

RELATÓRIO DE ESTÁGIO

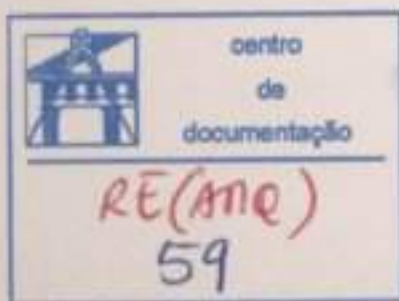
AGRADECIMENTOS

**ILUMINAÇÃO  
NATURAL  
NA ARQUITECTURA**

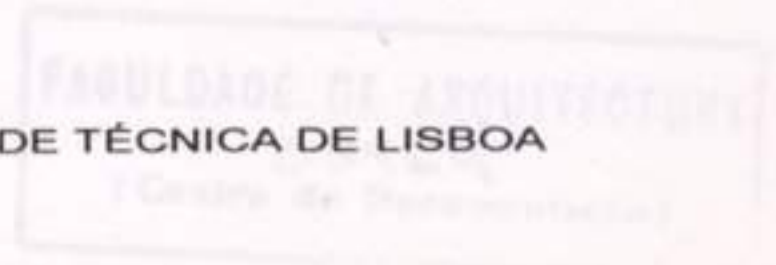
Realizado por: **PATRÍCIA MIRANDA RODRIGUES DE TEVES COSTA**

Orientador: **ARQ. RAUL HESTNES FERREIRA**

SETEMBRO 1998



FAACULDADE DE ARQUITECTURA DA UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA



ILUMINAÇÃO NATURAL NA ARQUITECTURA

INDICE

1. Introdução ..... 2

**AGRADECIMENTOS**

2. Iluminação natural na arquitectura ..... 4

2.1. Contexto geral ..... 5

Gostaria de agradecer ao arquitecto Raul Hestnes Ferreira pela oportunidade de partilhar dos seus conhecimentos e por todo o seu apoio e disponibilidade, sem os quais não teria sido possível a concretização deste estágio. Agradeço também ao Eng.º Licínio de Carvalho pela sua colaboração e disponibilidade, que em muito contribuíram para a elaboração deste trabalho. Não posso deixar de agradecer a todos os meus colegas do atelier, em especial à Susana Sequeira e ao Jaime pela colaboração na construção da maqueta, e aos meus familiares e amigos que me acompanharam e apoiaram ao longo da realização deste estágio.

2.4. Métodos de avaliação ..... 24

3. Museu de Évora - Estudo do aproveitamento da luz natural ..... 27

3.1. Primeira análise ..... 30

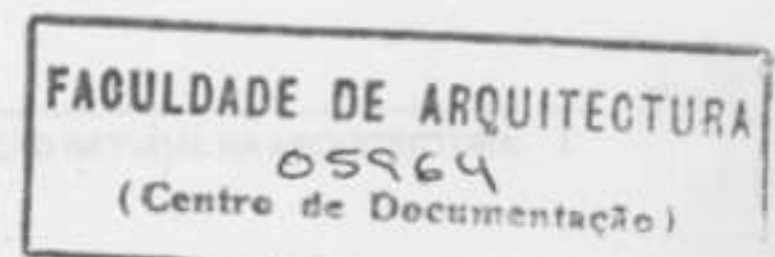
3.2. Estudo de simulação do Parque Planetário de São de Évora ..... 36

3.3. Estudo do modelo ..... 38

4. Conclusões ..... 71

5. Bibliografia ..... 72

6. ANEXOS - Conferência sobre Conservação Preventiva



# ILUMINAÇÃO NATURAL NA ARQUITECTURA

## ÍNDICE

1. Introdução .....	2
2. Iluminação natural na arquitectura .....	4
2.1. Conforto visual .....	5
2.2. Comportamento da luz natural / superfícies .....	7
2.3. Soluções arquitectónicas .....	14
2.4. Métodos de avaliação .....	24
3. Museu de Évora - Estudo do aproveitamento da luz natural .....	27
3.1 Primeira análise .....	30
3.2 Estudo da iluminação do Retábulo Flamengo da Sé de Évora .....	36
3.3 Estudo do modelo .....	38
4. Conclusões .....	71
5. Bibliografia .....	73
6. ANEXO I. - Conferência sobre Conservação Preventiva	

## 1. INTRODUÇÃO

### 1. INTRODUÇÃO

O estágio, que tem como objetivo principal, leva como base um tema subdividido segundo uma componente teórica, de investigação e aplicação dos conhecimentos, e uma componente prática, de aplicação desses conhecimentos numa situação concreta. O tema escolhido foi o aproveitamento da luz natural na arquitectura, que se situa dentro da temática da arquitectura solar passiva, uma área de interesse pessoal, que suscita interesse.

Creo que um estágio, como experiência académica, deve servir não só para tornar contacto com o mundo profissional, mas também para complementar os estudos de, ainda, aluno. Foi neste sentido que me propus desenvolver o estágio segundo um determinado tema, embora esta tenha sido apenas uma experiência profissionalmente pelo trabalho em si e pela diversidade de situações com que tive contacto.

O trabalho realizado no âmbito da arquitectura Hans Holmner, Porsas foi muito gratificante. A possibilidade de participar de duas experiências, ao participar em alguns trabalhos em curso, nas reuniões com especialistas de diversas áreas e no acompanhamento do desenvolver de um projecto, foram um contributo valioso para a minha aprendizagem.

Neste relatório apresentamos as principais ideias da parte central do estágio, a "Iluminação Natural na Arquitectura". Em anexo apresenta-se também a descrição de outras experiências realizadas, no âmbito do trabalho realizado durante o estágio, pela participação numa conferência sobre Construção Sustentável em Lisboa.

O tema central foi desenvolvido em dois capítulos, sendo o primeiro uma descrição teórica, resultado do trabalho de investigação realizado sobre a Iluminação Natural na Arquitectura, e o segundo a aplicação dos conhecimentos na prática da "Recuperação e Valorização do Museu de Évora", do Arq. Riza Huseinovic Perovic, o objectivo do estágio.

## 1. INTRODUÇÃO

O estágio, que me propus realizar, teve como base um tema subdividido segundo uma componente teórica, de investigação e ampliação dos conhecimentos, e uma componente prática, de aplicação desses conhecimentos numa situação concreta. O tema escolhido foi o aproveitamento da luz natural na arquitectura, que se situa dentro da temática da arquitectura solar passiva, uma área de interesse pessoal, que escolhi aprofundar.

Creio que um estágio, como experiência académica, deve servir não só para tomar contacto com o mundo profissional, mas também para complementar os estudos do, ainda, aluno. Foi nesse sentido que me propus desenvolver o estágio segundo um determinado tema, embora este tenha sido também uma experiência profissionalizante pelo trabalho em atelier e pela diversidade de situações com que tive contacto.

O trabalho realizado no atelier do arquitecto Raul Hestnes Ferreira foi muito gratificante. A possibilidade de partilhar da sua experiência, de participar em outros trabalhos em curso, nas reuniões com especialistas de diversas áreas e no acompanhamento do desenrolar de um projecto, foram um contributo valioso para a minha aprendizagem.

Neste relatório apresentam-se as diferentes abordagens do tema central do estágio, a "Iluminação Natural na Arquitectura". Em anexo apresenta-se também a descrição de outros conhecimentos adquiridos, no âmbito do trabalho realizado durante o estágio, pela participação numa conferência sobre Conservação Preventiva em museus.

O tema central irá ser subdividido em dois capítulos, sendo o primeiro uma descrição teórica, resultante do trabalho de investigação realizado sobre a iluminação natural na arquitectura, e o segundo a aplicação dos conhecimentos no projecto de "Recuperação e Valorização do Museu de Évora", do Arq. Raul Hestnes Ferreira, o orientador do estágio.

## 2. ILUMINAÇÃO NATURAL EM ARQUITECTURA

### 2. ILUMINAÇÃO NATURAL NA ARQUITECTURA

A luz natural é aquela que provém naturalmente do exterior, ou seja, a luz solar. A luz solar é aquela que ilumina naturalmente o ambiente, e a luz em relação à qual medimos todos os outros tipos de luz, na qual tentamos visualizar os corpos de que pretendemos saber o "momento" de ser. O bom uso da luz natural está, uma vez mais, a ser visto como um elemento fundamental na definição de qualidade de vida quotidiana arquitectónica.

O ambiente arquitectónico de um determinado espaço é um factor condicionante de conforto ou desconforto que não se pode ignorar. Desde há muito tempo que se vem usando a luz como elemento motivador do espaço, de acordo com uma enorme variedade de ambientes. A iluminação é, portanto, um elemento fundamental a considerar num espaço de forma-a que nos transmite a sensação que pretendamos ou de acordo com a função para a qual foi projectado. A importância desta importância visual do ambiente arquitectónico tem a ver com as soluções facilmente construíveis e mais baratas, passando a ter uma "preferência" pela iluminação artificial (e eléctrica) em detrimento da luz solar, uma preferência e mais difícil de controlar. Mas é verdade que sempre a iluminação da luz eléctrica, embora também se procure de sistemas de iluminação que se aproximem o mais possível da luz natural. Então porque não melhorar a iluminação com soluções económicas e eficazes, a luz solar?

A falta de espaço e a necessidade em áreas com cidades e a própria impossibilidade dos lugares abertos, como é a luz solar, são aspectos negativos que nos levam a optar pela solução "artificial" nos lugares interiores, de maneira que os espaços, ao contrário das soluções integradas de exterior, não comprometam a distribuição da luz natural.

É necessário compreender o fenómeno natural "luz" e a sua relação com o espaço e com o Homem para depois se conseguirem as melhores soluções e no nosso modo de vida.

#### 2.1. Características

As preferências da maioria em relação à iluminação são subjectivas, embora a climatologia, quando quer a idade, o sexo e também com o período do dia ou do ano. Mas a mais importante é a tendência a ser desactivada quanto mais portuante e iluminado se encontra o espaço. A luz solar é a luz natural mais barata que se tem e a luz de iluminação natural. É a luz natural que pode fornecer energia aos olhos, náusea, fadiga, irritabilidade e dor de cabeça, ou desconforto de decisão, para não falar de energia e acidentes de trabalho devido ao desconforto para diversas actividades realizadas em interiores. Assim, a distribuição adequada da luz solar e a forma de luz é natural em vez de artificial, as pessoas devem ser educadas para o uso da luz natural.

A aparência física dos espaços nos nos mostra depende da composição espacial de luz com que se encontra a luz solar e a forma com que chegamos as propriedades de qualidade de vida de acordo com as necessidades.

A luminosidade de um espaço com iluminação ligada ao seu ambiente interno, se medido em termos de iluminação eléctrica, a luz solar tem a vantagem de ser mais barata e de desenvolver a função para a qual foi projectado. No desenvolvimento da luz, há sempre que se tem em conta a função do espaço, as necessidades visuais do usuário e o conforto arquitectónico que se pretende. Assim, não se deve esquecer a importância visual do

## 2. ILUMINAÇÃO NATURAL EM ARQUITECTURA

A pesquisa mostra que as pessoas apreciam a variedade da luz natural, a presença da luz do sol num edifício e querem ver, nem que seja por um instante, o mundo lá fora. A luz solar é aquela a que estamos naturalmente adaptados; é a luz em relação à qual medimos todos os outros tipos de luz, na qual tentamos visualizar as coisas se quisermos saber como "realmente" são. O bom uso da luz natural está, uma vez mais, a ser visto como um elemento fulcral no desenho de edifícios de alta qualidade arquitectónica.

O ambiente lumínico de um determinado espaço é um factor condicionante do conforto ou desconforto que nele sentimos. Desde há muito tempo que se vem usando a luz como elemento modelador do espaço, definidor de uma enorme variedade de ambientes. A iluminação é, portanto, um elemento fulcral a controlar num espaço de forma a que este transmita a sensação que pretendemos ou se adequa à função para a qual foi projectado. A consciência desta importância vital do ambiente lumínico levou a que se adoptassem soluções facilmente controláveis e mais cómodas, passando a haver uma "preferência" pela iluminação artificial (luz eléctrica) em detrimento da luz solar, mais imprevisível e mais difícil de controlar. Mas à medida que cresce a utilização da luz eléctrica, aumenta também a procura de sistemas de iluminação que se aproximem o mais possível da luz natural. Então porque não escolher a solução mais económica e natural, a luz solar?

A falta de espaço, a construção em altura nas cidades e a própria imprevisibilidade dos factores naturais, como é a luz solar, são aspectos negativos que nos levam a optar pela solução "artificial" mas que poderiam, na maioria dos casos, ser contornados com soluções integradas de conjunto que não menosprezem a utilização da luz natural.

É necessário compreender o elemento natural "luz" e a sua relação com o espaço e com o Homem para melhor o integrarmos nos nossos edifícios e no nosso modo de vida.

### 2.1. Conforto visual

As preferências das pessoas em relação à iluminação são subjectivas, relativas e contextuais, variando com a idade, o sexo e também com o período do dia ou do ano. Mas o mais importante a considerar é a actividade a ser desenvolvida: quanto mais pormenorizado o objecto de observação ou mais velho o indivíduo, maior terá que ser o nível de luz (iluminância) necessário. Uma iluminação fraca pode provocar cansaço dos olhos, náusea, fadiga, irritabilidade e diminuição da capacidade de decisão, para não falar de enganos e acidentes (há valores ideais de iluminância para diversas actividades registados em tabelas - tabela 1). Descobriu-se também que, onde a fonte de luz é natural em vez de artificial, as pessoas aceitam um maior "leque" de valores de iluminância.

A aparência cromática dos objectos que nos rodeiam depende da composição espectral da luz com que os vemos e a luz solar é a norma pela qual julgamos as propriedades de definição de cores de outras fontes luminosas.

A funcionalidade de um espaço está intimamente ligada ao seu ambiente lumínico, na medida em que uma incorrecta utilização da luz pode torná-lo totalmente inadequado para o desempenho da função para que foi projectado. No dimensionamento da luz, há então que ter em conta a função do espaço, as necessidades visuais do utilizador e o conforto ambiental do conjunto das soluções. Quanto mais críticas são as necessidades visuais do

Tipo de trabalho	Valores de iluminância recomendados (lux)
Ateliers de desenho (cartografia, etc.)	5000 – 2500
Projectos de arquitectura	1500 – 750
Escritórios – dactilografia	1000 – 500
Salas de conferências	400 – 200
Escolas primárias – salas de aula	500 – 250
Habitação – sala de estar, luz ambiente	100 – 50
Habitação – sala de estar, luz localizada (leitura, escrita, etc.)	1000 – 500
Hospitais – salas de espera	200 – 100
Hospitais – quartos, luz ambiente	100 – 50
Hospitais – quartos, luz pessoal (para cada cama)	400 – 200
Restaurantes	150 – 75
Bares	150 – 75
Ateliers de costura (tecidos claros)	1500 – 750
Ateliers de costura (tecidos escuros)	3000 – 1500
Museus – iluminação geral	300 – 150
Museus – exposição de pinturas	400 – 200

Tabela 1 – Iluminância recomendada para determinadas actividades

utilizador, menor é a liberdade do arquitecto. Assim, espaços como átrios, corredores, etc. oferecem mais liberdade para a manipulação, em relação à iluminação natural, do que espaços como salas de aula, bancos, escritórios, hospitais, etc. que devem ter uma luz cuidadosamente controlada, que, muitas vezes, é integrada com sistemas de iluminação artificiais.

A qualidade e quantidade da luz são factores determinantes na criação de qualquer ambiente: muita luz transmite-nos uma sensação de amplitude de espaço que se torna agradável em espaços públicos mas que se torna desagradável quando se pretende privacidade, intimidade ou até concentração. Do mesmo modo a luz branca pode ser mais "fria" e impessoal, ideal para luz ambiente, para locais de trabalho e espaços públicos, enquanto que a luz amarela, mais "quente" se torna mais acolhedora dando uma maior sensação de intimidade. Cores frias (azuladas) são menos atractivas mas captam a atenção enquanto que as cores quentes (vermelhos e amarelos) são atractivas mas reduzem a atenção.

Outro factor importante é a coordenação entre a luz ambiente e os pontos de luz que evidenciam determinados elementos ou definem sub-espacos. Há então duas componentes para o conforto lumínico: uma componente física que corresponde às necessidades visuais do utilizador e que pode ser quantificável e uma componente psicológica que tem a ver com a qualidade e tipo de iluminação escolhido. Mas para se poder controlar o ambiente lumínico de um espaço é também necessário conhecer o comportamento da luz, a sua relação com o



espaço físico e superfícies / materiais da envolvente próxima, avaliando os diversos parâmetros que para ele contribuem.

## 2.2. Comportamento da luz natural / superfícies

Para um aproveitamento da luz natural correcto e eficaz há que, em primeiro lugar, conhecer o seu comportamento e, simultaneamente, compreender a sua relação com a envolvente física natural e construída.

A luz natural que chega a um edifício é constituída por luz vinda directamente do sol, luz difundida pela atmosfera e luz reflectida pelo chão ou outras superfícies. O principal problema para o seu aproveitamento / controle é ter acesso à luz gerada por todas as fontes num determinado local. O primeiro factor a ser considerado é a luminância do céu. A intensidade da iluminação solar directa num dia limpo varia com a espessura da massa de ar que atravessa – uma função do ângulo do sol em relação à superfície terrestre. A luz é menos intensa ao nascer e ao pôr do sol que ao meio-dia, e menos intensa em latitudes altas do que nas baixas.

A luz natural tem padrões previsíveis de variação diária e sazonal e padrões imprevisíveis resultantes do aparecimento de nuvens, poluição atmosférica e outras variações climáticas. De uma forma muito genérica podemos remeter as variações (previsíveis) da luz solar para duas situações-tipo extremas: dias de sol e dias de céu encoberto. A primeira situação refere-se a dias com nebulosidade inferior a 30% e a segunda a dias em que a nebulosidade é de 100%, não sendo visível o sol.

Os dias de sol, com o céu predominantemente descoberto (menos de 30% de nebulosidade) originam uma grande reflexão por parte dos elementos da envolvente, podendo estes ser mais brilhantes que o céu numa razão de 12 para 1. Nestas situações, não só temos bastante luz natural, vinda do céu, como também vamos ter muita luz reflectida pela envolvente, vinda do chão. Para aproveitar ao máximo a luz há que privilegiar a sua penetração através de aberturas laterais tais como janelas altas. Esta situação pode originar problemas de ofuscamento por causa da elevada reflectância dos elementos horizontais, como por exemplo os pavimentos junto das janelas, tendo que haver um certo cuidado na escolha dos mesmos de forma a criar um ambiente confortável (fig.1) ou recorrer ao uso de elementos de sombreamento que não permitam a incidência directa dos raios solares no interior dos edifícios.

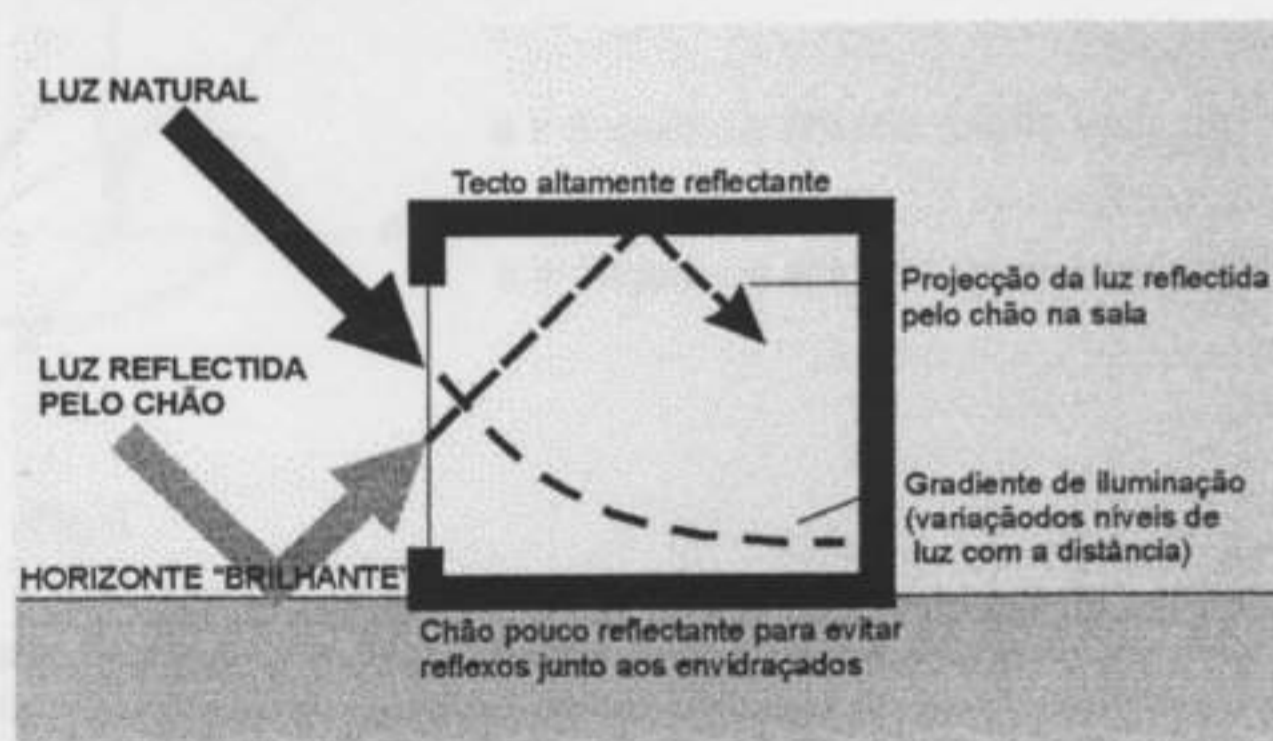


Fig.1 - Padrão de comportamento da luz em dias de sol

Em dias de céu encoberto a situação é praticamente inversa, sendo a esfera celeste cerca de 3 vezes mais brilhante que o horizonte. Deste modo, devem privilegiar-se as aberturas que capturem a luz vinda do céu, tais como clarabóias ou aberturas elevadas (fig.2).

