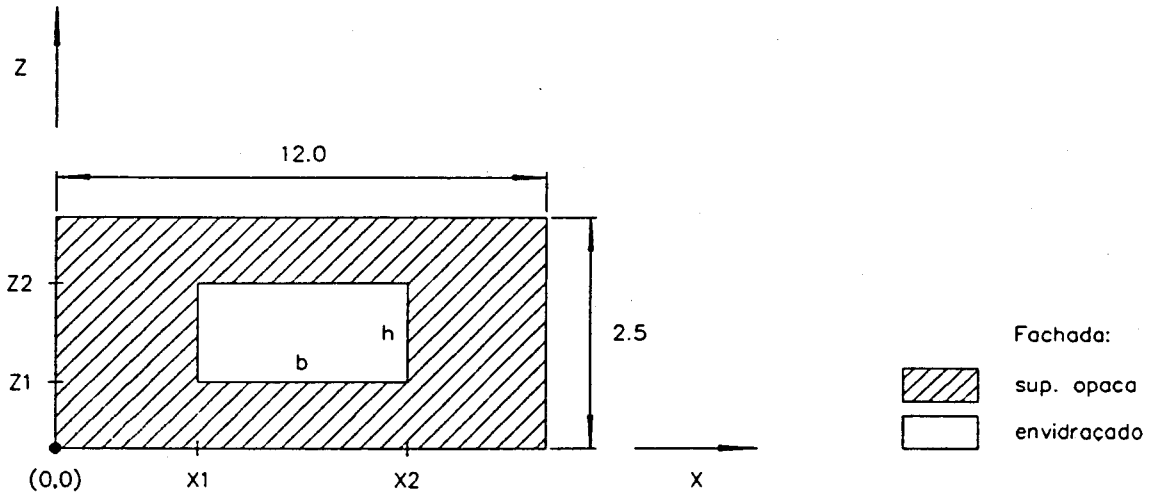


Y - variável que quantifica a temperatura ou o desconforto resultante.

Fig.21 - Esquema-tipo dos resultados produzidos

No quadro 3 discriminam-se as hipóteses consideradas em termos de área, dimensões e inserção do envidraçado na fachada principal.

Quadro 3
Dimensões dos vãos envidraçados
(fachada principal)



$A_p = 96 \text{ m}^2$

| A_v/A_p (%) | A_v (m^2) | b (m) | h (m) | X_1 (m) | X_2 (m) | Z_1 (m) | Z_2 (m) |
|------------------|---------------------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0 | 0.0 | - | - | - | - | - | - |
| 5 | 4.8 | 4.800 | 1.000 | 3.600 | 8.400 | 0.750 | 1.750 |
| 10 | 9.6 | 6.788 | 1.414 | 2.606 | 9.394 | 0.543 | 1.957 |
| 15 | 14.4 | 8.314 | 1.732 | 1.843 | 10.157 | 0.384 | 2.116 |
| 20 | 19.2 | 9.600 | 2.000 | 1.200 | 10.800 | 0.250 | 2.250 |
| 25 | 24.0 | 10.734 | 2.236 | 0.633 | 11.367 | 0.132 | 2.368 |
| 30 | 28.8 | 11.758 | 2.450 | 0.121 | 11.879 | 0.025 | 2.475 |

Obs: os valores das coordenadas X_1 , X_2 , Z_1 e Z_2 são necessários para construção dos ficheiros geométricos correspondentes aos diferentes casos de A_v/A_p .

No capítulo anterior descreveu-se o programa ESP e destacou-se a necessidade de construir alguns ficheiros por cada zona definida. A propósito do ficheiro geométrico salientou-se ainda a existência de três vias para construção do modelo em estudo. Apesar da simplicidade de formas do edifício adoptado, a inclusão do elemento envidraçado implicou o recurso à via mais completa e, por sinal também, mais trabalhosa (designada por 'general' e abreviadamente por GEN). Deste modo o modelo é caracterizado por várias superfícies e vértices obrigando, na sua introdução, às seguintes acções [41]:

- definição de um sistema de eixos triortogonal;
- decomposição da zona em superfícies;
- numeração de superfícies e vértices;
- entrada das coordenadas dos vértices;
- caracterização das superfícies por indicação ordenada dos seus vértices.

A subdivisão do modelo pode ser efectuada de várias formas - segundo o critério do utilizador - mas deve ter em conta algumas condicionantes do programa devidas ao dimensionamento de 'arrays':

- máximo de 15 superfícies por zona;
- máximo de 12 vértices por superfície.

Conjugando os dados anteriormente expostos definiram-se dois módulos-base - um sem e outro com envidraçado - no segundo dos quais se actua sobre a fachada principal (modificação das coordenadas de alguns vértices) a fim de obter e simular os diferentes casos com envidraçado. No módulo 2 fez-se a decomposição da fachada principal em três superfícies conforme se pormenoriza na fig.22.

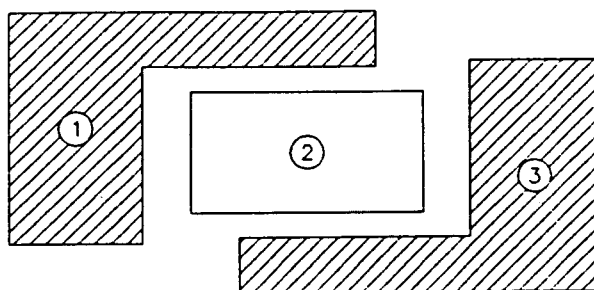


Fig.22 - Módulo 2.
Decomposição da fachada principal.

Como esclarecimento convém acrescentar que, contrariamente ao que se verifica com o envidraçado, a porta não é definida como uma superfície, sendo simplesmente justaposta numa face e posição indicadas pelo utilizador.

Com os elementos descritos é possível construir os vários ficheiros geométricos e fazer, inclusivamente, uma verificação visual do modelo introduzido.

Para além dos aspectos já referidos interessa naturalmente conhecer os materiais empregues. O modelo de referência do 'PASSYS' dispõe de 'superfícies' em betão (espessura de 16 cm nas paredes e 5 cm no pavimento) revestidas com materiais de isolamento térmico em que predomina o poliestireno (espessura média de 5 cm). Nas paredes, curiosamente, faz-se a aplicação do isolamento na sua face interior. Os elementos envidraçados (neste modelo incluía-se mais do que uma janela) são constituídos por vidro duplo com 'panos' de 4 mm de espessura [43].

Para este trabalho julgou-se conveniente efectuar algumas modificações sobre aqueles dados podendo resumir-se do seguinte modo as características aqui adoptadas:

- envolvente opaca em betão com 15 cm de espessura;

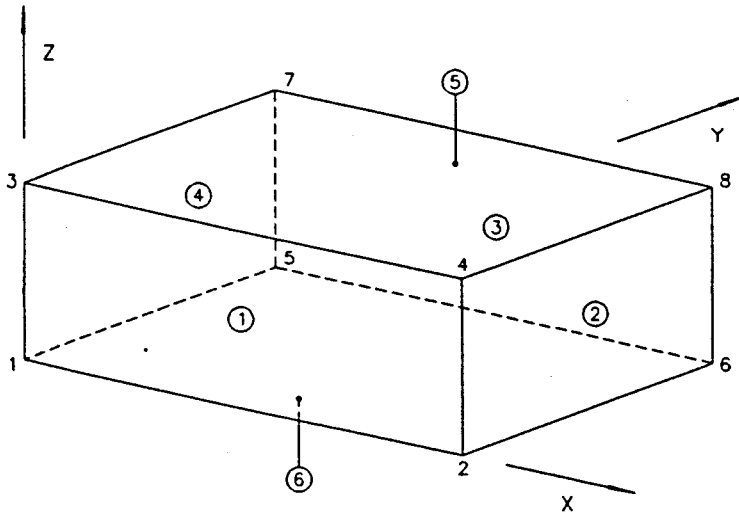
- isolamento exterior em poliestireno expandido com 2 cm em paredes e 3 cm no pavimento e tecto;
- 'janela' em vidro simples, incolor, com 4 mm de espessura.

A este propósito importa esclarecer que o modelo assim concebido não pretende traduzir uma construção tradicional nem ser um fiel cumpridor do RCCTE (a sua aplicação verifica-se quase apenas no isolamento definido para a envolvente exterior). Trata-se aqui de analisar os fenómenos em si mesmos e não «à luz» da regulamentação existente. Contudo, espera-se que dos resultados obtidos se justifiquem naturalmente algumas regras estipuladas, bem como as preocupações e estudos dominantes nesta área.

No programa ESP a caracterização termofísica dos elementos da construção efectua-se de forma exaustiva para cada uma das superfícies antes definidas. Os dados necessários para uma dada 'superfície' são a sua absorção e emissividade (da face interior e da exterior), o número de camadas que inclui e, por camada, a sua espessura, conductibilidade, densidade e calor específico. Esta informação é reunida no ficheiro de construção. Os envidraçados têm ainda uma caracterização adicional (ficheiro .tmc) constituída pelos valores da transmissão e absorção da radiação solar para os ângulos de incidência de 0, 40, 55, 70 e 80°, em que a direcção de referência é a da normal ao plano do envidraçado. A porta é simplesmente definida pelo seu coeficiente de transmissão térmica.

Os parâmetros referidos foram utilizados nas simulações com os valores-base do quadro 4 [22,29,43]. A análise do efeito de diferentes variáveis obrigou, em determinados casos, a modificações pontuais que serão adiante especificadas.

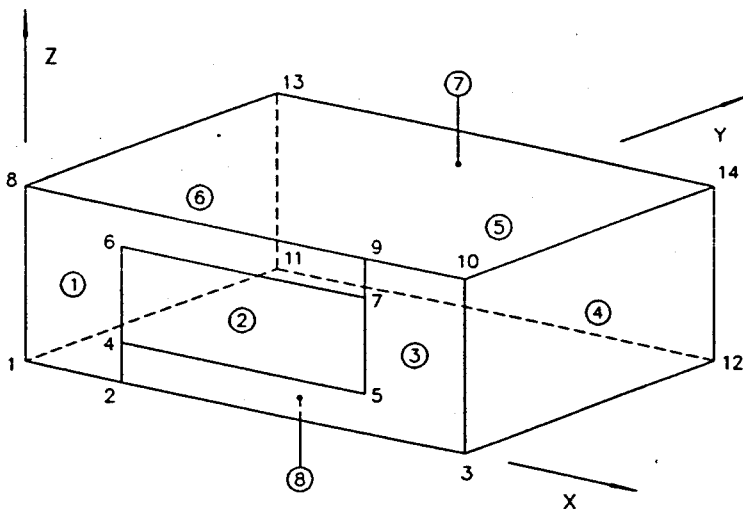
Módulo 1



| faces | vértices |
|-------|----------|
| ① | 1 2 4 3 |
| ② | 2 6 8 4 |
| ③ | 6 5 7 8 |
| ④ | 5 1 3 7 |
| ⑤ | 3 4 8 7 |
| ⑥ | 5 6 2 1 |

Fig.23 - Caracterização geométrica.
Fases e vértices no módulo 1.

Módulo 2



| faces | vértices |
|-------|----------------|
| ① | 1 2 4 6 7 9 8 |
| ② | 4 5 7 6 |
| ③ | 2 3 10 9 7 5 4 |
| ④ | 3 12 14 10 |
| ⑤ | 12 11 13 14 |
| ⑥ | 11 1 8 13 |
| ⑦ | 8 9 10 14 13 |
| ⑧ | 11 12 3 2 1 |

Fig.24 - Caracterização geométrica.
Fases e vértices no módulo 2.

Quadro 4
Caracterização termofísica dos elementos de construção

dados para o ficheiro de construção

| material | conductibilidade (W/m.C) | densidade (Kg/m3) | calor específico (J/Kg.C) |
|-------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------------|
| betão | 1.75 | 2400 | 920 |
| poliestireno exp. | 0.04 | 15 | 1400 |
| vidro | 1.10 | 2700 | 1800 |

| elemento | emissividade int. | emissividade ext. | absorção int. | absorção ext. |
|------------------|-------------------|-------------------|---------------|---------------|
| paredes | 0.90 | 0.90 | 0.60 | 0.60 |
| cobertura e pav. | 0.90 | 0.00 | 0.60 | 0.00 |
| envidraçado | 0.84 | 0.84 | - | - |

| | transmissão (W/m2.C) |
|---------------------------------------|-------------------------|
| porta em madeira de pinho com 0.035 m | 2.54 |

dados para o ficheiro de caracterização adicional dos envidraçados

| ângulo de incidência | 0 | 40 | 55 | 70 | 80 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| transmissão | 0.850 | 0.835 | 0.795 | 0.652 | 0.399 |
| absorção | 0.074 | 0.082 | 0.087 | 0.092 | 0.090 |

Ainda nos dados gerais relativos à construção contam-se os ganhos internos e as infiltrações definidos através de um ficheiro de operação. Neste aspecto adoptaram-se os valores propostos no modelo de referência efectuando apenas um pequeno ajuste no número de renovações por hora (RPH). As condições aplicadas são as que se apresentam no quadro 5.

dados para o ficheiro de operação

infiltrações: 0.6 RPH, constante para todos os dias e das 0 às 24 horas.

ganhos internos: ocupação humana com produção de 400 W/hora em calor sensível, transmitido por convecção; constante também ao longo do tempo.

Quadro 5 - Caracterização operativa (infiltrações e ocupação)

Para concluir a caracterização geral falta ainda considerar os factores locais e os dados climáticos.

Os factores locais constam do ficheiro de configuração e incluem a latitude e longitude do lugar, o tipo de exposição e a reflexão local ('albedo'). O tipo de exposição define-se através de um índice pelo qual o programa selecciona factores de forma para o céu, solo e edificações. Os valores utilizados são os que figuram no quadro 6.

Relativamente a dados climáticos foram já descritos os elementos necessários (v. capítulo 3). Nas simulações utilizou-se informação procedente do trabalho desenvolvido pelo INMG e LNEC no âmbito da caracterização do clima em Portugal para estudos em edifícios. Os dados no momento disponíveis limitavam-se à cidade de

Lisboa e consistiam em valores horários de uma extensa lista de parâmetros (em número e organização diferentes das do programa ESP) condensados num ficheiro designado por 'TRY536.DAD'. Os elementos aqui incluídos formam um «ano climático de referência» e foram obtidos com base em observações efectuadas de 1978 a 1987.

dados para o ficheiro de configuração

local: Lisboa

latitude: 38.7° (a norte do equador)

longitude: -9.1° (a oeste do meridiano do Greenwich)

tipo de exposição: 2 (normal, característica de zona urbana)

reflexão local: 0.2

Quadro 6 - Caracterização de factores locais

Pelas diferenças assinaladas entre este registo e o ficheiro-tipo do ESP (.clm) elaborou-se um pequeno programa que permitiu a selecção dos dados climáticos necessários às simulações (reunidos, naturalmente também, na forma de ficheiro a que se deu o nome de 'LISBOA.DAT').

Em anexo inclui-se o programa referido e um excerto dos resultados obtidos (estrutura típica do ficheiro climático com que lida o ESP). Ainda aí faz-se uma breve caracterização do 'clima utilizado' sobretudo para o período que respeita à estação quente (para efeitos deste estudo simplificada considerada com extensão de Junho a Setembro, em quatro meses completos).

4.2.2. - Análise paramétrica. Critérios específicos.

A par com a variação de área de envidraçado foram analisados outros parâmetros para os quais se arbitraram também alguns cenários possíveis. Não se efectuou qualquer combinação de efeitos, isto é, a modificação simultânea de mais do que um parâmetro, pelo número de variáveis a estudar e pela intenção de obter resultados claros em legibilidade e interpretação.

Os parâmetros utilizados têm diferentes graus de relacionamento com os envidraçados - alguns com uma relação estreita e óbvia, outros aparentemente com fraca ou mesmo nenhuma afinidade com eles. Não subestimando eventuais implicações entre estes últimos e os envidraçados e aproveitando a oportunidade para, simultaneamente, analisar a influência de vários factores sobre o comportamento térmico de edifícios no Verão, definiram-se as seguintes variáveis de estudo:

1. área de envidraçado
2. orientação da construção e dos envidraçados
3. distribuição de envidraçados pela envolvente
4. isolamento térmico dos elementos opacos
5. inércia da construção
6. côr das superfícies exteriores
7. vidro / tipo e espessura
8. ventilação natural
9. sombreamento dos vãos
10. volumetria da construção

Com base nos módulos e condições gerais atrás definidos desenvolveram-se simulações segundo cada um destes aspectos com as particularidades e modificações que, sumariamente, se passa a descrever.

1. Área de envidraçado

Conforme anteriormente exposto definiram-se sete casos possíveis utilizando como referência a relação A_v/A_p . Foi já sublinhado que, numa certa gama de valores (0 a 30% com incrementos de 5%), este parâmetro se mantém como constante ao longo do estudo. Haverá no entanto algumas situações em que, por razões diversas, se impõe a análise de um só caso. Nessas circunstâncias o valor adoptado é o de 15% para A_v/A_p , não só por constituir um ponto médio no intervalo arbitrado como também por se tratar de uma condição-fronteira na «satisfação automática» do RCCTE [3].

2. Orientação da construção e dos envidraçados

Mantendo a disposição do envidraçado numa só fachada efectuaram-se várias rotações sobre o módulo-base, inicialmente voltado a Sul, de forma a simular duas orientações da construção (caracterizadas pela direcção do seu eixo principal) e a exposição do envidraçado a Norte, Sul, Nascente e Poente.

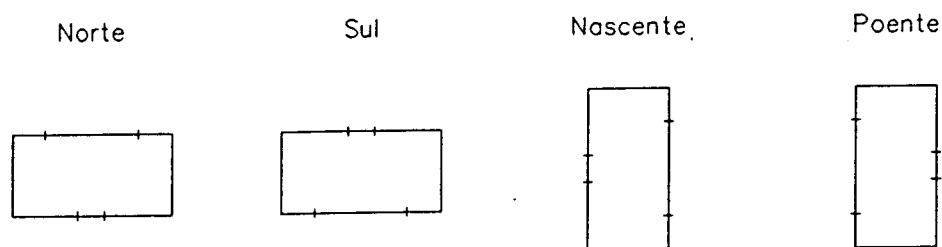


Fig.25 - Efeito da orientação. Esquemas justificativos.

3. Distribuição de envidraçados pela envolvente

Detalhando a análise do item anterior toma-se aqui apenas o caso $A_v/A_p=15\%$ e estudam-se várias combinações de distribuição do envidraçado pelas diferentes fachadas. A fim de proceder mais livremente àquela distribuição, não se considerou qualquer porta na elaboração dos ficheiros geométricos. A fig.26 resume e 'explica' as combinações adoptadas.

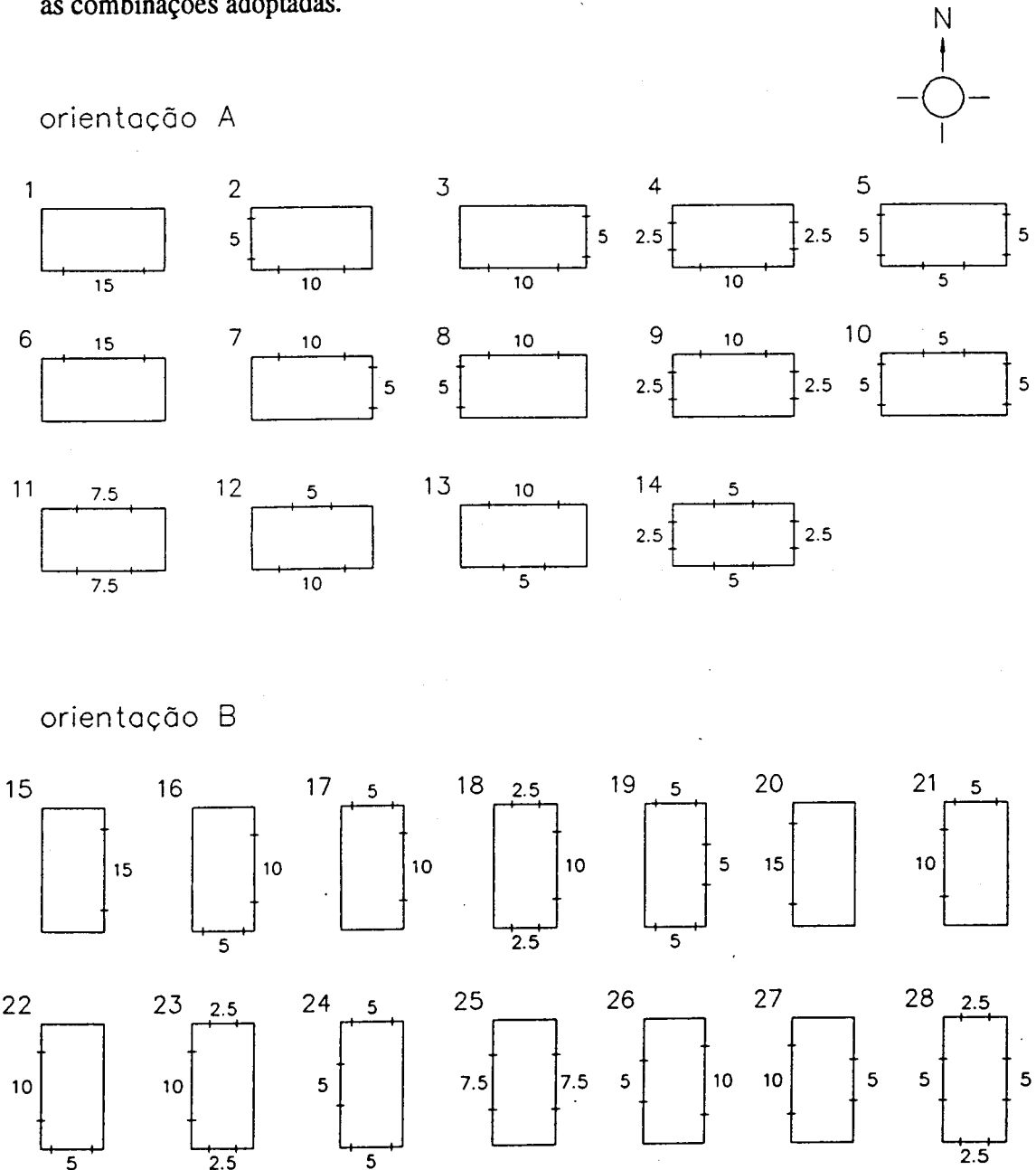


Fig.26 - Efeito da distribuição de envidraçados. Esquemas justificativos.

4. Isolamento térmico dos elementos opacos

Recorde-se que as paredes, o pavimento e a cobertura foram definidos como elementos de betão revestidos a poliestireno pela sua face exterior. Juntamente com esta situação estudam-se agora três outros casos com envidraçado a Sul e diferente nível de isolamento dos elementos opacos. Num desses casos eliminou-se o isolamento em poliestireno enquanto nos outros ele foi reforçado por aumento da sua espessura. As hipóteses K2, K3 e K4 procuram corresponder, aproximadamente, aos valores de referência estipulados no RCCTE para os coeficientes de transmissão térmica de elementos verticais e horizontais de edifícios situados nas zonas climáticas I1, I2 e I3 respectivamente [3,29].

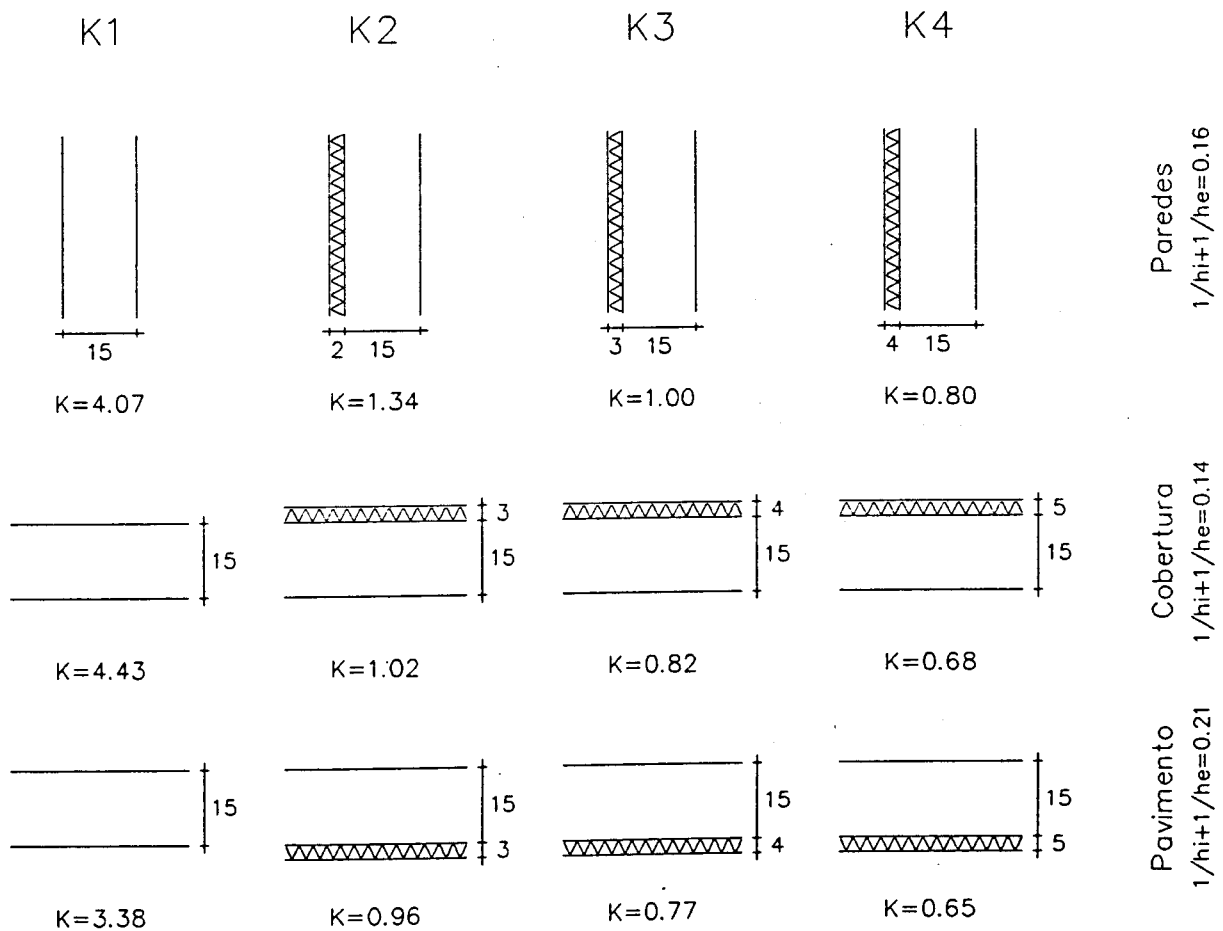


Fig.27 - Efeito do isolamento térmico. Esquemas justificativos.

5. Inércia da construção

Para apreciação deste efeito procedeu-se ao estudo de cinco casos diferentes. A hipótese I2 reflecte as condições gerais que foram modificadas do seguinte modo:

- em I1 passa-se o isolamento em poliestireno para o lado interior;
- com I3, I4 e I5 apenas se actua sobre a espessura dos elementos de betão (de notar que nestas hipóteses, dada a elevada conductibilidade do betão, o valor de K em pouco se altera o que proporciona um estudo da inércia sob condições quase constantes de isolamento térmico).

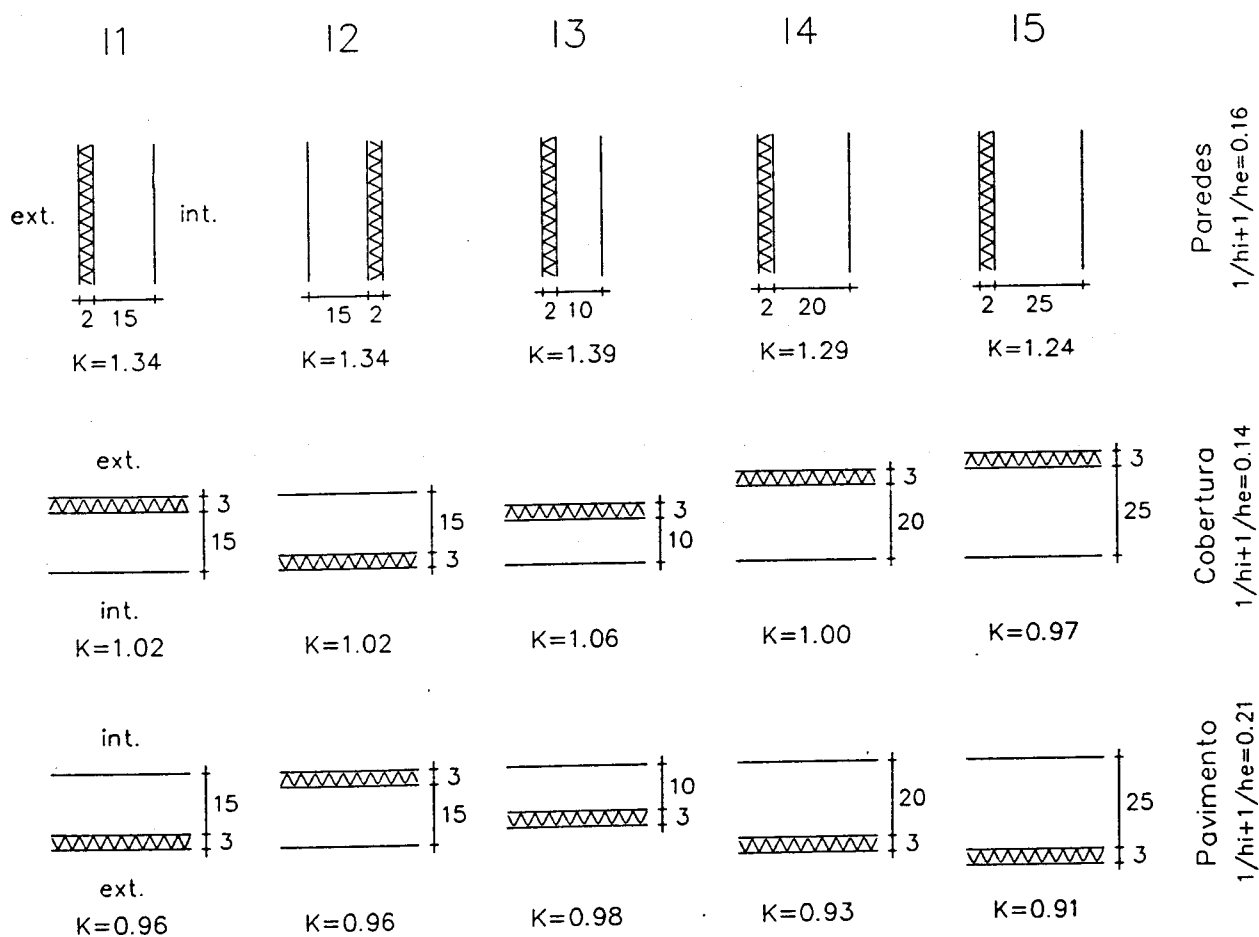


Fig.28 - Efeito da inércia. Esquemas justificativos.

6. Côr das superfícies exteriores

Sob esta simples designação pretende-se na verdade estudar o efeito da absorção solar o que envolve não só a côr mas também outros factores como a polidez e a rugosidade das superfícies. Se se atender, nas condições gerais, aos dados do ficheiro de construção verifica-se que foi definido um coeficiente de absorção solar (α) de 0.60 para todas as superfícies interiores e para as exteriores verticais. Nesta simulação tomam-se mais quatro hipóteses que diferem da inicial apenas no valor do α da face exterior das paredes.

$$\alpha_1 = 0.30$$

$$\alpha_2 = 0.45$$

$$\alpha_3 = 0.60$$

$$\alpha_4 = 0.75$$

$$\alpha_5 = 0.90$$

Quadro 7 - Hipóteses para o coeficiente de absorção da face exterior das paredes

7. Vidro / tipo e espessura

A este propósito analisa-se o efeito de vidros simples ou duplos, em várias espessuras e com diferentes propriedades de reflexão / absorção. As hipóteses consideradas baseiam-se em produtos de fabrico nacional descritos em literatura da especialidade [32]. O quadro 8 apresenta os casos estudados, remetendo-se para o anexo III a pormenorização das respectivas características de transmissão e absorção e do seu 'input' no programa ESP.

Quadro 8
Efeito do vidro / discriminação dos casos analisados

VIDROS SIMPLES (VS)

VS1, incolor, 4 mm.

VS2, idem, 6 mm.

VS3, idem, 8 mm.

VS4, idem, 10 mm.

VS5, bronze, 4mm.

VS6, idem, 6 mm.

VS7, idem, 8 mm.

VS9, antélio bronze, 6 mm; material reflectante na face interior.

VS10, idem; material reflectante na face exterior.

VS11, reflectasol, 6 mm.

VIDROS DUPLOS (VD)

VD1, incolor 4 mm + cx ar 6 mm + incolor 4 mm.

VD2, incolor 6 mm + cx ar 6 mm + incolor 6 mm.

VD3, bronze 4 mm + cx ar 6 mm + incolor 4 mm.

VD4, bronze 6 mm + cx ar 6 mm + incolor 6 mm.

VD5, antélio bronze, reflectante na face int., 6 mm + cx ar 6 mm + incolor 6 mm.

VD6, antélio bronze, reflectante na face ext., 6 mm + cx ar 6 mm + incolor 6 mm.

VD7, reflectasol 6 mm + cx ar 6 mm + incolor 6 mm.

8. Ventilação natural

Aqui aprecia-se a influência da ventilação natural sobre as condições térmicas interiores. Esta análise processa-se de forma relativamente simples modificando, no ficheiro de operação, as taxas de renovação de ar e os períodos em que se verificam. As estratégias definidas são as que constam do quadro 9.

| | 0 - 8 h | 8 - 20 h | 20 - 24 h |
|------|---------|----------|-----------|
| VTL1 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| VTL2 | 5 | 5 | 5 |
| VTL3 | 10 | 10 | 10 |
| VTL4 | 5 | 0.6 | 5 |
| VTL5 | 10 | 0.6 | 10 |
| VTL6 | 10 | 5 | 10 |

Quadro 9 - Efeito da ventilação natural.
Taxas de renovação horária.