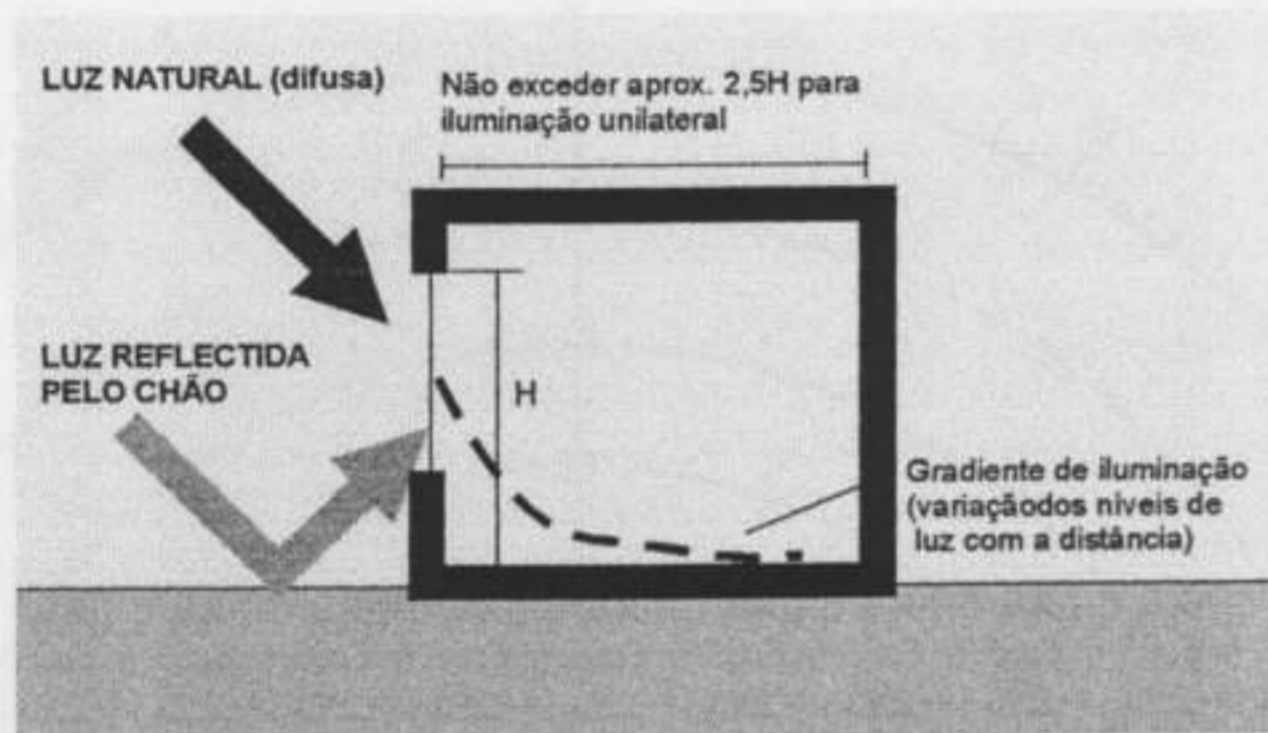
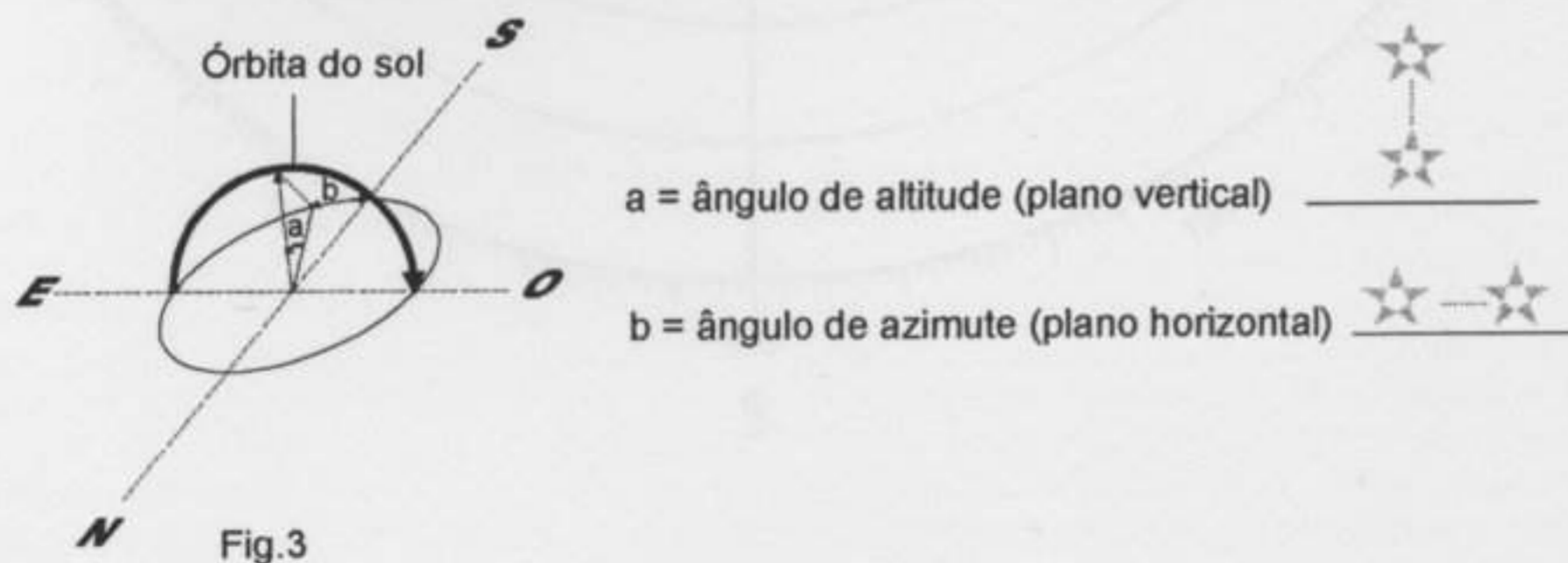


Fig.2 - Padrão de comportamento da luz em dias de céu encoberto

Deve-se avaliar as condições específicas do local de forma a compreender qual é a situação predominante em termos de luz natural para se dimensionar as aberturas de modo a se conseguir uma distribuição eficaz da mesma. Assim, numa zona em que são predominantes os dias de sol deve-se privilegiar as aberturas laterais amplas e, numa zona em que predominem os dias encobertos, as aberturas superiores ou a iluminação zenital. É claro que isto é uma solução muito generalista e simplista pois há muitos outros factores a ter em conta, inclusive no que diz respeito ao conforto térmico e função do espaço / tipo de actividade a que se destina. Estas questões serão abordadas mais adiante, pois o objectivo deste ponto é o de compreender o comportamento da luz natural e das superfícies.

Ainda em relação à luz solar, um factor muito importante a ter em conta é o local geográfico em que vamos inserir o nosso edifício. Deve-se ter sempre em conta que, com a latitude, a posição do sol varia. Há então que saber, para a latitude em que estamos a trabalhar, qual a altitude do sol e o seu azimute (deslocação "horizontal" do sol). No fundo trata-se de conhecer a órbita do sol para esse local e as suas variações durante o ano (fig.3).



Para esse efeito pode-se recorrer a tabelas que, para várias latitudes, indicam os valores do ângulo de altitude e ângulo de azimute do sol ao longo do ano (solstício de inverno e verão e equinócio de primavera e outono). Outro elemento útil para consulta são as cartas solares, uma representação estereográfica das trajectórias solares, que se encontra disponível para várias latitudes do país (fig.4).

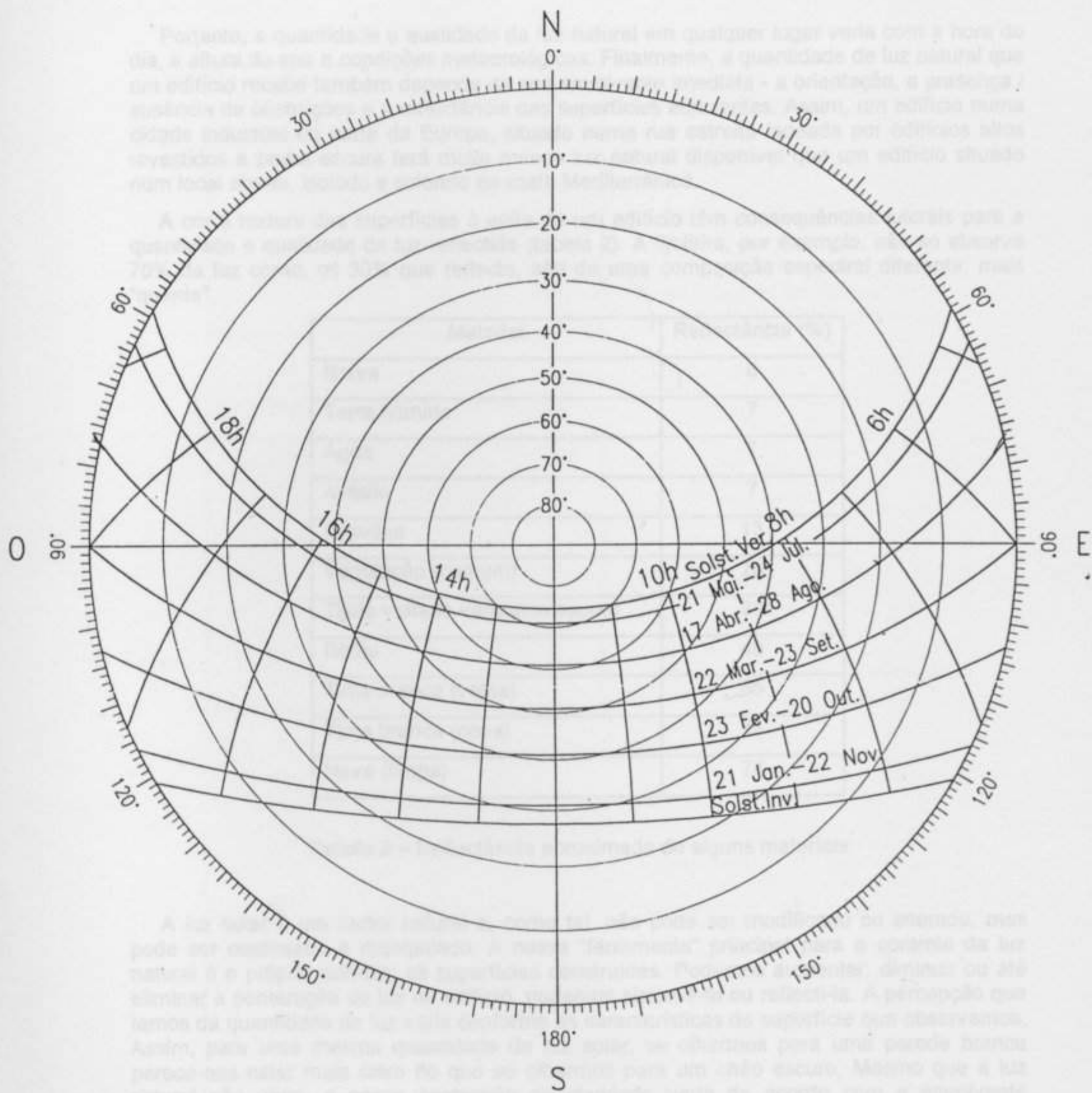


Fig. 4 - Carta solar, latitude 39° N - Lisboa

Portanto, a quantidade e qualidade da luz natural em qualquer lugar varia com a hora do dia, a altura do ano e condições meteorológicas. Finalmente, a quantidade de luz natural que um edifício recebe também depende da sua envolvente imediata - a orientação, a presença / ausência de obstruções e a reflectância das superfícies adjacentes. Assim, um edifício numa cidade industrial do norte da Europa, situado numa rua estreita ladeada por edifícios altos revestidos a pedra escura terá muito menos luz natural disponível que um edifício situado num local aberto, isolado e colorido na costa Mediterrânica.

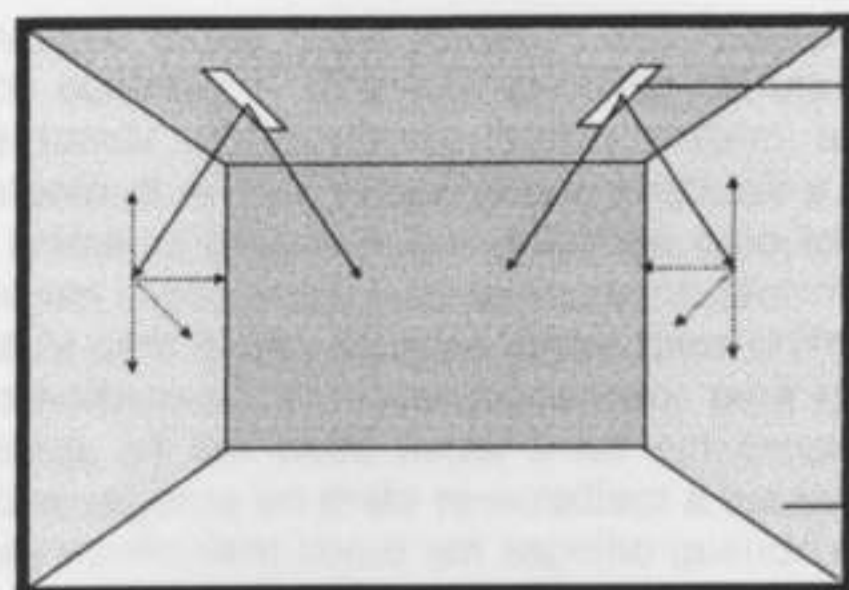
A cor e textura das superfícies à volta de um edifício têm consequências fulcrais para a quantidade e qualidade da luz reflectida (tabela 2). A tijoleira, por exemplo, não só absorve 70% da luz como, os 30% que reflecte, são de uma composição espectral diferente, mais "quente".

Material	Reflectância (%)
Relva	6
Terra húmida	7
Água	7
Asfalto	7
Gravilha	13
Vegetação (comum)	25
Tijolo vidrado vermelho escuro	30
Betão	40
Tinta branca (velha)	55
Tinta branca (nova)	75
Neve (limpa)	74

Tabela 2 – Reflectância aproximada de alguns materiais

A luz solar é um factor natural e, como tal, não pode ser modificado ou alterado, mas pode ser controlado e manipulado. A nossa "ferramenta" principal para o controle da luz natural é o próprio edifício, as superfícies construídas. Podemos aumentar, diminuir ou até eliminar a penetração da luz no edifício. podemos absorvê-la ou reflecti-la. A percepção que temos da quantidade de luz varia conforme as características da superfície que observamos. Assim, para uma mesma quantidade de luz solar, se olharmos para uma parede branca parece-nos estar mais claro do que se olharmos para um chão escuro. Mesmo que a luz natural não varie, a nossa percepção da claridade varia de acordo com a envolvente próxima, as condições de adaptação do olho e outros factores, sendo o que se chama de "claridade aparente" ou "perceptível". A quantidade de luz reflectida ou transmitida através de um objecto é a luminância ou "claridade medida", que varia em função da quantidade de luz que nele incide. A percentagem de luz incidente que é re-erradiada por uma superfície é a sua reflectância, característica da própria superfície, que não varia com factores externos. A reflectância depende da cor, textura e material de revestimento da superfície. É perceptível a olho nu que, por exemplo, uma parede branca reflecte mais luz que uma parede escura (fig.5), sendo a cor branca uma cor de alta reflectância e um azul escuro, por exemplo, uma cor de baixa reflectância (tabela 3).

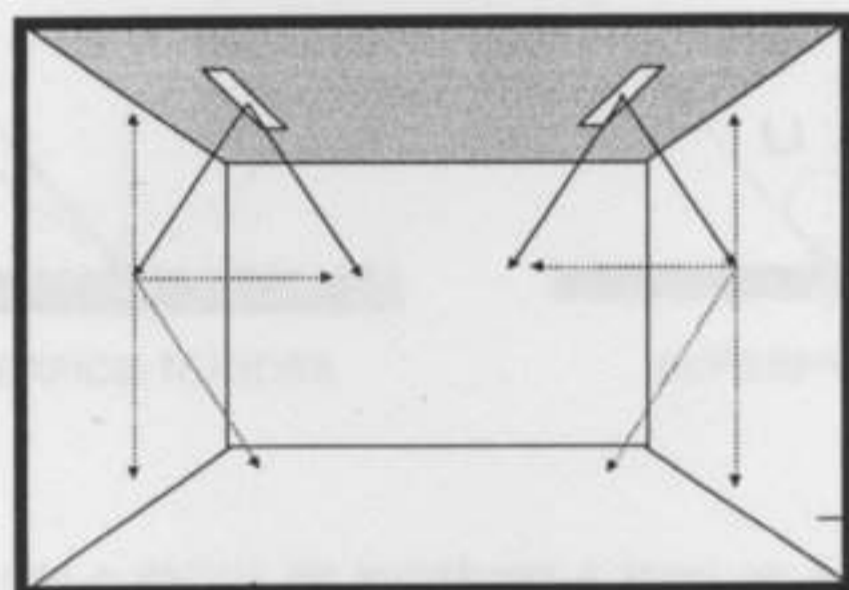
### SUPERFÍCIES DE REFLECTÂNCIA BAIXA



Luz fluorescente

Parede escura (absorve uma quantidade de luz considerável)

### SUPERFÍCIES DE ALTA REFLECTÂNCIA



Parede branca (reflete muita luz)

Fig.5

Cores (tinta de celulose)	Percentagem da radiação solar reflectida	Percentagem da radiação solar absorvida
Branco	82%	18%
Amarelo	67%	33%
Cor de laranja	59%	41%
Encarnado	56%	44%
Vermelho escuro	43%	57%
Castanho	21%	79%
Cinzento	25%	75%
Verde claro	50%	50%
Verde escuro	12%	88%
Azul escuro	9%	91%
Preto	6%	94%

Tabela 3 – Percentagem da luz solar absorvida e reflectida pelas diversas cores

Através da forma como tratamos as superfícies, tornando-as mais ou menos reflectoras, podemos controlar o ambiente lumínico de um espaço. Um chão de elevada reflectância pode-se tornar desagradável, dando origem a reflexos que podem, facilmente, causar ofuscamento. A melhor superfície para reflectir a luz natural é o tecto e a pior é o chão, pelas razões acima referidas. A luz reflectida pelo tecto dificilmente causa ofuscamento pois o tecto, de um modo geral, não se encontra dentro do nosso campo de visão mais usual. A luz é reflectida para baixo, de uma forma mais uniforme, iluminando mais facilmente planos de trabalho horizontais. De qualquer modo, para que a reflexão da luz seja mais ou menos homogénea, há um outro factor a ter em consideração que é a textura da superfície. As superfícies rugosas ou mate re-erradiam a luz incidente num padrão difuso enquanto que as brilhantes a reflectem como um espelho quando o ângulo de incidência ( $L_i$ ) é igual ao ângulo de reflectância ( $L_r$  - fig.6).

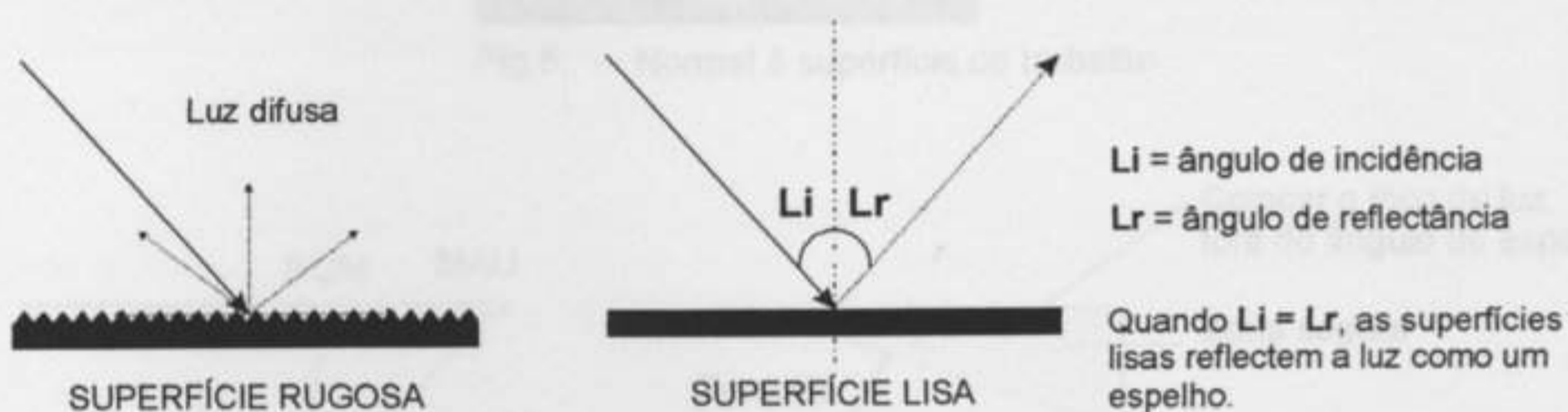


Fig.6

Quando o ângulo de incidência é igual ao ângulo de visão do observador diz-se que a fonte de luz está no "ângulo de espelho", dando origem a ofuscamento (fig.7).

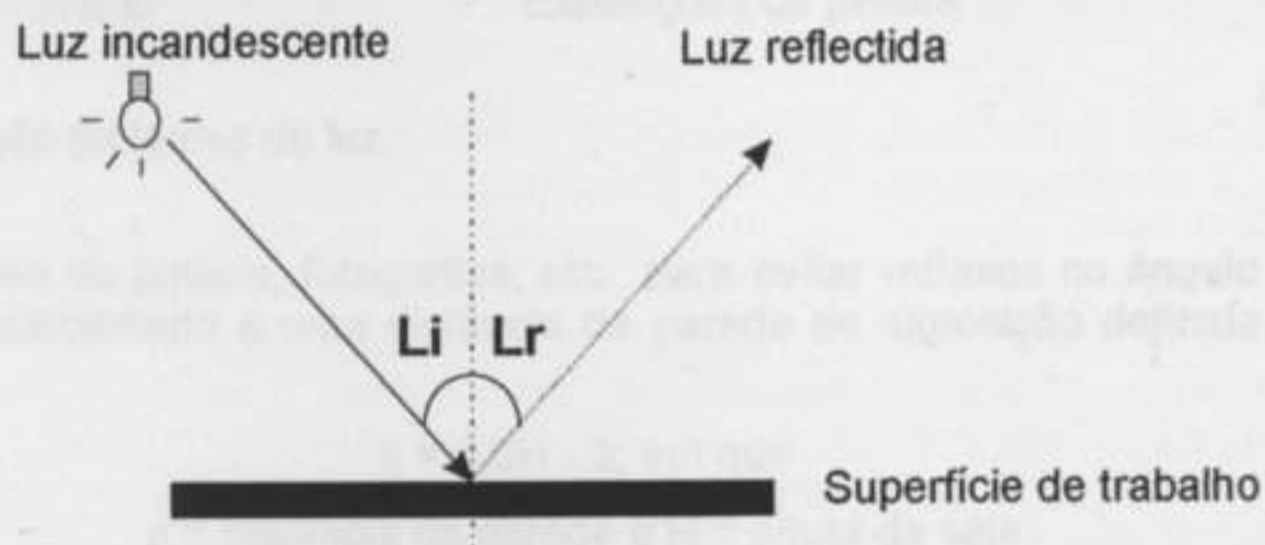


Fig.7 - Efeito de espelho ( $L_i = L_r$ )

Os problemas mais comuns decorrentes de uma má colocação das fontes de luz têm precisamente a ver com a falta de respeito pelos "ângulos de espelho". De acordo com a actividade a ser desenvolvida no espaço que estamos a projectar há que conhecer os ângulos de visão mais frequentes do observador / utilizador. Assim, para trabalhos de leitura e escrita em superfícies horizontais, por exemplo, o ângulo mais comum é de  $25^\circ$ , embora se deva assegurar que, até aos  $40^\circ$  não há reflexos, pois é uma área que se encontra ainda dentro do campo de visão do observador (fig.8).

Pode-se calcular aproximadamente, sem grande dificuldade, qual é a zona "segura" em que se podem colocar as fontes de luz de modo a minimizar os riscos de ofuscamento (fig.9).