9. Sombreamento dos vãos

Limitando o estudo ao caso $A_v/A_p=15\%$ definem-se quatro hipóteses de sombreamento do envidraçado que, repita-se, se encontra orientado a Sul. Para este efeito acrescentaram-se ao módulo-base alguns dispositivos de sombreamento (pálas horizontais e verticais) cuja descrição se faz através de um ficheiro do tipo '.obs' (dados relativos à geometria e posicionamento de obstáculos exteriores). Com esta informação o ESP calcula factores de sombreamento da superfície envidraçada. Para cada mês toma o dia de declinação solar média como representativo do período inteiro. Aqueles factores são valores horários que, para a superfície definida, traduzem a

percentagem de área em sombra [41]. Deste modo estabeleceram-se as condições para simular as quatro hipóteses consideradas, cujos principais critérios e características se expressam no quadro seguinte.

SBR1: sem qualquer sombreamento.

SBR2: sombreamento total às 12 h de 24 de Julho

(pála horizontal com projecção exterior de 0.60 m).

SBR3: sombreamento total às 12 h de 28 de Agosto

(pála horizontal de 1.00 m e pála vertical disposta a poente com largura também de 1.00 m e a toda a altura do envidraçado).

SBR4: sombreamento total às 12 h de 21 de Setembro

(pálas horizontal e vertical de características semelhantes às do caso anterior mas com largura de 1.40 m).

Quadro 10 - Efeito do sombreamento dos vãos.
Critérios e características das hipóteses em estudo.

Obs.: a pormenorização destes casos e a justificação para o dimensionamento das pálas constam do anexo III.

10. Volumetria da construção

Este parâmetro tem como principal objectivo aferir a sensibilidade dos resultados às dimensões do módulo adoptado. Mais uma vez estuda-se apenas um 'caso A_v/A_p ' fixando o seu valor em 15% enquanto se modifica o módulo nas dimensões em planta. Para que aquela relação se mantenha constante é naturalmente necessário variar também, em igual proporção, a área do elemento envidraçado. Com base nisto construíram-se mais sete módulos, ampliados ou reduzidos relativamente ao de referência, que se caracterizam conforme exposto no quadro 11.

| | A_n / A_{ref} (%) | área (m ²) | dimensões (m x m) |
|-----|------------------------|---------------------------|----------------------|
| AP1 | 25 | 24 | 6 x 4 |
| AP2 | 50 | 48 | 8.49 x 5.66 |
| AP3 | 75 | 72 | 10.39 x 6.93 |
| AP4 | 100 | 96 | 12 x 8 |
| AP5 | 125 | 120 | 13.42 x 8.94 |
| AP6 | 150 | 144 | 14.70 x 9.80 |
| AP7 | 175 | 168 | 15.88 x 10.58 |
| AP8 | 200 | 192 | 16.97 x 11.31 |

Quadro 11 - Efeito da volumetria.
Caracterização dos modelos estudados.

Capítulo 5

ANÁLISE DE RESULTADOS

5. - ANÁLISE DE RESULTADOS

Das simulações efectuadas e anteriormente caracterizadas extraíram-se valores da temperatura resultante interior que faz a ponderação (normalmente em partes iguais) da temperatura do ar e da temperatura média radiante. O programa ESP permite utilizar directamente aquele parâmetro e oferece diferentes possibilidades para análise do seu valor. Neste estudo recorreu-se exclusivamente às duas vias que se expõem na figura seguinte.

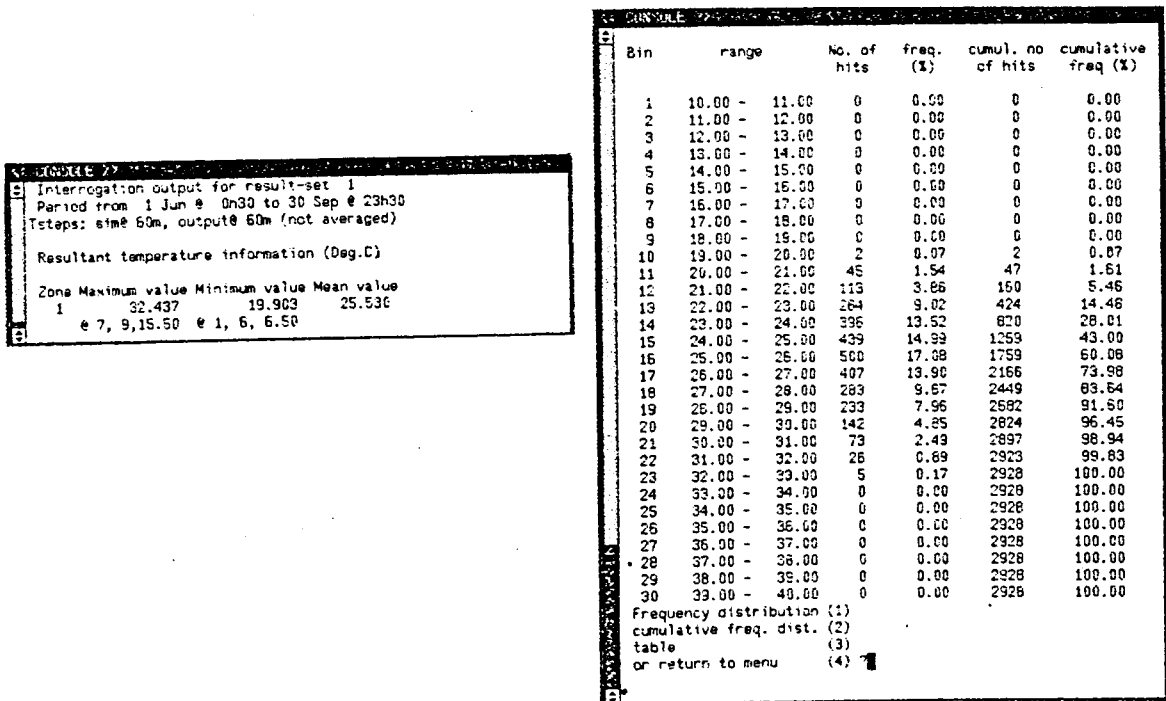


Fig.29 - Obtenção de resultados no programa ESP

Em cada simulação recolheu-se o valor médio, o máximo e o mínimo da temperatura resultante interior bem como o seu registo de frequências para determinado período definido (em regra todo o intervalo de Junho a Setembro). A partir daquele registo calculou-se, manualmente, o valor de um outro parâmetro aqui designado por 'graus-horas de desconforto' (GHD 24).

Este novo dado foi proposto como um índice de avaliação do desconforto no período de Verão [48] e, basicamente, quantifica a temperatura e o tempo em que se excede um valor de referência tido por conveniente ou aceitável. Para definição da temperatura de referência é sugerido tomá-la em função da temperatura média exterior utilizando, para isso, a seguinte expressão:

$$T_{ref} = 17.6 + 0.31 T_{ext} \quad (7)$$

Adoptando este esquema determinou-se T_{ext} com base nos dados climáticos de Junho a Setembro e daí o valor de referência T_{ref} que resultou, arredondadamente, em 24 °C. Posto isto desenvolveu-se o cálculo de GHD 24 conforme se evidencia na expressão (8):

$$GHD\ 24 = h_{25}x1 + h_{26}x2 + + h_n x(n-24) \quad (8)$$

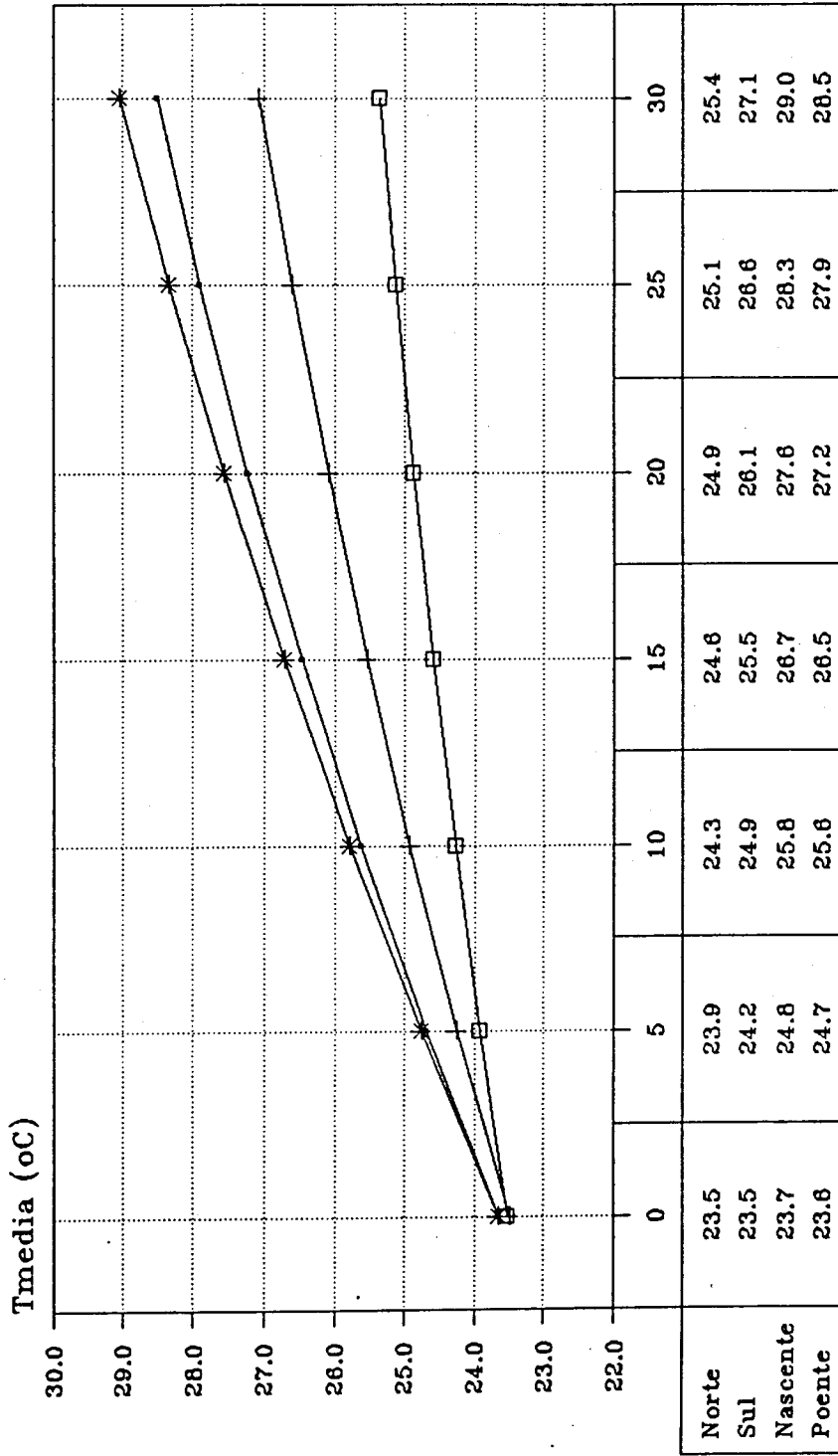
h_n , n° de horas em que se registam temperaturas entre (n-1) e (n).

Para temperatura de referência poderia ser tomado um valor mais elevado correspondente a uma situação menos exigente mas ainda aceitável (eventualmente o valor de 26 °C proposto pela ISO como limite aconselhável [49]). Considerou-se que, para efeitos deste estudo, não se justificava distinguir o 'ideal' do 'aceitável' até porque, face a bons resultados (sobreaquecimento reduzido), a segunda hipótese (T_{ref} de 26 °C) poder-se-ia apresentar pouco expressiva.

Por sistematização do trabalho e para maior facilidade de interpretação faz-se a análise separada das variáveis estudadas. Para cada uma são expostos os resultados obtidos condensando-se no final os comentários e justificações dos aspectos mais relevantes.

5.1. - ORIENTAÇÃO DA CONSTRUÇÃO E DOS ENVIDRAÇADOS

Efeito da orientação do envidracado Jun/Set

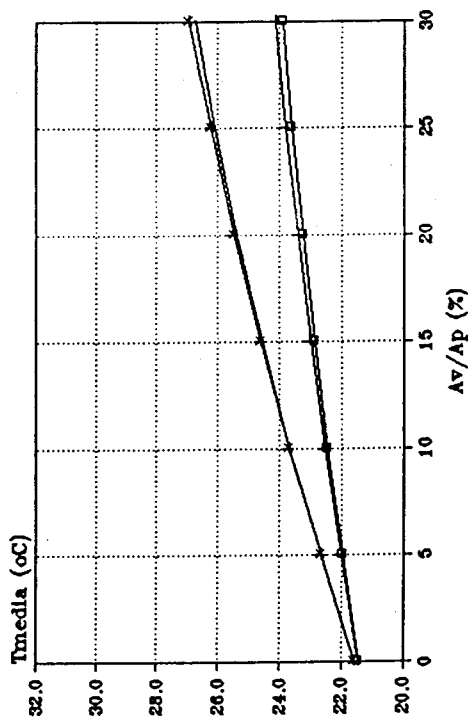


AV/AP (%)

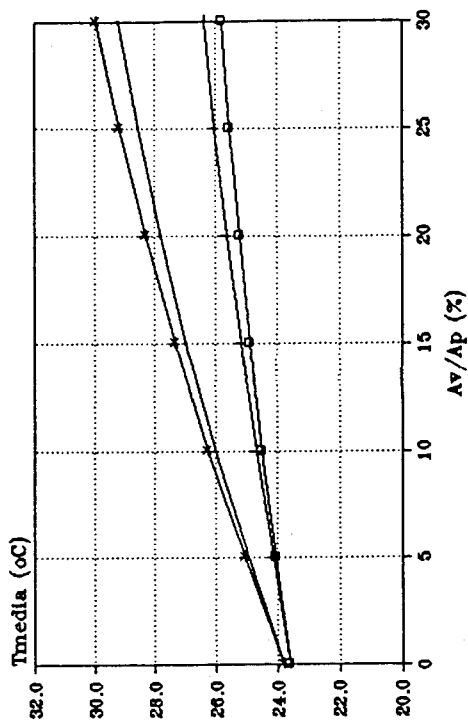


Fig.30 - Efeito da orientação do envidracado.
Temperatura média no período de Junho a Setembro.

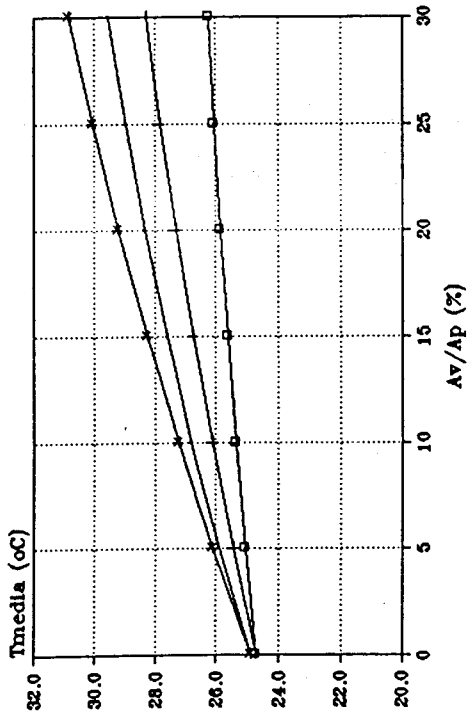
Junho



Julho



Agosto



Setembro

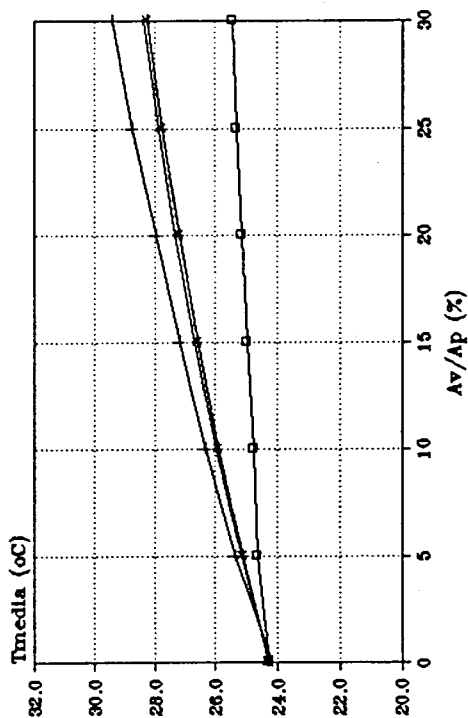


Fig.31 - Efeito da orientação do envidraçado.
Temperatura média mensal.

Efeito da orientacao do envidracado Jun/Set

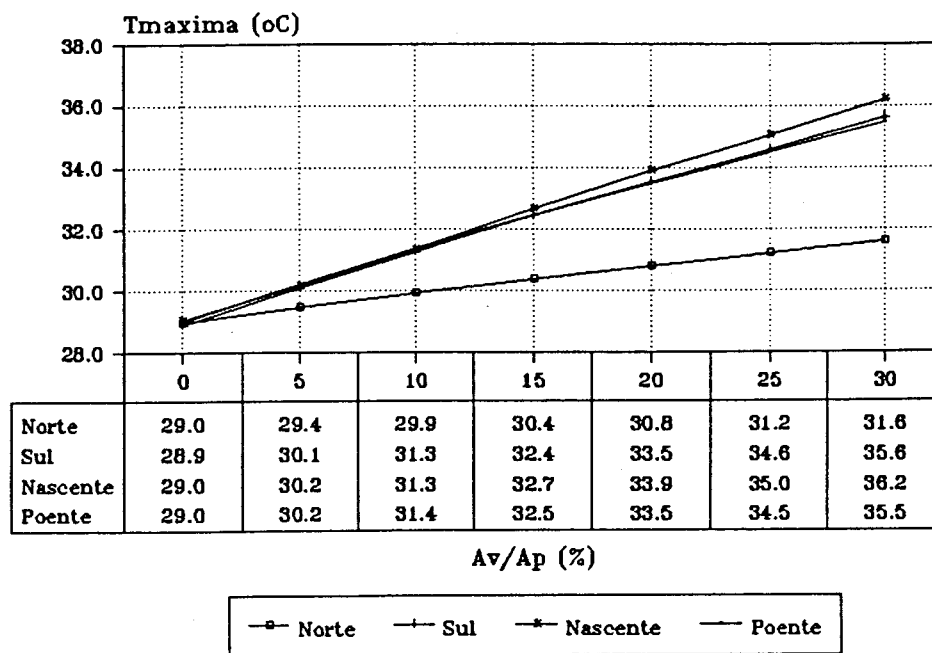


Fig.32 - Efeito da orientação do envidraçado.
Temperatura máxima no período de Junho a Setembro.

Efeito da orientacao do envidracado Jun/Set

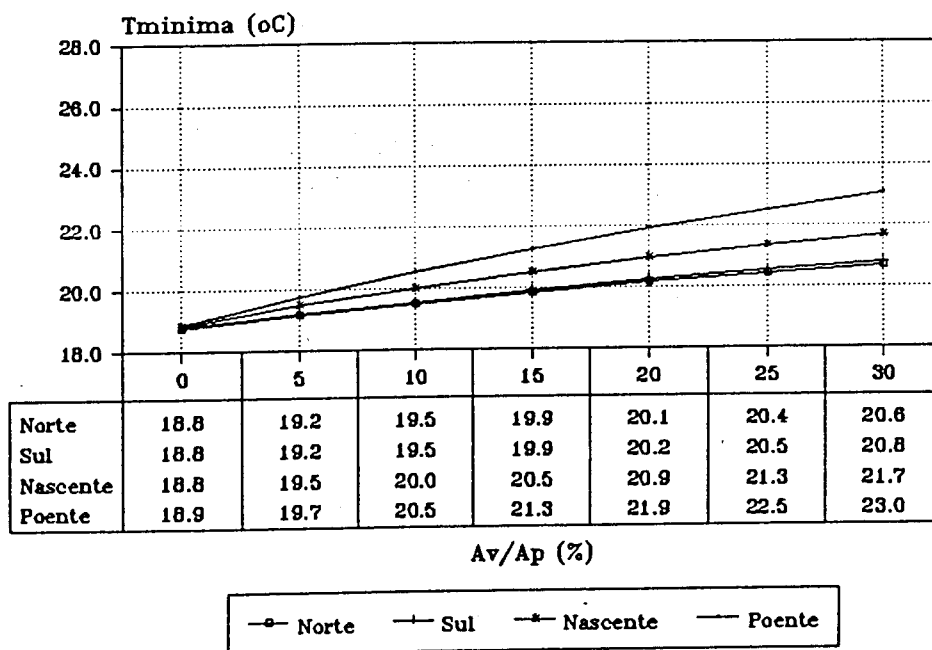
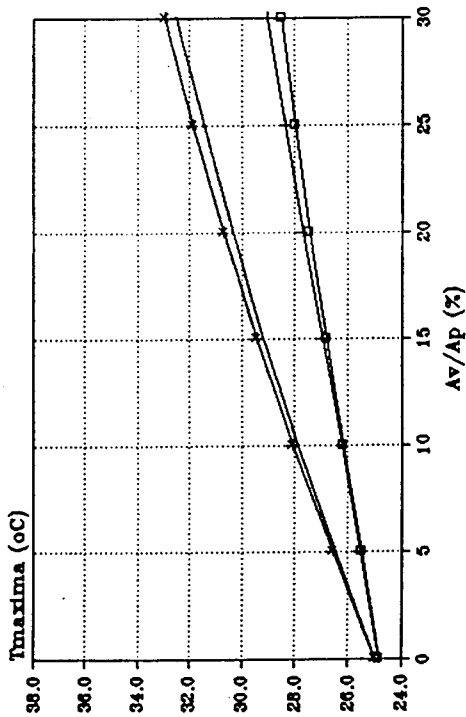
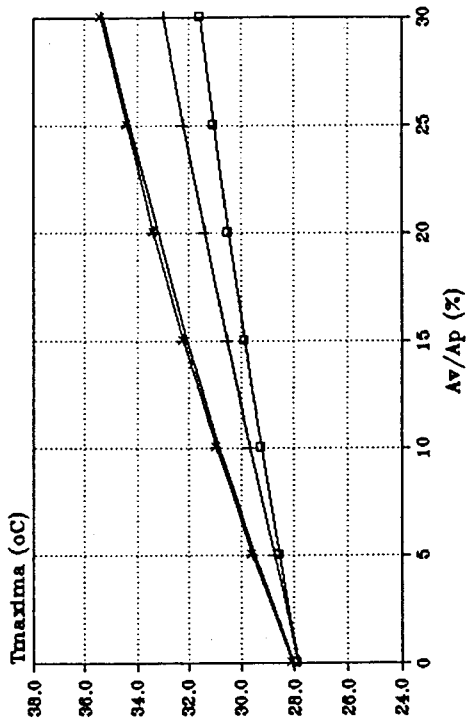


Fig.33 - Efeito da orientação do envidraçado.
Temperatura mínima no período de Junho a Setembro.

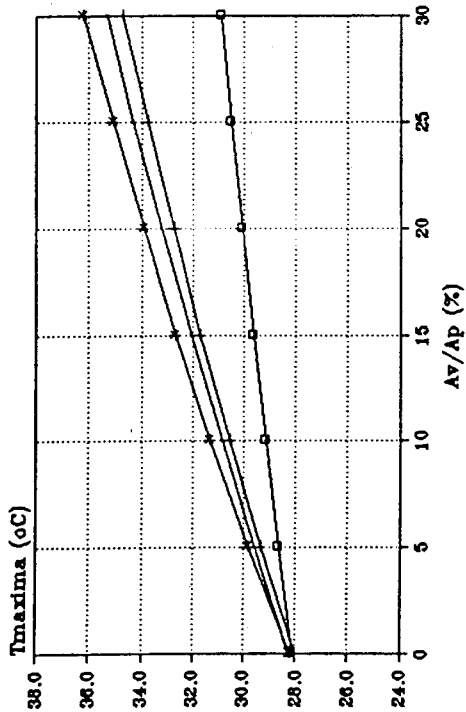
Junho



Julho



Agosto



Setembro

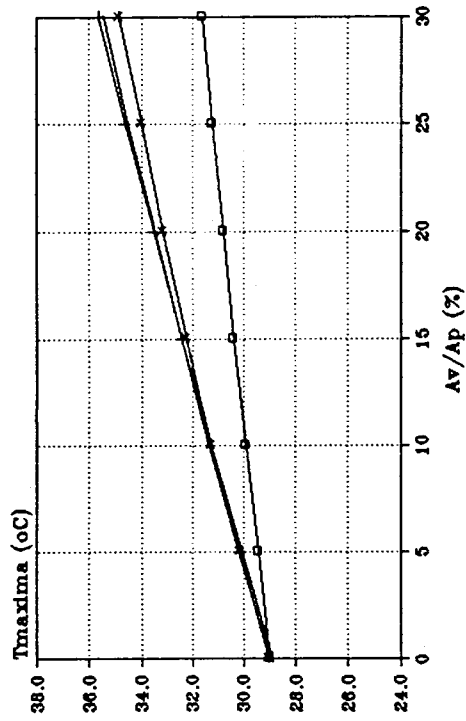
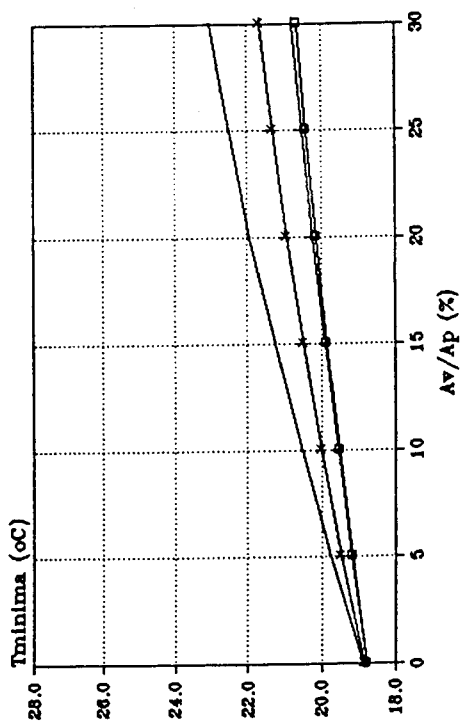
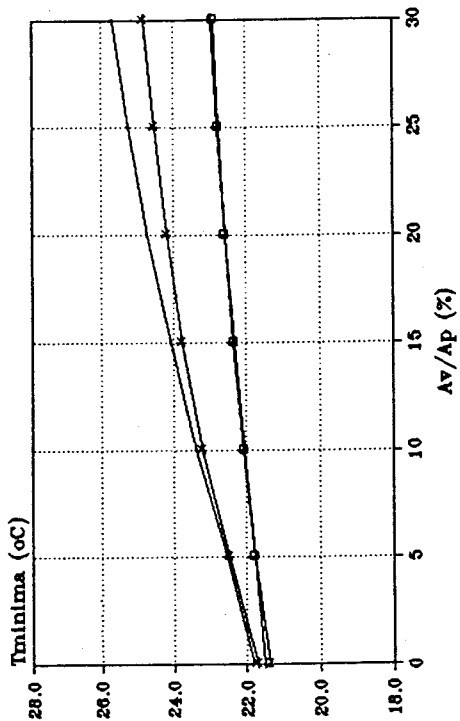


Fig.34 - Efeito da orientação do envidraçado.
Temperatura máxima mensal.

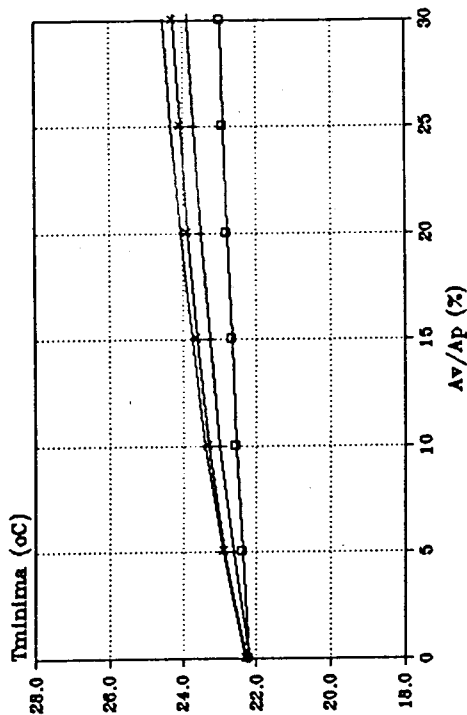
Junho



Julho



Agosto



Setembro

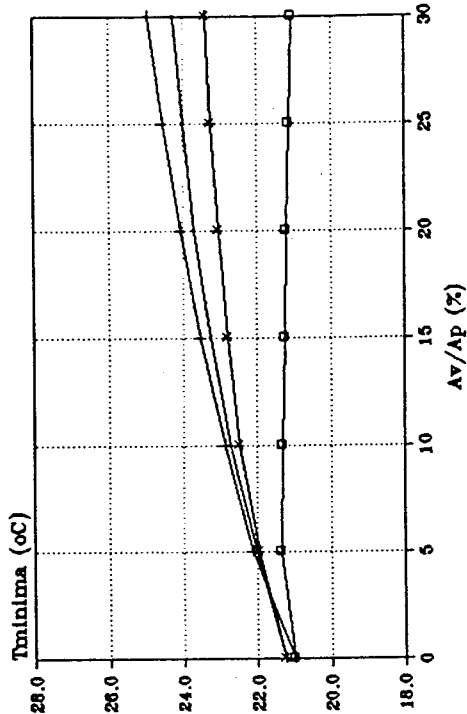


Fig.35 - Efeito da orientação do envidraçado. Temperatura mínima mensal.

Efeito da orientacao do envidracado
Jun/Set

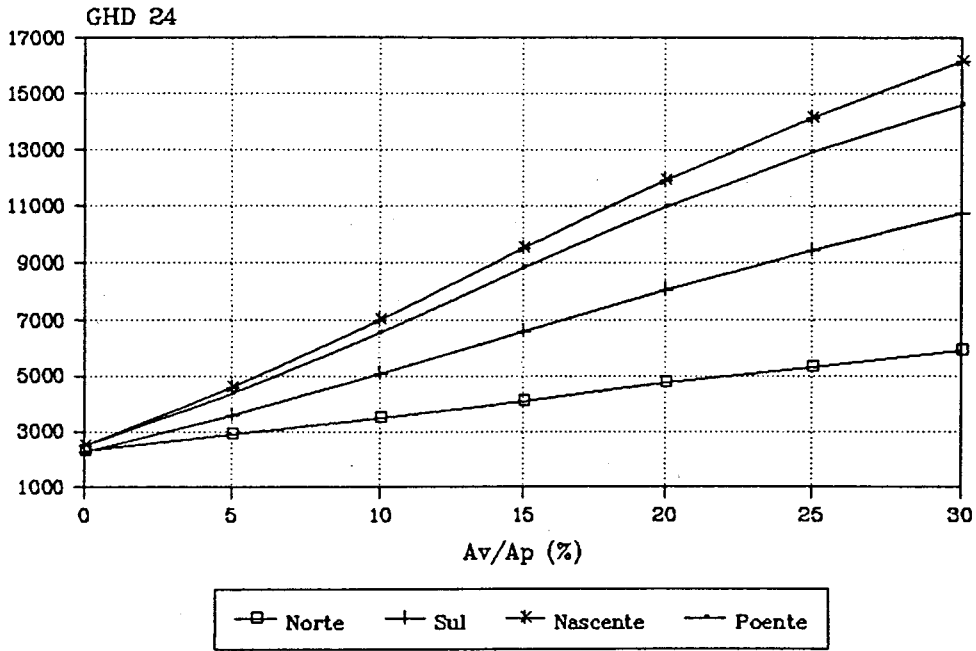


Fig.36 - Efeito da orientação do envidraçado.
Graus-horas de desconforto no período de Junho a Setembro.

Efeito da orientacao do envidracado
Jun/Set

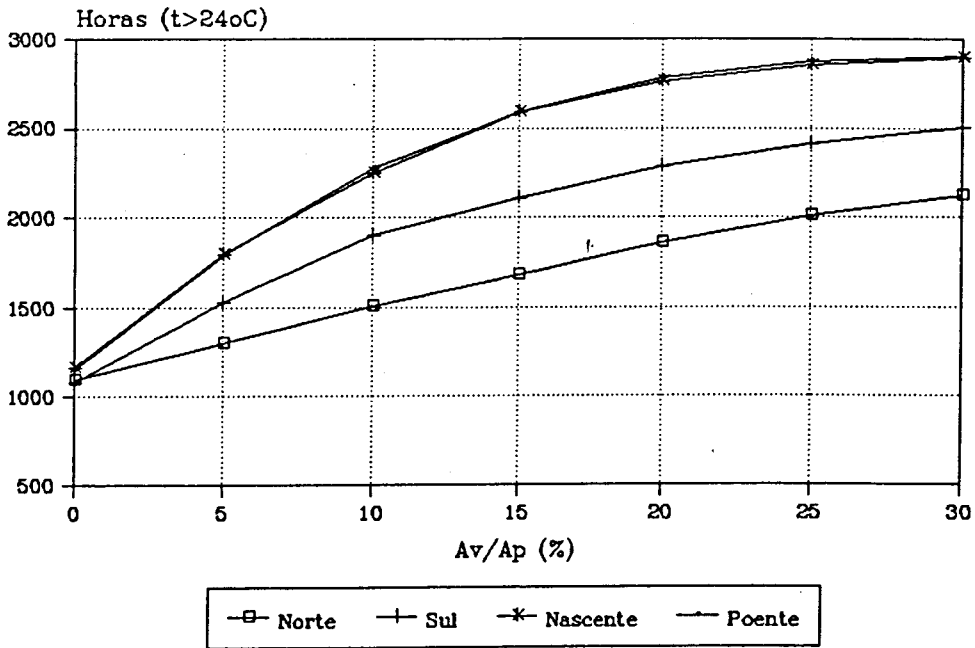
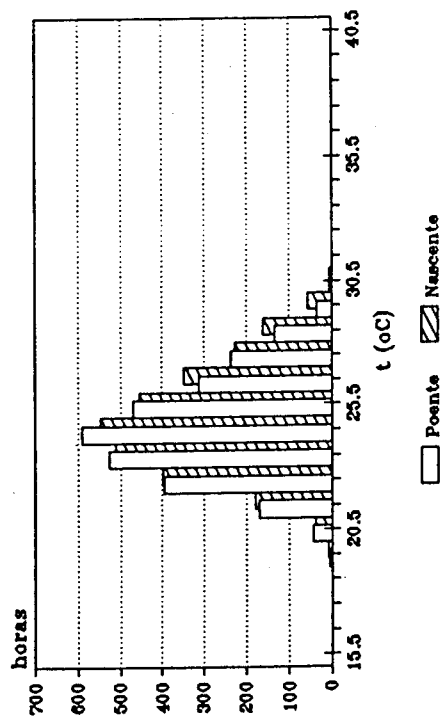
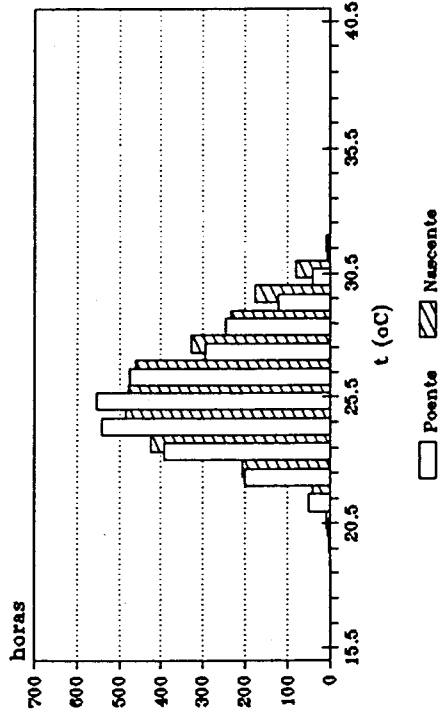


Fig.37 - Efeito da orientação do envidraçado.
Horas de sobreaquecimento no período de Junho a Setembro.

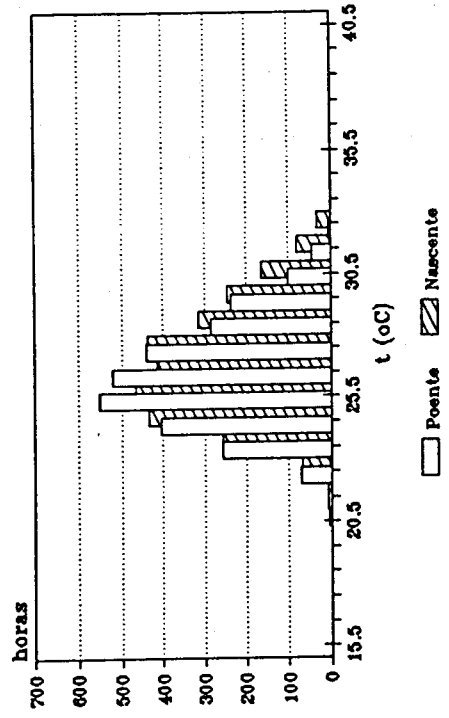
$AV/Ap=0.05$



$AV/Ap=0.10$



$AV/Ap=0.15$



$AV/Ap=0.30$

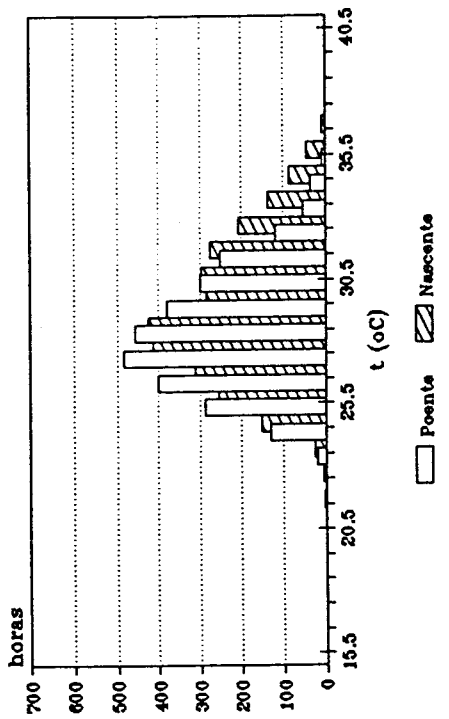


Fig.38 - Efeito da orientação do envidraçado. Frequências de temperatura para os casos de orientação Nascente e Poente.

Em face dos resultados expostos observa-se que:

- no conjunto dos quatro meses, os casos com envidraçado virado a Nascente ou a Poente são bastante mais desfavoráveis que os restantes; no edifício analisado, que não possui qualquer tipo de sombreamento, pode registar-se um sobreaquecimento médio de 3 °C devido à existência daqueles envidraçados;
- a orientação Norte é a que conduz a um menor sobreaquecimento (1 °C ou menos em casos correntes); o seu 'pico' verifica-se em Junho e a sua grandeza diminui ao longo da estação quente;
- o envidraçado a Sul tem comportamento oposto ao do envidraçado a Norte pois conhece o seu mínimo em Junho e o seu máximo em Setembro; neste mês, no entanto, ele manifesta-se como o pior de todos os casos considerados;
- independentemente da orientação, as temperaturas mínimas ocorrem todas em Junho; as máximas, porém, dão-se em diferentes meses para as várias orientações - salvo o caso a Norte, os valores atingidos são, apesar de tudo, praticamente iguais;
- a orientação Nascente apresenta-se ligeiramente mais gravosa que a Poente; este facto deve-se ao nível de isolamento térmico da envolvente - o mesmo estudo aplicado a um módulo semelhante, sem poliestireno, conduz a uma inversão de posições, evidenciando maior sobreaquecimento para Poente; aquela preponderância não é portanto generalizável e a sua justificação, estando relacionada com as características de isolamento térmico, far-se-á mais adiante;

- em contraste com as diferenças que se verificam entre Nascente e Poente (pelos parâmetros $T_{média}$ ou GHD) é de notar que o número de horas acima de $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ é quase igual num caso e noutro; pelos registos de frequência constata-se, no entanto, que a orientação Nascente tem incidência em temperaturas mais elevadas;
- a orientação da construção é importante mesmo sem a existência de envidraçados (caso $A_v/A_p=0$); sobretudo por análise de GHD, esboça-se já como preferível a orientação E-W para o seu eixo principal (valores de GHD de 2250 para os dois casos com eixo nessa orientação, contra 2470 nos restantes).

5.2. - DISTRIBUIÇÃO DE ENVIDRAÇADOS PELA ENVOLVENTE

Quadro 12

Efeito da distribuição de vãos envidraçados por diferentes fachadas
Resultados em GHD para combinações com Av/Ap=15%

| Comb. | Junho | Julho | Agosto | Setembro | Jun/Set |
|-------|-------|-------|--------|----------|---------|
| 1 | 220 | 1314 | 2446 | 2662 | 6642 |
| 2 | 362 | 1664 | 2598 | 2546 | 7170 |
| 3 | 360 | 1740 | 2752 | 2480 | 7332 |
| 4 | 351 | 1685 | 2655 | 2487 | 7178 |
| 5 | 525 | 2122 | 2932 | 2386 | 7965 |
| 6 | 204 | 1093 | 1612 | 1214 | 4123 |
| 7 | 330 | 1592 | 2201 | 1495 | 5618 |
| 8 | 334 | 1489 | 2019 | 1539 | 5381 |
| 9 | 327 | 1530 | 2103 | 1508 | 5468 |
| 10 | 513 | 2063 | 2649 | 1843 | 7068 |
| 11 | 188 | 1105 | 1900 | 1779 | 4972 |
| 12 | 194 | 1181 | 2050 | 2076 | 5501 |
| 13 | 190 | 1100 | 1807 | 1667 | 4764 |
| 14 | 292 | 1515 | 2280 | 1895 | 5982 |
| 15 | 897 | 2862 | 3586 | 2232 | 9577 |
| 16 | 548 | 2300 | 3176 | 2401 | 8425 |
| 17 | 535 | 2214 | 2874 | 1811 | 7434 |
| 18 | 531 | 2237 | 3013 | 2136 | 7917 |
| 19 | 305 | 1651 | 2456 | 1991 | 6403 |
| 20 | 886 | 2598 | 3074 | 2323 | 8881 |
| 21 | 547 | 2052 | 2518 | 1881 | 6998 |
| 22 | 576 | 2137 | 2833 | 2438 | 7984 |
| 23 | 547 | 2070 | 2650 | 2158 | 7425 |
| 24 | 325 | 1568 | 2280 | 1967 | 6140 |
| 25 | 829 | 2691 | 3285 | 2242 | 9047 |
| 26 | 845 | 2728 | 3380 | 2236 | 9189 |
| 27 | 843 | 2660 | 3196 | 2237 | 8936 |
| 28 | 509 | 2122 | 2816 | 2144 | 7591 |

Efeito da distribuição do envidracado Jun/Set

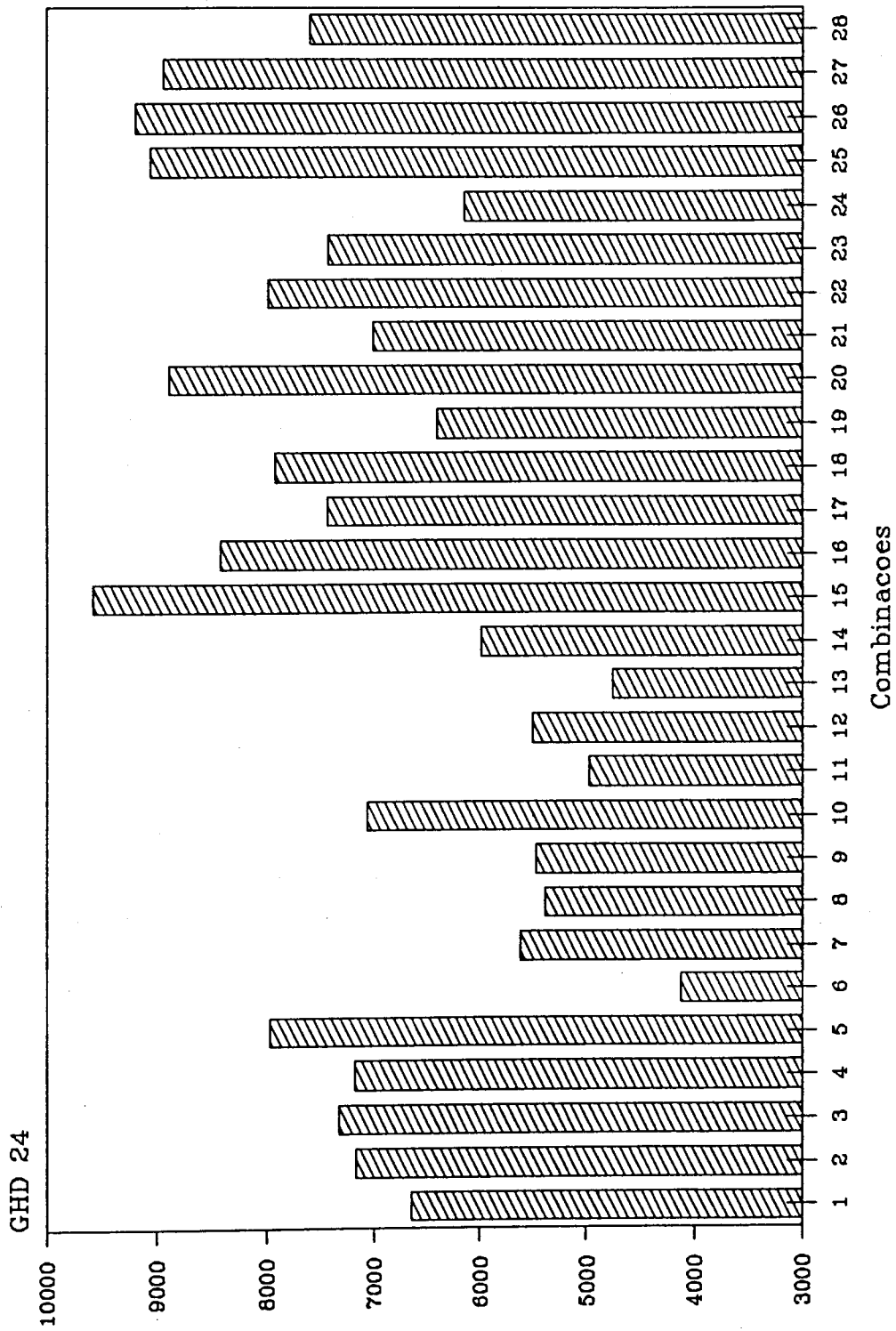
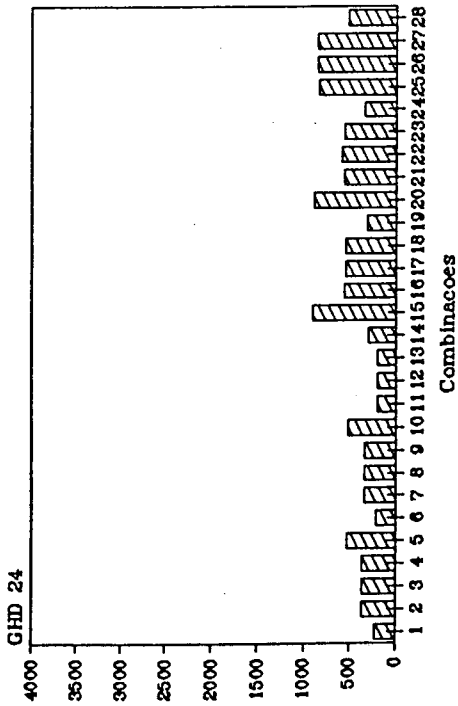
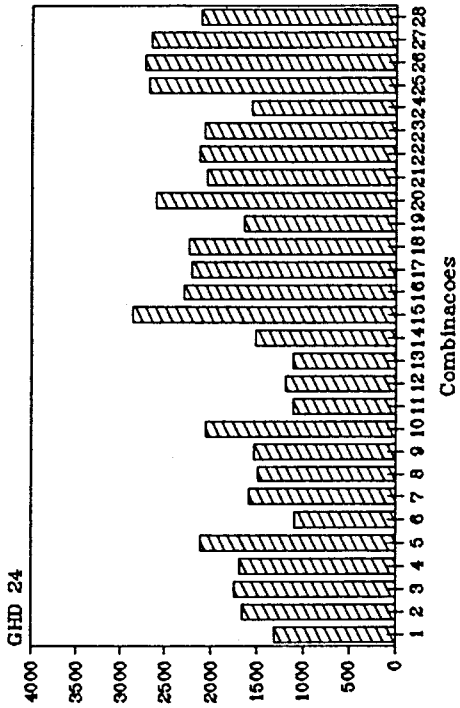


Fig.39 - Efeito da distribuição de envidracados.
Graus-horas de desconforto no período de Junho a Setembro.

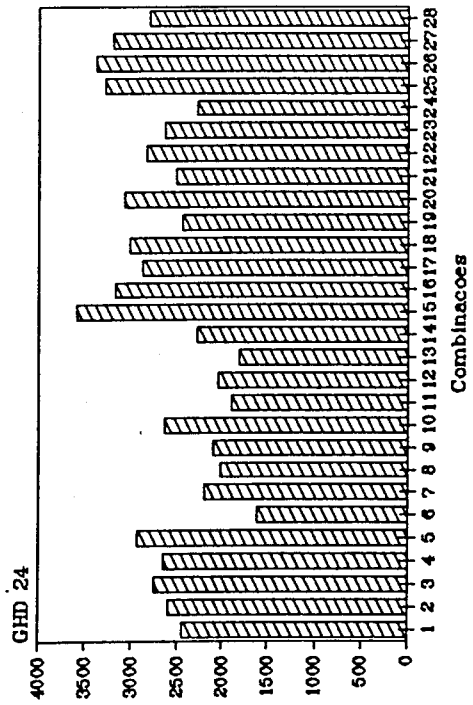
Junho



Julho



Agosto



Setembro

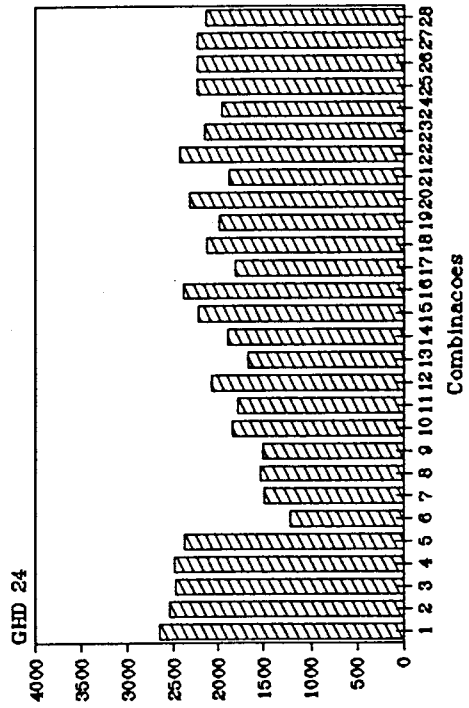


Fig.40 - Efeito da distribuição de envidraçados.
Graus-horas de desconforto por mês.

Em face dos resultados expostos observa-se que:

- quase todas as combinações têm um comportamento que se situa entre o de dois casos-extremo - envidraçado a Norte e envidraçado a Nascente, respectivamente limites inferior e superior desse intervalo;
- o envidraçado a Nascente confirma-se como mais desfavorável que o de Poente para o edifício adoptado;
- uma excepção importante ao que foi antes mencionado (existência de dois casos-extremo) é o valor que se obtém para a combinação 1 (envidraçado todo a Sul) no mês de Setembro; este facto sublinha, uma vez mais, a importância da orientação Sul no período de Verão;
- de entre o lote geral, os casos propensos a maior sobreaquecimento são, naturalmente pelo que foi dito, os que apresentam grandes áreas de envidraçado a Nascente ou a Poente; de modo análogo, os 'menos maus' dispõem de envidraçado sobretudo a Norte;
- as combinações 1 a 14 apresentam, no conjunto, valores de GHD nitidamente inferiores aos dos restantes casos o que comprova que, para as hipóteses consideradas, é preferível uma construção com eixo principal segundo a direcção E-W;
- a grandeza do sobreaquecimento não é, obviamente, constante ao longo do Verão; destaca-se o facto de Setembro se revelar tão ou mais crítico que o mês de Julho;
- as 'pontas' não se dão igualmente, no mesmo mês, para diferentes construções.

5.3. - ISOLAMENTO TÉRMICO DOS ELEMENTOS OPACOS

Efeito do isolamento termico Jun/Set

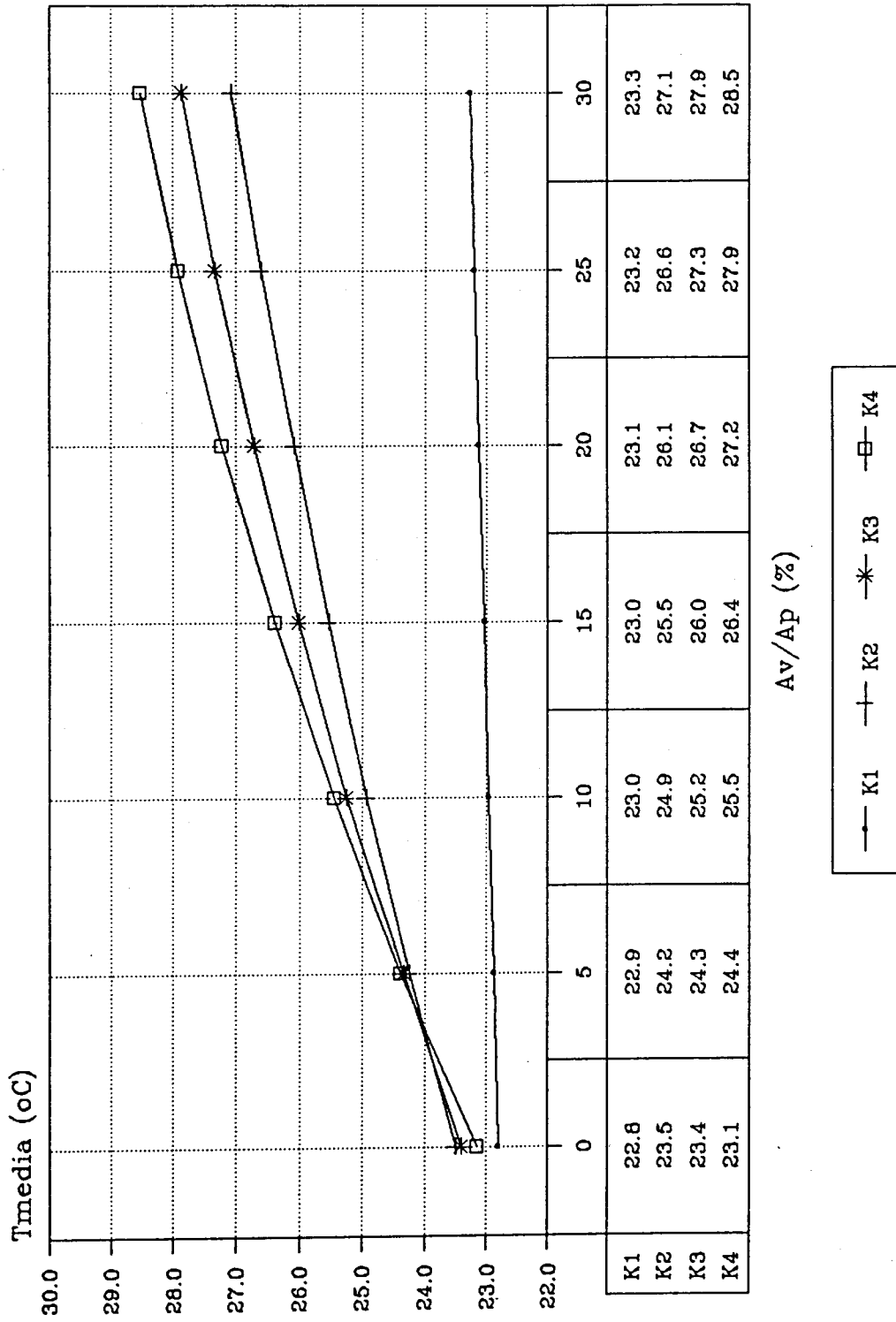


Fig.41 - Efeito do isolamento térmico.
Valores da temperatura média.

Efeito do isolamento termico
Jun/Set

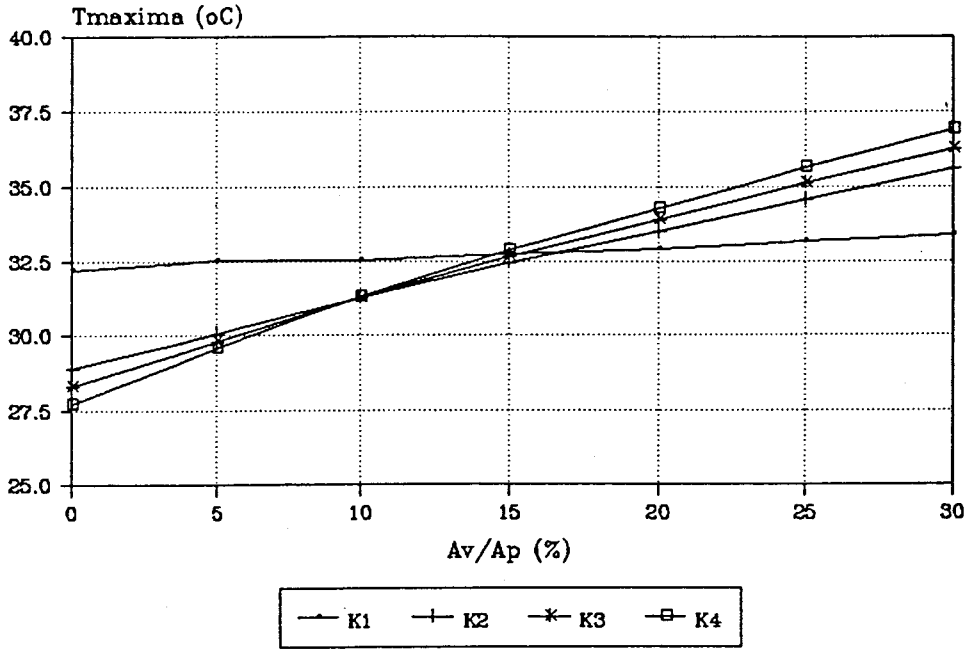


Fig.42 - Efeito do isolamento térmico.
Valores da temperatura máxima.

Efeito do isolamento termico
Jun/Set

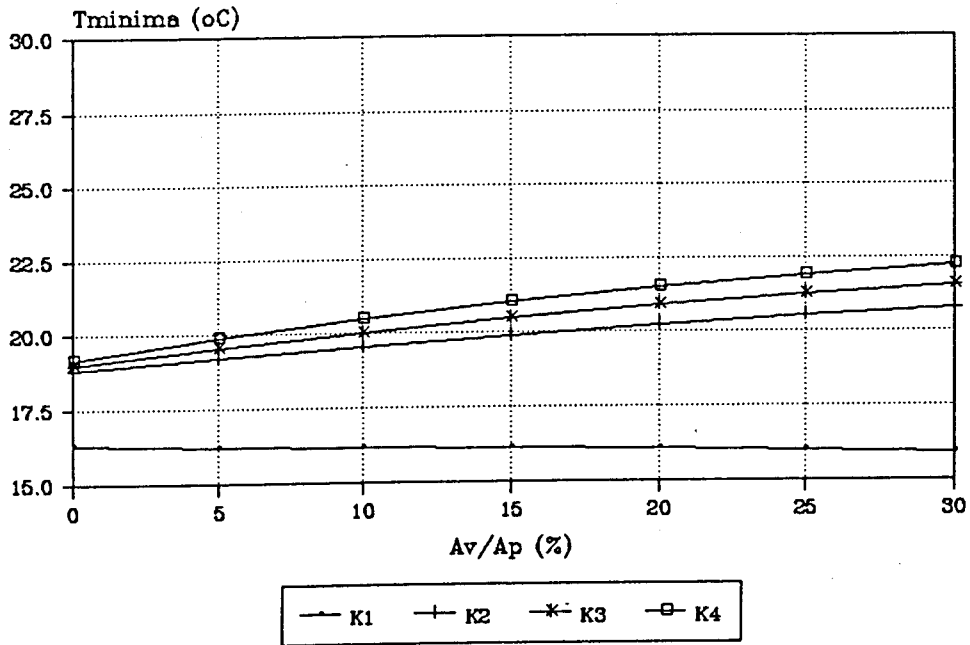


Fig.43 - Efeito do isolamento térmico.
Valores da temperatura mínima.

Efeito do isolamento termico Jun/Set

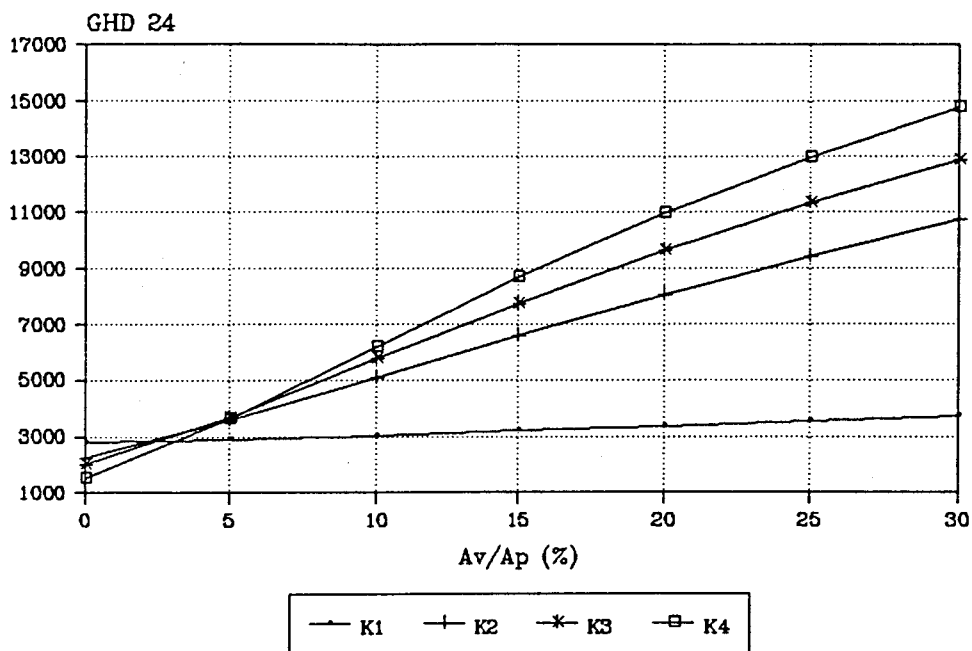


Fig.44 - Efeito do isolamento térmico.
Graus-horas de desconforto.

Efeito do isolamento termico Jun/Set

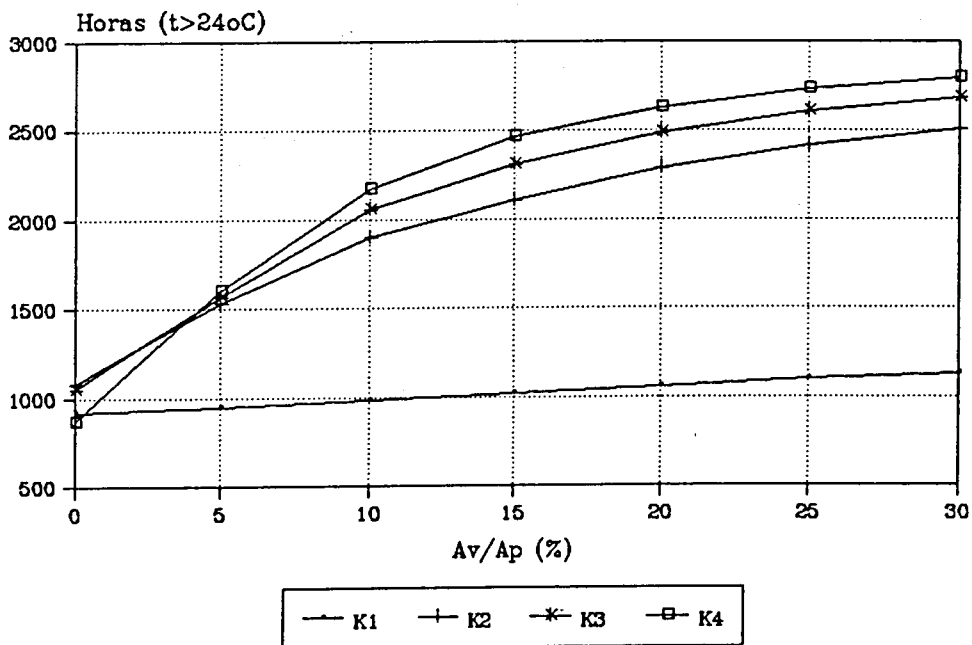


Fig.45 - Efeito do isolamento térmico.
Horas de sobreaquecimento.

Em face dos resultados expostos observa-se que:

- uma construção pouco isolada é praticamente insensível à existência de envidraçados; o caso K1 (elementos de betão sem qualquer isolamento térmico adicional) é exemplo disso apresentando grande constância seja na temperatura média, na máxima ou na mínima;
- um fraco isolamento origina uma grande amplitude térmica ao longo da estação; do 'equilíbrio' dos extremos resulta um baixo valor para $T_{média}$ que traduz, aparentemente, uma ótima solução;
- no edifício em estudo aumenta o desconforto com o isolamento térmico e com a área de envidraçado; a situação no entanto inverte-se quando não há envidraçado ou se a sua área é muito reduzida; isto leva a crer que o isolamento térmico impede a saída do calor antes captado pelos envidraçados; numa construção bem isolada o sombreamento dos vãos é, pois, ainda mais importante que numa situação 'normal';
- os gráficos relativos a $T_{média}$ e a GHD 24 têm desenvolvimento semelhante com diferença apenas para pequenos valores de A_v/A_p onde GHD se apresenta mais correcto; este parâmetro parece portanto mais fidedigno na análise do sobreaquecimento, o que se deve ao facto de, contabilizando períodos de desconforto, não ser 'vítima' da média com baixos valores da temperatura;

Obs.: Posto isto está-se agora em melhores condições de justificar os resultados anteriores (obtidos na perspectiva da orientação) que apontam Nascente mais desfavorável que Poente. Retomemos novamente os dois casos em questão - envidraçado só numa fachada, ora Nascente, ora Poente.

O envidraçado a Nascente recebe Sol da parte da manhã e, nesse período, origina por hipótese um sobreaquecimento do espaço interior; o calor armazenado tem dificuldade em 'escapar' não só pelo isolamento dos elementos opacos (apreciável como se depreende pela descrição do caso K2), como também porque a temperatura exterior entretanto é elevada; este efeito mantém-se praticamente ao longo de todo o dia.

A Poente o sobreaquecimento verifica-se mais tarde e, embora até possa ser maior que o de Nascente (por valores mais elevados da radiação e da temperatura exterior), a sua duração é provavelmente menor pois, logo após a sua ocorrência (final do dia) há condições mais propícias à libertação de calor para o exterior.

O que se acabou de referir pode constatar-se pela comparação dos dois gráficos seguintes que expressam a evolução da temperatura exterior e da temperatura resultante interior num dia de Agosto para os dois casos em estudo.

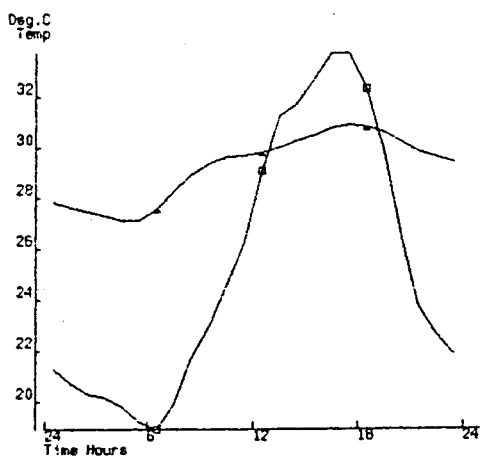


Fig.46

Caso Av/Ap=15% com envidraçado a Nascente.

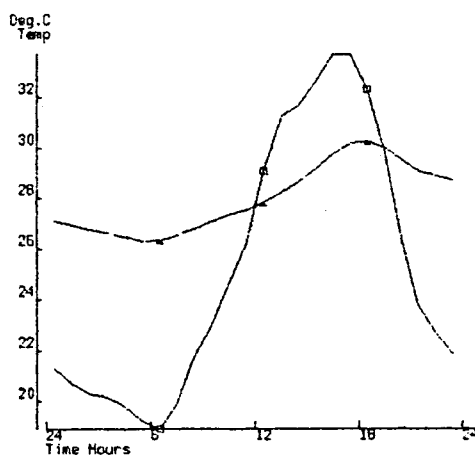


Fig.47

Idem com envidraçado a Poente.