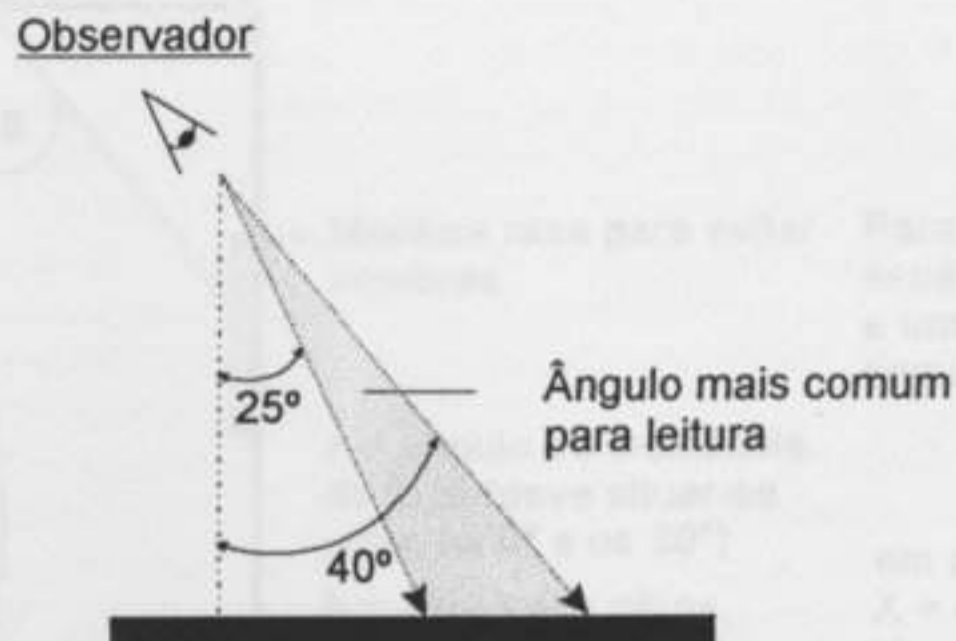


Fig.8 — Normal à superfície de trabalho

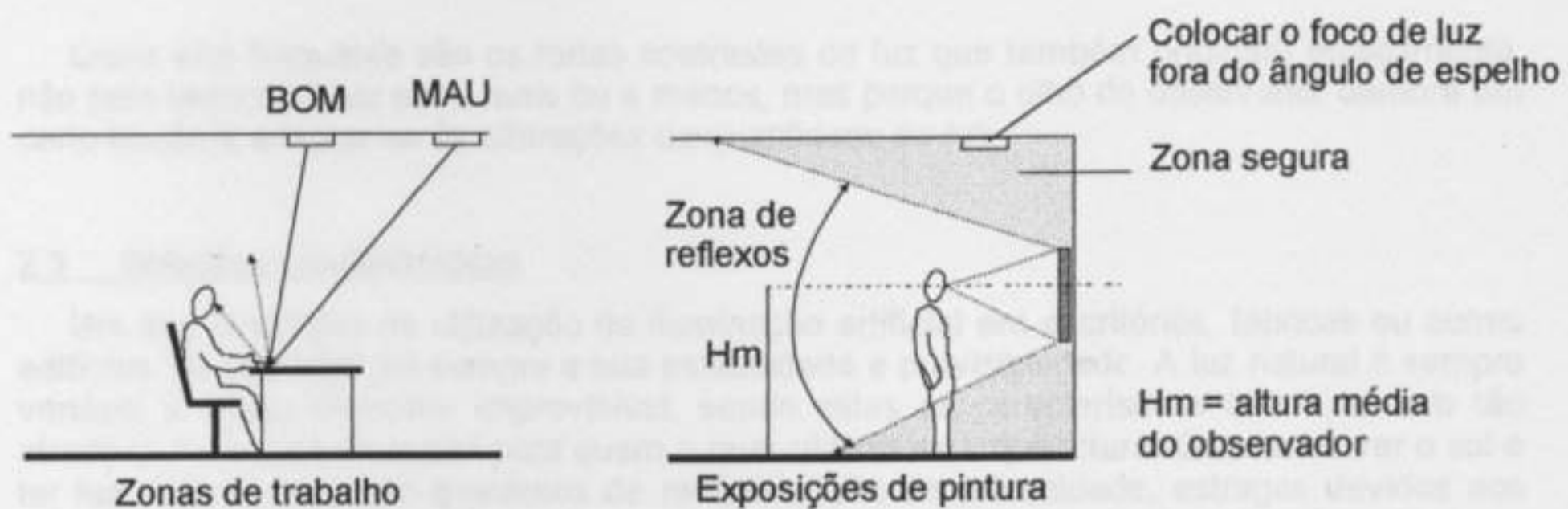


Fig.9 - Localização de fontes de luz

Em exposições de pintura, fotografias, etc., para evitar reflexos no ângulo de espelho, o foco deve ser posicionado a uma distância da parede de exposição definida pela seguinte fórmula:

$$x = 0,6H - 3, \text{ em que}$$

$x$  = distância da parede e  $H$  = altura da sala

As molduras devem ser rasas para evitar sombras e devem-se usar vidros anti-reflexo (fig.10).

Para reduzir estes "efeitos de espelho" há 5 princípios básicos que se devem aplicar:

1. Colocar a fonte de luz fora do ângulo de espelho
2. Usar fontes de luz com iluminância de superfície baixa
3. Ter uma iluminação uniforme pela sala
4. Usar uma superfície de trabalho com um acabamento mate (reflectância entre 35% e 50%)
5. Afastar a superfície de trabalho do ângulo de espelho

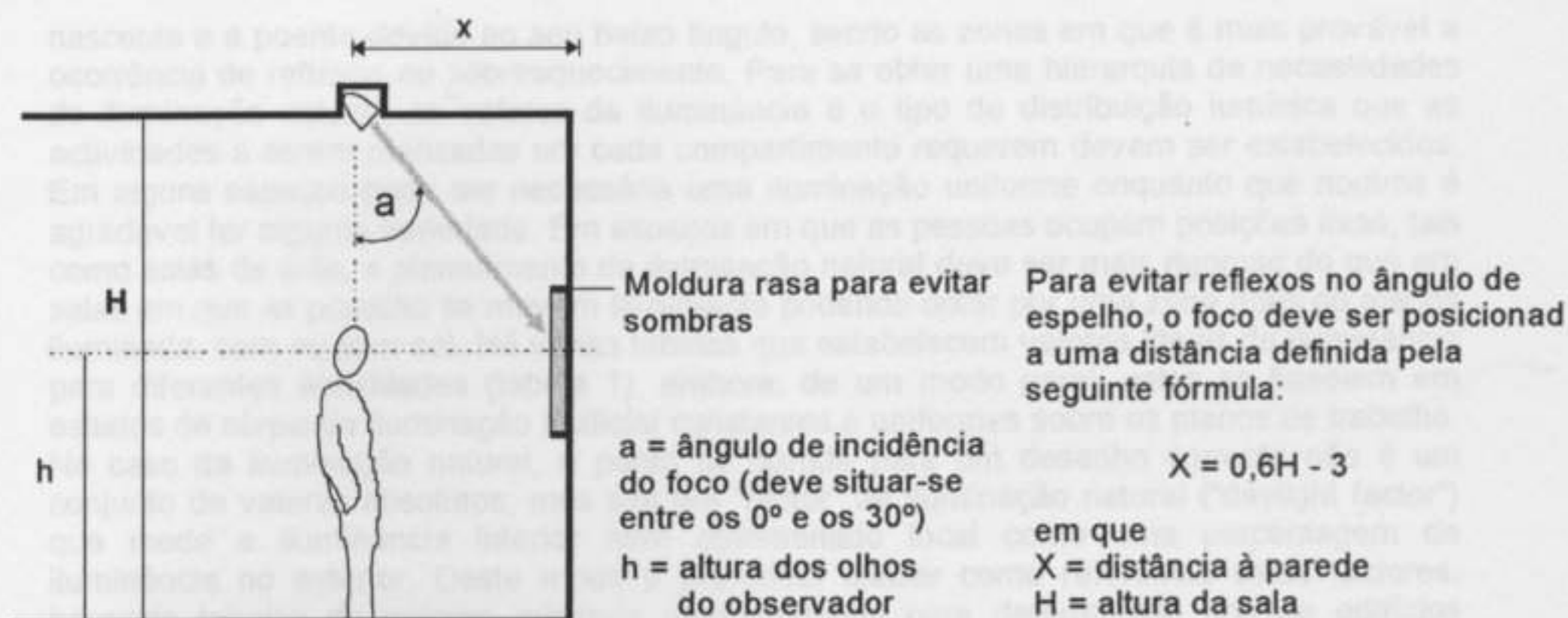


Fig.10 - Posicionamento dos focos de luz

Outro erro frequente são os fortes contrastes de luz que também originam ofuscamento, não pelo facto de a luz ser a mais ou a menos, mas porque o olho do observador demora um certo tempo a adaptar-se às alterações da quantidade de luz.

### 2.3 Soluções arquitectónicas

Um dos atractivos da utilização de iluminação artificial em escritórios, fábricas ou outros edifícios "de trabalho" foi sempre a sua estabilidade e previsibilidade. A luz natural é sempre variável e frequentemente imprevisível, sendo estas as características que a tornam tão atractiva e um desafio maior para quem a quer utilizar na arquitectura. Queremos ver o sol e ter luz natural, mas não gostamos de reflexos, falta de privacidade, estragos devidos aos raios ultravioleta e grandes variações de temperatura.

A iluminação, aquecimento e ventilação de um edifício, quer sejam naturais ou artificiais, estão sempre interligados. Conjugados, estes factores, têm repercussões profundas na forma desse edifício. Grandes superfícies envidraçadas ou com o tipo de vidro errado ou no local errado irão dar origem a perdas ou ganhos de calor que terão que ser compensados através de sistemas artificiais de aquecimento / arrefecimento. Poucas aberturas significam, quase invariavelmente, pouca luz e, por vezes, as mesmas necessidades de aquecimento / arrefecimento. O edifício deve ser sempre planeado como um todo e as soluções para o aproveitamento da luz natural devem fazer parte de uma estratégia global.

Vimos que a luz natural que penetra num edifício é constituída por luz solar directa, luz difundida pela atmosfera e luz reflectida por superfícies externas. A distribuição de luz no interior do edifício depende da geometria e dimensões das divisões, do tamanho, design e posicionamento das janelas e/ou clarabóias, das características dos vidros e reflectância das superfícies interiores. Um edifício bem planeado, em termos de iluminação natural, deve controlar e explorar a luz disponível, maximizando as suas vantagens e minimizando os seus inconvenientes. A maior parte das soluções são planeadas durante a fase de projecto do edifício.

Após uma análise do local no sentido de recolher informações acerca das condições de iluminação natural dominantes, há que analisar as características particulares do terreno. O relevo natural e orientação do terreno e sombreamento causado por montanhas, vegetação ou edifícios próximos devem ser tidos em conta.

As divisões em que a iluminação é mais importante devem ser localizadas nas posições e orientações preferenciais, não esquecendo que é mais difícil "filtrar" os raios solares a



nascente e a poente devido ao seu baixo ângulo, sendo as zonas em que é mais provável a ocorrência de reflexos ou sobreaquecimento. Para se obter uma hierarquia de necessidades de iluminação natural, os valores da iluminância e o tipo de distribuição lumínica que as actividades a serem realizadas em cada compartimento requerem devem ser estabelecidos. Em alguns espaços pode ser necessária uma iluminação uniforme enquanto que noutros é agradável ter alguma variedade. Em espaços em que as pessoas ocupam posições fixas, tais como salas de aula, o planeamento da iluminação natural deve ser mais rigoroso do que em salas em que as pessoas se movem livremente podendo optar por uma zona mais ou menos iluminada, com ou sem sol. Há várias tabelas que estabelecem valores ideais de iluminância para diferentes actividades (tabela 1), embora, de um modo geral, estes se baseiem em estudos de níveis de iluminação artificial constantes e uniformes sobre os planos de trabalho. No caso da iluminação natural, o ponto de partida para um desenho correcto não é um conjunto de valores absolutos, mas sim um "factor" de iluminação natural ("daylight factor") que mede a iluminância interior num determinado local como uma percentagem da iluminância no exterior. Deste modo é preferível utilizar como referência estes factores, havendo tabelas de valores mínimos recomendados para determinado tipo de edifícios (tabela 4 - os valores apresentados são referentes a condições do norte da Europa. No sul da Europa, onde a iluminância no exterior é maior os factores devem ser um pouco mais baixos).

Tipo de edifício	"Daylight factor"
Igreja	1%
Enfermaria de um Hospital	1%
Escritório	2%
Sala de aula	2%
Fábrica	5%

Tabela 4 – Percentagem mínima da iluminância exterior no interior de edifícios

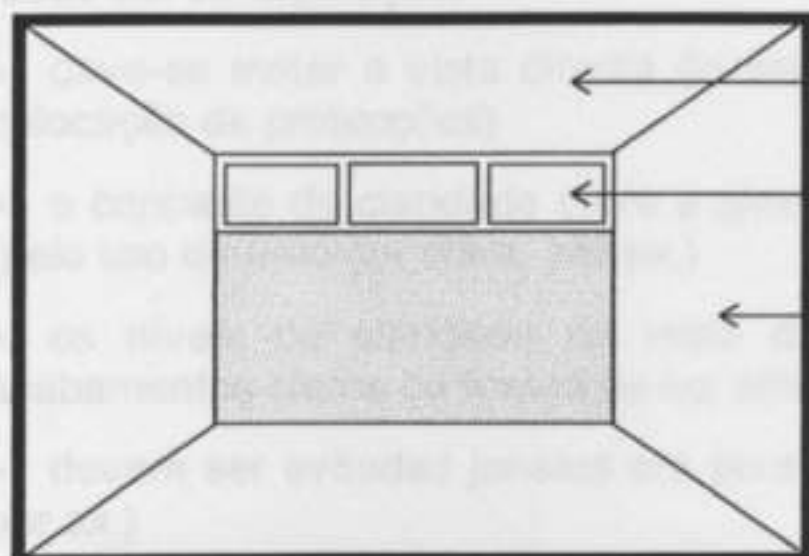
Este "factor" ("daylight factor"), calculado num determinado ponto do plano de trabalho, é função da radiação celeste, da luz reflectida por superfícies exteriores e da luz reflectida por superfícies interiores da sala e pode ser calculado com algum rigor, baseado num modelo-tipo de céu.

Os factores de iluminação natural diminuem conforme aumenta a distância às janelas. Deste modo, um dos problemas principais é conseguir atingir bons níveis de iluminação natural longe das janelas. De um modo geral um compartimento será iluminado adequadamente até uma profundidade de 2 a 2,5 vezes a altura das janelas ao chão. A nossa percepção da claridade de um compartimento depende da presença ou ausência de áreas escuras. Assim, numa sala iluminada pelos dois lados, temos a sensação de que há mais luz do que numa sala iluminada apenas por um lado e demoramos mais tempo a acender as luzes, mesmo que a quantidade de luz real seja menor.

Aumentar as dimensões das janelas para captar mais luz pode ser uma medida contraproducente se elevar os níveis de luz junto às janelas mais do que no interior do compartimento. No entanto, a forma da janela e a sua localização relativa na parede da sala, bem como o tratamento dado às superfícies adjacentes pode minimizar este efeito (fig.11).

As janelas altas e estreitas projectam a luz em profundidade nas salas mas limitam as vistas para o exterior. Para que funcionem convenientemente, o tecto e as paredes laterais devem ser superfícies mate de alta reflectância. As aberturas centrais projectam mais luz

### ABERTURAS ALTAS

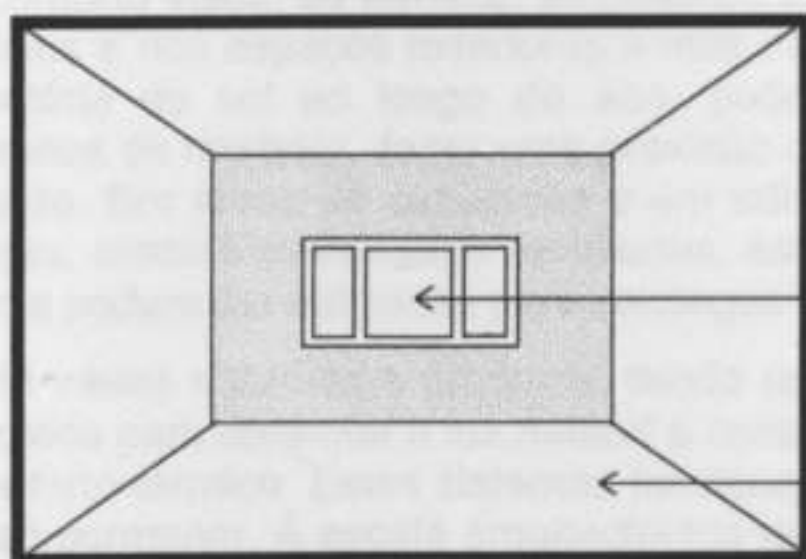


Luz direccionada para o tecto evita brilhos

Fonte primária de luz

Superfície das paredes altamente reflectante (diminui o contraste entre a fonte de luz e a envolvente)

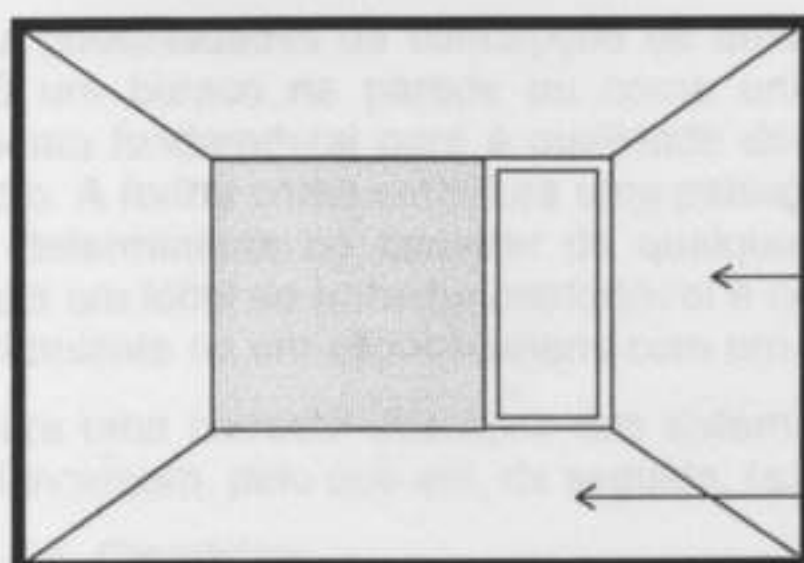
### ABERTURA CENTRAL



Abertura larga central

Fonte de iluminação secundária (reflectância do chão pode equilibrar a luz reflectida pelas paredes e tecto)

### ABERTURA DE CANTO



Parede altamente reflectante (fonte de iluminação secundária muito importante)

Chão pouco reflectante na zona perto do envidraçado para evitar reflexos (brilho)

Fig.11

para o chão, permitindo uma melhor distribuição da luz se este funcionar como uma fonte de iluminação secundária. As aberturas ao canto dão uma melhor percepção das dimensões e forma do compartimento, definindo as intersecções das superfícies. A parede adjacente à janela torna-se uma fonte de iluminação secundária, reflectindo a luz para o centro do compartimento. Este sistema também limita as vistas para o exterior e a distribuição de luz não é tão uniforme, havendo mais claridade do lado ao qual a janela está encostada.

A percepção que as pessoas têm da luz é relativa pois uma pessoa pode-se sentir confortável a trabalhar no centro do compartimento com uma luminância de 200 lux enquanto que os níveis de luz junto às janelas são de 400 lux. Mas se as respectivas

iluminâncias forem de 400 lux no centro da sala e de 1000 lux junto às janelas, a grande diferença de luz faz com que 400 lux pareçam insuficientes para trabalhar.

Para evitar encandeamento proveniente das janelas há determinadas medidas a serem tomadas em consideração:

- deve-se evitar a vista directa do sol (pela posição e orientação das janelas ou pela colocação de protecções)
- o contraste de claridade entre a janela e as paredes adjacentes deve ser minimizado (pelo uso de uma cor clara, por ex.)
- os níveis de claridade no resto do compartimento devem ser aumentados (por acabamentos claros ou fontes de luz adicionais)
- devem ser evitadas janelas em pontos focais (ao lado de quadros em salas de aula, por ex.)

A maior parte dos cálculos e projectos para o aproveitamento da luz natural baseiam-se no uso de luz difusa e excluem o contributo da luz directa. Mas, desde que não cause desconforto visual ou térmico, as pessoas apreciam a presença da luz do sol no interior dos edifícios e nos espaços exteriores a eles associados. As cartas solares, que nos mostram a trajectória do sol ao longo do ano, podem ser elementos úteis para, juntamente com desenhos ou modelos, fazer uma previsão da penetração do sol no edifício ainda na fase de projecto. Em áreas de circulação e em edifícios em que as tolerâncias visuais são maiores (igrejas, centros comerciais, aeroportos, estações ferroviárias, etc.) a luz natural e luz solar directa podem ser utilizadas para conseguir efeitos mais dramáticos.

Há vários sistemas e produtos, desde os mais modernos aos tradicionais que podem ser utilizados para controlar a luz natural e conseguir um compromisso entre uma boa iluminação e conforto térmico. Estes sistemas funcionam a várias escalas que vão desde a arquitectura até ao pormenor. À escala arquitectónica temos os saguões, os átrios, as "condutas" de luz e as clarabóias. Outros dispositivos de controle são as cortinas, estores, "brise soleil", "prateleiras" de luz, vidros revestidos ou prismáticos e sistemas de isolamento transparente. Estes funcionam a uma escala de pormenor, podendo inclusive ser colocados *à posteriori*.

As possibilidades de concepção de uma janela são muitas e, quer seja tratada apenas como um buraco na parede ou como um elemento tridimensional complexo, ela é um elemento fundamental para a qualidade dos espaços interiores e aparência exterior de um edifício. A forma como emoldura uma paisagem, ou capta a luz, ou deixa passar som, calor e ar é determinante no carácter de qualquer compartimento – quer este se destine a ser apenas um local de trabalho confortável e humano, um local de lazer visualmente agradável e estimulante ou um espaço solene com um impacto espiritual e simbólico.

Para uma correcta utilização dos sistemas acima referidos há que compreender como é que funcionam, pelo que irei, de seguida, fazer uma breve descrição de alguns deles:

### 2.3.1 Clarabóias

De um modo geral o céu está mais brilhante no zénite do que perto do horizonte. Por esta razão as clarabóias, horizontais, permitem a penetração de luz natural por  $m^2$  do que as janelas verticais numa razão de 3 para 1. A distribuição da luz no espaço é mais uniforme com uma clarabóia, para além de que não é tão facilmente obstruída como uma janela, quer internamente quer externamente. A radiação solar directa pode ser difundida pelo uso de vidros opalinos, embora deva ser uma situação a ser evitada pois pode originar sobreaquecimento interior. Podem-se criar diversos efeitos pelo uso de planos inclinados por baixo da clarabóia ou pela sua colocação junto a paredes de modo a que os tectos ou paredes sejam "banhados" por luz.

A principal desvantagem da utilização de clarabóias em relação às janelas é que, principalmente no verão, causam um maior aquecimento do interior e, no inverno, a luz

que transmitem pode não ser suficiente. É sempre preferível utilizar clarabóias verticais do que horizontais pois é mais fácil controlar a sua orientação e consequente captação de luz ao longo do ano e não são tão susceptíveis de acumular poeiras ou até de terem problemas de infiltração de água. A sua geometria é outro factor muito importante a ter em conta de forma a conseguir uma distribuição mais controlada e eficaz da luz.