5.4. - INÉRCIA DA CONSTRUÇÃO

Efeito da inercia Jun/Set

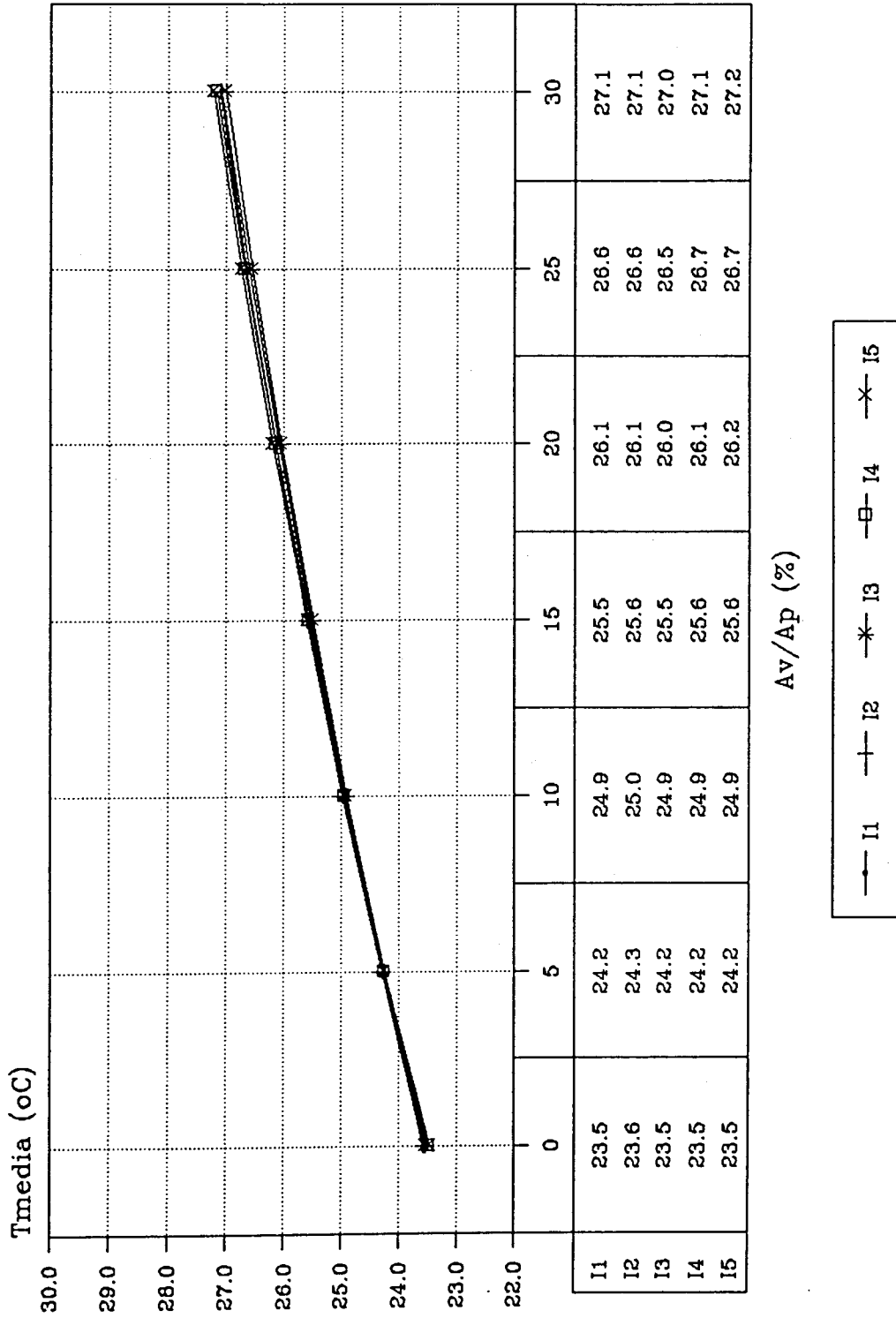


Fig.48 - Efeito da inércia.
Valores da temperatura média.

Efeito da inercia
Jun/Set

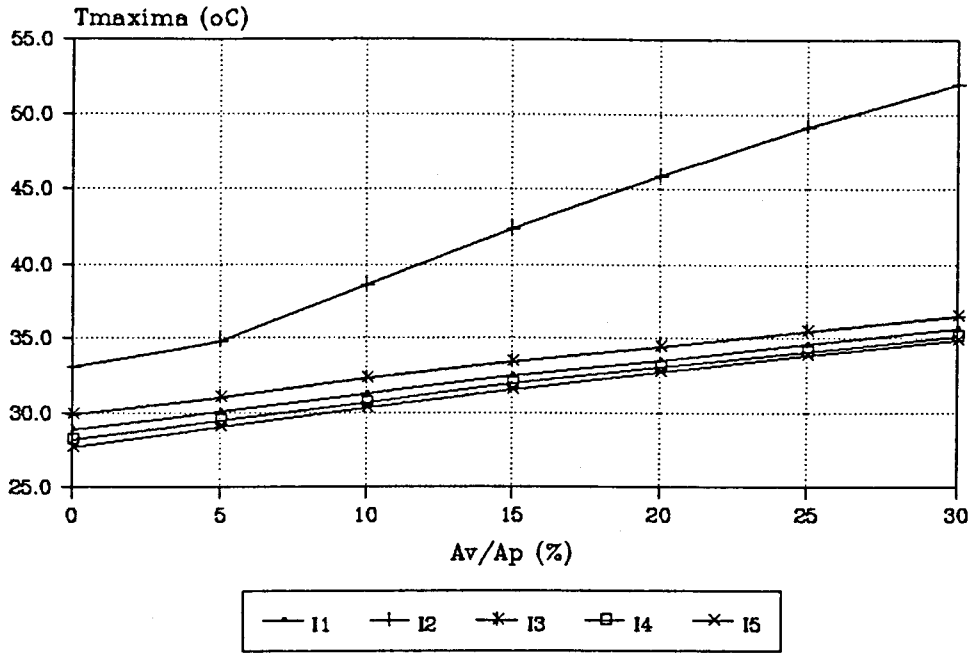


Fig.49 - Efeito da inércia.
Valores da temperatura máxima.

Efeito da inercia
Jun/Set

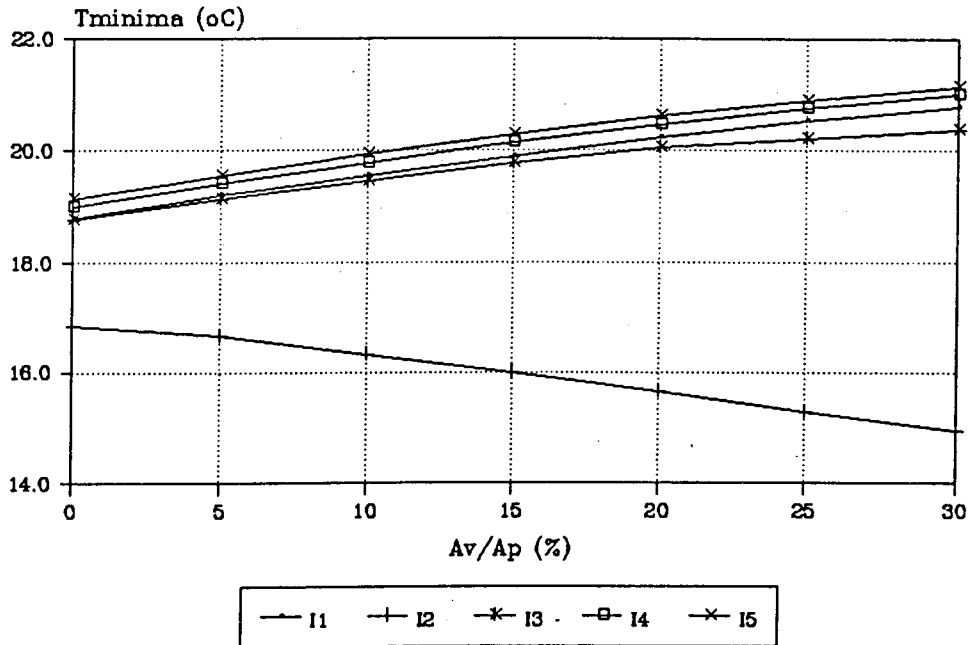


Fig.50 - Efeito da inércia.
Valores da temperatura mínima.

Efeito da inercia
Jun/Set

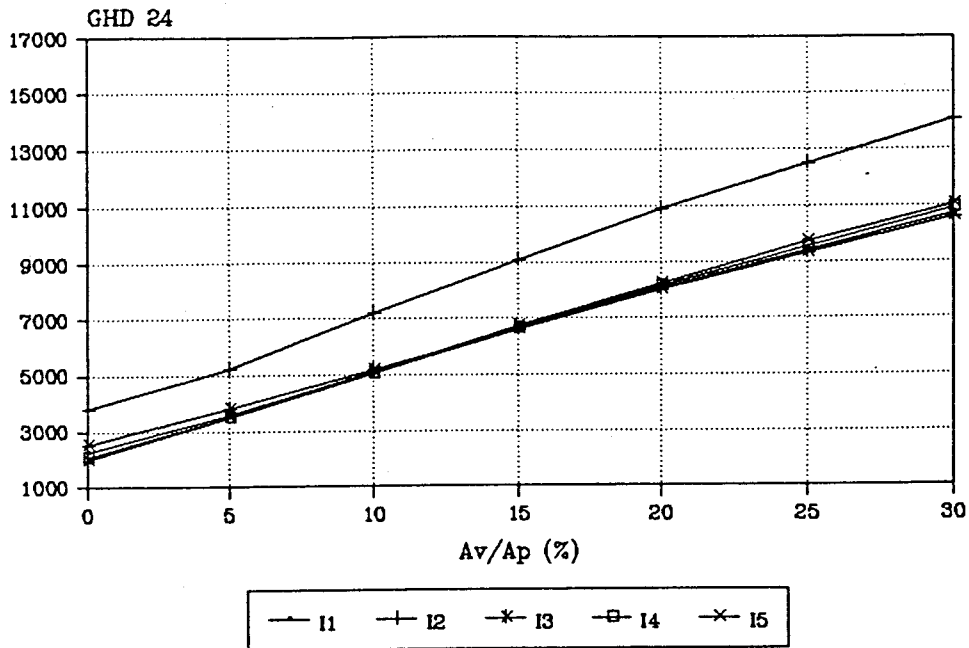


Fig.51 - Efeito da inércia.
Graus-horas de desconforto.

Efeito da inercia
Jun/Set

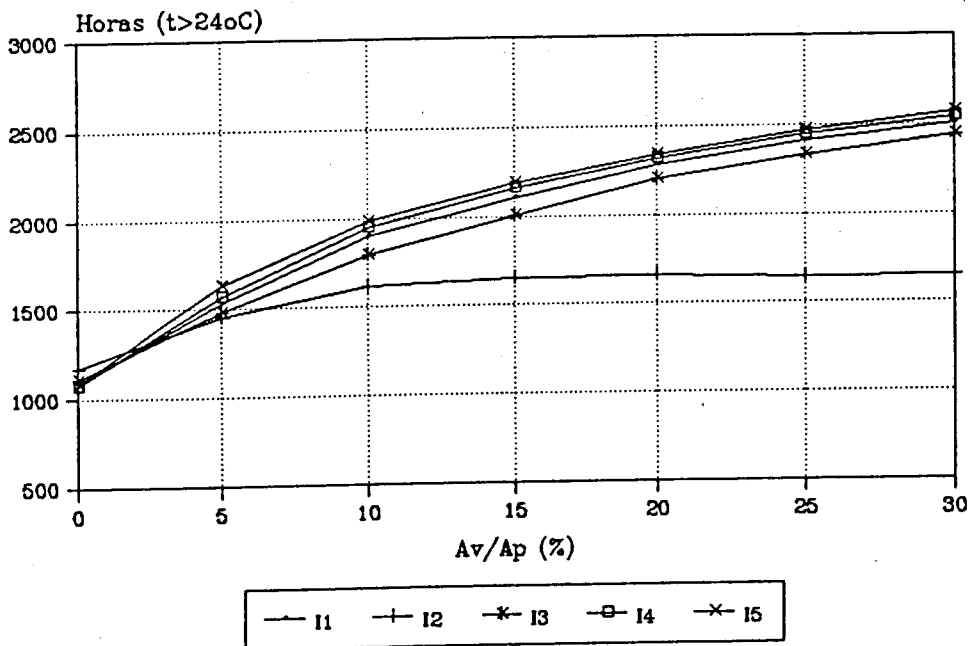


Fig.52 - Efeito da inércia.
Horas de sobreaquecimento.

Em face dos resultados expostos observa-se que:

- a nível das temperaturas médias não existe praticamente diferença entre as várias hipóteses em análise; este facto resulta da compensação entre valores máximos e mínimos que não são, no entanto, de forma alguma iguais nos diversos casos estudados;
- por apreciação dos valores máximos e mínimos há uma grande disparidade entre o caso I2 (único com isolamento pelo interior) e os restantes;
- numa construção de inércia fraca - de que, exageradamente, é representante o caso I2 - a influência dos envidraçados é enorme; durante o dia podem ocorrer 'pontas' com acréscimo imediato, médio, de 10 °C na temperatura resultante interior; à noite, também pela falta de capacidade térmica, a construção não retém calor e os envidraçados são fonte de perdas significativas;
- exceptuando o caso I2 verifica-se uma certa homogeneidade de resultados; a influência dos envidraçados (por aumento da sua área) apresenta-se com um crescimento quase constante e independente da inércia considerada; a isto não é alheio o facto de o material utilizado possuir boa capacidade térmica mesmo com reduzida espessura;
- quanto maior a inércia menor é o valor de $T_{máxima}$ e maior o de $T_{mínima}$; numa construção de inércia forte as amplitudes térmicas são portanto mais reduzidas;
- a análise única de determinados parâmetros como a $T_{média}$ ou o nº de horas de sobreaquecimento pode induzir a interpretações erradas; a este propósito verifica-se, uma vez mais, melhor adequação do parâmetro GHD.

5.5. - CÔR DAS SUPERFÍCIES EXTERIORES

Efeito da cor Jun/Set

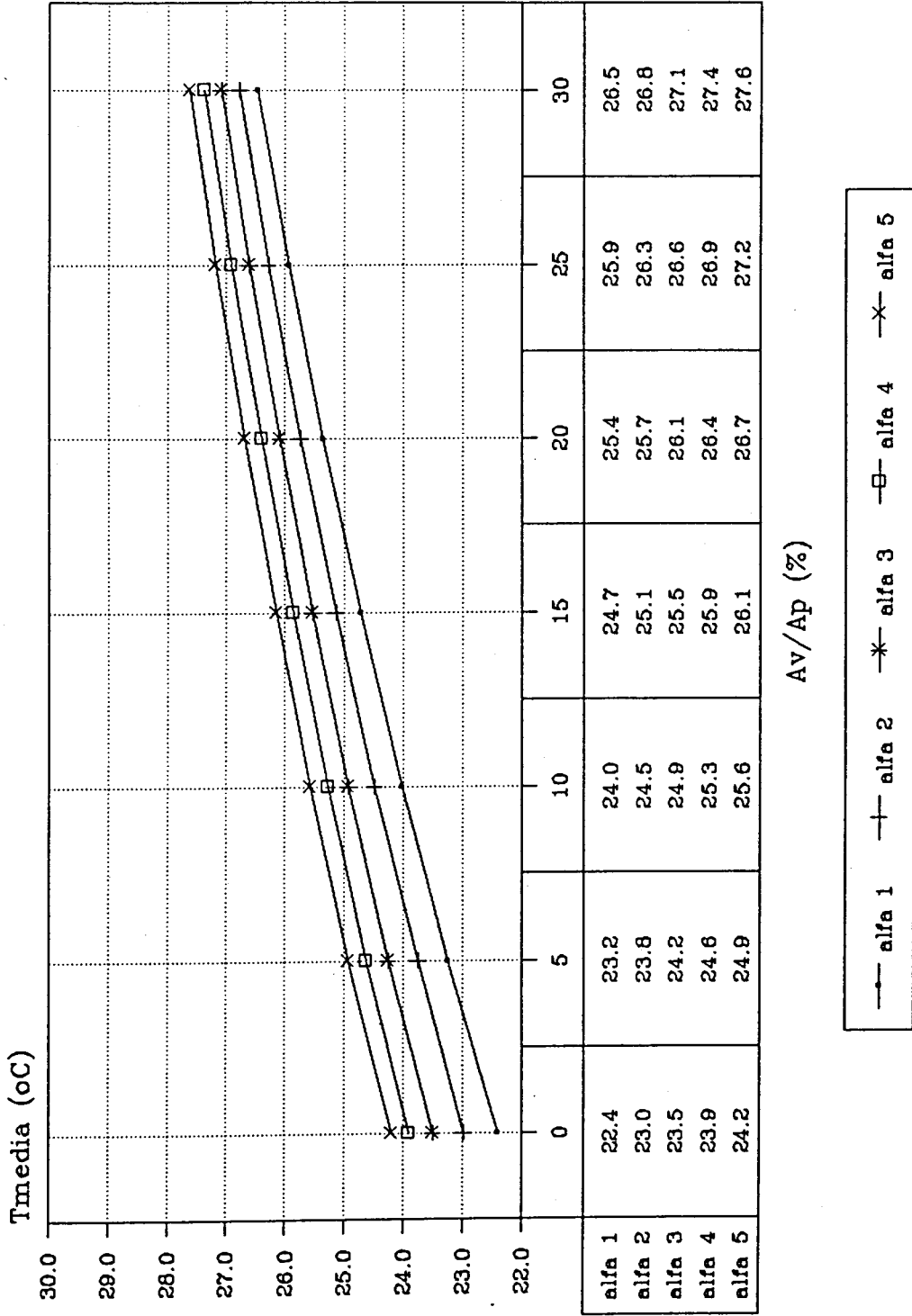


Fig.53 - Efeito da cor.
Valores da temperatura média.

Efeito da cor
Jun/Set

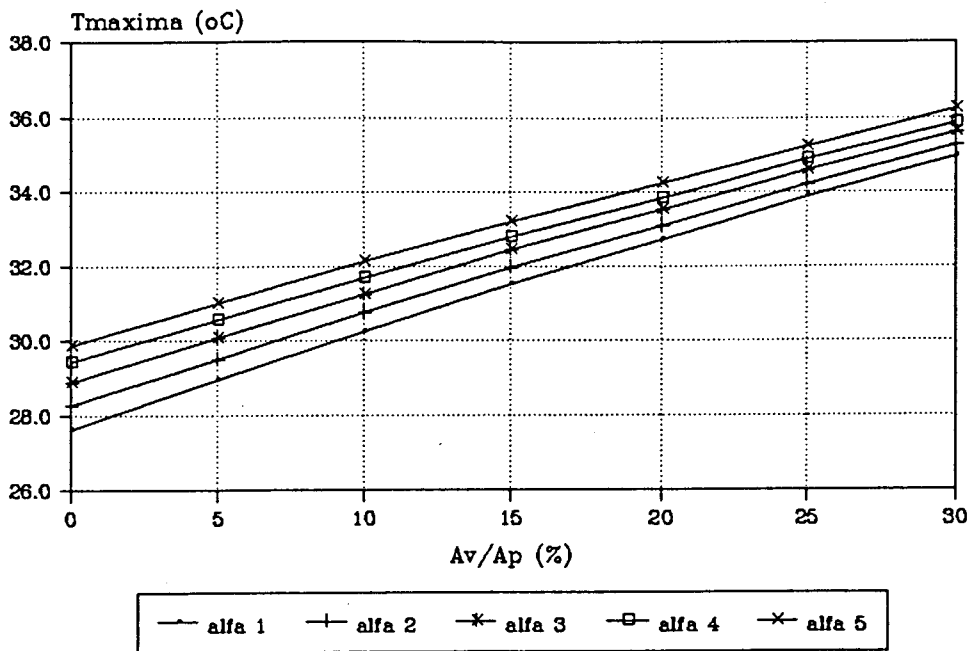


Fig.54 - Efeito da cor.
Valores da temperatura máxima.

Efeito da cor
Jun/Set

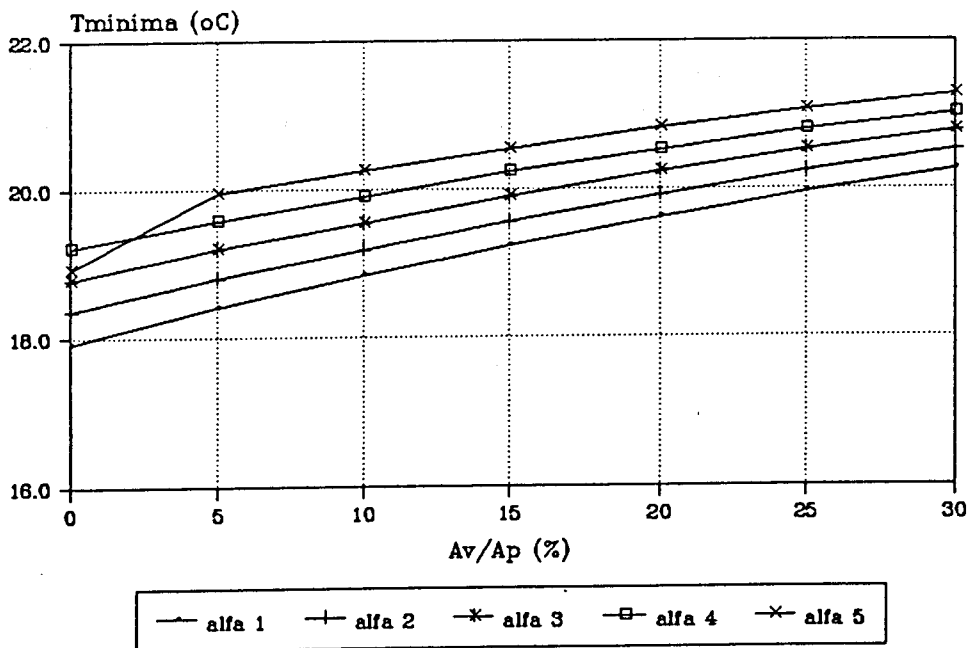


Fig.55 - Efeito da cor.
Valores da temperatura mínima.

Efeito da cor
Jun/Set

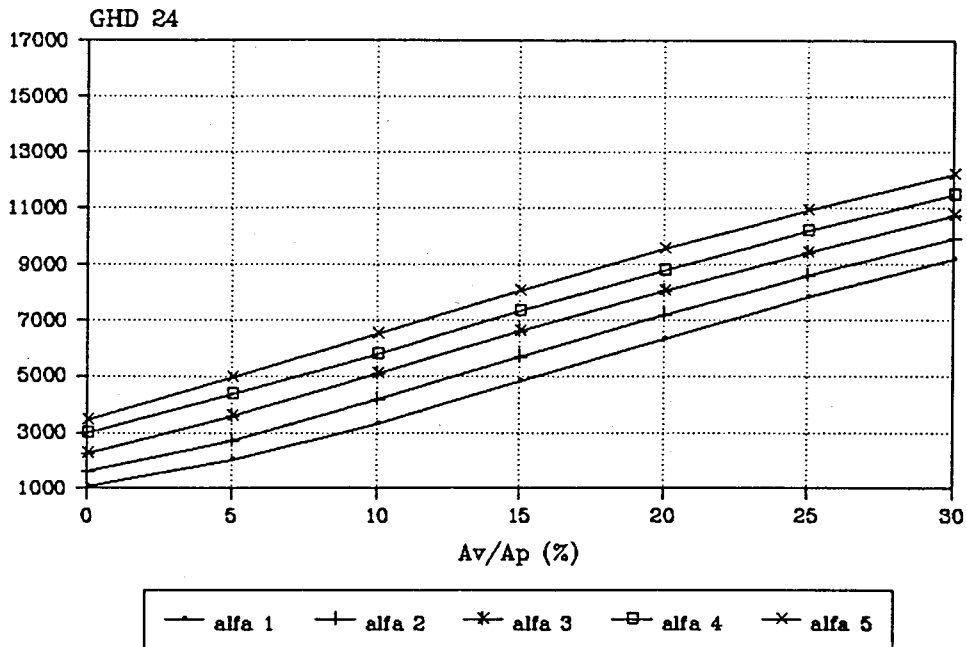


Fig.56 - Efeito da cor.
Graus-horas de desconforto.

Efeito da cor
Jun/Set

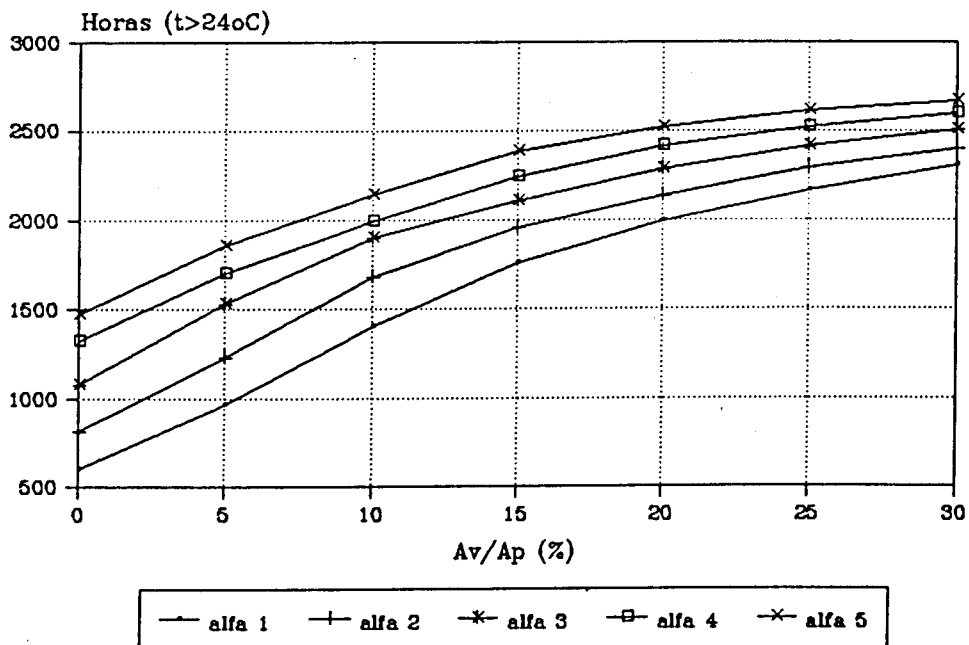


Fig.57 - Efeito da cor.
Horas de sobreaquecimento.

Em face dos resultados expostos observa-se que:

- a cor das superfícies exteriores é importante para o comportamento térmico dos edifícios no Verão podendo originar diferenças médias de 1 °C na temperatura resultante interior (mesmo sem ter em conta os casos extremos 1 e 5);
- as hipóteses estudadas apresentam variações relativas quase constantes o que se deve ao facto das modificações no coeficiente de absorção se reflectirem proporcionalmente no aquecimento das superfícies exteriores;
- com o aumento da área de envidraçado a importância da cor tende a diminuir o que traduz uma preponderância crescente dos ganhos solares através dos vãos;
- na apreciação das temperaturas extremas os casos estudados mantêm a sua ordem nas máximas e nas mínimas; as amplitudes térmicas, embora de importância diferente, são praticamente constantes independentemente do caso e da área de envidraçado;
- a diferença de cor origina acréscimos na temperatura resultante interior que, apesar de pequenos, são concertiza de 'longa' duração como se depreende pelo elevado número de horas em que se registam valores acima de 24 °C.

5.6. - VIDRO/TIPO E ESPESSURA

Efeito de vidros simples Jun/Set

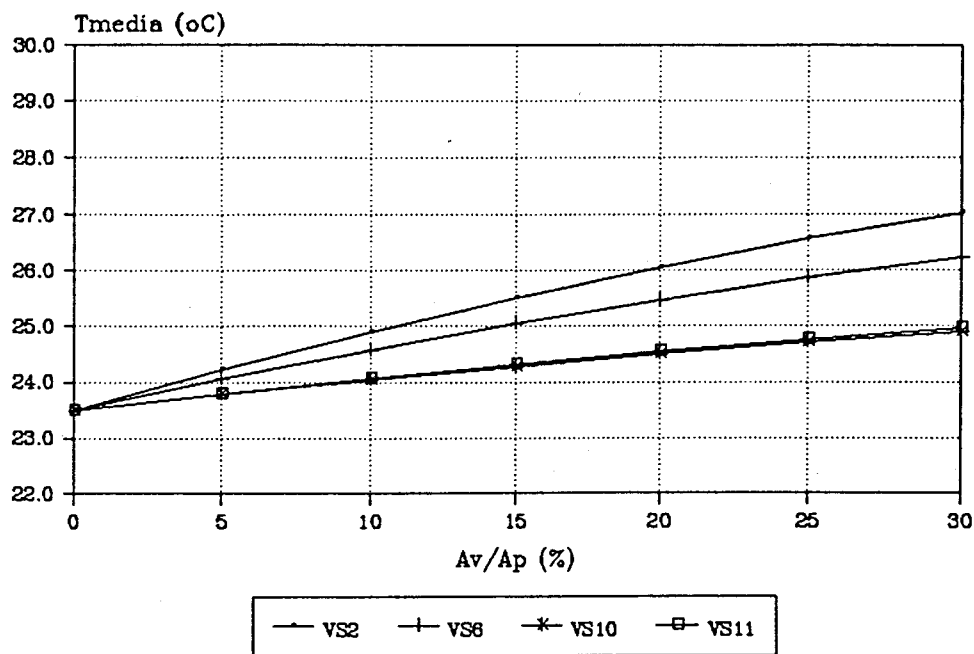


Fig.58 - Efeito de vidros simples.
Valores da temperatura média.

Efeito de vidros duplos Jun/Set

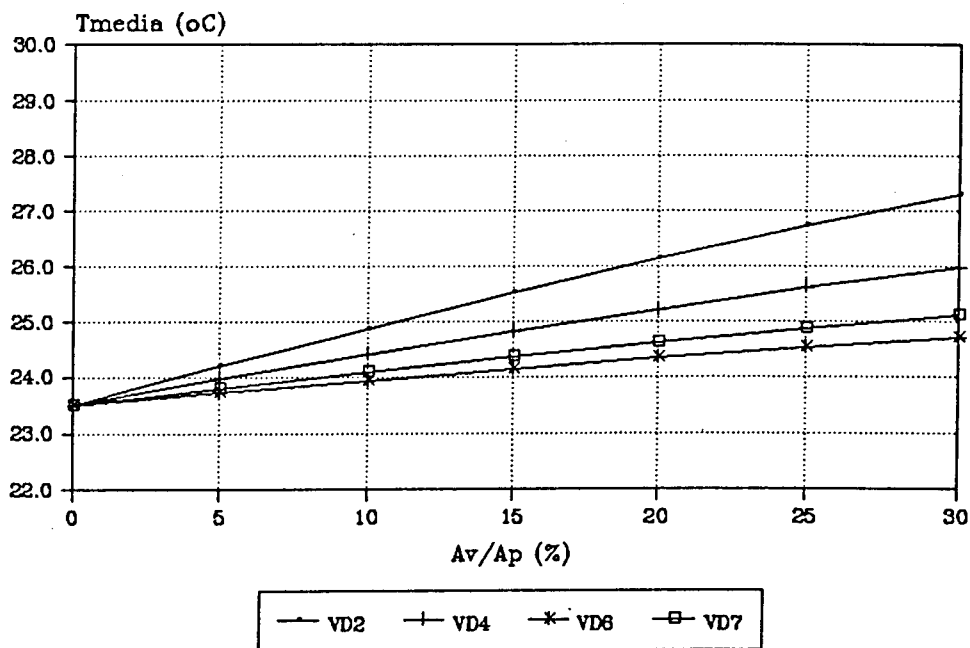


Fig.59 - Efeito de vidros duplos.
Valores da temperatura média.

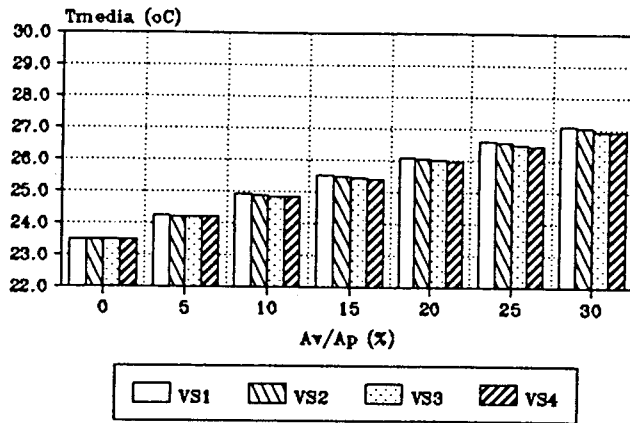


Fig.60 - Efeito do vidro simples incolor.
Valores da temperatura média.

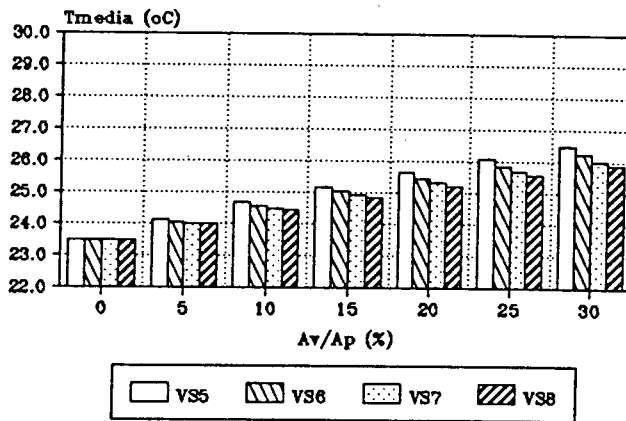


Fig.61 - Efeito do vidro simples bronze.
Valores da temperatura média.

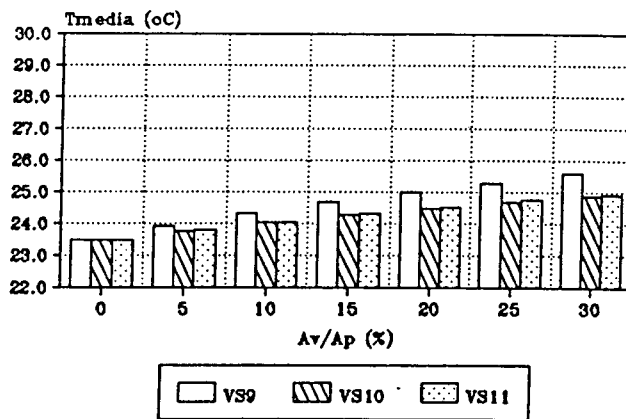


Fig.62 - Efeito de vidros simples reflectantes.
Valores da temperatura média.

Efeito de vidros simples Jun/Set

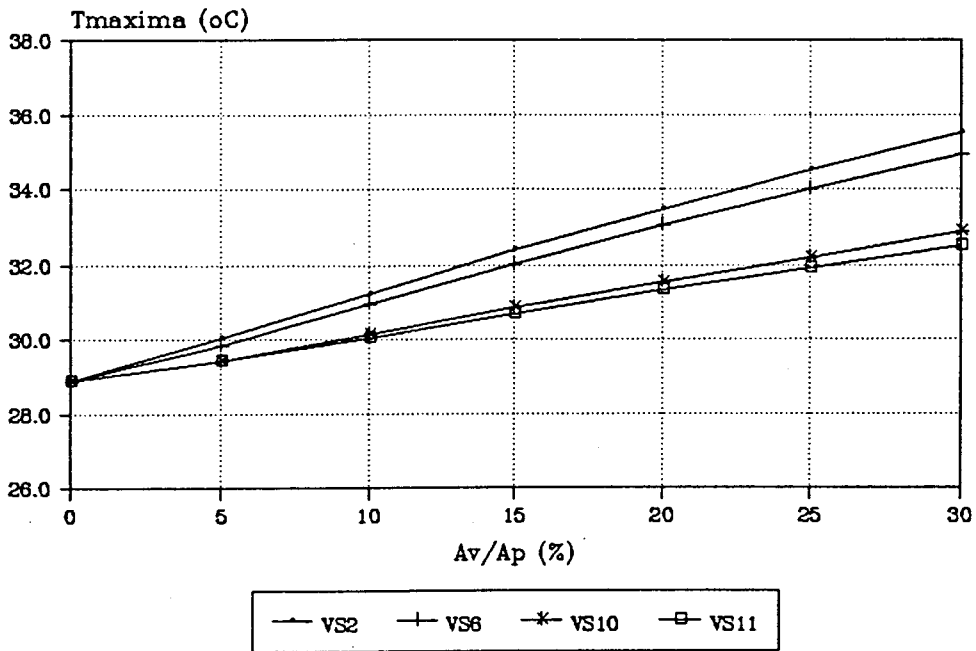


Fig.63 - Efeito de vidros simples.
Valores da temperatura máxima.

Efeito de vidros duplos Jun/Set

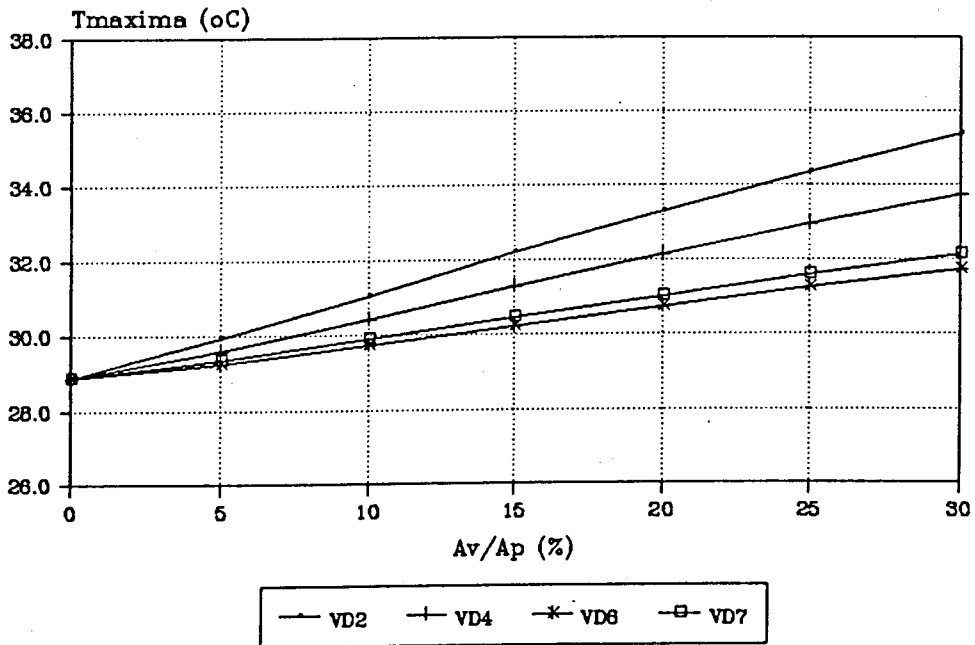


Fig.64 - Efeito de vidros duplos.
Valores da temperatura máxima.

Efeito de vidros simples Jun/Set

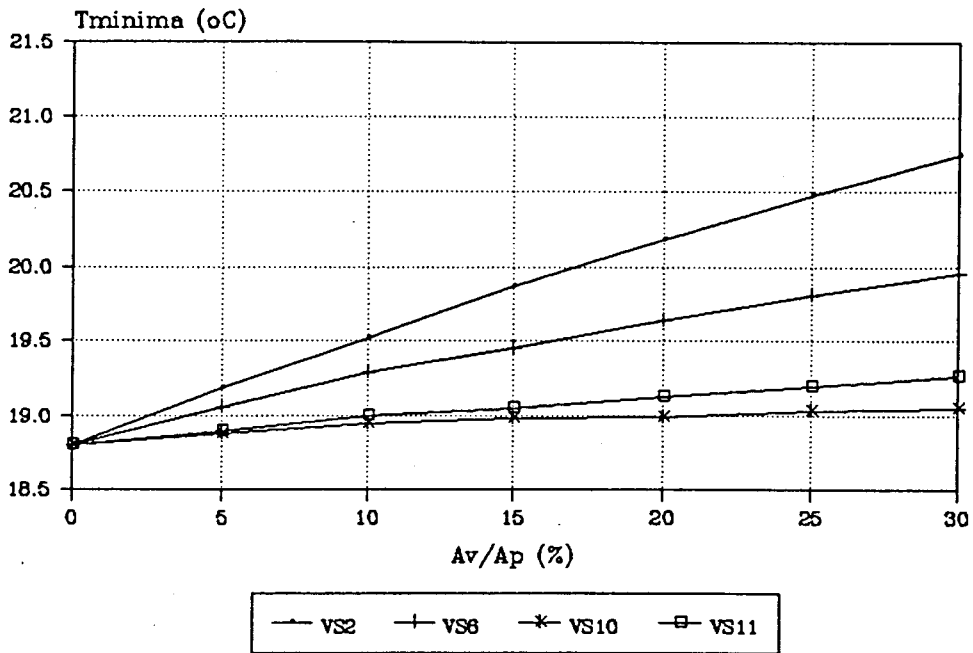


Fig.65 - Efeito de vidros simples.
Valores da temperatura mínima.

Efeito de vidros duplos Jun/Set

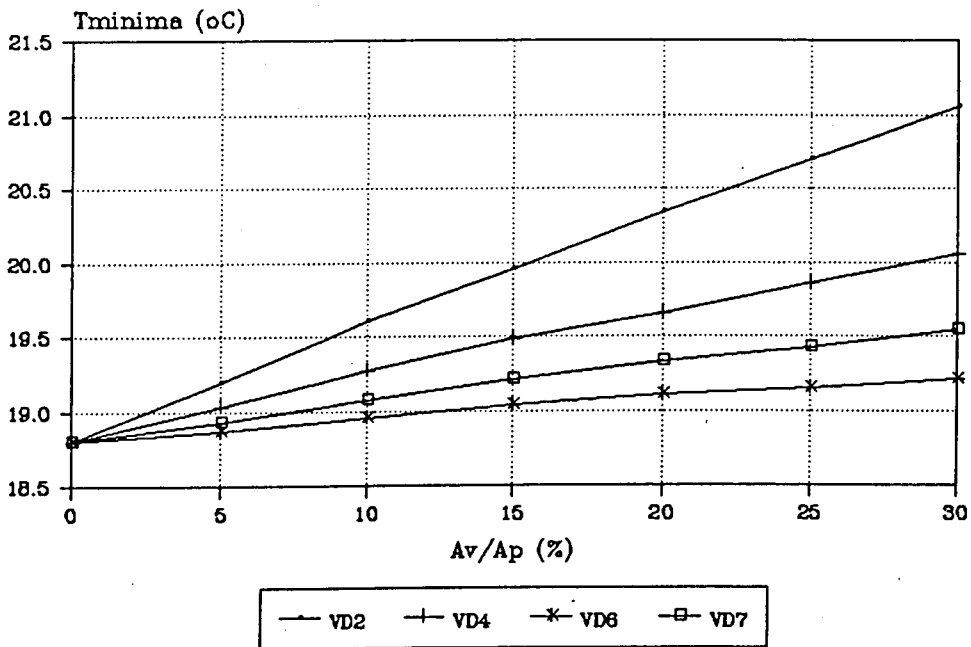


Fig.66 - Efeito de vidros duplos.
Valores da temperatura mínima.

Efeito de vidros simples Jun/Set

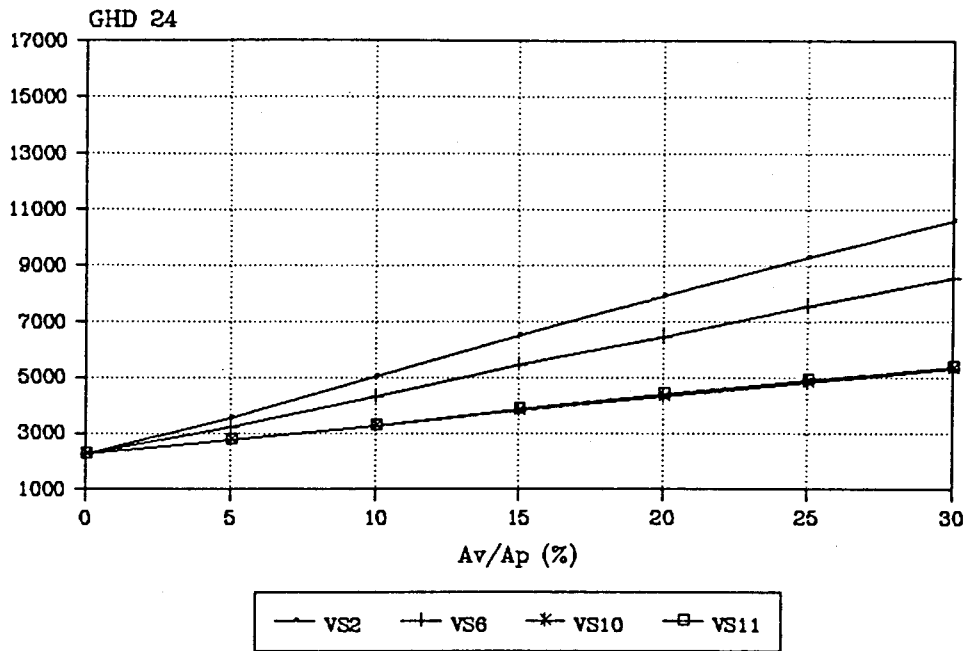


Fig.67 - Efeito de vidros simples.
Graus-horas de desconforto.

Efeito de vidros duplos Jun/Set

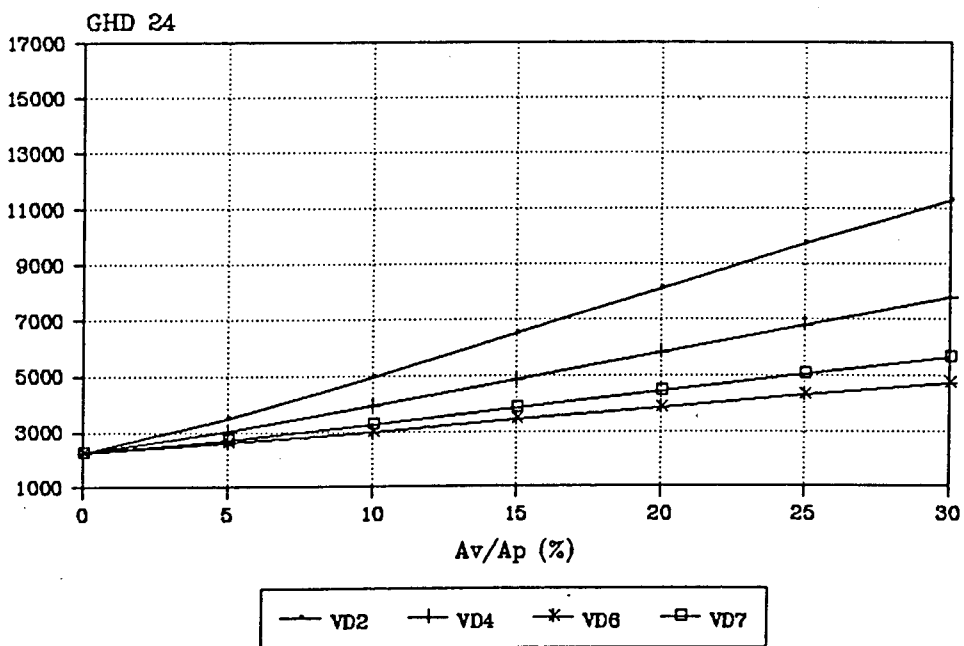


Fig.68 - Efeito de vidros duplos.
Graus-horas de desconforto.

Efeito de vidros simples Jun/Set

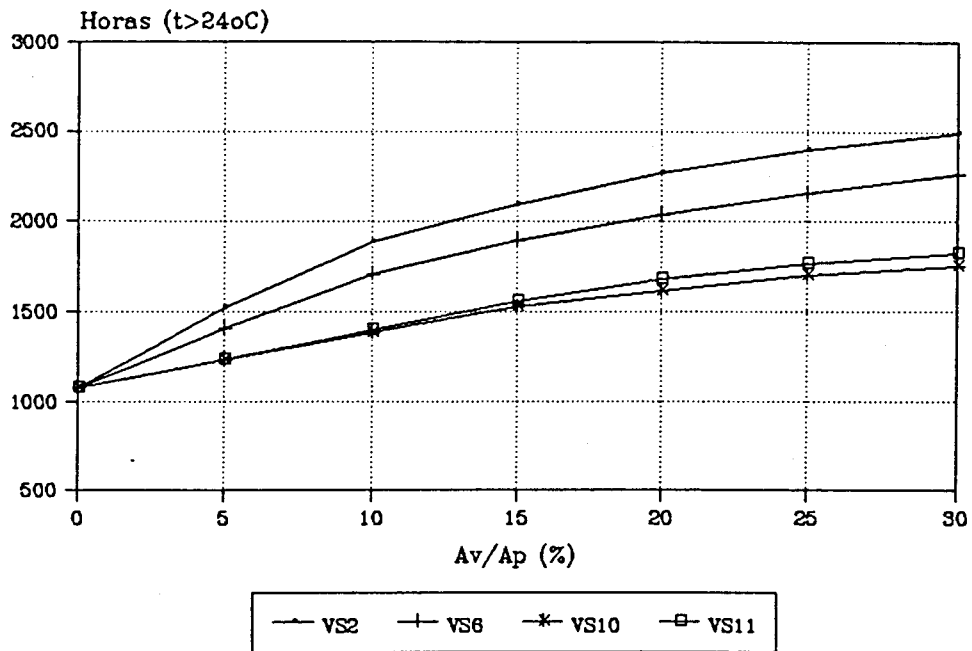


Fig.69 - Efeito de vidros simples.
Horas de sobreaquecimento.

Efeito de vidros duplos Jun/Set

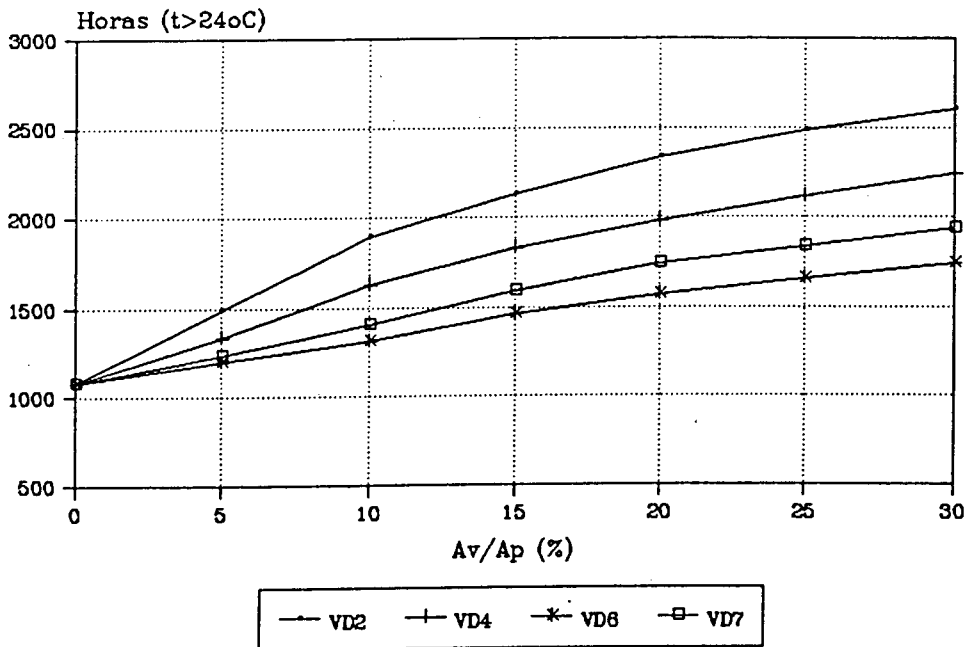


Fig.70 - Efeito de vidros duplos.
Horas de sobreaquecimento.

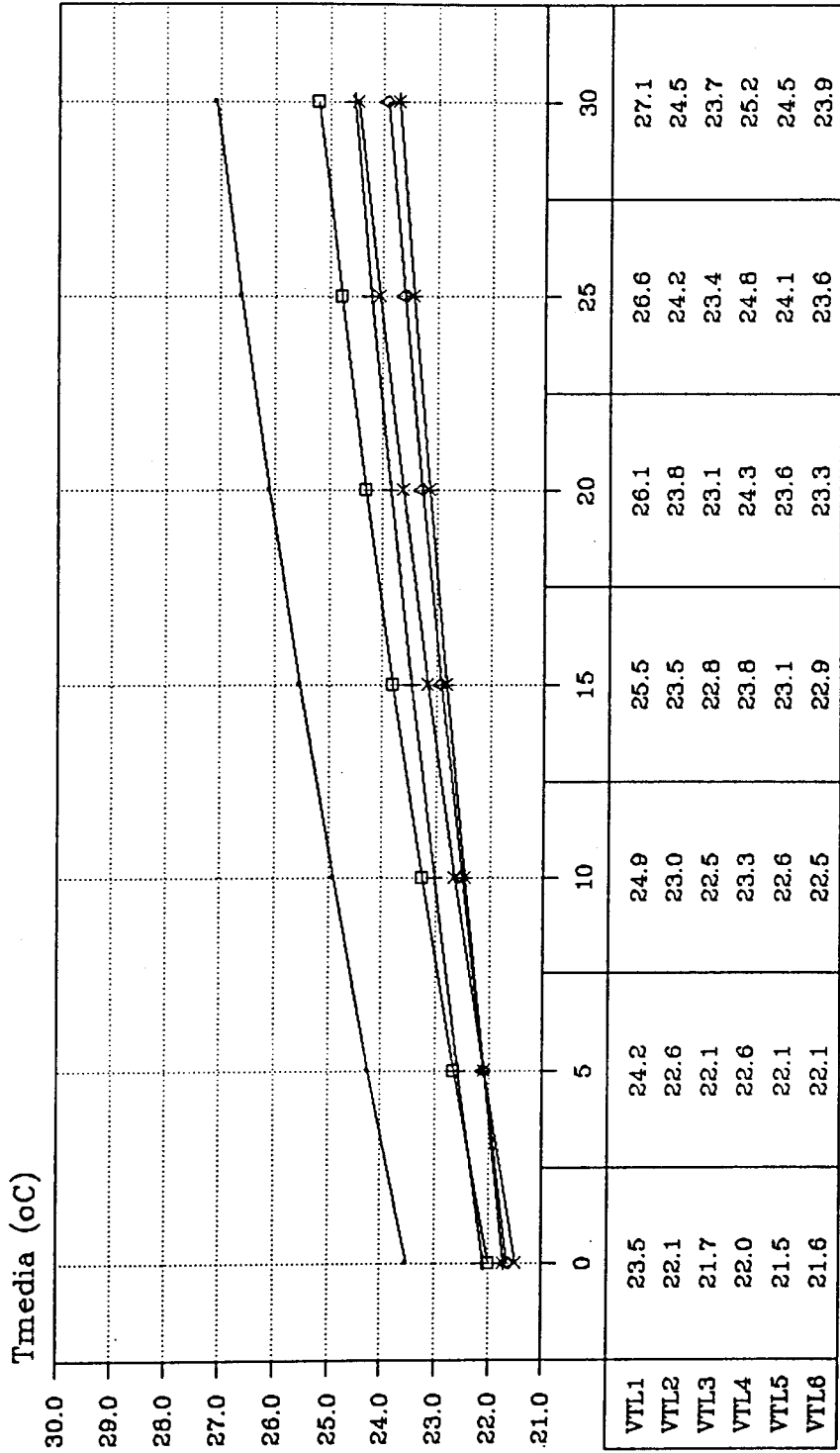
Em face dos resultados expostos observa-se que:

- o tipo de vidro pode reduzir significativamente o sobreaquecimento no Verão; no entanto, da utilização de vidro duplo não resulta aparentemente qualquer vantagem (na hipótese de não existir sombreamento) podendo mesmo conduzir, ligeiramente, a um maior desconforto por efeito do isolamento térmico que proporciona;
- de entre os vários tipos de vidro, os reflectantes são os que se apresentam mais convenientes neste período em que a radiação solar é indesejável; mesmo quando aplicados em grande extensão ($A_v/A_p=30\%$) o acréscimo de temperatura média é 'diminuto' não ultrapassando $1.5\text{ }^\circ\text{C}$ (em casos correntes pode nem atingir $1\text{ }^\circ\text{C}$);
- os vidros absorventes têm um comportamento aproximadamente médio entre os incolores e os reflectantes; o sobreaquecimento que ocasionam pode oscilar entre $1\text{ }^\circ\text{C}$ e $2.5\text{ }^\circ\text{C}$ consoante seja média ou grande a área de envidraçado em que se incluem;
- os vidros incolores, nestas mesmas circunstâncias, provocam acréscimos de $2\text{ }^\circ\text{C}$ e $3.5\text{ }^\circ\text{C}$, respectivamente;
- o efeito da espessura do vidro não contribui, em regra, para condições mais favoráveis; comparando vidro incolor de 4 mm com outro semelhante de 10 mm, para o caso limite $A_v/A_p=30\%$, verifica-se apenas uma diferença de $0.1\text{ }^\circ\text{C}$ na temperatura média resultante; se esse mesmo estudo se aplicar a vidro absorvente a diferença adquire alguma importância e cifra-se em $0.5\text{ }^\circ\text{C}$ (valor que se reduz quando convertido para uma situação mais corrente em área de envidraçado);

- relativamente a temperaturas máximas e mínimas mantém-se a hierarquia anterior merecendo especial destaque a influência dos envidraçados sobre aquele primeiro parâmetro; as diferenças para o caso sem vãos podem contabilizar-se em 4 °C com vidro incolor e 2 °C com vidro reflectante na situação $A_v/A_p=15\%$; com fachada totalmente envidraçada os valores indicados aumentam quase para o dobro;
- neste estudo é sensivelmente igual a informação obtida por análise da temperatura média ou por GHD.

5.7. - VENTILAÇÃO NATURAL

Efeito da ventilação natural Jun/Set



Av/Ap (%)



Fig.71 - Efeito da ventilação natural.
Valores da temperatura média.

Efeito da ventilação natural Jun/Set

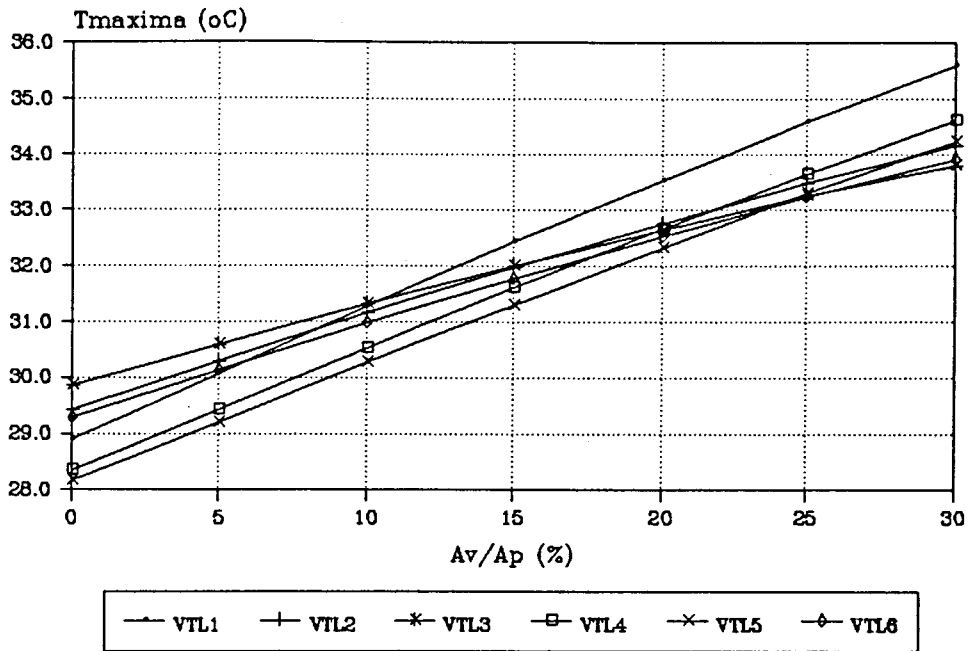


Fig.72 - Efeito da ventilação natural.
Valores da temperatura máxima.

Efeito da ventilação natural Jun/Set

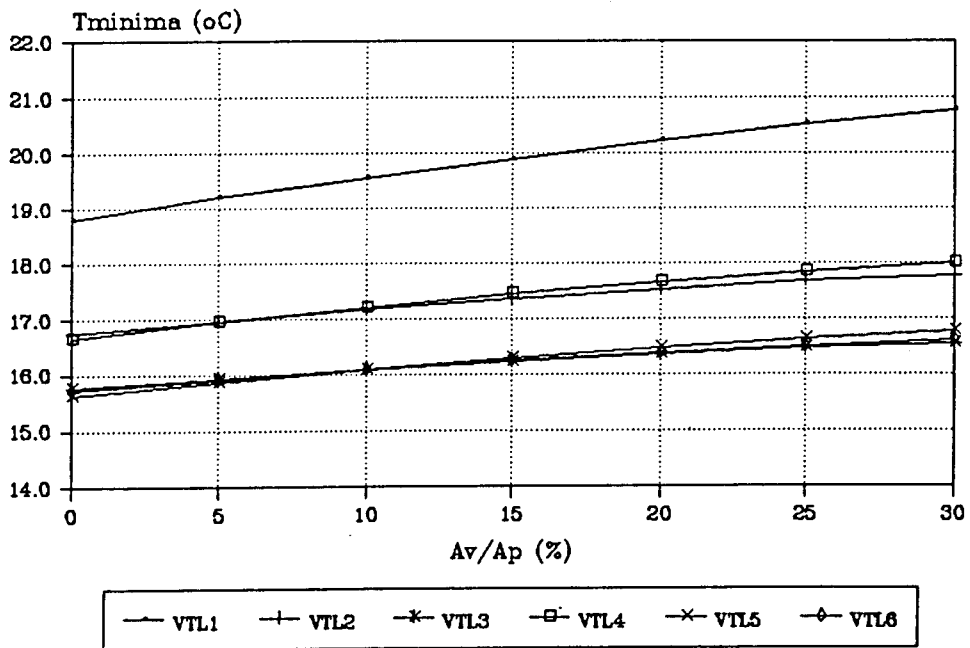


Fig.73 - Efeito da ventilação natural.
Valores da temperatura mínima.

Efeito da ventilação natural
Jun/Set

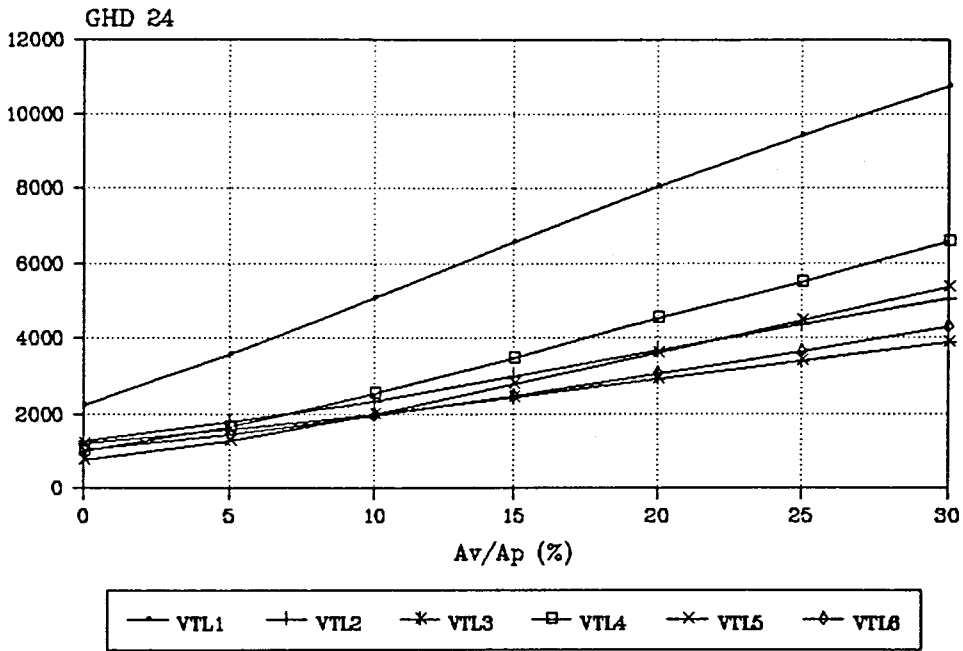


Fig.74 - Efeito da ventilação natural.
Graus-horas de desconforto.

Efeito da ventilação natural
Jun/Set

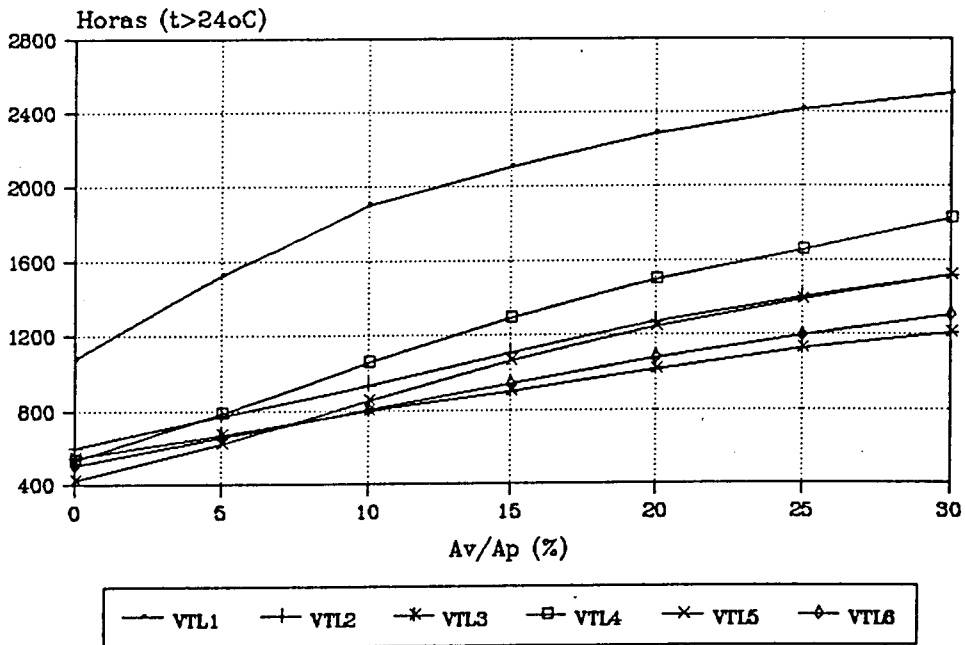


Fig.75 - Efeito da ventilação natural.
Horas de sobreaquecimento.