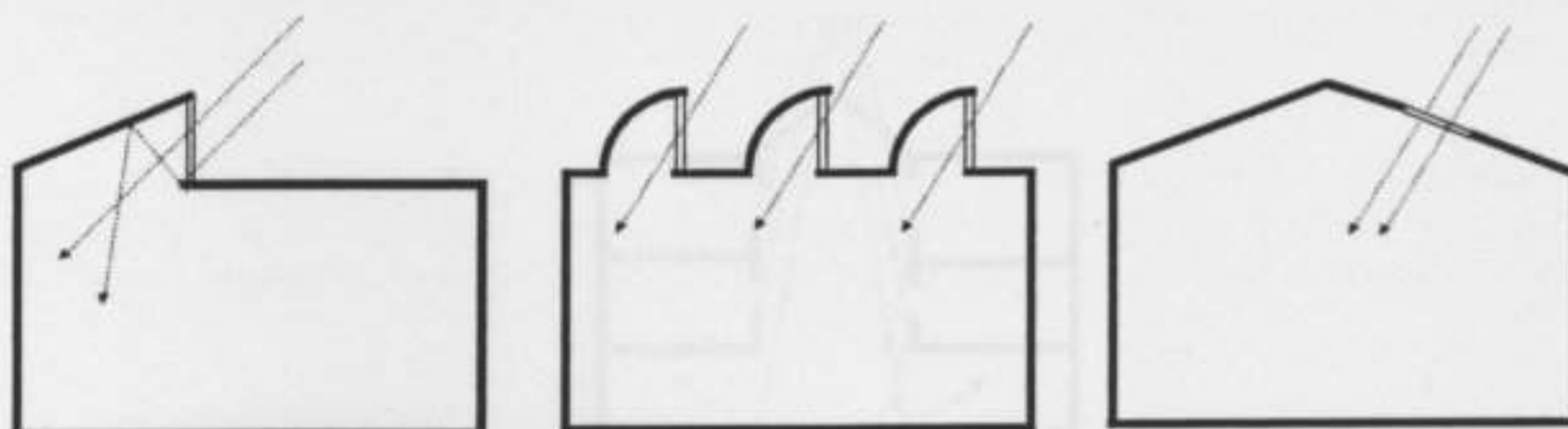


Fig.12 - Clarabóias

### 2.3.2 Átrios

A performance de um átrio é complexa e depende da sua orientação e geometria, do carácter dos revestimentos das paredes e pavimento e da natureza da sua cobertura e envidraçados. As proporções do átrio determinam a quantidade de luz natural que chega ao chão – átrios amplos, baixos e quadrados têm um comportamento melhor que os rectangulares, muito profundos e estreitos.

Os acabamentos das paredes do átrio têm uma importância significativa na distribuição da luz que nele penetra. Acabamentos escuros diminuem a reflectância interna e, quanto mais profundo o átrio, mais importante se torna este factor. Janelas interiores, nas paredes do átrio, também reduzem a componente da luz natural que é reflectida no interior. Para se ter uma ideia aproximada, em relação a uma parede branca, se 50% da parede interior for envidraçada esta componente fica reduzida a metade e se 100% da parede for envidraçada, ficará reduzida a um terço. A parte superior das paredes é a mais importante para a reflexão da luz que penetra no átrio, de modo que se deve limitar a colocação de janelas interiores nesta área. De qualquer modo este compromisso torna-se ainda mais vantajoso na medida em que as divisórias situadas nos pisos superiores tendem a receber muita luz que se pode tornar excessiva e originar reflexos, enquanto que as dos pisos inferiores necessitam de maximizar a quantidade de luz que recebem. Outra estratégia que pode ser utilizada é a de tornar as divisórias do piso térreo mais altas (maior pé-direito) ou ir recuando os pisos superiores em relação aos inferiores de modo a que todos tenham vista para o céu e, conseqüentemente, sejam melhor iluminados. Quanto mais perto do chão do átrio estiver um compartimento, maior é a sua dependência da luz reflectida pelas paredes e pelo pavimento. Podem-se também colocar reflectores na parte superior das janelas dos pisos inferiores de forma a dirigir a luz para o tecto das salas, embora esta seja uma solução cara e de último recurso, apenas quando haja determinações no sentido em que as paredes e pavimentos do átrio tenham que ser de baixa reflectância. De qualquer modo, enquanto que os pisos inferiores têm uma menor quantidade de luz, a qualidade da iluminação natural é melhor em termos de uniformidade na sua distribuição e ausência de reflexos/ofuscamento.

Há também que ter consciência que colocar um envidraçado sobre um pátio descoberto irá eliminar a penetração da luz natural em cerca de 20%, podendo chegar aos 50% se a estrutura de suporte do envidraçado não for bem desenhada de forma a não colocar obstruções à penetração da luz.

Os reflexos/ofuscamentos, num átrio, são de um modo geral causados pelo próprio céu, nos pisos superiores, ou pela reflexão por parte das paredes, nos pisos inferiores.

Este facto pode ser controlado pelo uso de estores basculantes ou outro tipo de sombreamento (de preferência móvel) e desenho cuidadoso das paredes (configuração e revestimento). Para a protecção de grandes áreas, um sistema muito utilizado e eficaz para climas com muita luz são as telas translúcidas, que difundem a luz, são relativamente baratas e têm um grande potencial estético.

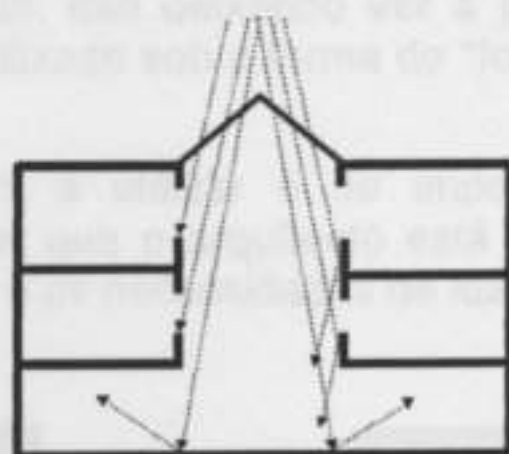


Fig.13 - Átrio

### 2.3.3 Envidraçados

Uma janela convencional, com um vidro simples irá transmitir aproximadamente 85% da luz que nela incide, enquanto que a utilização de vidros duplos reduz para 70% a transmissão de luz e vidros triplos para 60%. Em locais em que os requisitos de luz natural exigem que se tenham grandes áreas envidraçadas que, em termos de conforto térmico não são aceitáveis, deve-se usar vidros especialmente tratados para controlar os ganhos e perdas de calor.

Os vidros coloridos, um dos primeiros sistemas de protecção a ser criado, reduzem os ganhos de calor mas cortavam grande percentagem da luz incidente e distorciam a cor da paisagem exterior. Os vidros que absorvem o calor não reduzem a transmissão da luz natural mas apenas reduzem os ganhos de calor em cerca de 10% pois uma grande percentagem do calor por eles absorvido é re-erradiado para o interior. Vidro reflectivo bloqueia eficazmente a radiação solar (estão disponíveis reflectâncias até 50%) mas, tal como o vidro colorido, também bloqueia a penetração da luz e, durante o inverno, continua a bloquear calor que pode ser necessário. Vidro duplo selectivo, com uma perda de calor equivalente à do vidro triplo, tem uma transmissão de luz equivalente a aproximadamente 80%.

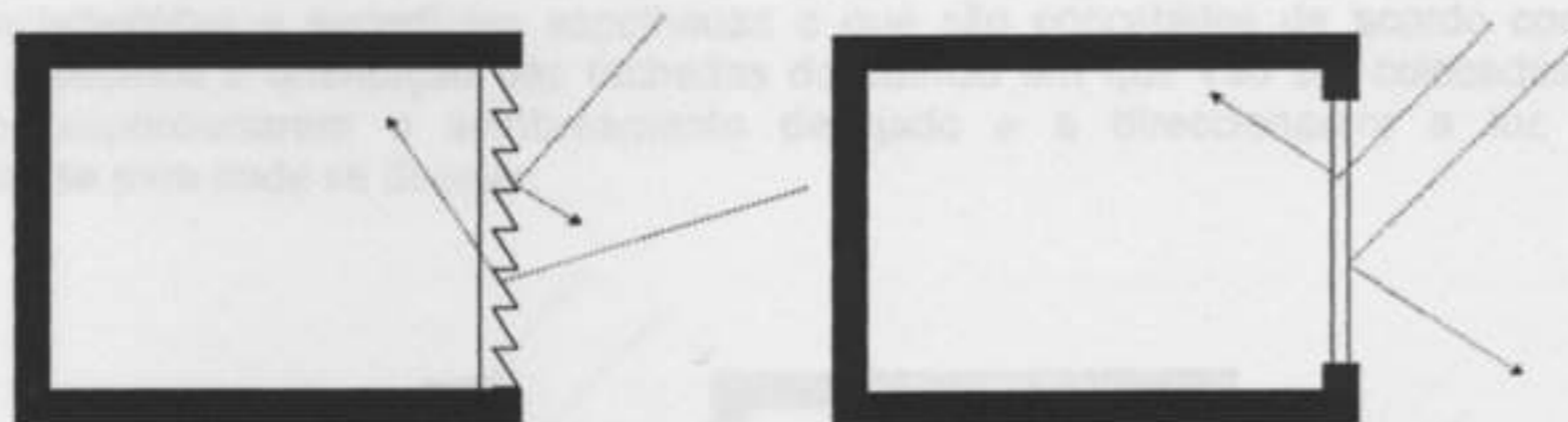
A tecnologia mais moderna inclui os vidros "cromogénicos" (*chromogenic*) e "electrocromicos" (*electrochromic*), que são sistemas reactivos. O segundo, altera as suas propriedades de absorção óptica e torna-se escuro ou "fumado" em resposta a um campo eléctrico externo aplicado. A opacidade desaparece quando o campo é invertido. De momento o seu custo é elevado e o período de vida reduzido para a sua utilização na indústria de construção. Os vidros "termocrómicos" (*thermochromic*) alteram o seu estado de transmissores de calor a reflectores de calor a uma dada temperatura pré-definida. O vidro "fotocrómico" (*photochromic*) escurece e aclara em resposta a alterações na intensidade de luz. De novo, os custos destes produtos são elevados e a sua durabilidade incerta.

A acção destes vidros é um bloqueio de radiação selectivo. A colocação de um filme holográfico num vidro não bloqueia a radiação mas difunde-a. Janelas com este tipo de filtros podem ser projectadas para dirigirem a luz incidente para uma determinada superfície reflectora, tal como o tecto, ou para a projectarem em profundidade num compartimento. Um filtro também pode ser desenhado para reflectir a luz solar incidente em ângulos específicos (ângulos altos em fachadas viradas a sul ou ângulos baixos nas fachadas a nascente e a poente, por ex.). De qualquer modo, altera ligeiramente a percepção da paisagem envolvente, por vezes origina uma refacção da luz tipo arco-íris

e a sua performance para luz difusa é pouco satisfatória. A pesquisa, no entanto continua e os custos não são elevados só que este filme não está disponível nas dimensões necessárias para ser utilizado na construção civil.

O vidro prismático (ou plástico) controla a luz transmitida por refração, e pode ser utilizado para re-direccionar ou excluir a luz do sol. No entanto este vidro não é transparente mas sim translúcido, não deixando ver a paisagem exterior. É ideal para reduzir os reflexos e pode ser utilizado sob a forma de "folhas" prismáticas no interior dos vidros duplos.

A escolha do tipo de vidro a utilizar é de importância vital e resulta de um compromisso entre as cedências que o arquitecto está disposto a fazer em termos de forma e configuração do espaço e as necessidades de luz e controle do conforto térmico.



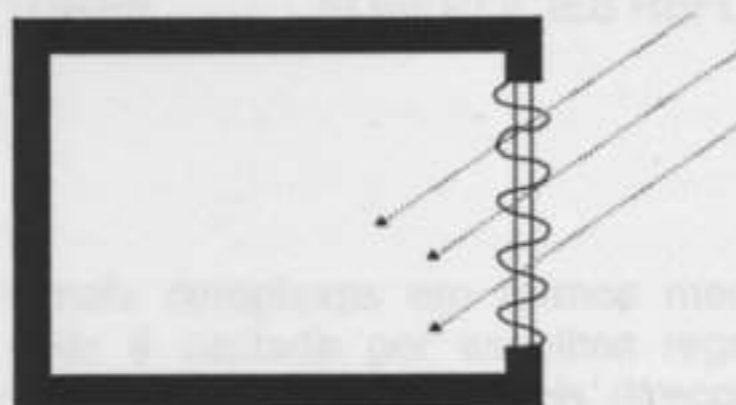
COMPONENTES PRISMÁTICAS

VIDROS REVESTIDOS

Fig.14

#### 2.3.4 Isolamento transparente

Os materiais de isolamento transparentes (translúcidos) foram inicialmente desenvolvidos como materiais de isolamento para paredes. Eram usados como revestimentos exteriores, reduzindo as perdas de calor do interior enquanto permitiam que a radiação solar penetrasse para uma tela interior de armazenamento de calor. Mas como são translúcidos, começaram a ser utilizados em janelas. São materiais sintéticos e a maior parte necessita de protecção em um ou ambos os lados em vidro ou plástico. A transmissão de luz varia entre os 45% e os 80% e é um isolamento muito melhor que o vidro. As janelas de aerogel, em que um sólido de baixa densidade e condutibilidade térmica extremamente baixa, transparente e frágil é ensanduichado entre dois panos de vidro, são extremamente eficazes na prevenção de perdas de calor pelo interior, embora a transmissão da luz seja moderada.



ISOLAMENTO TRANSPARENTE

Fig.15

#### 2.3.5 "Prateleiras" de luz e reflectores

A "prateleira" de luz é um elemento plano ou curvo, colocado na abertura da janela, acima do nível dos olhos, que re-direcciona a luz para o tecto e, simultaneamente,

funciona como um elemento de sombreamento para a área do compartimento junto à janela. A parte de baixo da prateleira pode também re-direccionar luz, de um pavimento exterior de alta reflectância, para o chão do compartimento. Este elemento é mais eficaz quando colocado do lado exterior do edifício e combinado com um tecto (interior) de alta reflectância, pois não obstrui tanto a área da janela, tanto em termos visuais como da penetração da luz. A superfície da prateleira deve ser rugosa ou com um acabamento mate de forma a difundir a luz e distribuí-la de uma forma mais uniforme. Quando o ângulo do sol é baixo este sistema deixa de ser tão eficaz, não sendo dos mais aconselhados para fachadas orientadas a nascente e a poente e para zonas como o norte da Europa onde o ângulo solar é na generalidade baixo.

Persianas de lâminas reguláveis, com um acabamento mate na parte superior das lâminas podem ser direccionadas de modo a re-direccionarem a luz solar directa ou a luz difusa do mesmo modo. Há sistemas sofisticados deste tipo de persianas, fixos, que têm lentes incorporadas e superfícies espelhadas e que são concebidos de acordo com a latitude específica e orientação das fachadas do edifício em que vão ser colocadas de modo a proporcionarem o sombreamento desejado e a direccionarem a luz em profundidade para onde se desejar.

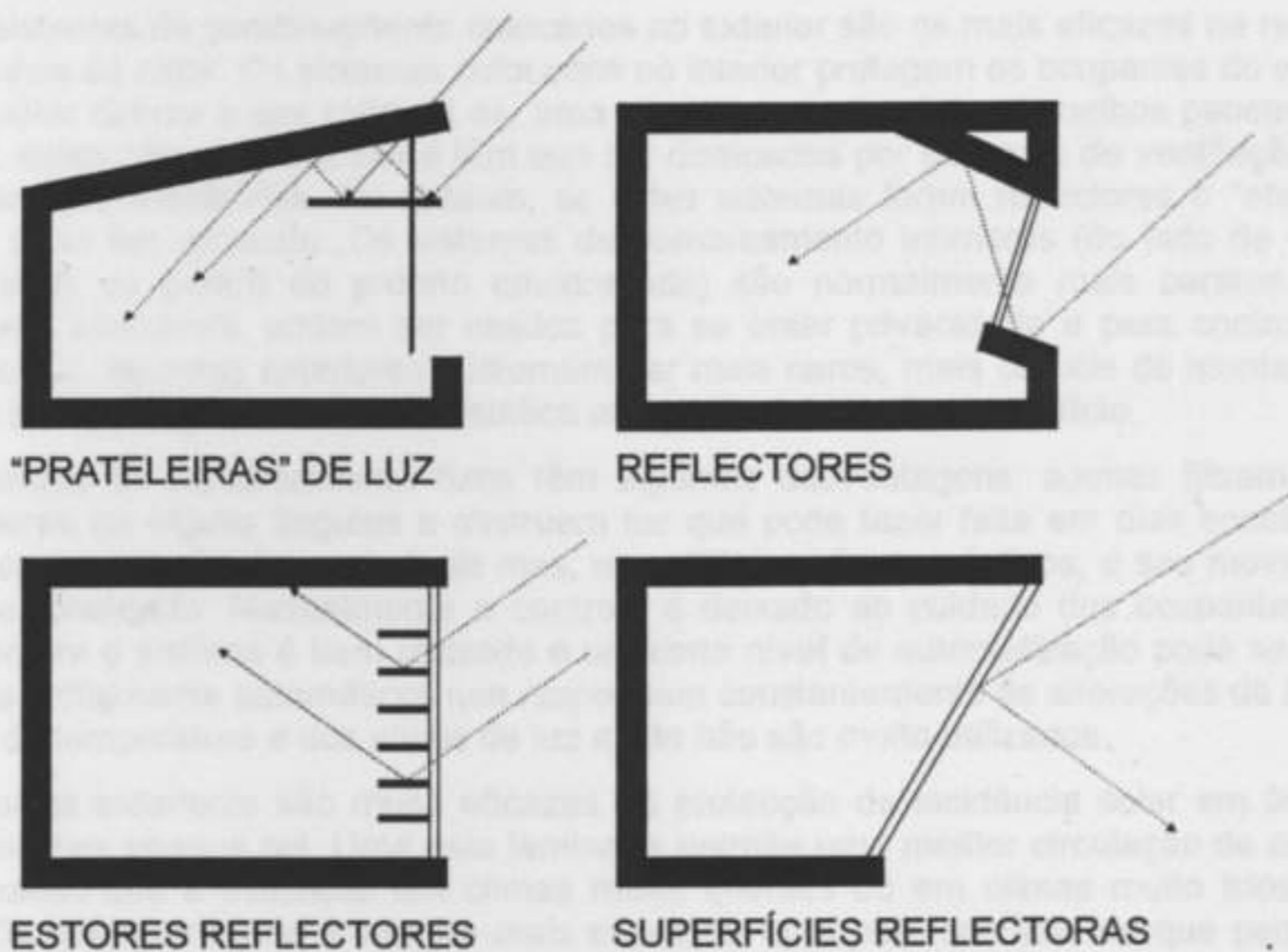


Fig.16

### 2.3.6 "Conduitas" de luz

Este sistema é um dos mais complexos em termos mecânicos dos sistemas de iluminação natural. A luz solar é captada por espelhos reguláveis automaticamente, concentrada por meio de espelhos ou lentes e depois direccionada para o núcleo do edifício por meio de aberturas ou cabos de fibras ópticas. São dependentes da incidência directa da luz solar e, por isso só são aconselháveis em regiões em que o céu esteja predominantemente descoberto. Deve-se ter um sistema integrado de luz artificial que garanta a iluminação durante os dias encobertos.

Mudanças na distância da área solar podem ser utilizadas para uma previsão da performance dos sistemas de sombreamento.

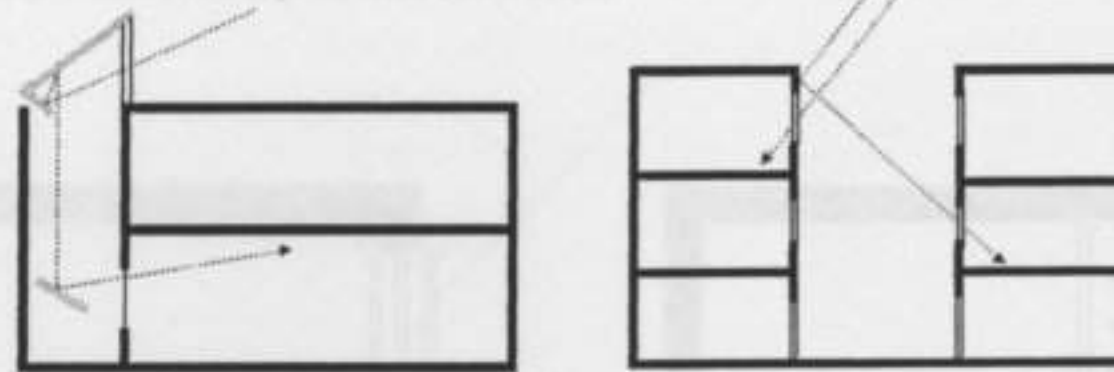


Fig.17 - "Conduitas" e poços de luz

### 2.3.7 Sombreamento

O tipo, tamanho e posicionamento de qualquer sistema de sombreamento depende do clima, função do edifício e da direcção e tipo da luz a ser evitada – luz directa de ângulos altos/baixos, luz natural difusa ou até luz reflectida pelos elementos exteriores (pavimentos exteriores adjacentes, por ex.).

Os sistemas de sombreamento colocados no exterior são os mais eficazes na redução dos ganhos de calor. Os sistemas colocados no interior protegem os ocupantes do edifício da luz solar directa e dos reflexos as, uma vez que os raios infravermelhos penetrem no interior, estes não voltam a sair e têm que ser dissipados por sistemas de ventilação e de arrefecimento mecânicos. No entanto, se estes sistemas forem reflectores o "efeito de estufa" pode ser reduzido. Os sistemas de sombreamento interiores (do lado de dentro das janelas ou dentro do próprio envidraçado) são normalmente mais baratos, mais facilmente ajustáveis, podem ser usados para se obter privacidade e para controlar os reflexos. Os sistemas exteriores costumam ser mais caros, mais difíceis de montar e de manter e têm um grande impacto estético na aparência exterior do edifício.

Sistemas de sombreamento fixos têm algumas desvantagens: apenas filtram a luz proveniente de alguns ângulos e obstruem luz que pode fazer falta em dias encobertos. Os sistemas móveis são preferíveis mas, em edifícios não domésticos, o seu movimento deve ser planeado. Normalmente o controle é deixado ao cuidado dos ocupantes mas nem sempre o sistema é bem utilizado e um certo nível de automatização pode ser caro. Sistemas totalmente automáticos que respondem constantemente às alterações do ângulo do sol, da temperatura e dos níveis de luz ainda não são muito utilizados

As palas exteriores são muito eficazes na protecção da incidência solar em ângulos elevados, tais como a sul. Uma pala laminada permite uma melhor circulação de ar junto às fachadas que é essencial em climas muito quentes ou em climas muito frios, com neve. De qualquer modo é sempre mais eficaz ter uma pala contínua do que pequenas palas apenas da largura das janelas. As palas fixas reduzem a penetração da luz solar pelo que, em latitudes em que a luz é menos intensa é preferível ter palas recolhíveis.