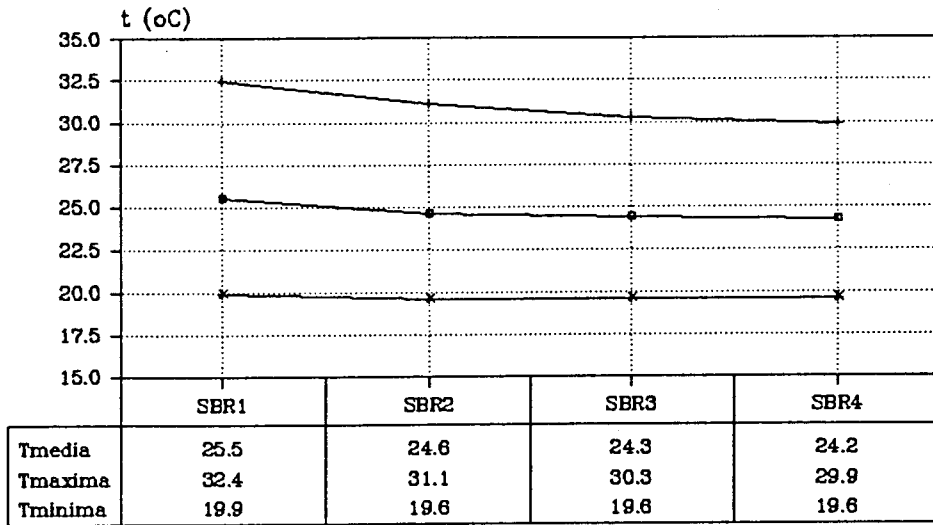
Em face dos resultados expostos observa-se que:

- uma estratégia de ventilação, aplicada igualmente em todo o período considerado de Verão, dificilmente limita a temperatura máxima sem baixar excessivamente a mínima; o mês de Junho, ainda com temperaturas pouco elevadas, é o principal responsável pelos mínimos que se verificam;
- para as condições impostas, a solução que contabiliza melhor aqueles efeitos parece ser a VTL4 (0.6 RPH durante o dia e 5 RPH de noite); com este esquema a temperatura máxima é das mais reduzidas e a mínima não se inclui entre os valores mais extremos;
- o caso VTL2 (5RPH durante as 24 horas), com algumas semelhanças a VTL4, demonstra que a ventilação diurna pode contribuir para um agravamento das condições de temperatura interior; os seus valores mínimos andam a par com os de VTL4 mas os máximos, em situações correntes, ultrapassam os deste caso em 1 °C ou mais;
- a análise de VTL3 e VTL5 confirma também o comentário anterior;
- nas temperaturas máximas há dois conjuntos típicos de resultados que se distinguem pela inclinação das e pela sua posição relativa (um conjunto acima do outro); os casos VTL1, VTL4 e VTL5 constituem uma família e os restantes uma outra; a sua principal diferença reside no valor da ventilação diurna; as hipóteses 1, 4 e 5 com 0.6 RPH das 8 às 20 h conduzem a curvas de maior inclinação que, no entanto, se mantêm abaixo das da outra família até um A_v/A_p entre 10 e 15%;

- é importante adequar a estratégia de ventilação à área de envidraçado; quando esta é grande os ganhos solares são significativos e a moderação dos seus efeitos só se consegue com uma taxa de renovação elevada; nas construções com pequena área de envidraçado (situação em que os ganhos solares são menores) aquela mesma taxa tem um efeito negativo promovendo sobretudo o aquecimento interior;
- os gráficos de temperatura média e de GHD revelam-se um fraco recurso neste tipo de estudo.

5.8. - SOMBREAMENTO DOS VÃOS

Efeito do sombreamento Jun/Set



casos

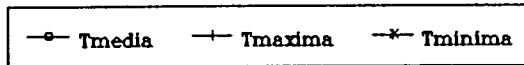
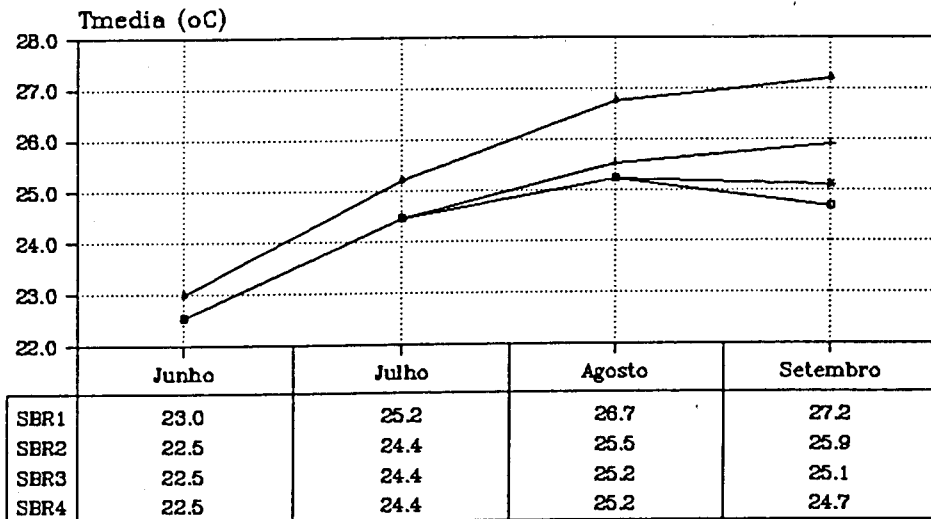


Fig.76 - Efeito do sombreamento.
Temperaturas no período de Junho a Setembro.

Efeito do sombreamento (por mes)



meses

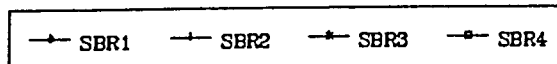


Fig.77 - Efeito do sombreamento.
Valores da temperatura média mensal.

Efeito do sombreamento (por mes)

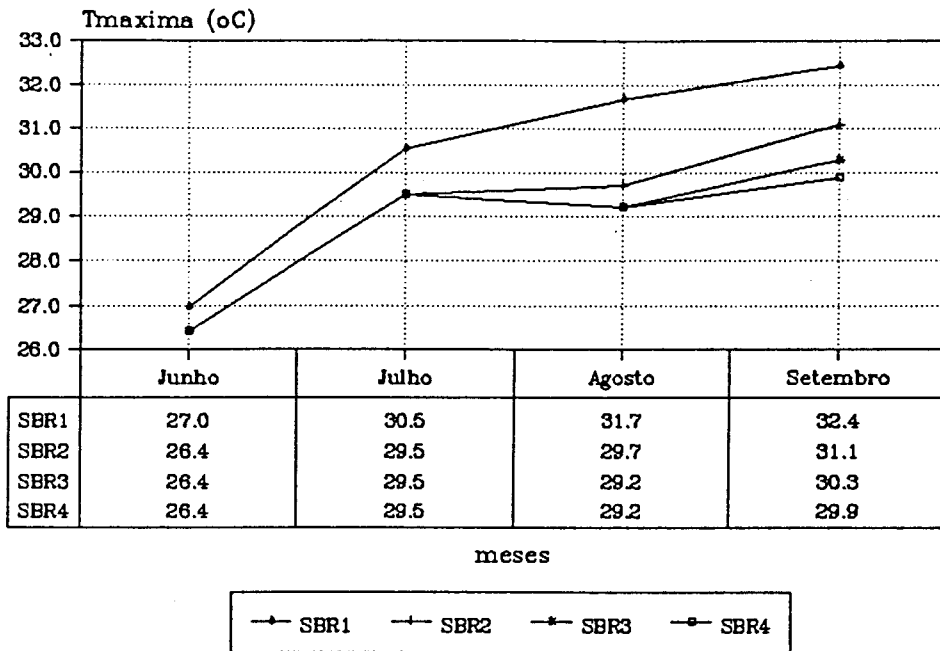


Fig.78 - Efeito do sombreamento.
Valores da temperatura máxima mensal.

Efeito do sombreamento (por mes)

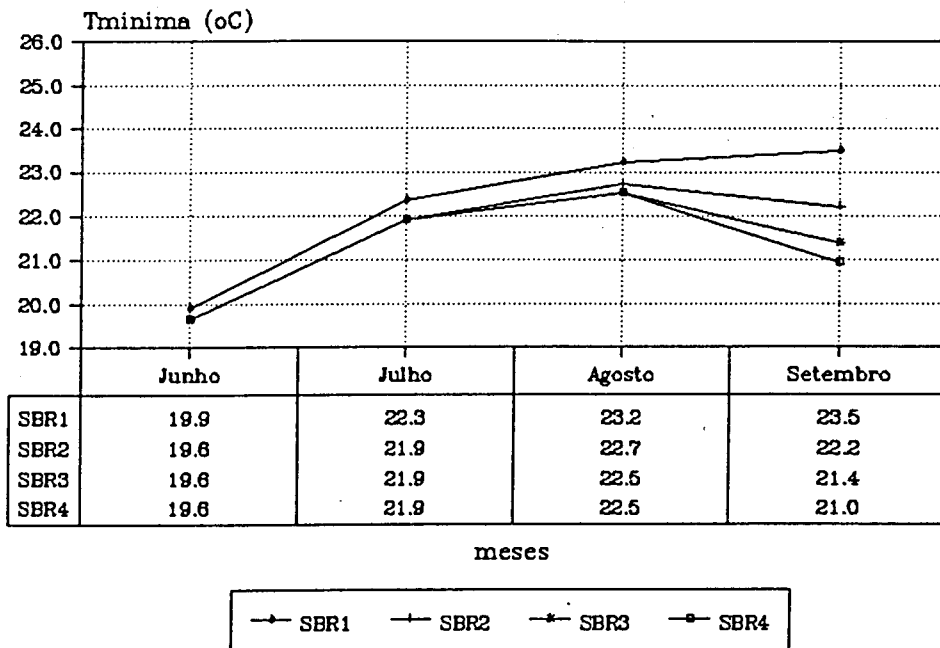


Fig.79 - Efeito do sombreamento.
Valores da temperatura mínima mensal.

Em face dos resultados expostos observa-se que:

- para a orientação do envidraçado em estudo (Sul) o sombreamento é particularmente importante nos meses de Agosto e Setembro;
- os efeitos do sombreamento sobre a temperatura média interior dependem do mês em causa e podem variar de 0.5 °C em Junho até quase 3 °C em Setembro; a análise estendida globalmente a todo o período de Verão não é, por isso, a mais indicada;
- relativamente às temperaturas máximas, os 'picos' registam-se todos em Setembro mesmo no caso SBR4 que proporciona sombreamento total durante os quatro meses; neste mês, para a orientação Sul, há que ter pois em conta o efeito conjunto de radiação incidente e de elevada temperatura exterior;
- o sombreamento não apresenta inconvenientes sobre as temperaturas mínimas; em Junho - mês em que essa preocupação teria mais sentido - o decréscimo em $T_{mínima}$, pela existência de sombreamento, não chega a 0.5 °C;
- um dispositivo de sombreamento limitado a uma pála horizontal de pequeno tamanho dimensionada para a altura do Sol a 21 de Junho (procedimento habitual que conduz a uma solução próxima do caso SBR2) é insuficiente sobretudo para o mês de Setembro; nestas condições verifica-se uma temperatura média superior em 1.5 °C à de SBR4 com sombreamento total.

5.9. - VOLUMETRIA DA CONSTRUÇÃO

Efeito da volumetria Jun/Set

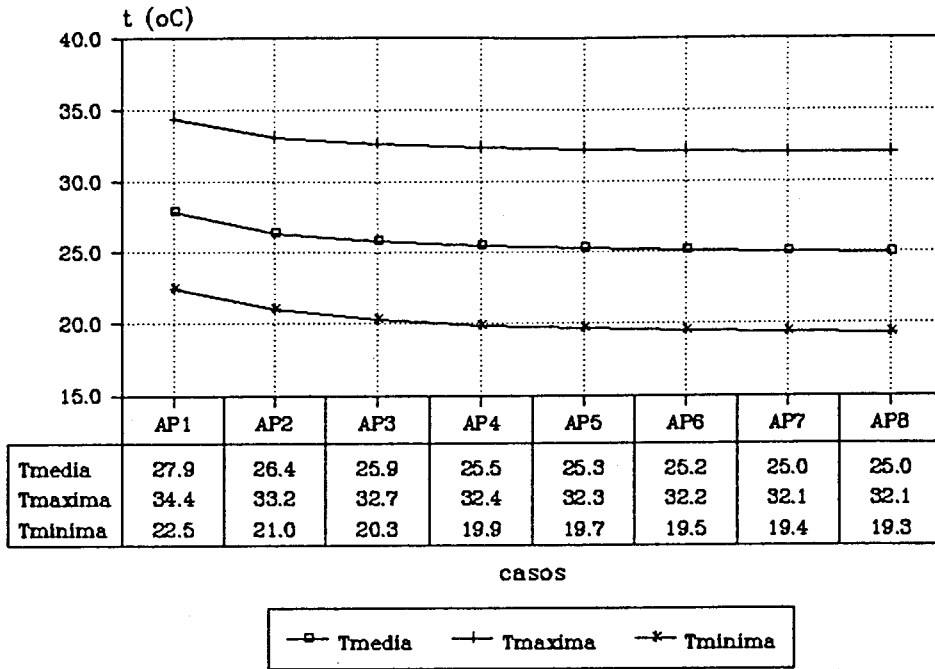


Fig.80 - Efeito da volumetria.
Temperaturas no período de Junho a Setembro.

Efeito da volumetria Jun/Set

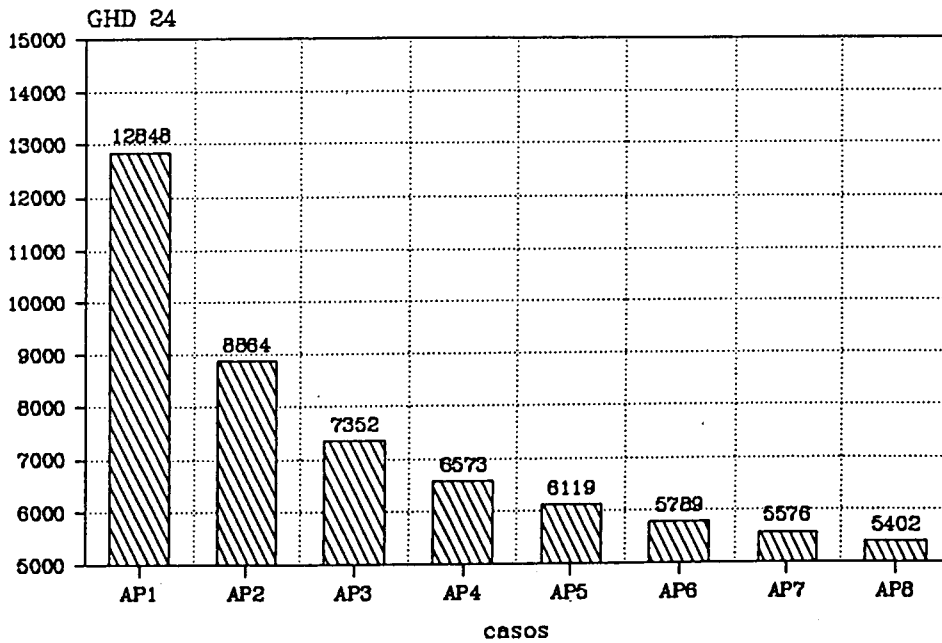


Fig.81 - Efeito da volumetria.
Graus-horas de desconforto.

Em face dos resultados expostos observa-se que:

- apesar da relação A_v/A_p se manter constante (igual a 15%) os vários módulos definidos apresentam diferentes graus de desconforto;
- o desconforto aumenta à medida que se reduzem as dimensões dos módulos e é particularmente grave para aqueles mais pequenos; a referida redução dá-se simultaneamente na área de envidraçado e na dos elementos opacos; este efeito verifica-se, porém, com uma diminuição mais acentuada na capacidade de armazenamento do que nos ganhos solares o que provoca o sobreaquecimento registado;
- o módulo escolhido influi na grandeza dos resultados;
- a relação A_v/A_p não parece suficientemente 'isenta' para regular, de forma absoluta, o efeito da área de envidraçado.

Capítulo 6

CONCLUSÕES

6. - CONCLUSÕES

6.1. - APRECIÇÃO DO ESTUDO DESENVOLVIDO

6.1.1. - Considerações gerais

O estudo permitiu uma melhor compreensão da importância dos envidraçados, dos seus efeitos e condicionantes, em vários domínios que envolvem a construção e o homem.

Na perspectiva de conforto e de comportamento térmico dos edifícios trataram-se os fenómenos de transferência de calor e as principais características termofísicas dos elementos da construção.

Salientaram-se as propriedades dos envidraçados, o seu desempenho em diferentes períodos ou estações do ano - dia/noite e Verão/Inverno - e a sua inclusão e funções nos sistemas solares passivos.

A propósito do estudo numérico abordaram-se diversas vias para a análise térmica de edifícios e detalhou-se a estrutura e utilização do programa ESP.

Adoptando uma construção-tipo e uma série de dados climáticos de referência efectuaram-se simulações sobre alguns parâmetros relativos aos envidraçados ou à construção e procedeu-se à sua análise para condições de Verão.

Os resultados foram sobretudo apreciados na óptica do sobreaquecimento interior e compararam-se diferentes meios para a sua avaliação.

6.1.2. - Resultados

Pelo estudo desenvolvido confirmaram-se algumas regras e princípios de domínio comum nesta matéria. Os resultados obtidos foram expressos graficamente e sistematicamente comentados. De entre as observações efectuadas e as conclusões extraídas, cabe referir as de maior importância ou particularidade. Em síntese verificou-se que:

- os envidraçados com orientação Nascente podem manifestar pior comportamento que os virados a Poente;
- a orientação Sul é a mais desfavorável no mês de Setembro; a pála horizontal de pequena dimensão (como tantas vezes se preconiza para resolver os problemas deste envidraçado no Verão) não garante nessa altura uma protecção eficaz;
- a distribuição de envidraçado por diferentes fachadas conduz a um resultado que se encontra quase sempre entre o de dois casos-extremo, que são o de envidraçado todo a Norte ou todo a Nascente;
- aumentar o isolamento térmico da envolvente pode ser desfavorável se essa medida não for acompanhada de um bom sombreamento dos envidraçados;
- no caso de um mau isolamento da construção a influência da área de envidraçado diminui face à permeabilidade térmica dos elementos opacos;
- o isolamento aplicado pelo interior pode causar desconforto e grandes variações de temperatura se daí resultar uma ocultação excessiva dos elementos de armazenamento térmico;

- de entre os vários tipos de vidro, os reflectantes são os mais vantajosos no Verão; dos vidros incolores para os vidros reflectantes pode conseguir-se um decréscimo de 1 °C a 2 °C na temperatura média interior; dos incolores para os absorventes aquela redução é de aproximadamente 0.5 °C;
- os efeitos da ventilação natural podem ser favoráveis ou perniciosos e são função das condições climáticas exteriores e da área ou ganhos solares captados pelo envidraçado;
- a relação A_v/A_p contém alguma limitação; construções semelhantes, com diferente dimensão em planta mas com o mesmo valor de A_v/A_p , apresentam temperaturas interiores relativamente díspares; o sobreaquecimento aumenta significativamente com a diminuição em planta.

6.2. - PERSPECTIVAS DE TRABALHO FUTURO

Com o trabalho descrito efectuou-se uma análise sobre vários parâmetros caracterizando a sua dimensão e reflexos no comportamento térmico dos edifícios em período de Verão. No seu seguimento e fruto dos resultados obtidos perspectivam-se vários estudos na mesma linha de acção.

A fim de aprofundar a influência dos parâmetros mais relevantes convirá analisar os seguintes aspectos:

- ventilação: efeitos mensais de diferentes estratégias de renovação do ar;

- sombreamento: extensão a mais casos de Av/Ap e a outras orientações de envidraçado;
- tipo de vidro: influência quando incluído a Nascente ou Poente; comparação do seu desempenho no Verão e no Inverno.

Para além do que foi já referido importa fazer uma outra análise - mais direccionada sobre duas ou três variáveis - considerando agora o seu efeito em condições de sombreamento. Da comparação destas situações 'opostas' - insolada / sombreada - será possível desenvolver e corrigir ou fundamentar melhor as interpretações efectuadas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] "Workshop on Passive Cooling". Preface, CEC, Ispra, Abril de 1990.
- [2] Sciuto, Salvo; Bourdeau, Luc - Minutes of the Simplified Design Tools Subgroup Meeting. CEC, 160-90-PASSYS-SDT-MN-300, Paris, Julho de 1990.
- [3] Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. Decreto-Lei 40/90 de 6 de Fevereiro.
- [4] Enciclopédia Luso-Brasileira de Cultura. Vol.18, Verbo, Lisboa.
- [5] Pereira, Teotónio, et al. - "Arquitectura Popular em Portugal." Vols. 1 a 3, Associação dos Arquitectos Portugueses, Lisboa, 1988.
- [6] Zevi, Bruno - "Saber Ver a Arquitectura". Arcádia, Lisboa, 1977.
- [7] Gomes, Ruy - "Necessidades Humanas e Exigências Funcionais da Habitação". LNEC, Memória 501, Lisboa, 1978.
- [8] Collins, Belinda - "Les fenêtres et les gens. Une étude bibliographique". CSTB, cahier 168, Paris, Abril de 1976.
- [9] Hopkinson, R.; Petherbridge, P.; Longmore, J. - "Iluminação Natural". Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1975.
- [10] Carvalho, Licínio - "A Envolvente dos Edifícios e a Iluminação Natural". LNEC, ITE 15, Lisboa, 1987.
- [11] Carvalho, Licínio - "Iluminação Natural no Projecto dos Edifícios". LNEC, DIT 14, Lisboa, 1985.
- [12] Regulamento Geral das Edificações Urbanas. Decreto-Lei nº 38382 de 7 de Agosto de 1951.
- [13] CSOPT - Projecto de Regulamento Geral das Edificações. Lisboa, Julho de 1989.

- [14] Martins da Silva, P. - "Acústica de Edifícios". LNEC, ITE 8, Lisboa, Março de 1978.
- [15] Regulamento Geral Sobre o Ruído. Decreto-Lei 251/87 de 24 de Junho.
- [16] NP 1889 - "Medição do isolamento de fachadas e seus elementos aos ruídos aéreos". 1986.
- [17] NP 2073 - "Critério de quantificação do isolamento sonoro em edifícios". 1983.
- [18] Rougeron, C. - "L'Isolation Acoustique et Thermique dans le Batiment". Editions Eyrolles, Paris, 1975.
- [19] LNEC. "Aplicação do Regulamento Geral Sobre Ruído aos Edifícios de Habitação", Lisboa, 1988.
- [20] "La Sécurité de la Construction face a l'Incendie". Editions Eyrolles, Paris, 1977.
- [21] Regulamento de Segurança Contra Incêndio. Decreto-Lei 64/90 de 21 de Fevereiro.
- [22] "European Passive Solar Handbook". CEC, DGXII, 1986.
- [23] Missenard, A.; Cadiorgues, R. - "Le Chauffage, La Ventilation , Le Conditionnement d'air". Editions Eyrolles, Paris, 1953.
- [24] LNEC - "Ventilação Natural dos Edifícios". Lisboa, Junho de 1977.
- [25] Moita, Francisco - "Energia Solar Passiva". Vol. 1, INMC, Lisboa, Julho de 1985.
- [26] Mazria, E. - "The Passive Solar Energy Book". Rodale Press, 1979.
- [27] Givoni, B. - "L'Homme, L'Architecture et Le Climat". Editions du Moniteur, Paris, 1978.

- [28] Fanger, P.O. - "Thermal Comfort". McGraw Hill, 1970.
- [29] Pina dos Santos, C.; Vasconcelos de Paiva, J. - "Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios". LNEC, ITE 28, Lisboa, 1990.
- [30] "Verre et Architecture". Glaverbel, Bruxelles.
- [31] Oliveira, Armando - "Método Simplificado para Avaliação do Comportamento Térmico de Edifícios Solares Passivos". Tese de Doutoramento, FEUP, Porto, 1989.
- [32] "Manual do vidro". Covina, 1986.
- [33] Maldonado, E.; Oliveira Fernandes, E. - "Energia Solar em Portugal: para quê e para quando." Comunicação ao Congresso da Ordem dos Engenheiros, Porto, Novembro de 1978.
- [34] Gonçalves, Helder - "Comportamento de sistemas solares passivos em edifícios". Tese de Mestrado, FEUP, Porto, 1986.
- [35] Canha da Piedade, A. - "Introdução às técnicas solares passivas". IST, Lisboa, Outubro de 1983.
- [36] Camous, R.; Watson, D. - "El habitat bioclimatico". Ediciones G. Gili, Barcelona, 1986.
- [37] "Casa-Laboratório Termicamente Optimizada". LNETI / FEUP, Outubro de 1983.
- [38] Freitas, Vasco - "Quantificação do coeficiente volumétrico das necessidades de aquecimento-B em função das características da envolvente". Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica, FEUP, Porto, 1985.
- [39] Abrantes, Vítor - "Análise numérica e experimental do comportamento térmico de coberturas com desvão". Tese de Doutoramento, FEUP, Porto, 1986.

- [40] Moret Rodrigues, A. - "Análise Térmica de Edifícios. Um Modelo de Simulação Numérica." Tese de Mestrado, IST, Lisboa, Setembro de 1989.
- [41] Clarke, Joe; Hand, Jon; Strachan, Paul - "ESP. A Building and Plant Energy Simulation System." ESRU, University of Strathclyde, Fevereiro de 1990.
- [42] Allen, John - "Technical Summary of the Thermal Model ESP". Nottingham University, Julho de 1986.
- [43] Bourdeau, Luc - "The Passys Project Phase 1. Subgroup SDT. Summary of Final Report." CSTB, Sophia Antipolis, Maio de 1990.
- [44] Abrantes, Vítor - "User Influence upon Building Energy Management." Comunicação ao "Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings IV", Orlando, Dezembro 1989.
- [45] Olgyay, V; Olgyay, A. - "Solar Control and Shading Devices". Princeton University, 1957.
- [46] Cavaleiro e Silva, A.; Malato, J. - "Geometria da Insolação de Edifícios". LNEC, ITE 5, Lisboa, Dezembro de 1969.
- [47] Carvalho, Licínio - "Caracterização da irradiação dos vãos envidraçados pela radiação solar directa." Vol.I, LNEC, Relatório 11/86-NAI, Lisboa, Dezembro de 1985.
- [48] Oliveira, Armando; Maldonado, E. - "Thermal Comfort Evaluation in Passive Solar Buildings". Doc. 052-87-PASSYS-SDT-WD-008, SDT Meeting, Sophia Antipolis, Setembro de 1987.
- [49] ISO 7730 - "Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort." ISO, 1984.

Anexo I

Exemplo de ficheiros
utilizados nas simulações com o programa ESP.

Nota:

Os ficheiros que aqui se incluem têm o propósito de esclarecer melhor o que foi anteriormente dito sobre a utilização do programa ESP. No seu conjunto, eles formam os dados necessários para uma só simulação. O caso aqui presente particulariza a hipótese de envidraçado exposto a Sul com área correspondente a uma relação Av/Ap de 15%. As características de construção e de operação são as indicadas nos dados gerais do capítulo 4.

'Geometry file' (a15.geo)

GEN

| | | | | | | | |
|----------|---------|---------|-------|--|--|--|--|
| 14. | 8. | 0.000 | | | | | |
| 0.0000. | 0.0000. | 0.0000. | | | | | |
| 1.8430. | 0.0000. | 0.0000. | | | | | |
| 12.0000. | 0.0000. | 0.0000. | | | | | |
| 1.8430. | 0.0000. | 0.3840. | | | | | |
| 10.1570. | 0.0000. | 0.3840. | | | | | |
| 1.8430. | 0.0000. | 2.1160. | | | | | |
| 10.1570. | 0.0000. | 2.1160. | | | | | |
| 0.0000. | 0.0000. | 2.5000. | | | | | |
| 10.1570. | 0.0000. | 2.5000. | | | | | |
| 12.0000. | 0.0000. | 2.5000. | | | | | |
| 0.0000. | 8.0000. | 0.0000. | | | | | |
| 12.0000. | 8.0000. | 0.0000. | | | | | |
| 0.0000. | 8.0000. | 2.5000. | | | | | |
| 12.0000. | 8.0000. | 2.5000. | | | | | |
| 7, 1, | 2, 4, | 6, 7, | 9, 8, | | | | |
| 4, 4, | 5, 7, | 6, | | | | | |
| 7, 2, | 3, 10, | 9, 7, | 5, 4, | | | | |
| 4, 3, | 12, 14, | 10, | | | | | |
| 4, 12, | 11, 13, | 14, | | | | | |
| 4, 11, | 1, 8, | 13, | | | | | |
| 5, 8, | 9, 10, | 14, 13, | | | | | |
| 5, 11, | 12, 3, | 2, 1, | | | | | |
| 0, 0, | 0, 0, | 0, 0, | 0, 0, | | | | |
| 0, 0, | 0, 0, | 1, 0, | 0, 0, | | | | |
| 5.5500, | 0.9000, | 2.0000, | | | | | |
| 1, 8, | 0, 0 | | | | | | |

'Construction file' (a1.con)

```

2, 0,
1, 0,
2, 0,
2, 0,
2, 0,
2, 0,
2, 0,
2, 0,
0.0400, 15.0, 1400.0, 0.0200,
1.7500, 2400.0, 920.0, 0.1500,
1.1000, 2700.0, 1800.0, 0.0040,
0.0400, 15.0, 1400.0, 0.0200,
1.7500, 2400.0, 920.0, 0.1500,
0.0400, 15.0, 1400.0, 0.0200,
1.7500, 2400.0, 920.0, 0.1500,
0.0400, 15.0, 1400.0, 0.0200,
1.7500, 2400.0, 920.0, 0.1500,
0.0400, 15.0, 1400.0, 0.0200,
1.7500, 2400.0, 920.0, 0.1500,
0.0400, 15.0, 1400.0, 0.0300,
1.7500, 2400.0, 920.0, 0.1500,
0.0400, 15.0, 1400.0, 0.0300,
1.7500, 2400.0, 920.0, 0.1500,
2.540,
0.900, 0.840, 0.900, 0.900, 0.900, 0.900, 0.900, 0.900,
0.900, 0.840, 0.900, 0.900, 0.900, 0.900, 0.000, 0.000,
0.600, 0.100, 0.600, 0.600, 0.600, 0.600, 0.600, 0.600,
0.600, 0.100, 0.600, 0.600, 0.600, 0.600, 0.000, 0.000,

```

'Operation file' (a.opr)

```

0 0.000 0.000
1
0, 24, 0.600 0.000 0 0.000
1
0, 24, 0.600 0.000 0 0.000
1
0, 24, 0.600 0.000 0 0.000
1
1, 0, 24, 400.0, 0.0, 0.000, 1.000
1
1, 0, 24, 400.0, 0.0, 0.000, 1.000
1
1, 0, 24, 400.0, 0.0, 0.000, 1.000

```

'Transparent multi-layered constructions file' (a1.tmc)

```
8
0 1 0 0 0 0 0 0
1
0.8500 0.8350 0.7950 0.6520 0.3990
0.0740 0.0820 0.0870 0.0920 0.0900
0
```

'Utilities file' (a1.utl)

```
0
0
0
0
0
0
1
a1.tmc
0
```

'System configuration file' (a15.cfg)

```
1
38.700 -9.100
2 0.200

1
1
a.opr
a15.geo
a1.con
1
a1.utl
8
1 1 0 0 0
1 2 0 0 0
1 3 0 0 0
1 4 0 0 0
1 5 0 0 0
1 6 0 0 0
1 7 0 0 0
1 8 0 0 0
0
```

Anexo II

Dados climáticos.
Processamento e caracterização.

Programa de conversão de dados do INMG para o programa ESP

```
C ***** TRFCLM.FOR *****
C
C PROGRAMA PARA TRANSFERENCIA DE DADOS DE UM FICHEIRO DO INMG PARA UM
C OUTRO A UTILIZAR NO MODULO CLM DO PROGRAMA ESP.
C
C DADOS: FICHEIRO TRY536.DAD COM DADOS CLIMATICOS DE LISBOA.
C
C RESULTADOS: FICHEIRO LISBOA.DAT COM DADOS HORÁRIOS DAS SEGUINTE
C VARIÁVEIS:
C DHF(1), RADIACAO DIFUSA HORIZONTAL (W/m2)
C DHF(2), TEMPERATURA AR SECA (°C x 10)
C DHF(3), RADIACAO GLOBAL HORIZONTAL (W/m2)
C DHF(4), VELOCIDADE DO VENTO (m/s x 10)
C DHF(5), DIRECCAO DO VENTO (GRAUS)
C DHF(6), HUMIDADE RELATIVA (%)
C
C OBS./DIFERENCAS DE UNIDADES:
C NO FICHEIRO TRY536.DAD A RADIACAO VEM EXPRESSA EM J/cm2, A
C VELOCIDADE DO VENTO EM Km/h E A SUA DIRECCAO EM DEZENAS DE GRAU.
C
C
C INTEGER DHI,DHF,DIAS
C DIMENSION DHI(34),DHF(6),DIAS(12)
C OPEN(10,FILE='TRY536.DAD',STATUS='OLD')
C OPEN(20,FILE='LISBOA.DAT',STATUS='NEW')
C DO 120 I=1,12
C   DO 80 K=1,DIAS(I)
C     WRITE(20,1000) K,I
1000   FORMAT('* day ',I2,' month ',I2)
C     DO 60 J=1,24
C       READ(10,1100)(DHI(L),L=1,34)
1100   FORMAT(2I5,8I4,3I5,5I4,I3,I4,4I2,3(I4,I2,I3),I7)
C       DHF(2)=DHI(6)
C       DHF(6)=DHI(9)
C     CONVERSAO DE UNIDADES E ARREDONDAMENTO
C     DHF(1)=NINT(DHI(12)/0.36)
C     DHF(3)=NINT(DHI(11)/0.36)
C     DHF(4)=NINT(DHI(15)/0.36)
C     DHF(5)=DHI(14)*10
C     WRITE(20,*)( DHF(L),L=1,6)
C
60   CONTINUE
80   CONTINUE
C   DO 100 M=1,DIAS(I)
C     READ(10,1200)
1200   FORMAT( )
100   CONTINUE
120  CONTINUE
C   DATA DIAS/31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31/
C   END
```

**Estrutura do ficheiro de dados climáticos utilizado no ESP
(exemplo extraído do ficheiro 'LISBOA.DAT').**

| | | | | | | |
|-------|-----|-------|-----|----|-----|----|
| * day | 31 | month | 7 | | | |
| | 0 | 170 | 0 | 28 | 300 | 77 |
| | 0 | 170 | 0 | 0 | 0 | 81 |
| | 0 | 174 | 0 | 11 | 280 | 67 |
| | 0 | 170 | 0 | 11 | 270 | 81 |
| | 0 | 170 | 0 | 22 | 310 | 83 |
| | 33 | 164 | 69 | 0 | 0 | 83 |
| | 81 | 170 | 244 | 0 | 0 | 81 |
| | 178 | 180 | 492 | 17 | 300 | 82 |
| | 211 | 188 | 608 | 33 | 340 | 80 |
| | 181 | 200 | 703 | 33 | 360 | 71 |
| | 194 | 224 | 928 | 28 | 330 | 65 |
| | 142 | 213 | 958 | 28 | 320 | 61 |
| | 119 | 234 | 961 | 22 | 990 | 56 |
| | 125 | 246 | 897 | 28 | 360 | 54 |
| | 169 | 247 | 697 | 28 | 350 | 55 |
| | 125 | 258 | 642 | 31 | 30 | 55 |
| | 78 | 254 | 450 | 44 | 360 | 57 |
| | 58 | 242 | 247 | 64 | 330 | 61 |
| | 28 | 236 | 64 | 64 | 340 | 61 |
| | 3 | 220 | 3 | 61 | 330 | 65 |
| | 0 | 202 | 0 | 50 | 340 | 68 |
| | 0 | 186 | 0 | 50 | 330 | 73 |
| | 0 | 180 | 0 | 47 | 340 | 69 |
| | 0 | 176 | 0 | 47 | 340 | 69 |
| * day | 1 | month | 8 | | | |
| | 0 | 172 | 0 | 22 | 30 | 69 |
| | 0 | 168 | 0 | 31 | 350 | 67 |
| | 0 | 160 | 0 | 31 | 350 | 66 |
| | 0 | 156 | 0 | 31 | 350 | 66 |
| | 0 | 154 | 3 | 36 | 340 | 65 |
| | 28 | 146 | 75 | 22 | 350 | 68 |
| | 56 | 148 | 261 | 22 | 360 | 67 |
| | 75 | 160 | 458 | 22 | 350 | 70 |
| | 89 | 186 | 642 | 31 | 350 | 65 |
| | 117 | 212 | 797 | 28 | 20 | 58 |
| | 97 | 240 | 906 | 28 | 50 | 58 |
| | 97 | 262 | 961 | 25 | 80 | 56 |
| | 100 | 280 | 958 | 22 | 70 | 51 |
| | 103 | 304 | 881 | 31 | 80 | 45 |
| | 114 | 314 | 750 | 39 | 50 | 42 |
| | 100 | 304 | 608 | 50 | 340 | 48 |
| | 81 | 310 | 433 | 44 | 350 | 45 |
| | 58 | 310 | 233 | 61 | 350 | 45 |
| | 28 | 282 | 61 | 56 | 330 | 47 |
| | 3 | 260 | 3 | 61 | 340 | 49 |
| | 0 | 232 | 0 | 72 | 340 | 44 |
| | 0 | 215 | 0 | 67 | 330 | 46 |
| | 0 | 204 | 0 | 67 | 330 | 49 |
| | 0 | 190 | 0 | 39 | 340 | 61 |

Programa de cálculo
dos valores médios horários dos parâmetros climáticos mais significativos.

```
REM ***** VMH.BAS *****
REM
REM  CALCULO DOS VALORES MEDIOS HORARIOS (VMH) DOS SEGUINTE PARAMETROS:
REM      TEMPERATURA EXTERIOR
REM      RADIACAO DIFUSA
REM      RADIACAO GLOBAL EM SUPERFICIE HORIZONTAL
REM      HUMIDADE RELATIVA
REM
REM  DADOS: FICHEIRO CLIMATICO DO TIPO REQUERIDO PELO PROGRAMA ESP
REM      (OBS: A SUA COLUNA 3 DEVE REPRESENTAR A RADIACAO GLOBAL).
REM
REM  RESULTADOS: VMH PARA OS PARAMETROS ACIMA INDICADOS POR CADA HORA DO DIA
REM      E PARA UM MES DEFINIDO PELO UTILIZADOR;
REM      OUTPUT PARA UM FICHEIRO DE RESULTADOS.
CLS
LOCATE 3,1
PRINT "* DADOS CLIMÁTICOS / CÁLCULO DE VALORES MÉDIOS HORÁRIOS *"
LOCATE 5,8
LINE INPUT "Nome e extensão do ficheiro de dados: ";FICH1$
LOCATE 7,8
INPUT "Número do mês a analisar (1 a 12): ",NM
DIM DIAS(12),DADO(6),TEXT(24),DIFUHORA(24),GLOBHORA(24),HUMREL(24)
DATA 31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31
DATA "JANEIRO","FEVEREIRO","MARÇO","ABRIL","MAIO","JUNHO","JULHO"
DATA "AGOSTO","SETEMBRO","OUTUBRO","NOVEMBRO","DEZEMBRO"
FOR I=1 TO 12
  READ DIAS(I)
NEXT I
FOR I=1 TO NM
  READ MES$
NEXT I
LOCATE 13,1
PRINT "* MÊS DE ";MES$;" *"
LOCATE 15,1
PRINT " TEMPERATURA EXTERIOR, RAD. DIFUSA, RAD. GLOBAL E HUMIDADE RELATIVA"
LOCATE 17,8
PRINT "A saída de resultados é conduzida para ficheiro."
LOCATE 19,8
LINE INPUT "Nome e extensão para o ficheiro de resultados: ";FICH2$
TOTAL=0
IF NM=1 THEN GOTO 10
REM TOTAL=NUMERO DE LINHAS A SALTAR NA LEITURA DO FICHEIRO CLIMATICO
FOR I=1 TO NM-1
  TOTAL=TOTAL+DIAS(I)
NEXT I
```

```

10 OPEN FICH1$ FOR INPUT AS #1
IF NM=1 THEN GOTO 20
FOR I=1 TO TOTAL
  INPUT #1,D$
  FOR J=1 TO 24
    INPUT #1,D1,D2,D3,D4,D5,D6
  NEXT J
NEXT I
20 FOR I=1 TO DIAS(NM)
  INPUT #1,D$
  FOR J=1 TO 24
    INPUT #1,DADO(1),DADO(2),DADO(3),DADO(4),DADO(5),DADO(6)
    TEXT(J)=TEXT(J)+DADO(2)
    DIFUHORA(J)=DIFUHORA(J)+DADO(1)
    GLOBHORA(J)=GLOBHORA(J)+DADO(3)
    HUMREL(J)=HUMREL(J)+DADO(6)
  NEXT J
NEXT I
FOR J=1 TO 24
  TEXT(J)=0.1*TEXT(J)/DIAS(NM)
  DIFUHORA(J)=DIFUHORA(J)/DIAS(NM)
  GLOBHORA(J)=GLOBHORA(J)/DIAS(NM)
  HUMREL(J)=HUMREL(J)/DIAS(NM)
NEXT J
OPEN FICH2$ FOR OUTPUT AS #2
PRINT #2,"MES DE ";MES$
PRINT #2,"TEMPERATURA EXTERIOR, RAD. DIFUSA, RAD. GLOBAL E HUMIDADE RELATIVA"
PRINT #2,"(VALORES MEDIOS HORARIOS)"
PRINT #2,
R1$="##"
R2$=" "
R3$="##.#"
R4$="#####"
FOR J=1 TO 24
  PRINT #2,USING R1$;J;
  PRINT #2,R2$;
  PRINT #2,USING R3$;TEXT(J);
  PRINT #2,R2$;
  PRINT #2,USING R4$;DIFUHORA(J);
  PRINT #2,R2$;
  PRINT #2,USING R4$;GLOBHORA(J);
  PRINT #2,R2$;
  PRINT #2,USING R1$;HUMREL(J)
NEXT J
LOCATE 23,29
PRINT "Ok! Registo concluído."
TECLA$=INPUT$(1)
CLS
END

```

Resultados obtidos com o programa VMH.BAS

(temperatura exterior, radiação difusa, radiação global e humidade relativa).

| | | | | | |
|--------------|----|------|-----|-----|----|
| Mês de Junho | 1 | 15.8 | 0 | 0 | 80 |
| | 2 | 15.6 | 0 | 0 | 81 |
| | 3 | 15.5 | 0 | 0 | 81 |
| | 4 | 15.3 | 0 | 0 | 81 |
| | 5 | 15.1 | 5 | 6 | 82 |
| | 6 | 15.0 | 47 | 81 | 81 |
| | 7 | 15.2 | 105 | 240 | 82 |
| | 8 | 16.5 | 150 | 395 | 79 |
| | 9 | 18.1 | 202 | 539 | 73 |
| | 10 | 19.5 | 239 | 658 | 66 |
| | 11 | 20.9 | 259 | 751 | 61 |
| | 12 | 22.1 | 267 | 834 | 57 |
| | 13 | 22.9 | 265 | 842 | 53 |
| | 14 | 23.5 | 240 | 789 | 52 |
| | 15 | 23.7 | 210 | 727 | 51 |
| | 16 | 24.2 | 175 | 591 | 50 |
| | 17 | 23.6 | 138 | 404 | 52 |
| | 18 | 23.0 | 100 | 230 | 52 |
| | 19 | 21.6 | 49 | 81 | 56 |
| | 20 | 20.2 | 7 | 7 | 61 |
| | 21 | 18.4 | 0 | 0 | 68 |
| | 22 | 17.5 | 0 | 0 | 72 |
| | 23 | 16.8 | 0 | 0 | 76 |
| | 24 | 16.3 | 0 | 0 | 78 |

| | | | | | |
|--------------|----|------|-----|-----|----|
| Mês de Julho | 1 | 17.5 | 0 | 0 | 78 |
| | 2 | 17.1 | 0 | 0 | 79 |
| | 3 | 17.0 | 0 | 0 | 79 |
| | 4 | 16.7 | 0 | 0 | 81 |
| | 5 | 16.5 | 4 | 5 | 81 |
| | 6 | 16.2 | 44 | 80 | 82 |
| | 7 | 16.2 | 96 | 236 | 82 |
| | 8 | 17.2 | 145 | 408 | 80 |
| | 9 | 18.8 | 184 | 572 | 74 |
| | 10 | 20.6 | 212 | 726 | 66 |
| | 11 | 22.1 | 220 | 860 | 62 |
| | 12 | 23.5 | 214 | 917 | 58 |
| | 13 | 25.0 | 219 | 919 | 54 |
| | 14 | 25.5 | 204 | 892 | 53 |
| | 15 | 26.2 | 179 | 766 | 51 |
| | 16 | 26.7 | 146 | 617 | 50 |
| | 17 | 26.2 | 115 | 438 | 53 |
| | 18 | 25.2 | 86 | 252 | 54 |
| | 19 | 24.1 | 41 | 82 | 57 |
| | 20 | 22.4 | 4 | 4 | 61 |
| | 21 | 20.1 | 0 | 0 | 68 |
| | 22 | 18.8 | 0 | 0 | 73 |
| | 23 | 18.2 | 0 | 0 | 75 |
| | 24 | 17.8 | 0 | 0 | 77 |

Mês de Agosto

| | | | | |
|----|------|-----|-----|----|
| 1 | 19.1 | 0 | 0 | 68 |
| 2 | 18.8 | 0 | 0 | 69 |
| 3 | 18.5 | 0 | 0 | 70 |
| 4 | 18.3 | 0 | 0 | 71 |
| 5 | 17.9 | 0 | 0 | 72 |
| 6 | 17.8 | 22 | 36 | 71 |
| 7 | 17.6 | 74 | 179 | 72 |
| 8 | 18.2 | 118 | 369 | 72 |
| 9 | 19.8 | 144 | 540 | 69 |
| 10 | 21.4 | 160 | 693 | 64 |
| 11 | 23.3 | 171 | 790 | 59 |
| 12 | 24.9 | 177 | 848 | 56 |
| 13 | 26.2 | 178 | 858 | 54 |
| 14 | 27.3 | 170 | 805 | 52 |
| 15 | 28.0 | 162 | 688 | 50 |
| 16 | 28.1 | 141 | 541 | 49 |
| 17 | 27.6 | 112 | 365 | 50 |
| 18 | 26.6 | 70 | 179 | 52 |
| 19 | 24.7 | 22 | 33 | 57 |
| 20 | 22.7 | 0 | 0 | 61 |
| 21 | 20.9 | 0 | 0 | 64 |
| 22 | 20.2 | 0 | 0 | 65 |
| 23 | 19.8 | 0 | 0 | 67 |
| 24 | 19.5 | 0 | 0 | 69 |

Mês de Setembro

| | | | | |
|----|------|-----|-----|----|
| 1 | 18.9 | 0 | 0 | 74 |
| 2 | 18.7 | 0 | 0 | 75 |
| 3 | 18.2 | 0 | 0 | 77 |
| 4 | 17.9 | 0 | 0 | 77 |
| 5 | 17.6 | 0 | 0 | 78 |
| 6 | 17.6 | 5 | 5 | 79 |
| 7 | 17.4 | 51 | 78 | 80 |
| 8 | 17.5 | 109 | 240 | 80 |
| 9 | 18.8 | 155 | 393 | 77 |
| 10 | 20.5 | 187 | 522 | 71 |
| 11 | 22.1 | 226 | 660 | 66 |
| 12 | 23.8 | 224 | 721 | 61 |
| 13 | 25.1 | 226 | 738 | 57 |
| 14 | 26.4 | 210 | 678 | 54 |
| 15 | 27.2 | 176 | 573 | 51 |
| 16 | 27.2 | 145 | 433 | 50 |
| 17 | 26.9 | 108 | 250 | 52 |
| 18 | 25.8 | 51 | 82 | 54 |
| 19 | 23.8 | 4 | 5 | 59 |
| 20 | 22.0 | 0 | 0 | 65 |
| 21 | 20.6 | 0 | 0 | 70 |
| 22 | 20.1 | 0 | 0 | 71 |
| 23 | 19.6 | 0 | 0 | 73 |
| 24 | 19.2 | 0 | 0 | 73 |

Fig.AII.1

Temperatura exterior e humidade relativa
Junho

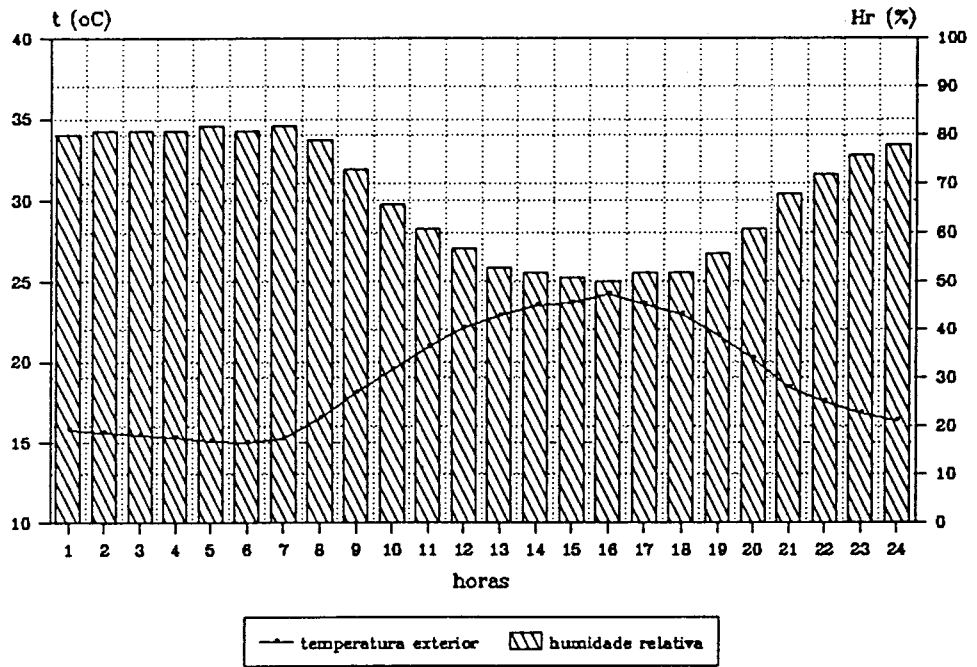


Fig.AII.2

Radiação difusa e radiação global
Junho

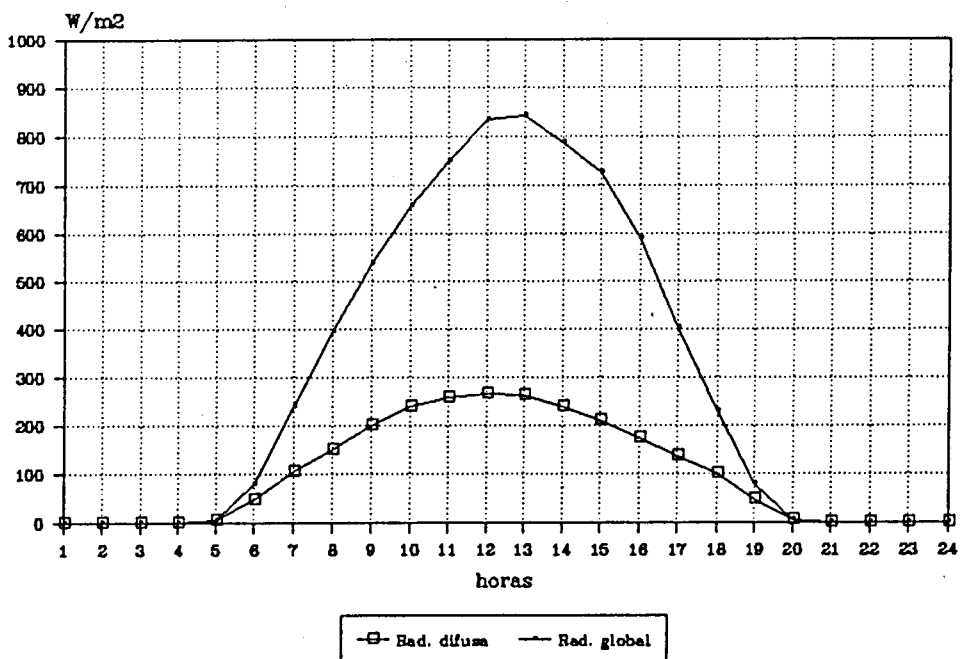


Fig.AII.3
 Temperatura exterior e humidade relativa
 Julho

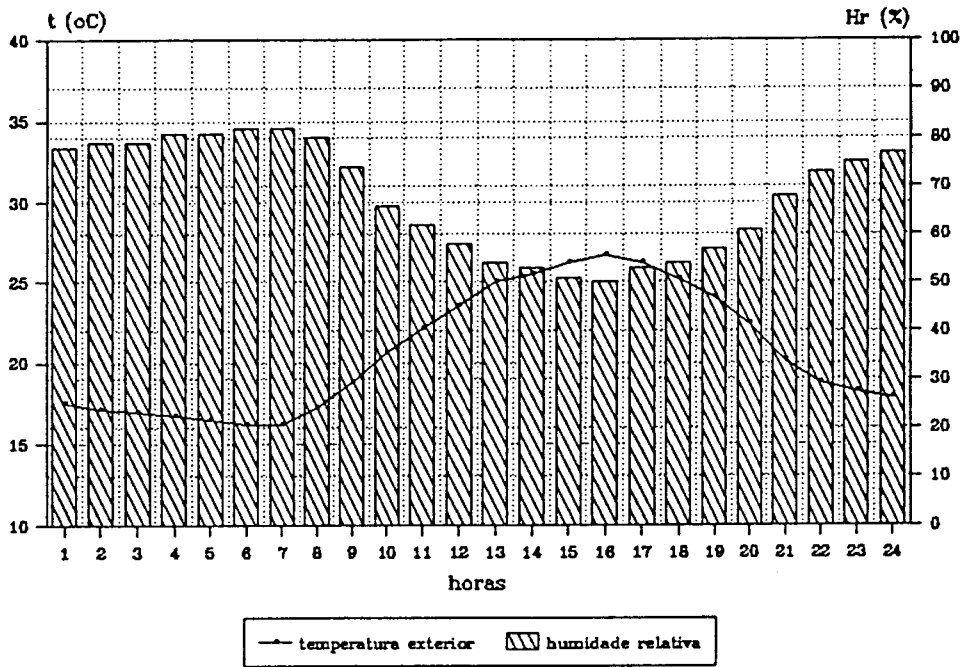


Fig.AII.4
 Radiação difusa e radiação global
 Julho

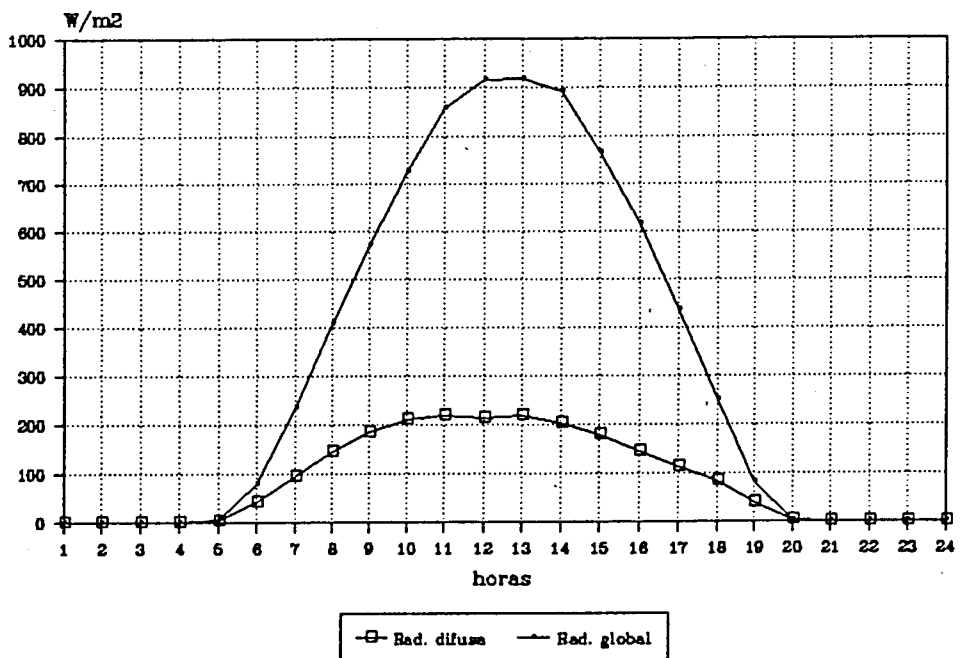


Fig.AII.5

Temperatura exterior e humidade relativa
Agosto

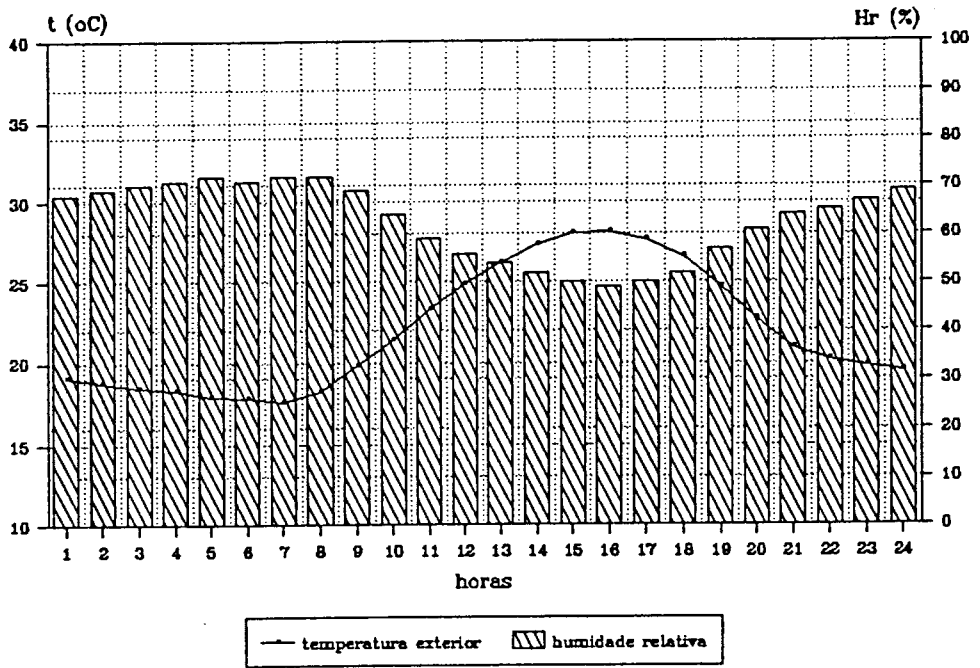


Fig.AII.6

Radiação difusa e radiação global
Agosto

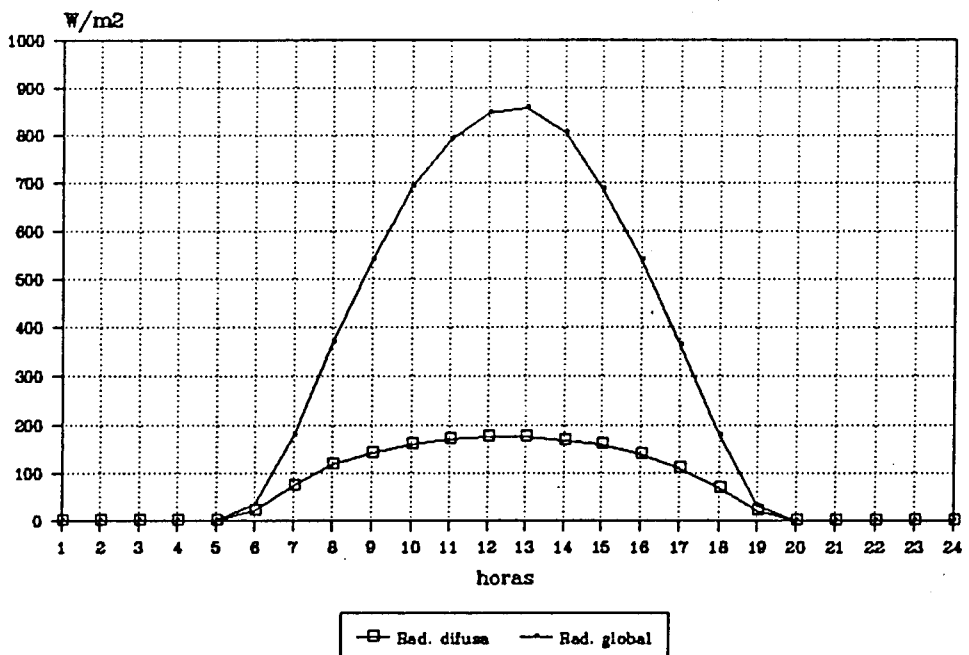


Fig.AII.7

Temperatura exterior e humidade relativa
Setembro

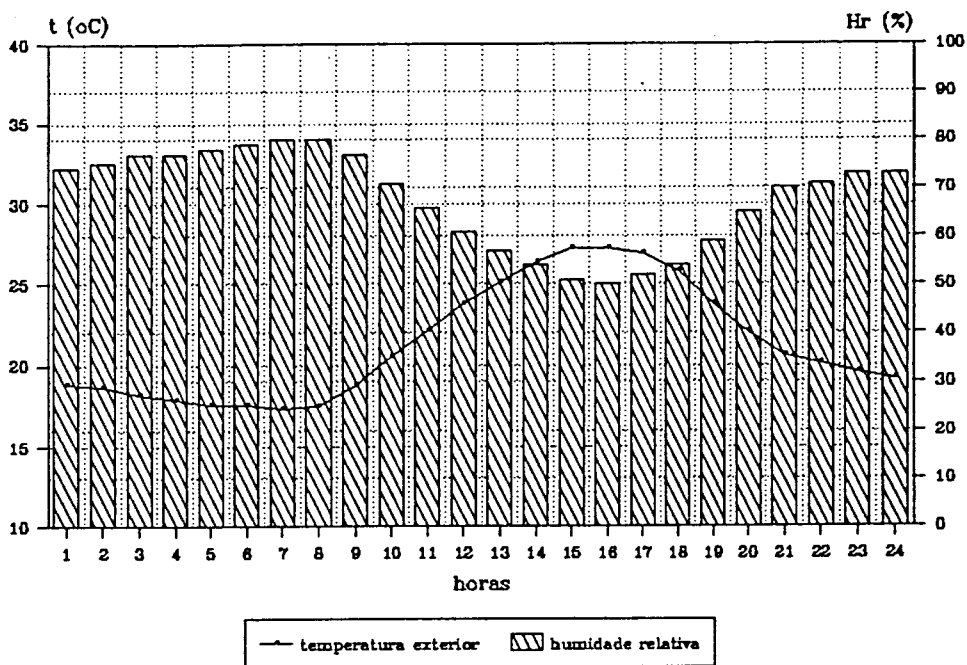
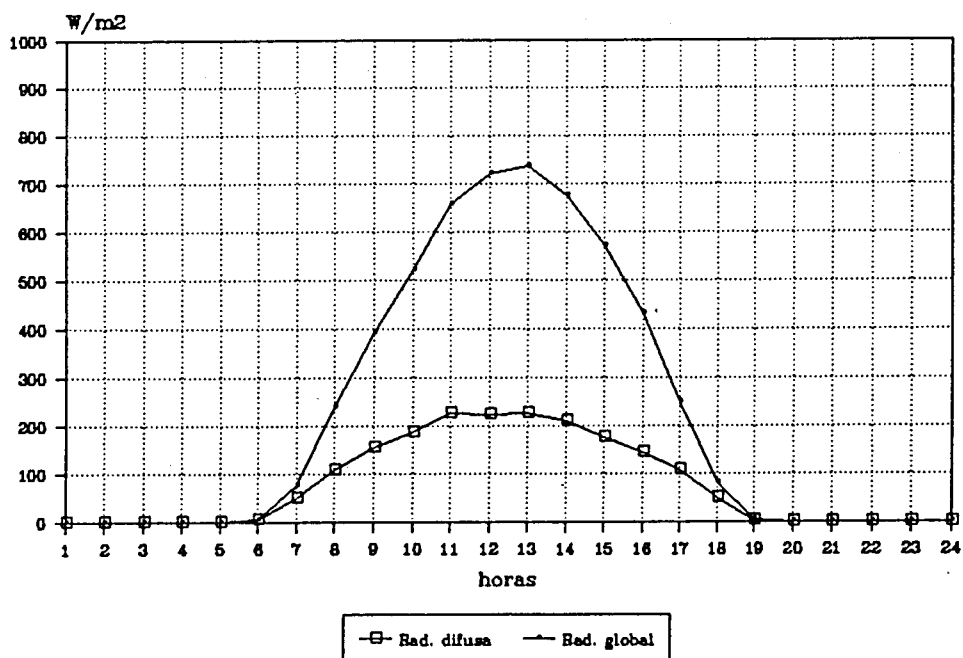


Fig.AII.8

Radiação difusa e radiação global
Setembro



Programa de cálculo de valores mensais para caracterização de temperaturas

```
REM ***** TEXT.BAS *****
REM
REM  CALCULO DOS VALORES MENSAIS DOS SEGUINTEs PARAMETROS:
REM          TEMPERATURA MEDIA
REM          "          MINIMA ABSOLUTA
REM          "          MAXIMA ABSOLUTA
REM          "          MEDIA DAS MINIMAS DIARIAS
REM          "          MEDIA DAS MAXIMAS DIARIAS
REM          AMPLITUDE TERMICA DIARIA MEDIA
REM
REM  DADOS: FICHEIRO CLIMATICO DO TIPO REQUERIDO PELO PROGRAMA ESP.
REM
REM  RESULTADOS: VALORES DOS PARAMETROS ACIMA INDICADOS PARA TODOS OS
REM              MESES DO ANO; OUTPUT PARA UM FICHEIRO DE RESULTADOS.
REM
CLS
LOCATE 4,1
PRINT "* DADOS CLIMÁTICOS / CARACTERIZAÇÃO DE TEMPERATURAS *"
LOCATE 9,8
LINE INPUT "Nome e extensão do ficheiro de dados: ";FICH1$
LOCATE 13,8
PRINT "A saída de resultados é conduzida para ficheiro."
LOCATE 15,8
LINE INPUT "Nome e extensão para o ficheiro de resultados: ";FICH2$
DIM DIAS(12),DADO(6),MEDIA(12),MIN(12),MAX(12),MEDMIN(12),MEDMAX(12),AMPLIT(12)
DATA 31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31
FOR I=1 TO 12
  MIN(I)=50
  MAX(I)=-50
  READ DIAS(I)
NEXT I
OPEN FICH1$ FOR INPUT AS #1
FOR I=1 TO 12
  FOR J=1 TO DIAS(I)
    MINDIA=50
    MAXDIA=-50
    INPUT #1,D$
    FOR K=1 TO 24
      INPUT #1,DADO(1),DADO(2),DADO(3),DADO(4),DADO(5),DADO(6)
      TEXT=0.1*DADO(2)
      MEDIA(I)=MEDIA(I)+TEXT
      IF TEXT<MINDIA THEN MINDIA=TEXT
      IF TEXT>MAXDIA THEN MAXDIA=TEXT
    NEXT K
    IF MIN(I)>MINDIA THEN MIN(I)=MINDIA
    IF MAX(I)<MAXDIA THEN MAX(I)=MAXDIA
    MEDMIN(I)=MEDMIN(I)+MINDIA
```

```

MEDMAX(I)=MEDMAX(I)+MAXDIA
AMPLIT(I)=AMPLIT(I)+(MAXDIA-MINDIA)
NEXT J
MEDIA(I)=MEDIA(I)/(DIAS(I)*24)
MEDMIN(I)=MEDMIN(I)/DIAS(I)
MEDMAX(I)=MEDMAX(I)/DIAS(I)
AMPLIT(I)=AMPLIT(I)/DIAS(I)
NEXT I
CLOSE #1
OPEN FICH2$ FOR OUTPUT AS #2
PRINT #2, "T1, temperatura media"
PRINT #2, "T2,      ..... minima absoluta"
PRINT #2, "T3,      ..... maxima absoluta"
PRINT #2, "T4,      ..... media das minimas diarias"
PRINT #2, "T5,      ..... media das maximas diarias"
PRINT #2, "T6, amplitude termica diaria media"
PRINT #2.
PRINT #2.
PRINT #2.
PRINT #2.
PRINT #2, "
PRINT #2, "MES      T1      "; T2      T3      T4      T5      T6"
PRINT #2,
R1$="#:#"
R2$="#:#.#"
R3$=" "
FOR I=1 TO 12
PRINT #2, "
PRINT #2, USING R1$; I;
PRINT #2, R3$;
PRINT #2, USING R2$; MEDIA(I);
PRINT #2, R3$;
PRINT #2, USING R2$; MIN(I);
PRINT #2, R3$;
PRINT #2, USING R2$; MAX(I);
PRINT #2, R3$;
PRINT #2, USING R2$; MEDMIN(I);
PRINT #2, R3$;
PRINT #2, USING R2$; MEDMAX(I);
PRINT #2, R3$;
PRINT #2, USING R2$; AMPLIT(I)
NEXT I
CLOSE #2
LOCATE 21,29
PRINT "Ok! Registo concluído."
TECLA$=INPUT$(1)
CLS
END