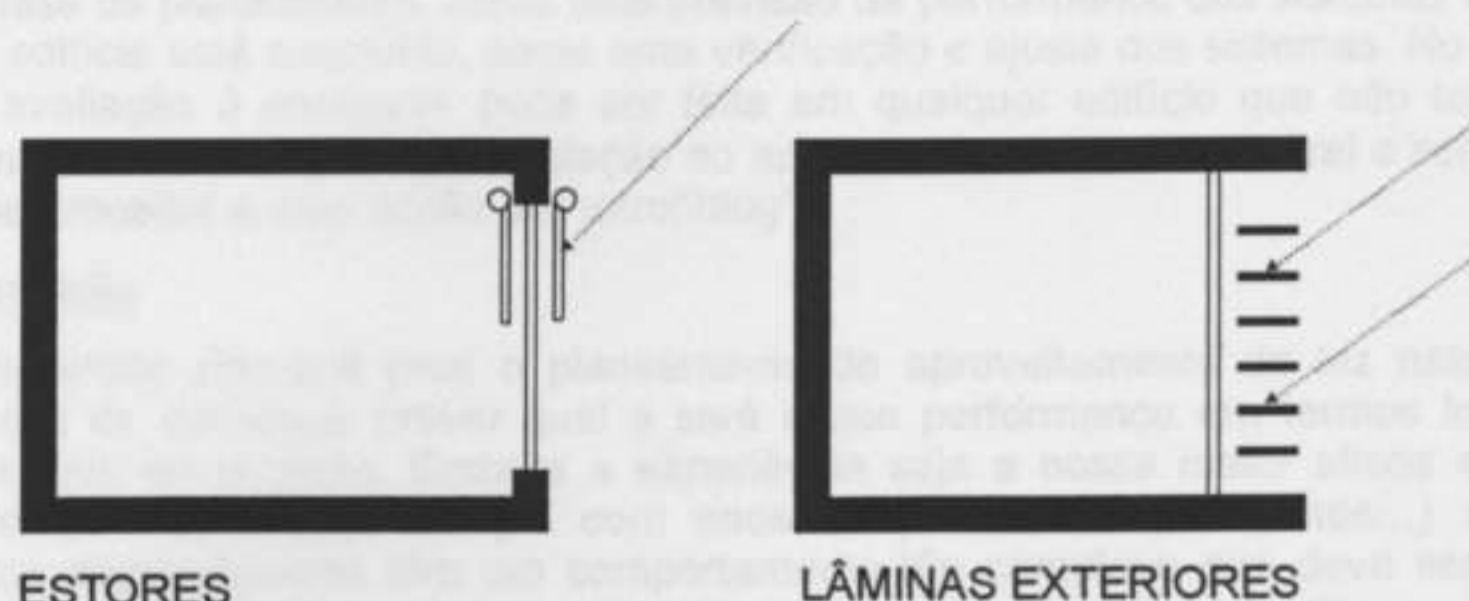
Radiação celeste excessiva pode também provocar encadeamento e reflexos pelo que deve ser controlada por sistemas de lâminas que a re-direccionem ou por cortinados ou telas que moderem o nível de claridade sem a excluírem. As persianas tradicionais são sistemas muito eficazes em todos os sentidos para climas como o nosso.

Uma outra forma de sombreamento é a utilização de barreiras naturais tais como arbustos ou vinhas que podem ser planeados para proporcionar sombra no verão e deixar entrar a luz no inverno (os de folha caduca) ou até para evitar reflexos por parte de edifícios próximos ou pavimentos.

Estes sistemas de sombreamento não são, na maior parte das vezes, do agrado dos ocupantes dos edifícios. São vistos como uma indesejável barreira visual e uma fonte de irritação. Onde for possível é preferível utilizar sistemas fixos apenas na parte superior das janelas, deixando a parte inferior livre de obstruções.



Maquetas ou diagramas da órbita solar podem ser utilizados para uma previsão da performance dos sistemas de sombreamento.



ESTORES

LÂMINAS EXTERIORES

Fig.18

### 2.3.8 Iluminação artificial

Por melhor que seja o aproveitamento da luz natural num edifício, todos os edifícios necessitam de um sistema de iluminação artificial para uso nocturno, para espaços sem janelas ou como um complemento quando a luz natural desce abaixo de determinados níveis. A correcta escolha do tipo de lâmpada a utilizar é fundamental para que o edifício tenha a performance que desejamos, quer em termos de conforto visual, quer em termos económicos. A colocação dos focos de luz, como já vimos anteriormente, é também um factor determinante para uma correcta utilização da luz eléctrica. Esta luz também pode ser reflectida, difundida ou encoberta, sendo possível utilizar sistemas de controle, tal como no caso da luz natural, que aumentam as possibilidades estéticas da sua utilização.

Nos locais em que a luz artificial é utilizada como um complemento da luz natural é importante que as lâmpadas mantenham o mesmo aspecto em termos de cor (a sua e a que os materiais reflectem). As lâmpadas convencionais fluorescentes de luz branca e fria emitem uma luz ligeiramente azulada que pode ser apropriada para um compartimento com janelas voltadas a norte, mas completamente desapropriadas para um com janelas voltadas a sul. Hoje em dia é possível escolher entre uma grande variedade de lâmpadas com boas qualidades cromáticas.

### 2.3.9 Sistemas integrados

Como vimos anteriormente a iluminação artificial é um sistema indispensável em qualquer edifício, mas para que não represente um custo adicional a sua utilização deve ser bem controlada. Os interruptores devem ser bastante acessíveis e controlar um número reduzido de armaduras. Podem também ser usados controles remotos. Uma outra forma de controle é a de colocar candeeiros individuais nas secretárias sendo a luz natural uma luz ambiente. Deste modo cada pessoa regula a quantidade de luz que necessita, conforme está mais perto ou mais longe das janelas e necessita de mais ou menos luz para a tarefa que está a desempenhar, reforçando a sua sensação de posse do seu território de trabalho (a sua secretária) e criando um espaço de maior intimidade/concentração.

Estes são, no entanto, sistemas de controle manual dependentes da percepção humana dos níveis de luz e de acções individuais. Sistemas simples de controle automático podem reduzir significativamente o consumo de energia. De qualquer modo estes sistemas devem poder ser controlados quando necessário pois é importante que os ocupantes sintam que têm algum controle da iluminação no seu local de trabalho e porque podem surgir situações imprevistas.

## 2.4 Métodos de avaliação

A avaliação do comportamento lumínico de um edifício pode e deve ser feita de duas formas: na fase de planeamento, como uma previsão da performance dos sistemas a utilizar; e quando o edifício está concluído, como uma verificação e ajuste dos sistemas. No segundo caso, esta avaliação *à posteriori*, pode ser feita em qualquer edifício que não tenha sido sujeito a um planeamento prévio em relação ao aproveitamento da luz natural e serve como base para se proceder a uma acção de "retrofitting".

### 2.4.1 Previsão

A dificuldade principal para o planeamento do aproveitamento da luz natural num edifício é a de conseguir prever qual a será a sua performance em termos lumínicos, ainda na fase de projecto. Embora a experiência seja a nossa maior aliada esta leva algum tempo a ser adquirida (só com anos de prática e alguns erros...) e alguns elementos arquitectónicos têm um comportamento tão complexo que deve ser sempre feita uma análise detalhada. Há diversas "ferramentas" que podemos utilizar no sentido de fazer uma previsão do comportamento lumínico do nosso edifício.

A técnica mais antiga e, na maioria dos casos, a melhor é a utilização de um modelo à escala do edifício ou espaço a analisar. Em casos muito complexos deve-se usar um modelo à escala 1:1. A luz comporta-se virtualmente da mesma forma independentemente da escala utilizada. Por essa razão as maquetas são fiáveis, dando-nos resultados acertados. Há no entanto que garantir que a maqueta é uma reprodução exacta do espaço e que as suas superfícies têm as cores e reflectâncias correctas, para além de que deve ser observada em condições de iluminação natural idênticas às do local em que vai ser construído o edifício. Nesta situação é possível medir os valores das luminâncias e iluminâncias que irão ocorrer na realidade. Os modelos à escala podem ser utilizados para fazer medições quantitativas embora, para que se obtenham valores correctos, seja necessário o uso de sensores calibrados e de um ambiente lumínico exterior bem definido (pode-se usar um céu artificial).

Outra ferramenta útil são as técnicas analíticas. A penetração da luz num edifício é um fenómeno físico que segue certas leis conhecidas. É possível, através do conhecimento destas leis e da análise matemática por meio de equações fazer uma estimativa do comportamento da luz no edifício. Algumas destas funções já se encontram pré-calculadas sob a forma de fórmulas, cartas, gráficos, que podem ser usados para estimar os factores de iluminação natural para algumas situações-tipo, tais como uma sala rectangular numa situação de céu bem definida. Técnicas para calcular o efeito de palas, "prateleiras" de luz, estores, etc. já estão a ser definidas, já havendo meios de prever a ocorrência de reflexos (brilhos) e ofuscamento.

Hoje em dia há também diversas "ferramentas" computadorizadas para o estudo da iluminação natural. Há vários programas para calcular os factores de luz natural de uma forma analítica para espaços simples, mas grande parte do software ainda está em fase de desenvolvimento e são poucos os programas que estão em boas condições para serem comercializados. As simulações em programas com modelos tridimensionais ainda não são muito correctas mas podem-nos dar uma ideia aproximada do aspecto visual do interior de um espaço em termos lumínicos.

A simulação da performance de componentes sofisticados utilizados para o aproveitamento da luz natural bem como a verificação dos diversos parâmetros a ter em conta na iluminação natural (incluindo o conforto visual, a qualidade luminosa dos espaços interiores, conforto térmico e consumo energético) estão fora do âmbito do trabalho do arquitecto, sendo necessário recorrer a empresas, laboratórios ou profissionais especializados neste ramo.

Uma aproximação produtiva para um profissional (arquitecto) que queira utilizar a luz natural correctamente é a de fazer um estudo, observando e registando a performance de edifícios existentes, quer de uma forma empírica, quer pelo uso de instrumentos de

medição simples. Desta forma irá desenvolver a sua sensibilidade, de modo a poder antever a performance de uma determinada proposta arquitectónica, e a não cometer erros clássicos.

#### 2.4.2 Avaliação

A avaliação do comportamento de um edifício, já construído, em termos de iluminação natural é um processo científico com diversas fases. Integrada na metodologia da análise bioclimática, divide-se em duas componentes:

##### 1. Aspectos configuradores:

- Biofísicos (geografia e clima)
- Psicológicos e estéticos (forma arquitectónica)
- Sócio-culturais

##### 2. Metodologia sistemática:

- Informação e recolha de dados do contexto e da envolvente
- Ordenação e inter-relações entre os dados. Contradições, ajustes e valorização dos mesmos
- Interpretação e elaboração das conclusões da análise: parciais e globais

Em termos da iluminação natural existe uma metodologia específica, utilizada pelo LNEC no programa da Comunidade Europeia, JOULE II, com a designação "Daylight Design of European Buildings", no estudo de alguns edifícios em Portugal denominado "Daylight Europe – The Portuguese Monitoring Case Studies" (1996). O processo de avaliação é muito extenso e exaustivo, pelo que irei fazer apenas uma breve descrição das diversas fases que o compõem:

1. Recolha de dados
2. Descrição do local
3. Descrição geral do edifício
4. Dispositivos de iluminação natural / entradas de luz / sombreamento
5. Outros sistemas energéticos conscienciosos / dados de consumo
6. Elementos desenhados e fotografias do edifício
7. Descrição dos sistemas de controle / análise / observação do edifício
8. Informações úteis para a simulação (natureza do edifício e performance desejada)
9. Conclusões

Esta análise é feita no local, ao longo do ano e diversas situações climáticas e de luz natural e pode servir para testar a tecnologia utilizada ou para detectar problemas em edifícios a serem sujeitos a programas de "retrofitting".

#### 2.4.3 "Retrofitting"

"Retrofitting" é o termo que normalmente se usa para designar a adaptação ou "arranjo" de um edifício já construído. Em termos de arquitectura solar passiva este processo é muito utilizado no sentido de reduzir os gastos energéticos de edifícios e aumentar a sua qualidade ambiental.

Aumentar e actualizar a eficiência e qualidade da iluminação num edifício existente envolve a avaliação de um leque de opções em ordem crescente de custos e complexidade. A iluminação natural e a artificial devem ser consideradas em conjunto e as circunstâncias individuais irão determinar quais as medidas apropriadas a serem

tomadas. De um modo resumido irei apresentar em seguida algumas das acções que podem ser postas em curso para fazer o "retrofit" de um edifício.

Em primeiro lugar deve-se considerar os padrões de manutenção existentes. Em qualquer sistema é essencial uma boa manutenção – janelas e clarabóias empoeiradas e paredes sujas irão reduzir a eficiência da luz natural e artificial. Poeira nas janelas pode reduzir a sua performance em 10% ou mais e nas clarabóias em 20-25%. Lâmpadas fundidas ou em falta, fios eléctricos em mau estado ou persianas partidas são uma garantia de mau funcionamento do sistema.

De seguida devem-se adaptar lâmpadas de baixo consumo energético e bom comportamento cromático (ver 2.3.8) e novos reflectores às armaduras existentes. A simples substituição dos vidros opalinos em clarabóias por sistemas de lâminas com vidro transparente (2.3.7) irá aumentar a sua transmissão em cerca de 30%. As paredes e superfícies escuras podem ser pintadas com cores mais claras e luminosas. Este tipo de ajustes podem ser feitos como parte de um programa de manutenção, não implicando um grande gasto de capital nem a interrupção da actividade no edifício.

Se as armaduras chegaram ao fim da sua vida útil (10 a 12 anos) podem ser substituídas por outras mais eficientes. Podem-se adaptar sistemas de controle simples, tais como interruptores mais acessíveis ou temporizados, ao sistema eléctrico existente. Cortinas ou estores interiores, relativamente baratos, podem representar uma melhoria significativa das condições de iluminação natural do edifício.

Numa remodelação de um espaço deve-se logo ter em conta o seu comportamento lumínico, escolhendo correctamente os acabamentos, disposição do mobiliário, cortinados, estores, etc. Deve-se instalar um sistema de iluminação artificial coordenado com o de iluminação natural.

Substituir o vidro simples por vidro especial, sistemas prismáticos ou isolamento transparente nas janelas existentes irá ter um efeito mais radical na quantidade e qualidade de luz que penetra no edifício, mas pode ser uma solução cara, tal como a colocação de sombreamento exterior ou sistemas de re-direccionamento da luz. A abertura de novas janelas ou clarabóias, a instalação de uma "conduta" de luz ou o fecho de um pátio para fazer um átrio representam já uma intervenção muito maior. Mas, em alguns casos, a simples instalação de uma nova janela ou a renovação dos acabamentos das paredes e chão de um "poço" de luz existente, são suficientes para tornar uma sala outrora escura num espaço agradável.

Qualquer programa de poupança de energia requer a colaboração e compreensão dos ocupantes do edifício. Níveis elevados de conforto e satisfação são mais prováveis de ser atingidos se as pessoas que utilizam o edifício tiverem sido consultadas e estiverem correctamente informadas acerca do modo como os sistemas funcionam. No caso do "retrofitting" é particularmente importante estabelecer objectivos realistas, fazer uma boa gestão do *timing*, monitorar a performance e garantir boas contrapartidas para todos os envolvidos.

3. MUSEU DE ÉVORA  
ESTUDO DO APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL

**3. MUSEU DE ÉVORA – ESTUDO DO APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL**

A escolha do Museu de Évora para este estudo decorre do facto de ser um dos projectos de arquitectura desenvolvidos por Henrique Pereira e de se adaptar a este tipo de estudo, dentro da temática da arquitectura para o trabalho de estágio.

Conhecendo por isso as várias partes da edificação, destacando as suas particularidades. Em claro pelo relatório do "Estado de conservação do edifício" que esse estado de graves deteriorações de humidade, principalmente no piso térreo. As deteriorações de humidade das paredes de alvenaria e azulejados e a falta de ventilação adequada haviam causado problemas graves de deterioração da estrutura, causada por falta de ventilação orgânica, falta de abertura de portas e janelas, etc. etc. etc. Mas a resolução desses problemas revelava-se complicada e exigia um estudo de engenharia do tipo de engenharia solar passiva.

Foi durante este período, juntamente com a consultora de estágio, o arq. Helena Ferreira, que surgiu a ideia de estudar a relação do edifício com o meio ambiente – estudar o seu comportamento em relação à iluminação natural. Durante a investigação que se havia começado a realizar, na área de engenharia solar passiva, para esse conceito de aproveitamento da luz natural.

Para além da proposta sobre iluminação natural (descrita no capítulo 2), foi também necessário começar a estudar as condições específicas que existem em relação à existência de alvenaria e humidade excessiva de zonas de alto, bem como de paredes adjacentes da direcção dos objectos. As condições ideais de ventilação dos objectos, o tipo de humidade recomendado e as condições de segurança exigidas por respeito pela proposta de iluminação natural (Fig. 10).

O estudo desenvolve-se em três fases, que se foram definindo à medida que vão decorrendo. A primeira fase foi com o arq. Helena Ferreira, desenvolver o estudo, e reuniões com o arq. João de Carvalho (responsável pela área, não se realizou outros trabalhos com o arq. Helena Ferreira), mantendo o contacto e a fim de ir para uma obra, pela discussão das soluções arquitectónicas e o estabelecimento de novas condições.

Nesta primeira análise foi feito um estudo geral do edifício com o objetivo de conhecer qual os áreas mais afectadas em que seria necessário fazer um diagnóstico mais específico da humidade. De acordo com os procedimentos adoptados e a investigação feita, foi estabelecido um programa de trabalho a seguir para o aproveitamento da luz natural.

A segunda fase, durante esta etapa estabeleceram-se condições de humidade de uma área específica do Museu, onde seria feita a instalação de primeira planta das salas com humidade e humidade. Para esse estudo havia sido proposta, para o estudo, a alvenaria de uma parede que era necessária estudar de forma a humidade (humidade) e humidade, estabelecendo-se em todo o seu comprimento. Para realizar esse estudo foi proposta a instalação de um modelo bidimensional que, como complemento do estudo geral, foi usado para a verificação do funcionamento de humidade.

Finalmente, a terceira e última fase deste estudo consistiu na observação e registo do comportamento da humidade, em termos de humidade, e de toda a zona envolvente do edifício em relação

### 3. MUSEU DE ÉVORA

#### ESTUDO DO APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL

A escolha do Museu de Évora como objecto central deste estágio decorreu do facto de ser um dos projectos que se encontrava em curso no atelier do arq. Hestnes Ferreira e de se adaptar a este tipo de estudo. A análise iria incidir sobre aspectos de conforto, dentro da temática da arquitectura solar passiva, pois havia sido esta a área escolhida para o trabalho de estágio.

Começou-se por fazer uma análise do edifício, detectando as suas patologias principais. Era claro pelo relatório do "Estado de conservação do edificado" que este sofria de graves infiltrações de humidade, principalmente no piso térreo. As deficiências de isolamento das paredes de alvenaria e pavimentos e a falta de drenagens eficazes haviam causado problemas graves de deterioração dos rebocos, causada por sais e matérias orgânicas, falta de aderência da tinta e fissuração dos revestimentos. Mas a resolução destes problemas revelava-se complicada e mais no âmbito da engenharia do que da arquitectura solar passiva.

Foi decidido então, juntamente com o orientador de estágio, o arq. Hestnes Ferreira, que seria interessante, devido à natureza do edifício – um museu - estudar o seu comportamento em relação à iluminação natural. Orientei a investigação que já havia começado a realizar, na área da arquitectura solar passiva, para o caso concreto do aproveitamento da luz natural.

Para além da pesquisa sobre iluminação natural (descrita no capítulo 2), foi também necessário conhecer melhor as condições específicas dos museus em relação à existência de aberturas e iluminação específica de obras de arte, bem como os aspectos ergonómicos da disposição dos objectos. As distâncias ideais de visualização dos objectos, o tipo de iluminação recomendado e as questões de segurança deveriam ser respeitados pela proposta de iluminação natural (fig.19).

O estudo dividiu-se em três fases, que se foram definindo à medida que este avançava. As conversas com o arq. Hestnes Ferreira, orientador do estágio, e reuniões com o eng.º Licínio de Carvalho (especialista nesta área, que já realizou diversos trabalhos com o arq. Hestnes Ferreira), marcaram o princípio e o fim de cada uma delas, pela discussão das soluções apresentadas e o estabelecimento de novos objectivos.

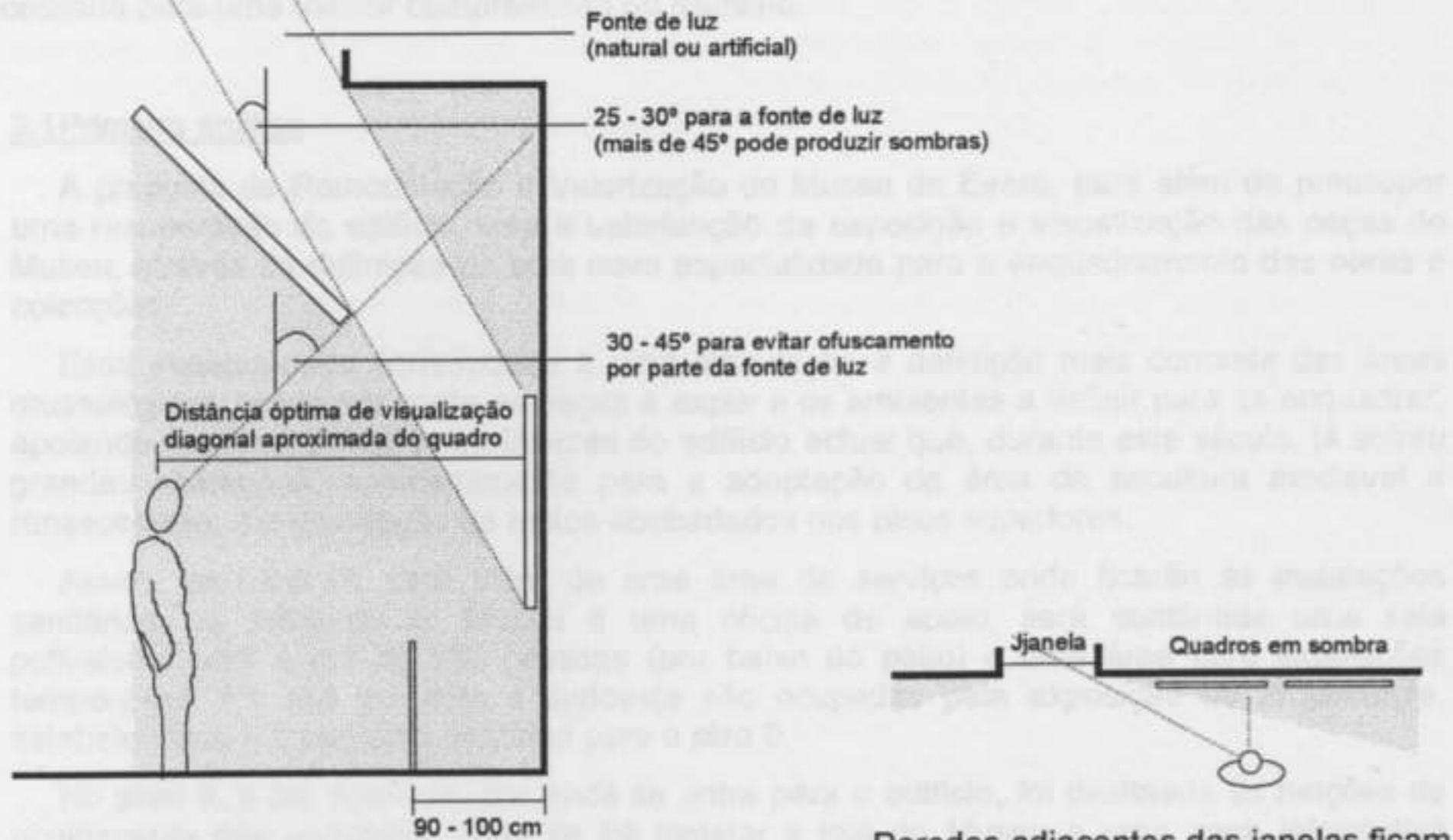
Numa primeira análise foi feito um estudo global do edifício com o objectivo de detectar quais as áreas mais sensíveis em que seria necessário fazer um planeamento mais rigoroso da iluminação. De acordo com os conhecimentos adquiridos e a investigação feita, foi estabelecido um programa de soluções a adoptar para o aproveitamento da luz natural.