```

Resultados obtidos com o programa TEXT.BAS

| MES | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
|-----|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 9.8 | 1.2 | 16.4 | 7.0 | 12.9 | 5.8 |
| 2 | 10.5 | 1.2 | 22.5 | 7.8 | 13.8 | 6.0 |
| 3 | 12.2 | 5.2 | 24.8 | 9.3 | 15.8 | 6.6 |
| 4 | 14.6 | 5.7 | 25.0 | 11.2 | 18.5 | 7.3 |
| 5 | 16.4 | 7.4 | 27.4 | 12.4 | 21.6 | 9.2 |
| 6 | 19.0 | 10.0 | 33.2 | 14.5 | 24.6 | 10.1 |
| 7 | 20.7 | 13.8 | 37.2 | 15.8 | 27.0 | 11.2 |
| 8 | 22.0 | 14.2 | 35.4 | 17.1 | 28.7 | 11.6 |
| 9 | 21.4 | 13.4 | 34.6 | 16.7 | 27.8 | 11.1 |
| 10 | 17.3 | 10.2 | 25.6 | 13.2 | 22.4 | 9.2 |
| 11 | 12.8 | 6.4 | 20.6 | 9.6 | 16.7 | 7.1 |
| 12 | 10.6 | 3.0 | 17.4 | 7.5 | 13.9 | 6.4 |

T1, temperatura media
T2, minima absoluta
T3, maxima absoluta
T4, media das minimas diarias
T5, media das maximas diarias
T6, amplitude termica diaria media

Fig.AII.9

Temperatura e amplitude termica diaria
Valores medios mensais

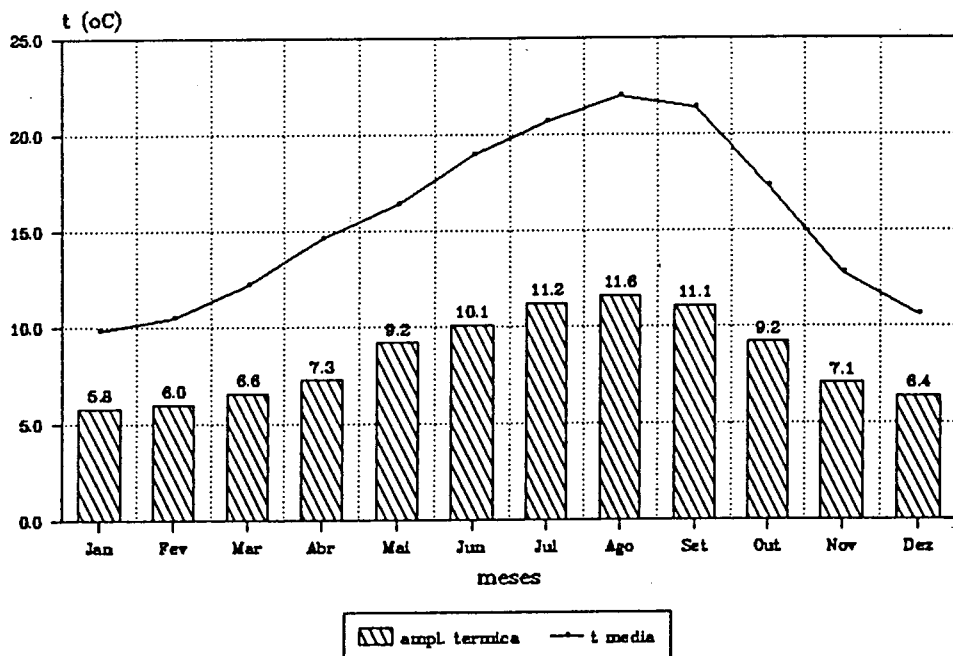
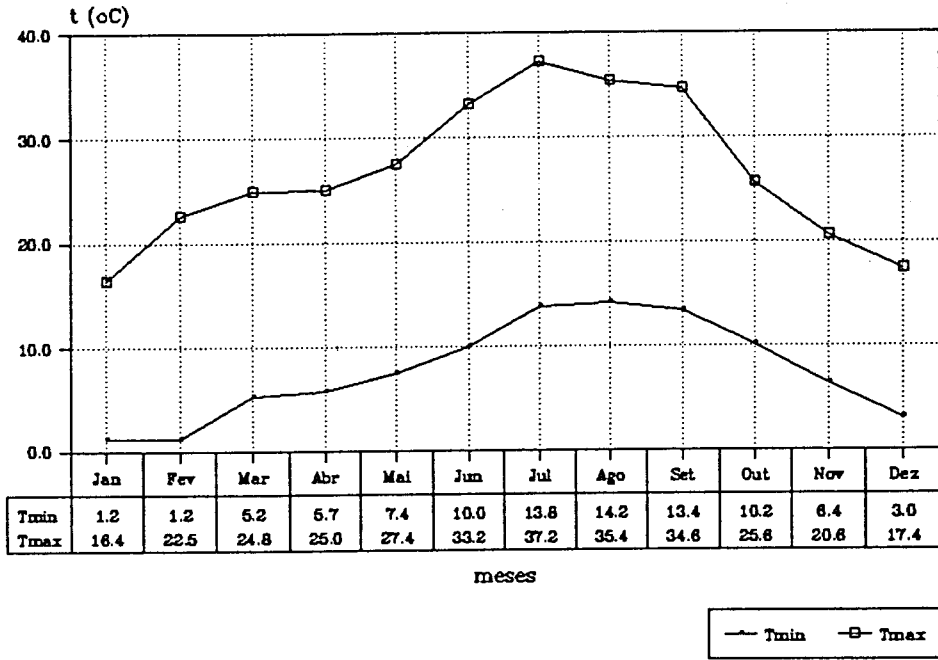


Fig.AII.10

Temperatura exterior
Valores mínimos e máximos absolutos



meses

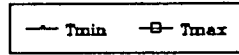
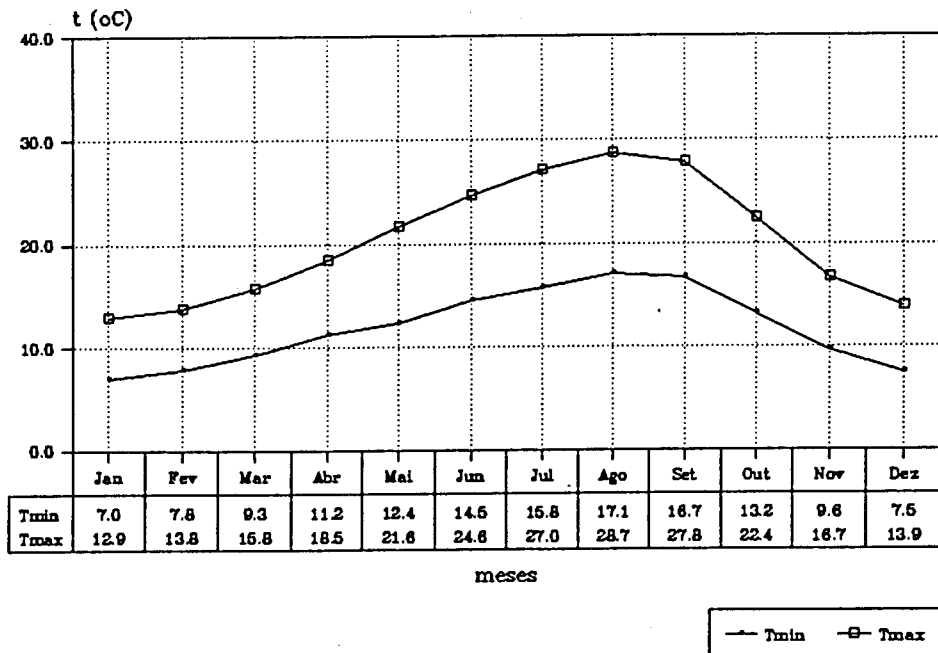
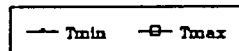


Fig.AII.11

Temperatura exterior
Valores medios mínimos e máximos



meses



Resultados obtidos com o programa ESP

Fig.AII.12

Text - Registo de frequencias
Junho

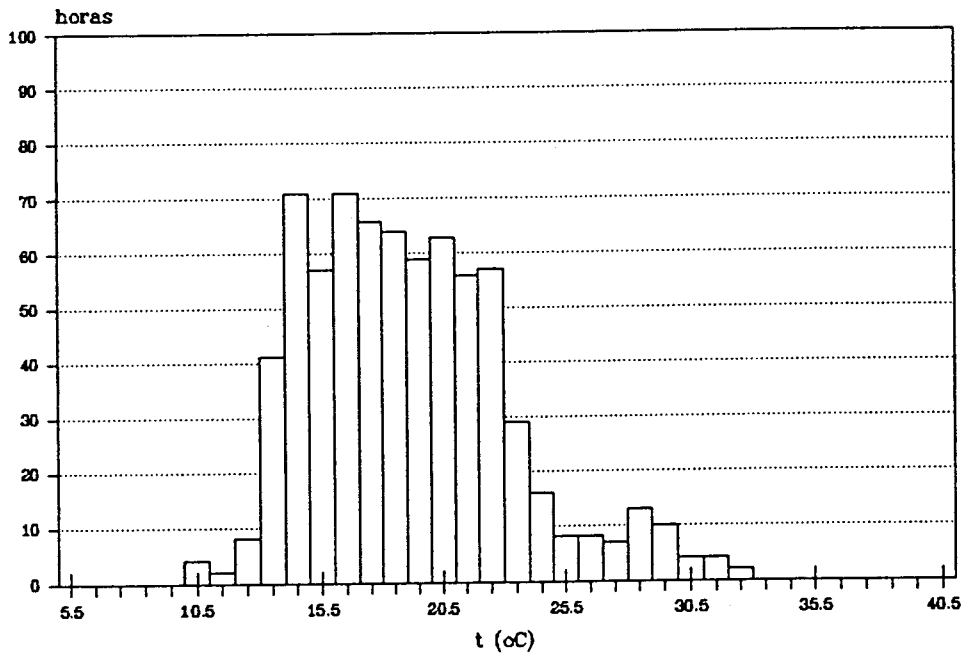


Fig.AII.13

Text - Registo de frequencias
Julho

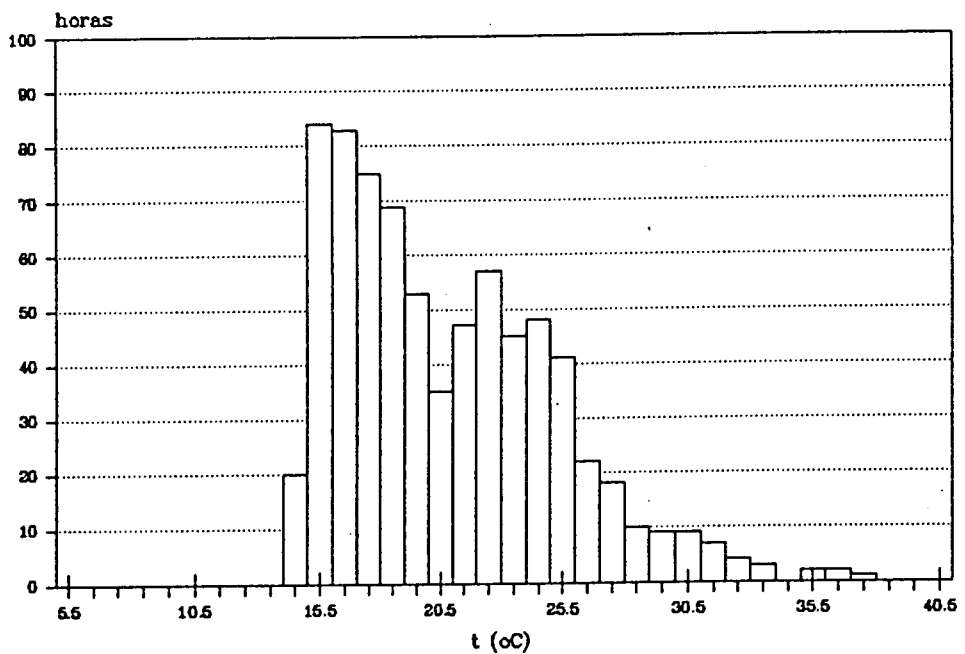


Fig.AII.14

Text - Registo de frecuencias
Agosto

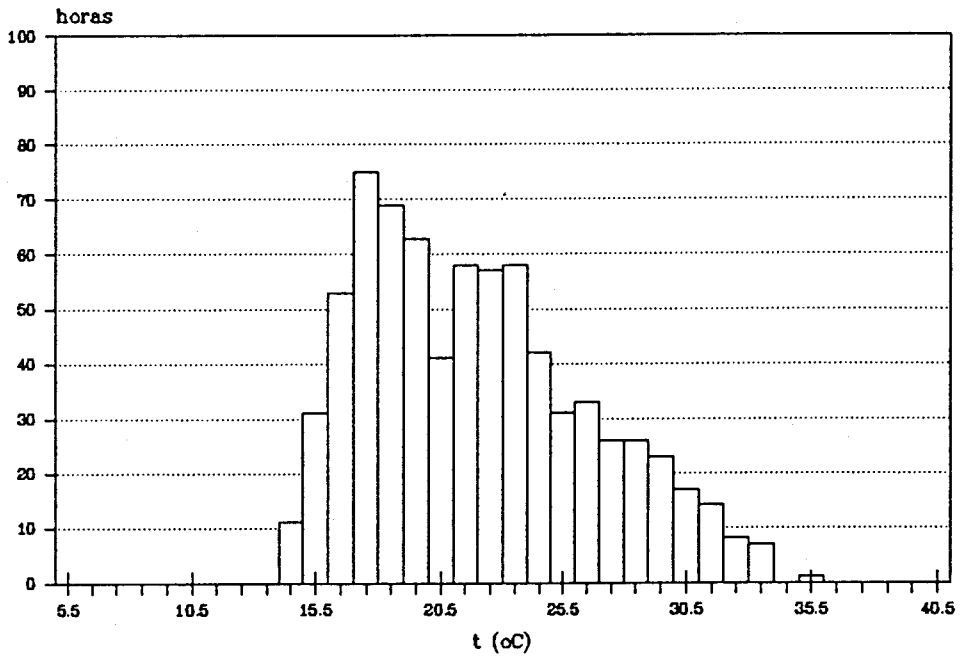
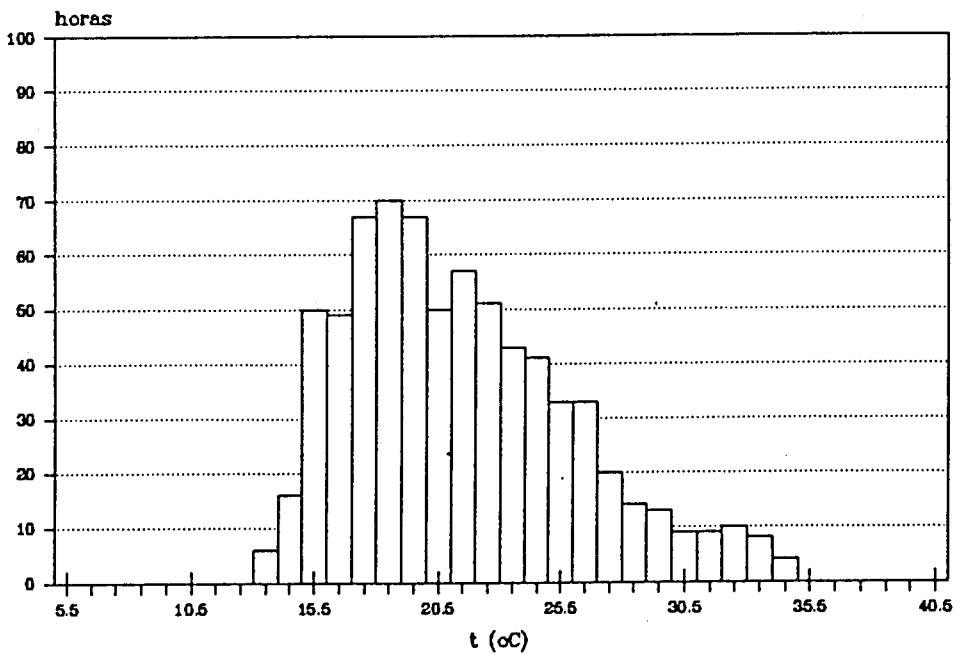


Fig.AII.15

Text - Registo de frecuencias
Setembro



Anexo III

Estudo numérico.

Elementos e justificações complementares.

Simulações com diferentes tipos de vidro. Elementos de caracterização.

Os envidraçados foram definidos, no que respeita à transmissão e absorção da radiação solar, através dos ficheiros tipo '.tmc' adiante transcritos. A sua estrutura compõe-se de duas ou três linhas - consoante se trate da análise de vidros simples ou duplos - e os valores aí registados têm o seguinte significado:

1ª linha: coeficientes de transmissão do vidro;

2ª linha: coeficientes de absorção do vidro (da superfície exterior no caso de vidro duplo);

3ª linha (só para vidro duplo): coeficientes de absorção da superfície interior.

Cada linha possui cinco elementos que traduzem o valor dos respectivos coeficientes para determinado ângulo de incidência. Estes dados são obtidos através do módulo 'win' do programa ESP que, para o efeito, apenas requer a indicação de algumas características elementares entre as quais a espessura do vidro e os seus coeficientes de transmissão e de absorção para incidência normal.

Ficheiros para os casos com vidro simples (VS)

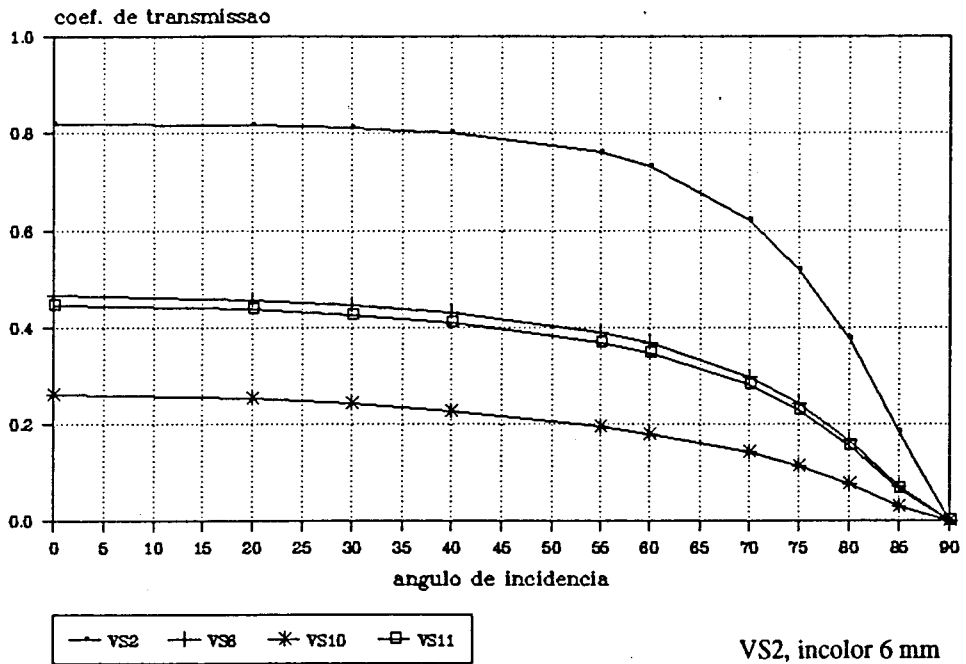
| ângulo | 0 | 40 | 55 | 70 | 80 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| caso VS1 | 0.8497 | 0.8346 | 0.7950 | 0.6522 | 0.3994 |
| | 0.0742 | 0.0815 | 0.0871 | 0.0917 | 0.0883 |
| caso VS2 | 0.8196 | 0.8019 | 0.7612 | 0.6213 | 0.3765 |
| | 0.1067 | 0.1169 | 0.1246 | 0.1302 | 0.1256 |
| caso VS3 | 0.7798 | 0.7590 | 0.7171 | 0.5814 | 0.3479 |
| | 0.1494 | 0.1632 | 0.1734 | 0.1793 | 0.1691 |
| caso VS4 | 0.7598 | 0.7375 | 0.6952 | 0.5617 | 0.3341 |
| | 0.1708 | 0.1863 | 0.1975 | 0.2034 | 0.1897 |
| caso VS5 | 0.5880 | 0.5556 | 0.5117 | 0.4013 | 0.2291 |
| | 0.3534 | 0.3802 | 0.3968 | 0.3933 | 0.3389 |
| caso VS6 | 0.4681 | 0.4319 | 0.3900 | 0.2989 | 0.1669 |
| | 0.4792 | 0.5101 | 0.5264 | 0.5094 | 0.4202 |
| caso VS7 | 0.3682 | 0.3313 | 0.2931 | 0.2196 | 0.1206 |
| | 0.5830 | 0.6146 | 0.6280 | 0.5965 | 0.4769 |
| caso VS8 | 0.3043 | 0.2685 | 0.2337 | 0.1722 | 0.0935 |
| | 0.6488 | 0.6794 | 0.6896 | 0.6475 | 0.5086 |
| caso VS9 | 0.2617 | 0.2273 | 0.1953 | 0.1420 | 0.0765 |
| | 0.6424 | 0.6693 | 0.6762 | 0.6302 | 0.4895 |
| caso VS10 | 0.2617 | 0.2273 | 0.1953 | 0.1420 | 0.0765 |
| | 0.4618 | 0.4811 | 0.4861 | 0.4530 | 0.3519 |
| caso VS11 | 0.4479 | 0.4114 | 0.3701 | 0.2824 | 0.1571 |
| | 0.1901 | 0.2020 | 0.2080 | 0.2005 | 0.1643 |

Ficheiros para os casos com vidro duplo (VD)

| ângulo | 0 | 40 | 55 | 70 | 80 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| caso VD1 | 0.7265 | 0.7059 | 0.6594 | 0.4868 | 0.2289 |
| | 0.0790 | 0.0871 | 0.0944 | 0.1061 | 0.1134 |
| | 0.0634 | 0.0687 | 0.0711 | 0.0654 | 0.0487 |
| caso VD2 | 0.6755 | 0.6513 | 0.6038 | 0.4405 | 0.2012 |
| | 0.1132 | 0.1243 | 0.1343 | 0.1487 | 0.1545 |
| | 0.0880 | 0.0946 | 0.0973 | 0.0881 | 0.0629 |
| caso VD3 | 0.5020 | 0.4691 | 0.4224 | 0.2966 | 0.1271 |
| | 0.3692 | 0.3973 | 0.4174 | 0.4280 | 0.3840 |
| | 0.0438 | 0.0456 | 0.0455 | 0.0394 | 0.0262 |
| caso VD4 | 0.3852 | 0.3500 | 0.3080 | 0.2099 | 0.0864 |
| | 0.4958 | 0.5273 | 0.5461 | 0.5407 | 0.4588 |
| | 0.0502 | 0.0508 | 0.0495 | 0.0415 | 0.0262 |
| caso VD5 | 0.2146 | 0.1841 | 0.1540 | 0.0990 | 0.0392 |
| | 0.6734 | 0.6998 | 0.7076 | 0.6664 | 0.5239 |
| | 0.0266 | 0.0254 | 0.0236 | 0.0186 | 0.0112 |
| caso VD6 | 0.2146 | 0.1841 | 0.1540 | 0.0990 | 0.0392 |
| | 0.5002 | 0.5199 | 0.5257 | 0.4950 | 0.3892 |
| | 0.0198 | 0.0189 | 0.0176 | 0.0138 | 0.0084 |
| caso VD7 | 0.3686 | 0.3334 | 0.2922 | 0.1980 | 0.0808 |
| | 0.2562 | 0.2720 | 0.2810 | 0.2770 | 0.2330 |
| | 0.0238 | 0.0240 | 0.0233 | 0.0194 | 0.0121 |

Fig.AIII.1

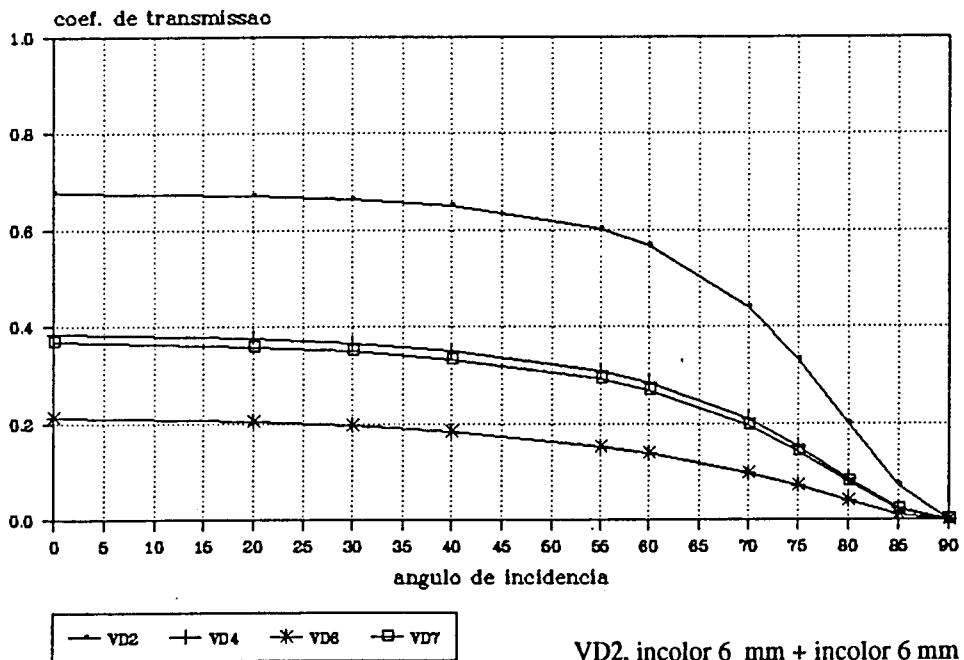
Vidros simples
 Variacao do coeficiente de transmissao



VS2, incolor 6 mm
 VS6, bronze 6 mm
 VS10, antélio bronze, refl. ext., 6 mm
 VS11, reflectasol 6 mm

Fig.AIII.2

Vidros duplos
 Variacao do coeficiente de transmissao



VD2, incolor 6 mm + incolor 6 mm
 VD4, bronze 6 mm + incolor 6 mm
 VD6, antélio bronze, refl. ext., 6 mm + incolor 6 mm
 VD7, reflectasol 6 mm + incolor 6 mm

Simulação do sombreamento de vãos. Dimensionamento de pálas.

De entre os quatro casos definidos existem três com dispositivos de sombreamento e um outro que não apresenta qualquer protecção, servindo este apenas de referência para a análise de resultados. Cada uma daquelas três hipóteses foi concebida para exercer determinada acção de influência durante o período em estudo (meses de Junho a Setembro). No caso SBR2 procura-se garantir o sombreamento, em grande parte do dia, nos meses de Junho e Julho. Com SBR3 cobre-se também Agosto e, finalmente, com SBR4 abrange-se o mês de Setembro.

Com recurso a um transferidor para determinação de ângulos de sombra e a uma carta solar da cidade de Lisboa [46] obtiveram-se as alturas do Sol para as 12 horas nos seguintes dias:

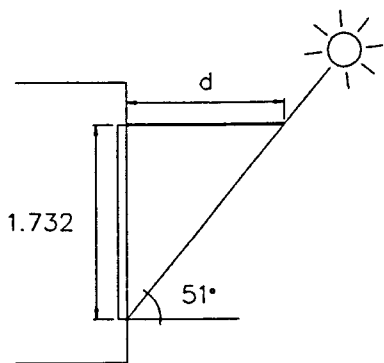
| dia | altura do Sol |
|----------------|---------------|
| 24 de Julho | 71° |
| 28 de Agosto | 61° |
| 21 de Setembro | 51° |

Obs.: as datas escolhidas devem-se aos critérios atrás referidos e ao facto destes dias serem explicitamente indicados na carta solar.

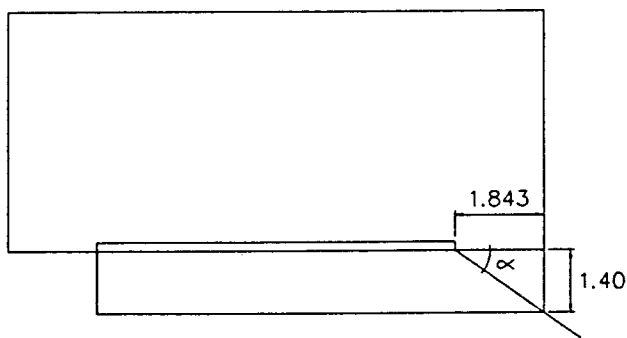
Em função destes valores e das dimensões do envidraçado (8.314 m x 1.732 m) determinaram-se, por simples trigonometria, as respectivas larguras para as pálas horizontais. Posto isto e tendo ainda em conta o seu comprimento, foi possível obter, para cada caso, a superfície de eficiência total (período em que o envidraçado se encontra totalmente em sombra).

A aplicação de uma pála vertical deu-se quando, por análise daquela superfície, se verificou necessária maior protecção na parte final da tarde (daí a sua localização a poente). A largura deste elemento tomou-se, em princípio, igual à da pála horizontal apreciando-se em seguida o seu efeito pela superfície de eficiência resultante.

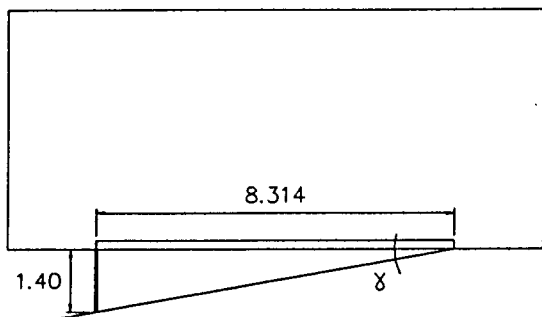
Tomando o caso SBR4 exemplifica-se o procedimento exposto.



$$d = 1.732 / (\text{tg } 51^\circ) = 1.40 \text{ m}$$

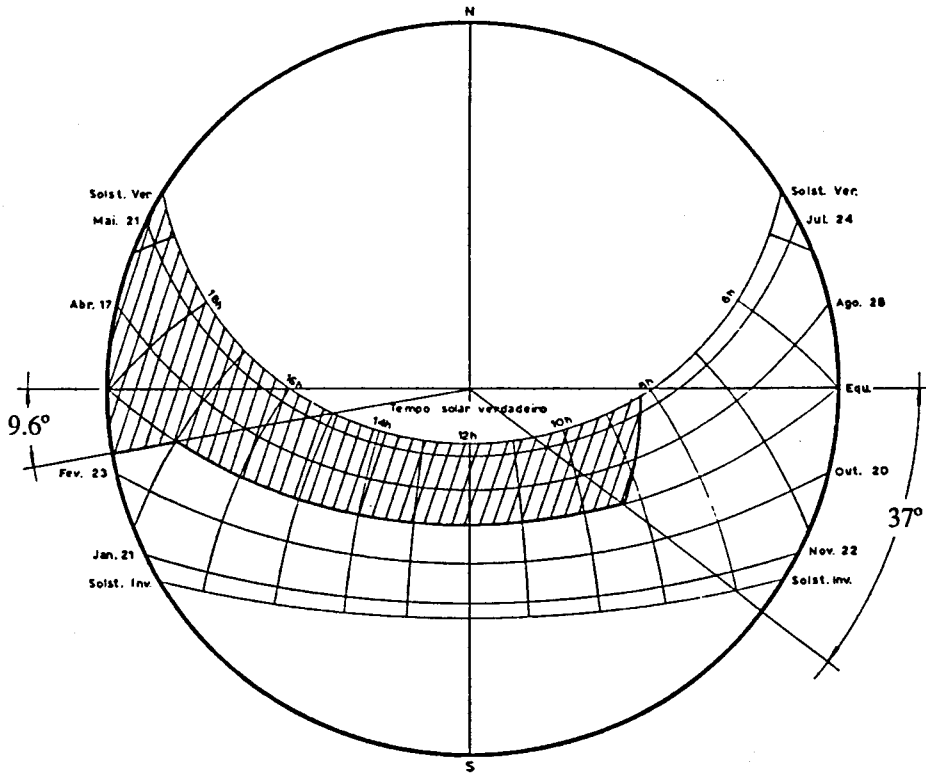


$$\alpha = \text{arc tg } (1.40 / 1.843) = 37^\circ$$



$$\gamma = \text{arc tg } (1.40 / 8.314) = 9.6^\circ$$

CARTA SOLAR PARA A CIDADE DE LISBOA (38,7° N)



superfície de eficiência total

As pásas assim definidas são introduzidas no programa ESP através de um ficheiro tipo '.obs' de que é exemplo o seguinte, relativo ao caso SBR4.

'Site obstructions file' (a1.obs)

```

38.70    -9.10
2
1.843   -1.401    2.116    10.157    1.400    0.100    0.00
1.833   -1.401    0.000    0.100    1.400    2.126    0.00
10    10    10    10
38.70    -9.10
2
1.843   -1.401    2.116    10.157    1.400    0.100    0.00
1.833   -1.401    0.000    0.100    1.400    2.126    0.00
10    10    10    10
    
```

Antes de executar a simulação propriamente dita é possível visualizar o edifício e as pás de modo a aferir a introdução e justeza dos dados.

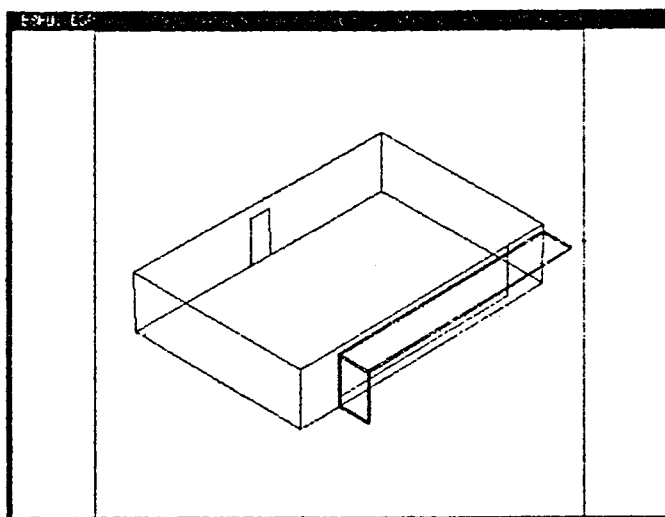


Fig.AIII.3 - Visualização do edifício com os dispositivos de sombreamento

Com estes elementos o ESP calcula, como foi referido, factores de sombreamento para uma dada superfície e determinado mês. O resultado que se obtém possui aspecto semelhante ao do exemplo seguinte (relativo ao caso SBR2 - pála horizontal apenas, com 0.60 m de largura - já que em SBR4 os factores são praticamente todos iguais a 1.0).

| Setembro | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|
| 01-06 h | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 07-12 h | 0.43 | 0.49 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| 13-18 h | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.43 |
| 19-24 h | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

Quadro AIII.1 - Exemplo de obtenção de factores de sombreamento



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



000006013