A segunda fase, consistiu num estudo sistemático da iluminação de uma área específica do Museu, onde será feita a exposição da pintura. Numa das salas será reconstituído o Retábulo Flamengo da Sé de Évora, cuja iluminação é de extrema importância. Para esse efeito havia sido proposta, pelo arquitecto, a abertura de uma clarabóia que era necessário estudar de forma a iluminar correctamente o Retábulo, evidenciando-o em todo o seu esplendor. Para realizar este estudo foi proposta a construção de um modelo tridimensional que, como complemento do estudo gráfico, iria servir para a verificação do funcionamento da clarabóia.

Finalmente, a terceira e última fase deste estudo consistiu na observação e registo do comportamento da clarabóia, em maqueta, e de toda a zona envolvente do Retábulo em relação

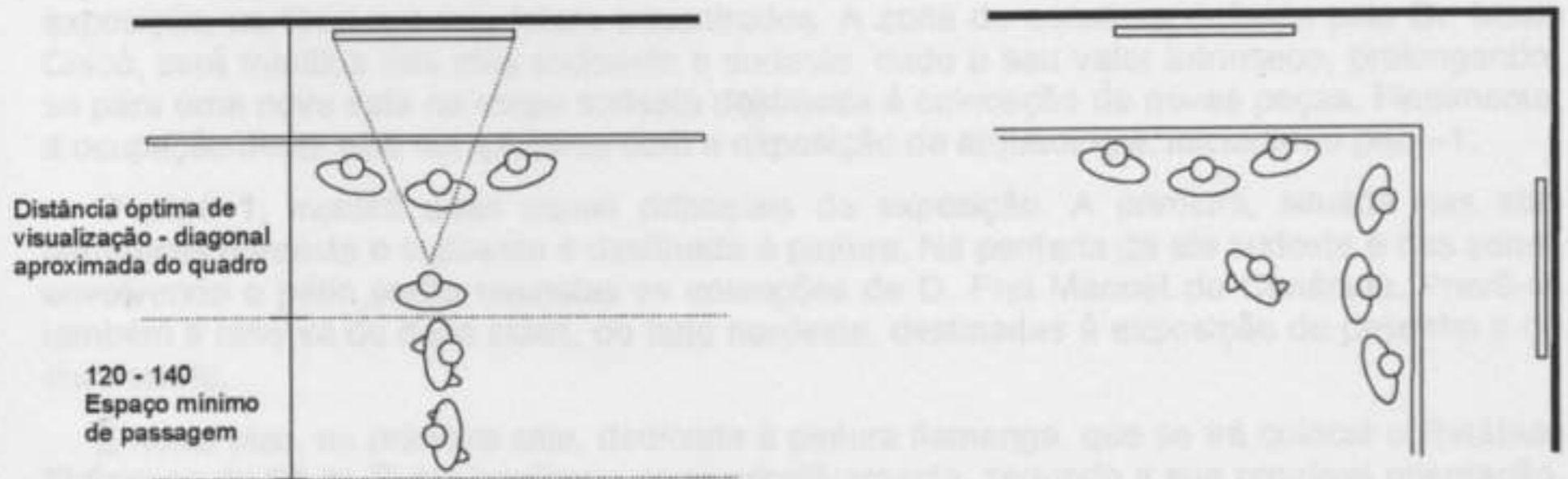
A luz natural (través de janelas no piso 2.º a 1.º) de modo a permitir fazer uma possível análise de sua performance no tempo.

Este capítulo será uma nova abordagem mais detalhada das diferentes fontes de luz que se divide o mundo, levando uma melhor descrição do projeto do Museu de Évora que se torna necessária para a iluminação de interiores.



Visualização de quadros e sistemas de iluminação

Paredes adjacentes das janelas ficam em sombra



Visualização de objectos e circulação

Método para evitar congestionamento em cantos

Fig. 19 - CONDIÇÕES ESPECÍFICAS DE MUSEUS

à luz natural (como se refere no ponto 2.4.1) de modo a permitir fazer uma previsão segura da sua performance no futuro.

Neste capítulo será feita uma descrição mais aprofundada das diversas fases em que se dividiu o estudo, fazendo uma breve descrição do projecto do Museu de Évora que se torna necessária para uma melhor compreensão do trabalho.

### 3.1 Primeira análise

A proposta de Remodelação e Valorização do Museu de Évora, para além de pressupor uma recuperação do edifício, visa a valorização da exposição e visualização das peças do Museu, através da definição de uma nova espacialidade para o enquadramento das obras e colecções.

Essa espacialidade corresponde a uma articulação e definição mais concreta das áreas museológicas, tendo em conta as peças a expor e os ambientes a definir para as enquadrar, apoiando-se nas qualidades intrínsecas do edifício actual que, durante este século, já sofreu grandes alterações, nomeadamente para a adaptação da área da escultura medieval e renascentista, e a introdução de tectos abobadados nos pisos superiores.

Assim, no **piso -1**, para além de uma área de serviços onde ficarão as instalações sanitárias, as reservas do Museu e uma oficina de apoio, será construída uma sala polivalente para cerca de 100 pessoas (por baixo do pátio) e uma área para exposições temporárias. As alas noroeste e sudoeste são ocupadas pela exposição de arqueologia, estabelecendo um percurso contínuo para o piso 0.

No **piso 0**, a ala noroeste, por onde se entra para o edifício, foi destinada às funções de acolhimento dos visitantes, onde se irá instalar a loja do Museu e uma zona informativa multimédia sobre o Museu de Évora, a evolução do edifício e a respectiva inserção urbana. Neste piso será também instalada uma cafetaria para o público, com área de serviço anexa. Alguns vestígios arqueológicos, descobertos em recentes escavações, serão incluídos na exposição, no local em que foram encontrados. A zona de escultura definida pelo Dr. Mário Chicó, será mantida nas alas sudoeste e sudeste, dado o seu valor intrínseco, prolongando-se para uma nova sala no corpo sudeste destinada à colocação de novas peças. Finalmente, a ocupação deste piso completa-se com a exposição de arqueologia, iniciada no piso -1.

O **piso 1**, incluirá duas zonas principais de exposição. A primeira, situada nas alas periféricas noroeste e sudoeste é destinada à pintura. Na periferia da ala sudeste e nas zonas envolvendo o pátio serão expostas as colecções de D. Frei Manuel do Cenáculo. Prevê-se também a reserva de duas salas, do lado nordeste, destinadas à exposição de desenho e de ourivesaria.

É neste piso, na primeira sala, dedicada à pintura flamenga, que se irá colocar o Retábulo Flamengo da Sé de Évora conforme seria primitivamente, segundo a sua provável orientação, na parede de fundo do lado nordeste.

Por fim, o **piso 2**, o sótão, será dedicado à administração, sendo feita uma ampliação para a ala sudoeste onde se localizará um núcleo de gabinetes.

A remodelação do museu pressupõe uma revisão das acessibilidades, prevendo-se a instalação de um elevador, e das condições de conforto onde estão incluídos os sistemas de climatização e iluminação natural e artificial.

Em relação à envolvente é de destacar a existência de árvores de folha caduca do lado sudoeste, junto à fachada, que produzem sombreamento durante o verão e não durante o inverno, ajudando a controlar as cargas térmicas e quantidade de luz que o edifício recebe. Do lado noroeste existe uma praça com o pavimento em granito e do lado nordeste um edifício a poucos metros do Museu, que podem ser fontes de reflexos. Do lado sudeste o problema é quase inverso pois o facto do edifício do Museu estar quase encostado à Sé de



Évora não permite a insolação desta fachada, podendo não haver luz natural suficiente para garantir a sua iluminação interior.

O aproveitamento da luz natural nos espaços interiores contribui para a qualidade ambiental desses mesmos espaços, bem como para uma poupança no consumo energético decorrente da utilização de luz eléctrica. No caso do Museu de Évora, a natureza do espaço e dos objectos nele expostos fazem com que seja necessário um estudo cuidado em que luz natural e artificial funcionem em conjunto de forma a garantir um maior conforto visual e homogeneidade na iluminação das peças.

Após a visita ao Museu, e observação as peças nele expostas verificou-se que um dos problemas principais, em relação à iluminação natural, estava relacionado com a exposição de pintura. Os raios ultravioletas bem como a radiação visível podem causar danos irreparáveis nos quadros (principalmente os primeiros), "comendo" as cores. As janelas das salas onde havia pintura exposta estavam então todas cobertas com estores interiores que, na maioria dos casos, se encontravam bastante degradados. Noutras salas havia, ocasionalmente, uns cortinados pretos improvisados para cortar a luz reflectida pelas paredes do pátio central. Diversas janelas do Museu haviam sido tapadas com painéis, de modo a criar paredes falsas que aumentavam a área para a exposição de quadros. Em pleno dia, todas as salas de exposição estavam iluminadas com luz artificial.

Havia então um problema de controle da radiação que entrava no edifício aliado a um problema de falta de espaço. O aproveitamento da luz natural revelava-se difícil por duas razões: a falta de espaço tornava indesejável a abertura das janelas e a radiação solar era um elemento a evitar, para a boa conservação das peças.

De acordo com a investigação realizada, numa primeira aproximação, não foi difícil estabelecer quais os princípios básicos a seguir na elaboração do projecto de iluminação do Museu aproveitando a luz natural:

1. **difusão da luz** ou captação de luz difusa (tal como a radiação celeste, a Norte), pois esta apresenta uma maior homogeneidade e qualidade;
2. **colocação de filtros ultravioleta** nos envidraçados para eliminar a penetração desta radiação, que pode degradar as peças;
3. **protecção dos envidraçados insolados** de modo a eliminar da penetração directa da luz solar que pode degradar as peças e contribuir para situações de encadeamento;
4. **uniformização da luz** e/ou definição de padrões de iluminação diferentes conforme a natureza do espaço e dos objectos expostos;
5. **limitação do risco de encadeamento** pelo céu brilhante, no caso do aproveitamento da radiação celeste;
6. **controle das cargas térmicas** decorrentes do aproveitamento da luz directa ou do uso de iluminação eléctrica.

Estes princípios eram válidos para a criação de soluções de conjunto, mas era preciso estudar caso a caso a necessidade de adoptar outro tipo de soluções.

Em termos de necessidades de iluminação distinguiam-se quatro situações principais a estudar: zonas de circulação, exposição de pintura, exposição de escultura e outros objectos e salas de trabalho (tarefas visuais).

As zonas de circulação já se encontravam definidas, intrínsecas ao edifício, não havendo grandes possibilidades de intervenção ao nível da iluminação natural. No caso da exposição de escultura, a iluminação natural deveria ser estudada em conjunto com a disposição dos objectos de forma a realçar aspectos volumétricos pela colocação estratégica das peças em relação aos focos de luz. A luz solar não danifica as peças em pedra, pelo que não há necessidade de usar filtros ultravioleta nem de eliminar a sua penetração no interior. De qualquer modo devem ser consideradas as medidas referidas nos pontos 1,4,5 e 6, acima

descritos. O calor é o único factor que pode degradar as peças em pedra pelo que a exposição aos raios solares deve ser muito bem planeada de modo a não produzir danos.

A situação mais complexa era sem dúvida a da exposição de pintura, pelo que foi a escolhida para a realização de um estudo mais aprofundado.

### 3.1.1 Exposição de pintura

A exposição de pintura é a situação mais delicada no que diz respeito ao controle da luz. A iluminância sobre os quadros deveria situar-se entre os 200 e os 400 lux (tabela 5) e a radiação ultravioleta deveria ser eliminada, pelo uso de filtros ultravioleta nos vidros, pois danifica os quadros.

Iluminância geral	150 - 300 lux
Sobre os quadros	200 - 400 lux
Sobre os outros objectos	400 - 800 lux

Tabela 5 - Valores de iluminância interior recomendados para museus

Para a criação de um bom ambiente lumínico interior, a luz natural deveria ser difusa e, preferencialmente, reflectida no tecto (o facto de este ser, em alguns casos, abobadado favorecia a reflexão da luz em vários sentidos, sendo o resultado mais uniforme). De qualquer forma e de modo a se obter uma luz mais constante e uniforme, deveria ser usada simultaneamente a luz eléctrica.

Outra situação delicada dizia respeito à orientação das salas de exposição de pintura, havendo duas situações praticamente opostas: uma ala orientada a noroeste e outra a sudoeste. No segundo caso, visto que as salas recebiam insolação directa durante quase todo o dia era necessário usar sistemas de protecção solar nas janelas. No entanto, para garantir a uniformidade da área de exposição, havia que criar soluções que pudessem ser aplicadas nas duas alas mas que respeitassem as necessidades individuais de cada uma.

Em termos de características individuais era possível subdividir esta área segundo três situações diferentes: as salas  $S_{2.1}$  e  $S_{2.2}$ , as salas  $S_{2.3}$  e  $S_{2.6}$  e as salas  $S_{2.4}$  e  $S_{2.5}$ .

Como soluções de conjunto, foram propostas:

- Substituição dos vidros por vidro incolor com filme de protecção ultravioleta (duplos a S.W. e simples a N.W. por causa das cargas térmicas) e possível substituição do caixilho.
- Difusão da radiação solar pelo uso de um estore interior em tecido de cor cru (fig.20 ). A densidade do tecido a utilizar pode variar de forma a controlar a quantidade de luz que entra.
- Controle da quantidade de luz natural que penetra no interior pelo uso de um painel vertical móvel, em frente às janelas, e que fará parte integrante da exposição, como expositor, resolvendo simultaneamente o problema de falta de espaço (fig.21).
- Homogeneização e complementação da luz natural pelo uso de luz artificial sobre os quadros. A luz natural poderá funcionar como luz ambiente, reflectida no tecto ou difusa e a luz eléctrica seria utilizada de forma a iluminar individualmente os quadros, realçando a sua presença.

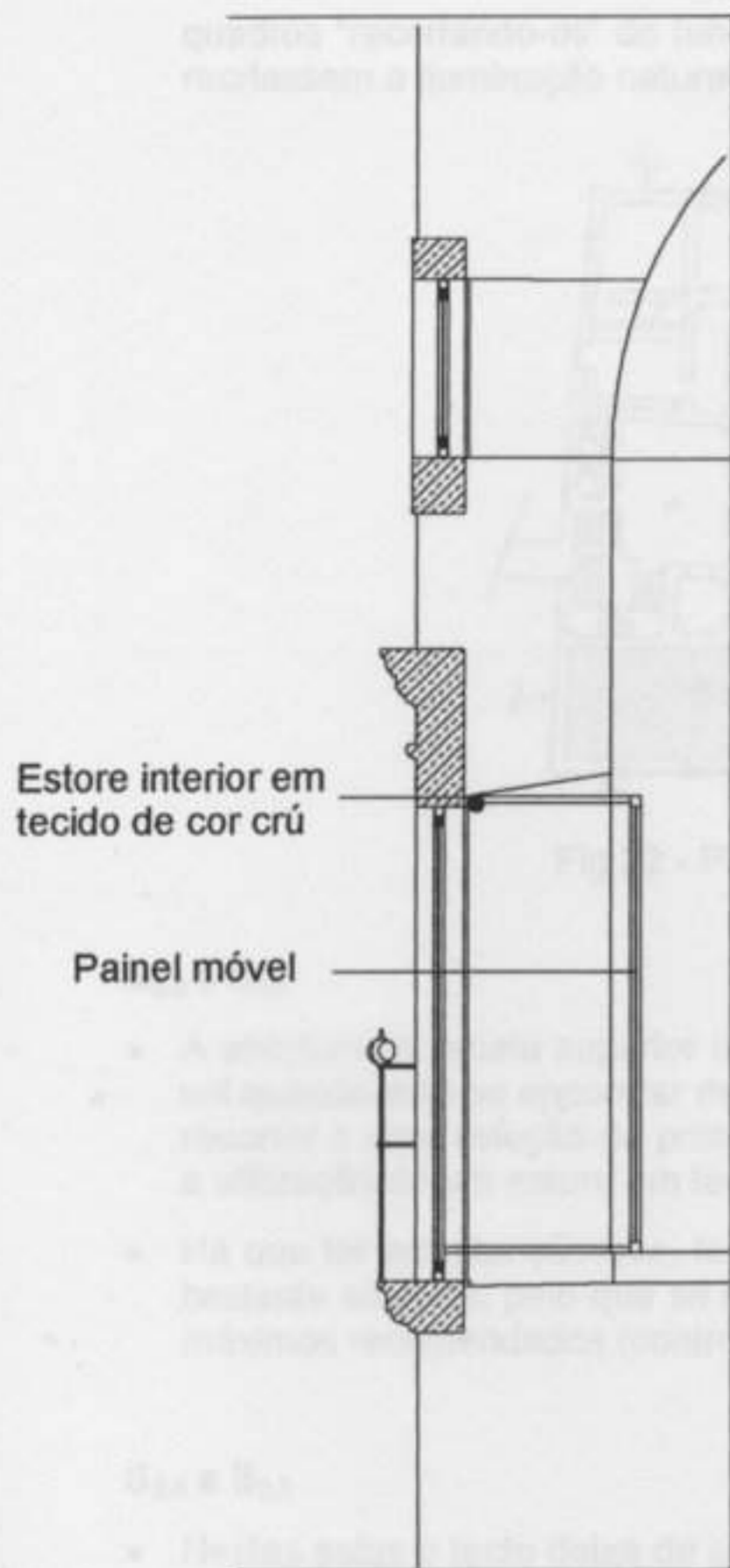


Fig.20 - Sistemas de controle nos envidraçados - corte

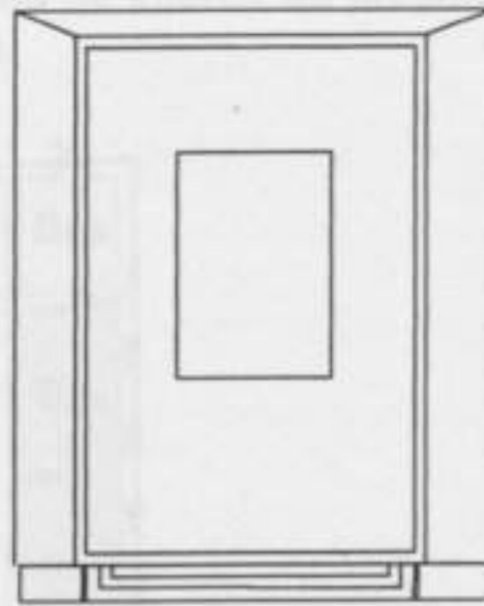


Fig.21 - Painel móvel - controle da luz e expositor - alçado

Como soluções individuais, foram propostas para as salas:

#### S<sub>2.1</sub> e S<sub>2.2</sub>

- Aproveitamento da luz do céu pela abertura das janelas superiores, que haviam sido fechadas quando da construção das abóbadas (ver corte GG). A largura da parede exterior faz com que esta funcione quase como uma "prateleira" reflectora, reflectindo a luz para o tecto abobadado. O acabamento da parede no plano horizontal de reflexão deve ser em tom branco mate ou especular. O vidro a utilizar deve ser igual ao dos outros vãos, com filtros ultravioleta.
- Caso a iluminância resultante destas aberturas não seja suficiente para garantir os mínimos recomendados, deve ser complementada com luz artificial de cor branca, reflectida na abóbada, nos espaços entre as janelas.
- No caso da iluminação do retábulo, há que estudar os efeitos da luz que penetra pela clarabóia (corte II) e a necessidade de utilizar, ou não, luz artificial complementar. Neste caso seria interessante estudar qual o tipo de luz a usar de forma a realçar os

quadros "recortando-os" do fundo ou colocar focos no interior da própria clarabóia que recriassem a iluminação natural dela proveniente.

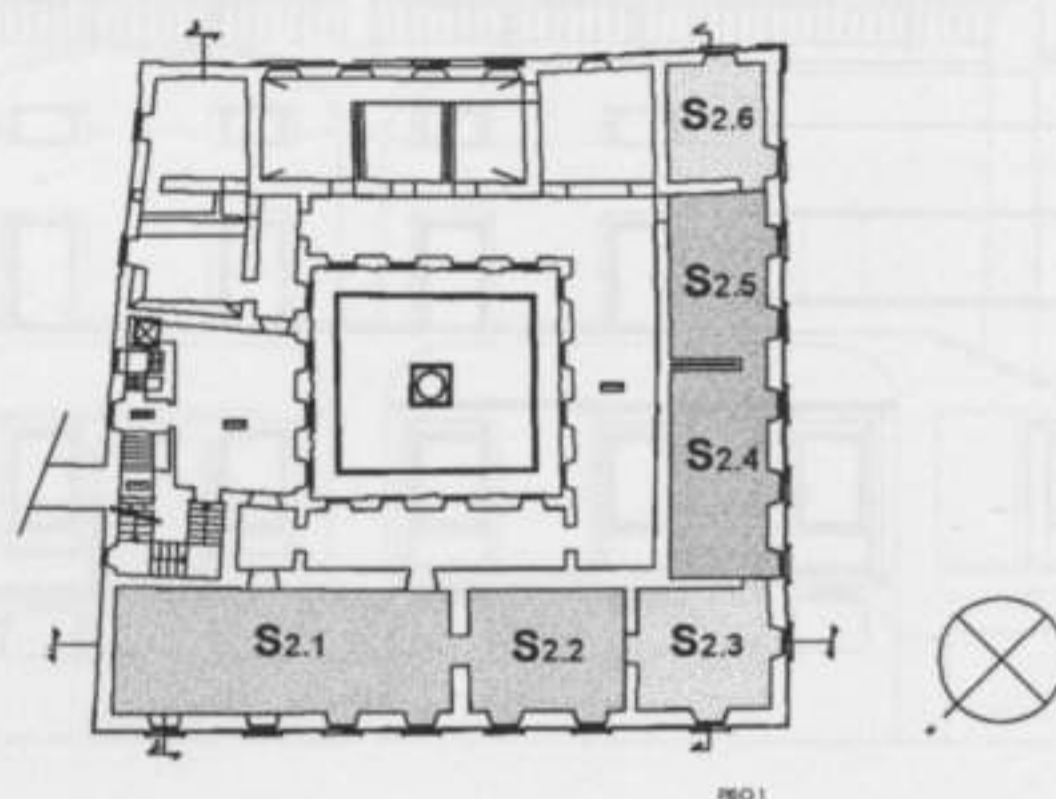


Fig.22 - Planta do piso 1

#### S<sub>2.3</sub> e S<sub>2.6</sub>

- A abertura da janela superior na fachada sul (corte II) irá permitir a entrada directa do sol quando este se encontrar mais baixo (período de inverno) pelo que julgo necessário recorrer a uma solução de protecção/difusão da luz. Uma das soluções possíveis seria a utilização de um estore em tecido idêntico ao utilizado nas janelas grandes.
- Há que ter em atenção que, face ao seu tamanho, esta sala tem uma área de janelas bastante elevada, pelo que se deve ter cuidado para que a iluminância não exceda os máximos recomendados (controle da posição dos painéis e densidade das telas).

#### S<sub>2.4</sub> e S<sub>2.5</sub>

- Nestas salas o tecto deixa de ser abobadado e o pé direito diminui, deixando de existir aberturas superiores. A luz natural passa a ser proveniente apenas das janelas de sacada. O controle da quantidade de luz natural que entra será feito pelo maior ou menor afastamento do painel da janela ou densidade da tela usada.
- Como não há possibilidade de reflectir a luz natural para o tecto, deve ser utilizada luz artificial reflectida para o tecto para complementar a luz ambiente.

Após a realização deste estudo, estava na altura de confrontar as soluções propostas com o Arq. Hestnes Ferreira e com o Eng.º Licínio de Carvalho. As propostas pareciam-lhes favoráveis embora fosse preciso ter cuidado na escolha do filtro a ser utilizado e ainda não fosse clara a viabilidade da abertura das janelas superiores, por causa da sua intersecção com a abóbada. A colocação dos painéis em frente às janelas também poderia causar problemas se fossem deixadas frinchas laterais, que poderiam ofuscar o observador, devido à diferença dos níveis de luz interior e proveniente da frincha (fig.24).

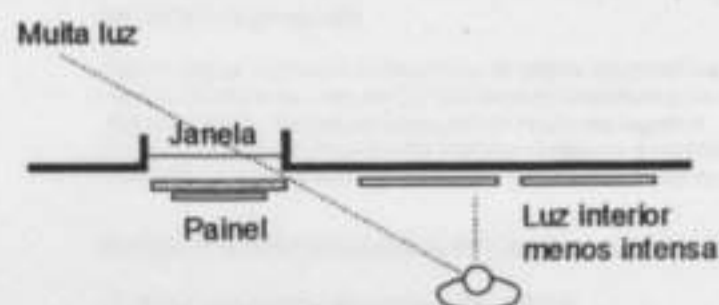
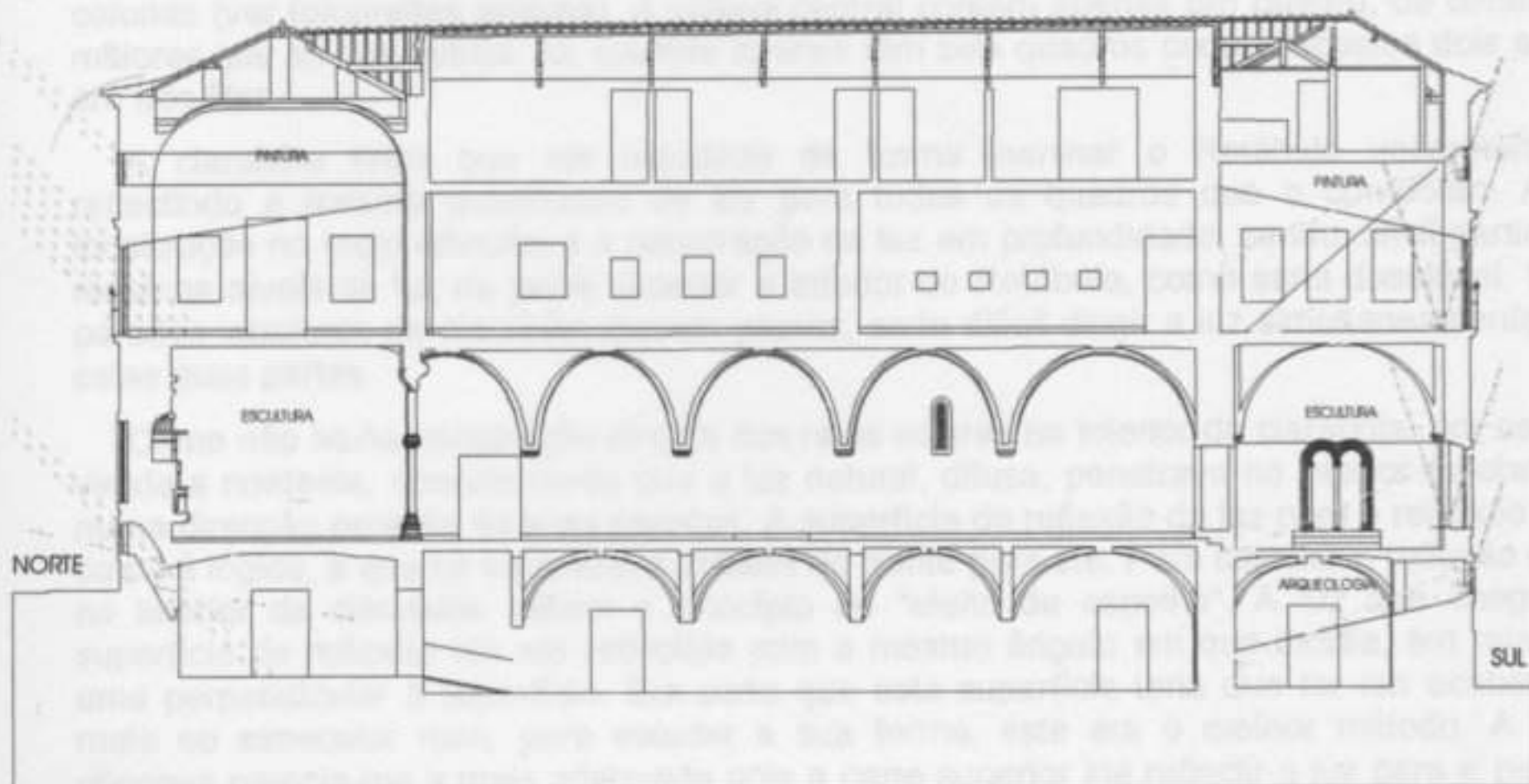


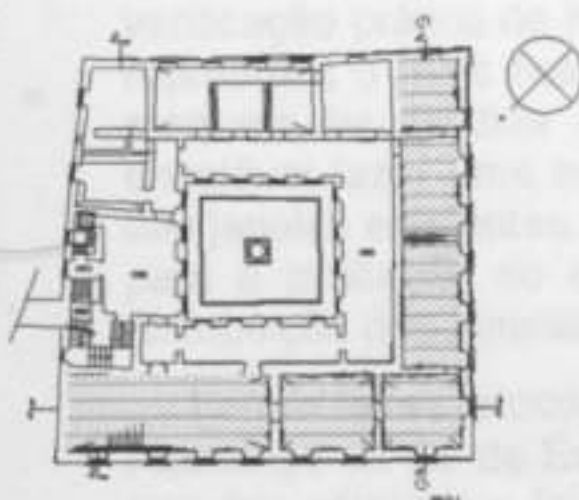
Fig.24 - A diferença da quantidade de luz que entra por trás do painel causa ofuscamento



CORTE II



CORTE GG



**EXPOSICAO DE PINTURA**

- Vidros com filme de protecao ultra-violeta, incolores
- Eliminacao de reflexos e do "efeito de espelho"
- Reflexao da luz para a abobada e tectos e nao para as paredes
- Eliminacao da luz excessiva atraves do fechamento de algumas janelas
- Os quadros muito escuros devem ter uma luminancia 2 a 3 vezes superior a tabelada

**EXPOSICAO DE ESCULTURA**

- Estudo da luz de forma a evidenciar os efeitos volumetricos
- Reducao das variacoes de humidade e temperatura para evitar fissuramento e degradacao das peccas
- Na colocacao das peccas atencao ao "efeito de espelho"
- Pode-se aproveitar a luz natural para luz ambiente e usar focos de luz artificial para evidenciar efeitos volumetricos. Nesta situacao a luz natural pode ser difundida ou reflectida na abobada.

**VALORES DE LUMINANCIA INTERIOR RECOMENDADOS PARA MUSEUS**

- Luminancia geral circulacoes 150 - 300 lux
- Pintura 200 - 400 lux
- Escultura e outros objectos 400 - 800 lux

Neste momento, o elemento que interessava estudar era a clarabóia para a iluminação do Retábulo.

### 3.2 Estudo da iluminação do Retábulo Flamengo da Sé de Évora

A reconstituição do Retábulo Flamengo da Sé de Évora irá implicar rebaixar o chão da sala para que este caiba em altura. A proposta do arq. Hestnes Ferreira é a de vencer este desnível por uma escadaria constituída por degraus de dupla altura ao centro e degraus normais laterais, criando uma cenografia em coordenação com o percurso para visitantes, que se adapta ao carácter esplendoroso do Retábulo e permite, simultaneamente, uma visualização da pintura de vários níveis e ângulos.

Toda esta zona que rodeia e suporta o Retábulo será envolvida com painéis de madeira, lendo-se quase como um espaço à parte, dentro da exposição de pintura. Para que este possa ser observado em toda a sua plenitude, o visitante deverá visualizá-lo a uma certa distância, pelo que foi proposto que a entrada para esta sala se faça pelo extremo oposto ao do Retábulo, na parede lateral (onde existem actualmente duas portas embora a primeira seja muito em cima do espaço do Retábulo, sendo previsto o seu fecho).

A luz proveniente da clarabóia deverá iluminar o Retábulo na sua totalidade, realçando o seu esplendor. Do mesmo modo, esta luz poderá realçar o carácter cenográfico do espaço envolvente conferindo-lhe um aspecto solene.

O Retábulo Flamengo da Sé de Évora é constituído por treze quadros, dispostos em três colunas (ver fotografias anexas). A coluna central contém apenas um quadro, de dimensões maiores que as dos outros. As colunas laterais têm seis quadros cada, dispostos dois a dois, em três filas.

A clarabóia tinha que ser estudada de forma a iluminar o Retábulo uniformemente, reflectindo a mesma quantidade de luz para todos os quadros que o compõem. A sua localização no tecto dificultava a penetração da luz em profundidade, sendo difícil garantir os mesmos níveis de luz na parte superior e inferior do Retábulo, como seria desejável. Se as paredes interiores da clarabóia fossem planas, seria difícil dirigir a luz simultaneamente para estas duas partes.

Como não havia penetração directa dos raios solares no interior da clarabóia, por esta ser virada a nordeste, considerou-se que a luz natural, difusa, penetrava no interior da clarabóia numa direcção paralela às suas paredes. A superfície de reflexão da luz para o retábulo seria, como é lógico, a que se encontrava voltada de frente para ele. Para calcular a reflexão da luz no interior da clarabóia, utilizei o princípio do "efeito de espelho". A luz que chegava à superfície de reflexão iria ser reflectida com o mesmo ângulo em que incidia, em relação a uma perpendicular à superfície. Era certo que esta superfície teria que ter um acabamento mate ou especular mas, para estudar a sua forma, este era o melhor método. A forma côncava parecia-me a mais adequada pois a parte superior iria reflectir a luz para a parte de baixo e a inferior para a parte de cima do Retábulo.

Nesta altura tornou-se essencial a construção de um modelo tridimensional para a verificação prática do funcionamento da clarabóia. Foi feita uma maquete à escala 1/20, que reproduzia o mais fielmente possível os materiais que iriam ser usados na realidade. Esta maquete foi dividida em duas peças, dado as suas grandes dimensões, e porque era desejável fazer uma análise da performance da clarabóia isoladamente, sem a interferência das janelas existentes. A metade da maquete que não continha o retábulo podia ser utilizada para a avaliação do conjunto e de outras situações-tipo dado que as suas dimensões e distribuição das janelas eram iguais às das outras salas da exposição de pintura.

Foram feitas fotocópias a cores das fotografias dos quadros e reconstituiu-se o Retábulo Flamengo da Sé de Évora à escala 1/20. A madeira utilizada para o seu suporte e forro das paredes adjacentes foi escolhida de forma a que se assemelhasse o mais possível com a que iria ser colocada na realidade. Os pavimentos foram feitos em madeira e as paredes em

cartolina sem brilho de cor branca. As cantarias exteriores também foram reproduzidas pois o seu papel de sombreamento não deveria ser menosprezado. O tecto abobadado foi forrado com cartolina igual à das paredes, tendo-se mantido as janelas superiores fechadas para verificar se seria mesmo necessário abri-las, para garantir níveis mínimos de iluminação aceitáveis. A clarabóia em si era uma peça móvel, tendo sido experimentados diversos modelos de formas diferentes, sempre com base num estudo gráfico o mais rigoroso possível.

Após várias tentativas chegou-se a uma forma aproximada da clarabóia de modo a que todo o painel onde estava reconstituído o Retábulo estivesse iluminado, bem como a área a ele adjacente, até ao fim da escadaria. Para conter a luz nesta área, tinha-se tomado necessário estender a clarabóia para o interior da sala, colocando um plano de reflexão paralelo ao painel, que demonstrou ser ainda mais eficaz ao reforçar a luz emitida para a sua zona média e aumentar o nível geral de luz. Do mesmo modo foi necessário aumentar os planos de reflexão para os lados, pois a luz estava muito restringida à largura do painel e, como se viu no capítulo 2, a diferença nos níveis de luz dos planos adjacentes tornava-se indesejável, podendo provocar encadeamento, neste caso por parte dos próprios quadros. Criava-se assim uma iluminação celestial, contida na área de visualização do Retábulo.

Após se ter conseguido uma iluminação considerada satisfatória, a clarabóia foi redesenhada de uma forma rigorosa, de acordo com os princípios tomados como base, que revelaram ser eficazes. Os ajustes necessários, para desenhar de uma forma geométrica e rigorosa a superfície de reflexão, foram feitos segundo os mesmos princípios (fig.25 e 26)

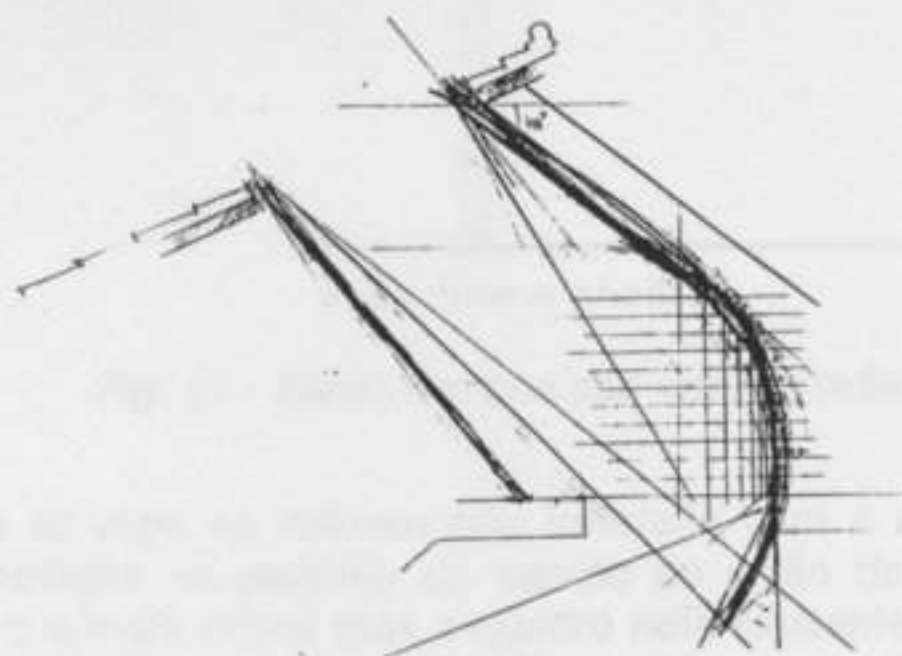


Fig. 25 - Estudo da clarabóia

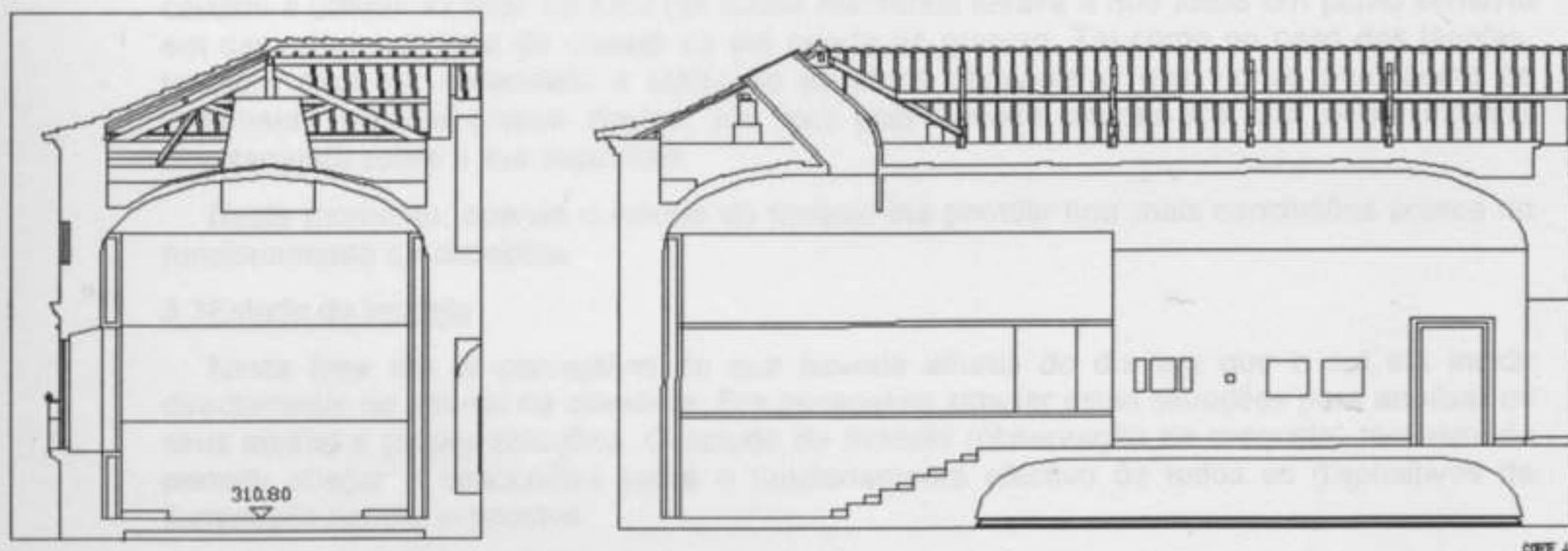


Fig. 26 - Cortes da clarabóia

Nesta altura, a única preocupação era a possibilidade da ocorrência de reflexos, por parte das pinturas a óleo. Na observação da maqueta notou-se que, de acordo com a posição relativa do visitante na sala, havia quadros que produziam reflexos, não sendo possível visualizá-los.

O problema não era a luz que incidia nos quadros, pois era uma luz difusa, mas sim a que eles reflectiam. Foi feito um estudo para calcular a posição exacta de onde eram visíveis esses reflexos, usando o método da "imagem" do foco de luz, ilustrado na fig.27.

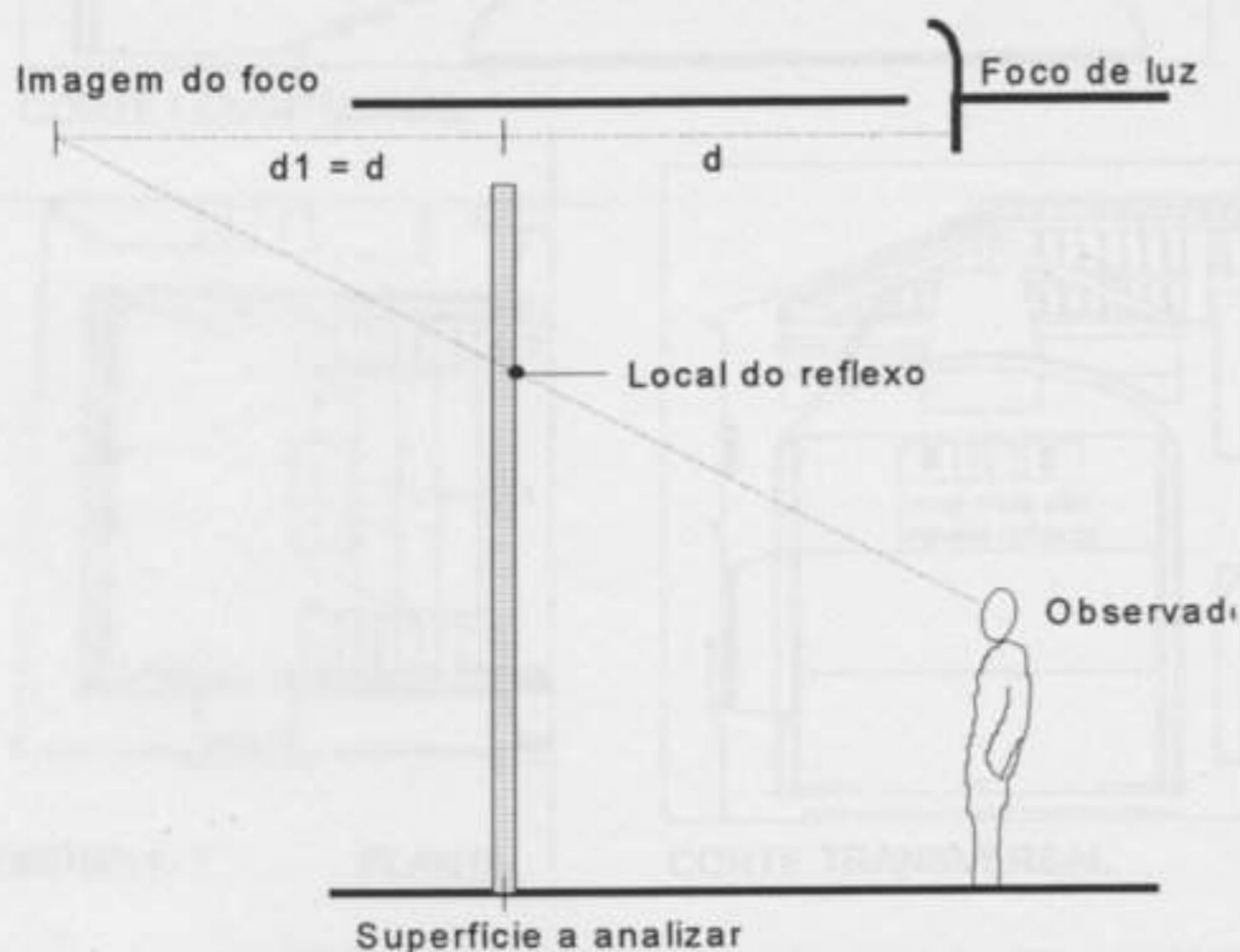


Fig. 27 - Zonas em que são visíveis reflexos

A zona em que se viam os reflexos não interferia com a visualização do retábulo pois situava-se quase sempre na periferia do campo de visão do observador (fig.28). A área central do painel era a mais crítica mas o quadro nela existente era visível na sua totalidade até ao último degrau da escadaria central. De qualquer modo, a uma distância menor que esta, já não era possível visualizá-lo na sua totalidade por o observador se encontrar perto demais do quadro (distância óptima de visualização = diagonal do quadro).

Outra questão que se prendia com o desenho da clarabóia era a escolha do tipo de vidro e caixilho a utilizar. O facto de esta ser quase horizontal levava a que fosse um ponto sensível em caso de ocorrência de chuvas ou até queda de granizo. Tal como no caso das janelas, também aqui era necessário a utilização de filtros ultravioletas nos vidros, bem como de isolamento térmico (vidros duplos, por ex.) pois haveria alturas em que o sol incidiria directamente sobre a sua superfície.

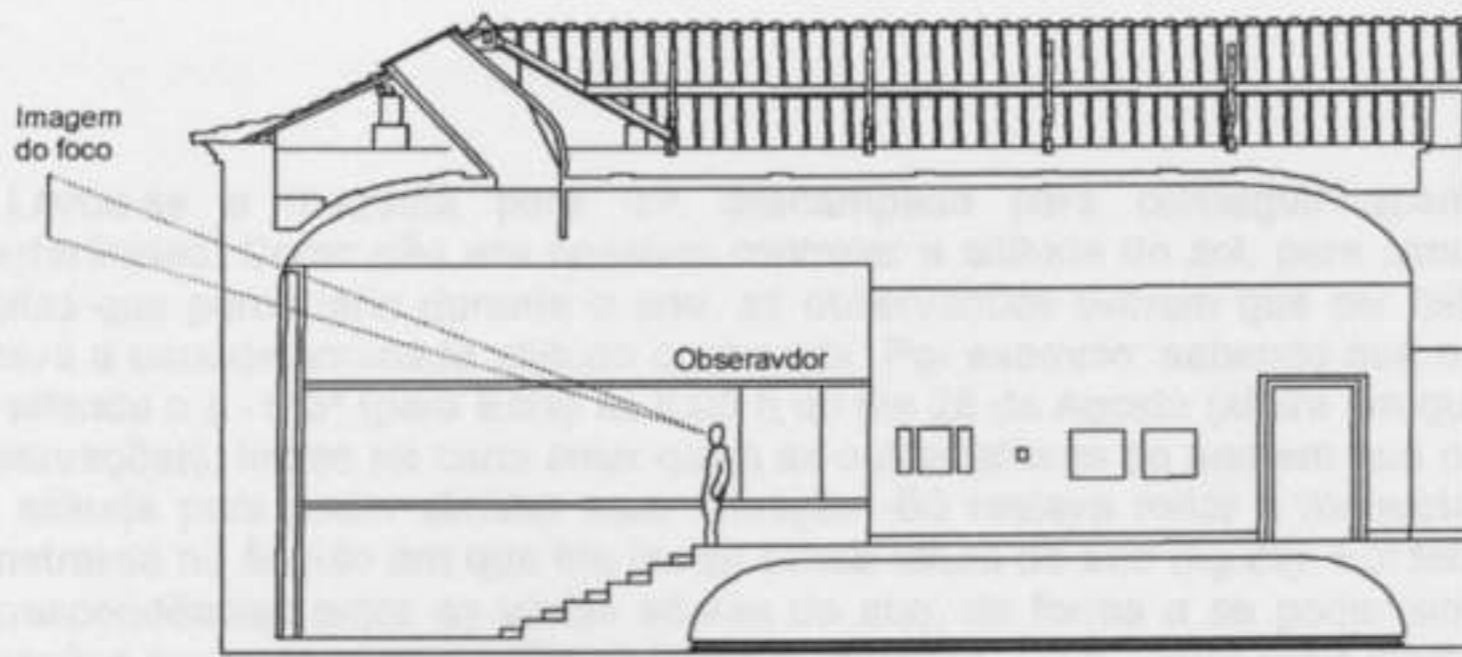
Neste momento, apenas o estudo do modelo iria permitir tirar mais conclusões acerca do funcionamento da clarabóia.

### 3.3 Estudo do modelo

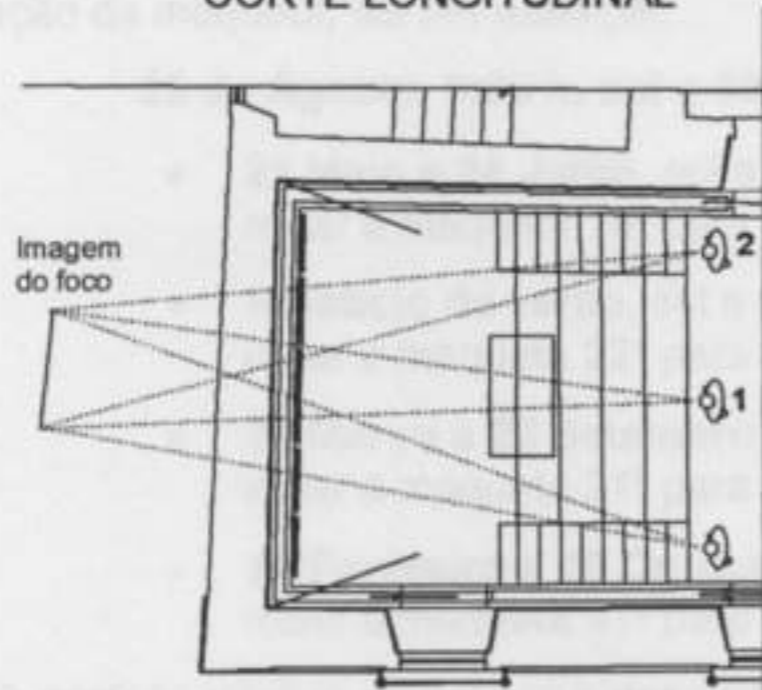
Nesta fase era já perceptível de que haveria alturas do dia em que o sol iria incidir directamente no interior da clarabóia. Era necessário simular estas situações para analisar os seus efeitos e propor soluções. O estudo do modelo (observação da maqueta) também iria permitir chegar a conclusões sobre o funcionamento efectivo de todos os dispositivos de iluminação natural propostos.

Através da utilização de cartas solares, era possível saber a altitude e azimute do sol durante o ano (ver ponto 2.2 – fig.4), e testar o modelo nas diversas situações.





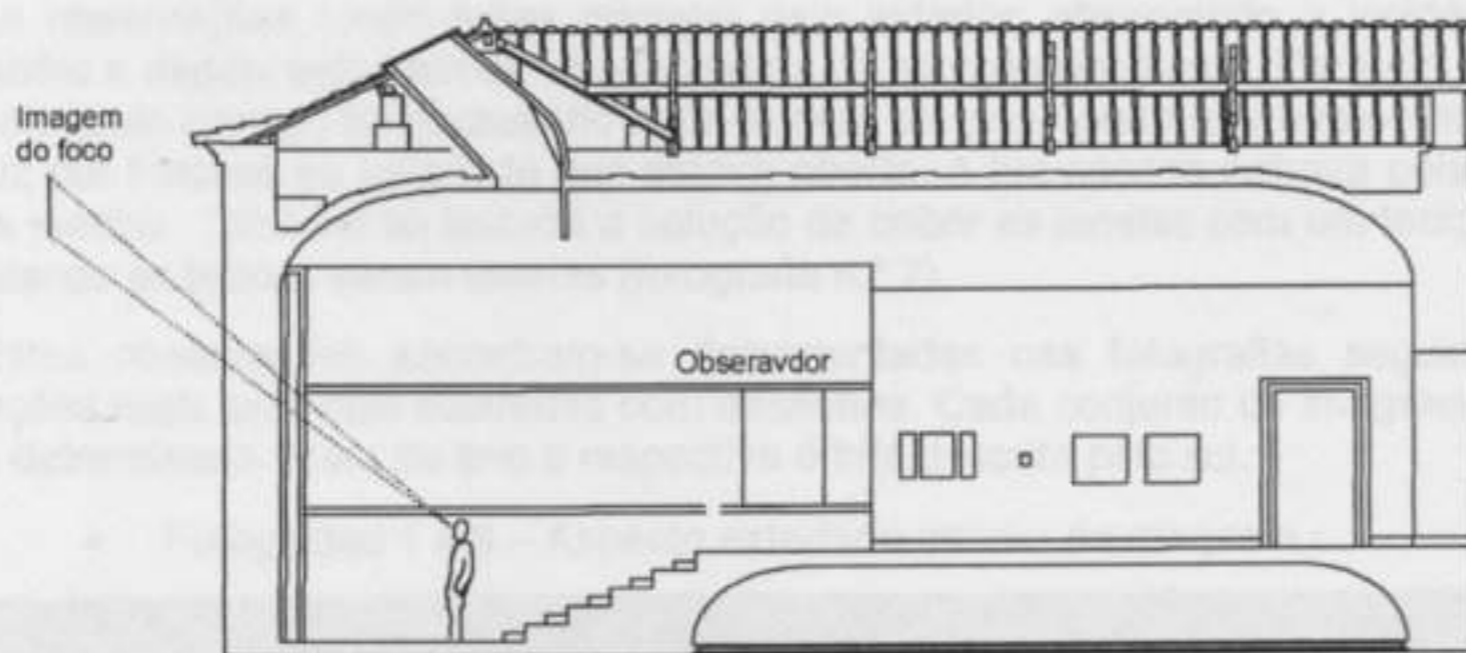
CORTE LONGITUDINAL



EXEMPLO 1 PLANTA



CORTE TRANSVERSAL



CORTE LONGITUDINAL

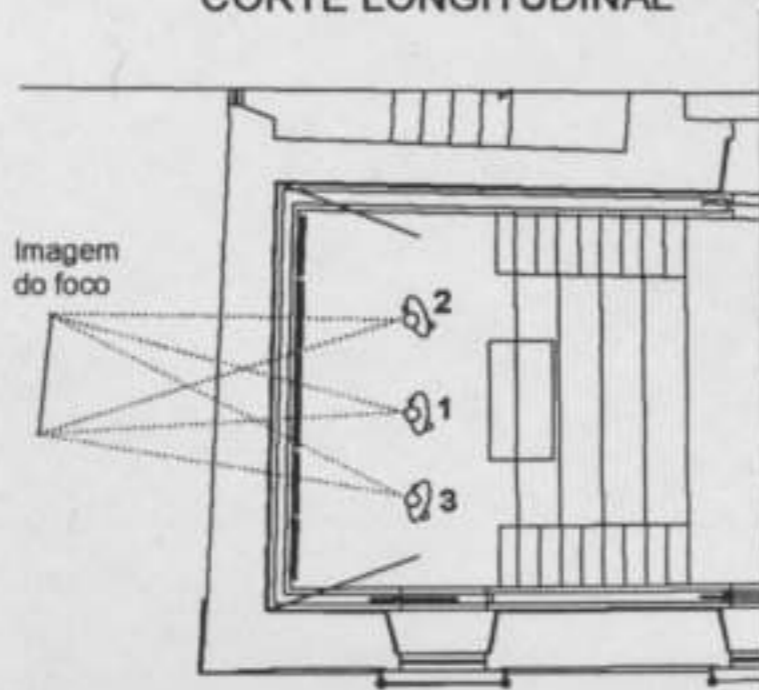
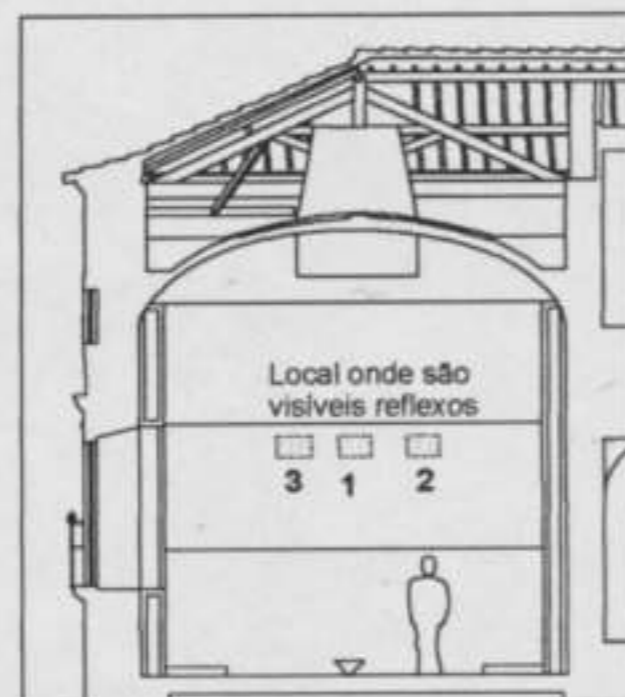


Fig. 28 - EXEMPLO 2 PLANTA



CORTE TRANSVERSAL

Levou-se a maquete para um descampado para conseguir apanhar o sol sem interferências. Como não era possível controlar a altitude do sol, para simular as diferentes órbitas que percorreria durante o ano, as observações tiveram que ser feitas quando o sol estava a uma determinada altitude conhecida. Por exemplo: sabendo que o sol estava a 40° de altitude e a -113° (para Este) às 9:00 h do dia 28 de Agosto (altura em que foram feitas as observações), leu-se na carta solar quais as outras alturas do ano em que o sol estaria a 40° de altitude para poder simular essa situação. Só restava rodar a maquete para que o sol penetrasse no ângulo em que iria incidir nessa altura do ano (fig.29). Foi feito um sistema de correspondências entre as várias alturas do ano, de forma a se poder simular as diversas situações numa só observação, rodando a maquete. Para tornar mais claro este sistema de rotação da maquete, eis um exemplo:

**28 de Agosto, 9:00 h, sol a 40° de altitude, a -113° (situação presente)**

- **21 Maio e 24 Julho**, sol a 40° de altitude = 8:30 h, a -97°  
rodar a maquete 16° para Este
- **Solstício de verão**, sol a 40° de altitude = 8:15 h, a -91°  
rodar a maquete 22° para Este
- **22 Março e 23 Setembro**, sol a 40° de altitude = 9:45 h, a -134°  
rodar a maquete 21° para Oeste
- **23 Fevereiro e 20 Outubro**, sol a 40° de altitude = 11:15 h, a -165°  
rodar a maquete 31° para Oeste

A posição relativa do sol era a desejada e a altitude também. Para que a qualidade de luz fosse o mais idêntica possível às das situações simuladas, as observações correspondentes às horas da manhã eram feitas durante a manhã e às da tarde, durante a tarde.

As observações foram feitas primeiro pelo exterior, observando a incidência do sol na clarabóia e depois pelo interior, observando a iluminação resultante. Para um melhor teste do modelo (pelo interior) foi necessário cobri-lo com um pano preto que não permitisse a entrada de luz por frinchas ou pelo lado que estava aberto. A luz apenas entrava pela clarabóia e/ou pelas janelas. Também foi testada a solução de cobrir as janelas com um tecido em linho cru, simulando as telas a serem usadas (fotografia n.º 7).

Estas observações encontram-se documentadas nas fotografias seguintes, sendo as situações mais extremas ilustradas com desenhos. Cada conjunto de imagens corresponde a uma determinada altura do ano e respectiva órbita descrita pelo sol.

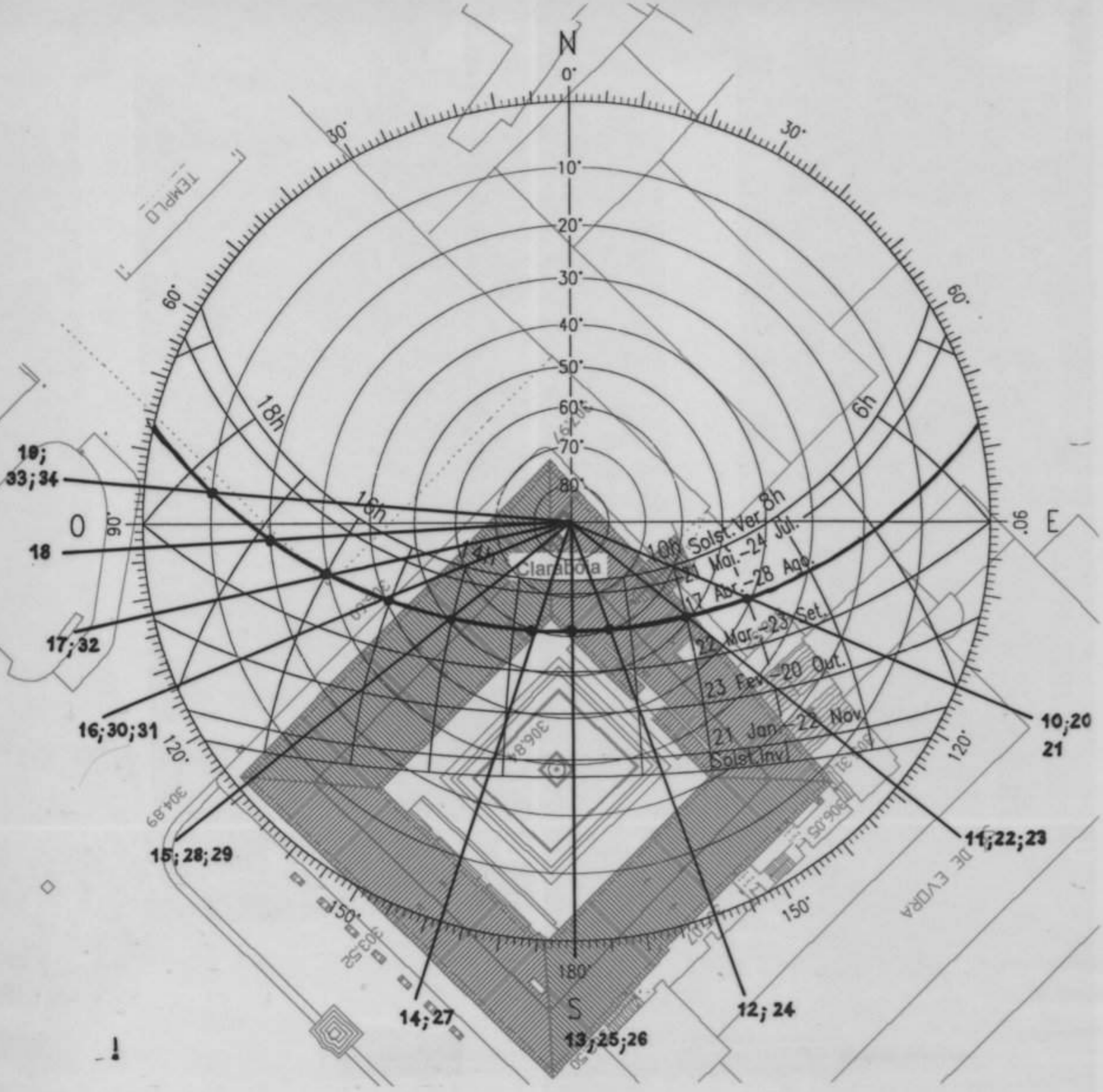
- Fotografias 1 a 9 – Aspecto exterior e interior da maquete



Fig. 29 – Base para a rotação da maquete

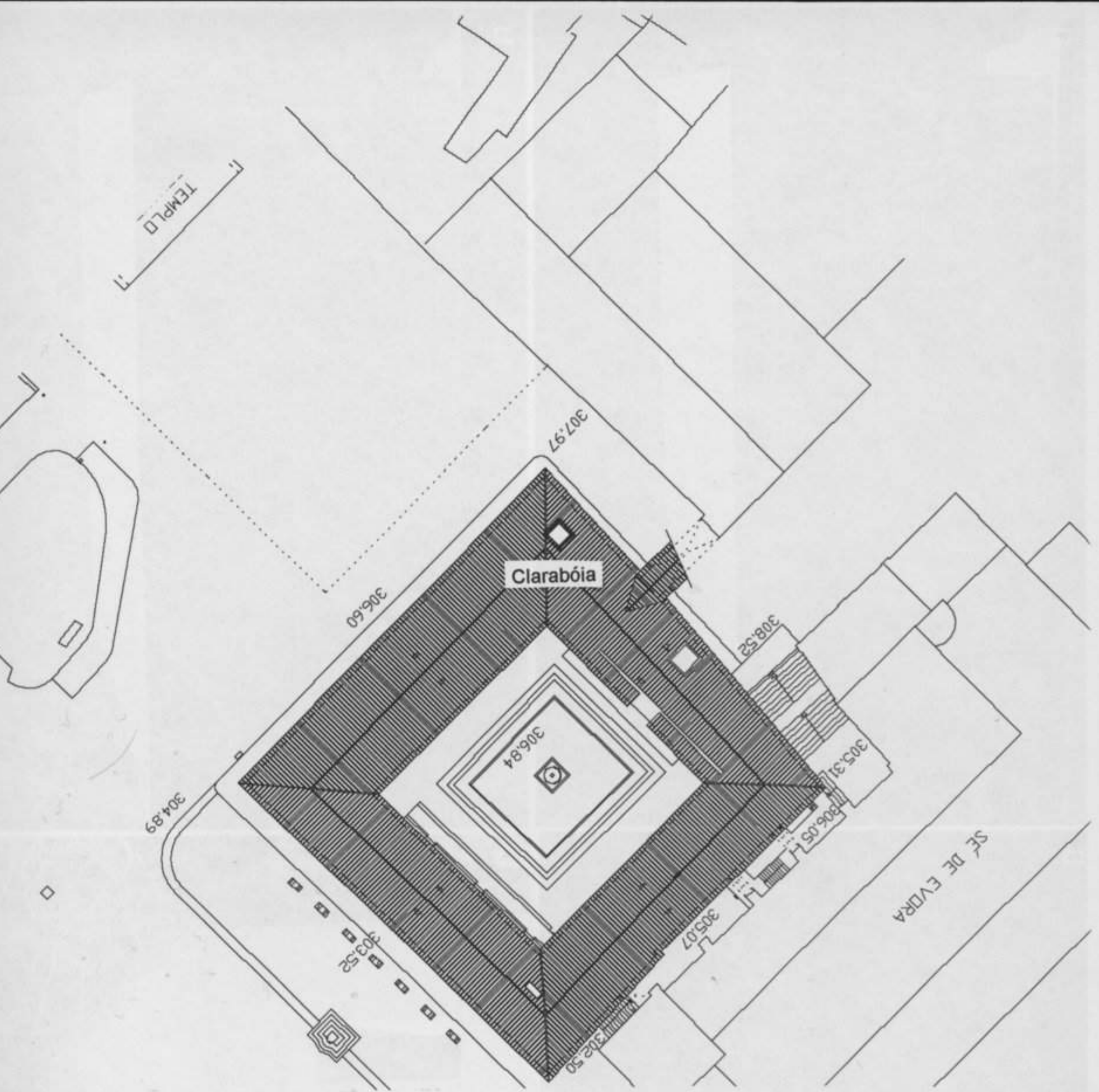
28 DE AGOSTO E 17 DE ABRIL				
Fotografia n.º	Hora	Altitude do sol	Ângulo de incidência	Observações
COMPORTAMENTO DA LUZ NA CLARABÓIA				
10	9:00	40°	-113°	
11	10:00	50°	-129°	
12	11:20	60°	-160°	
13	12:00	62°	180°	
14	12:40	60°	162°	
15	14:00	50°	129°	
16	15:00	40°	112,5°	
17	16:00	30°	102°	
18	16:50	20°	93°	
19	17:40	10°	85°	
COMPORTAMENTO DA LUZ NO INTERIOR				
20	9:00	40° (1)	-113°	Janelas e clarabóia
21	9:00	40° (2)	-113°	Apenas clarabóia
22	10:00	50° (1)	-129°	Janelas e clarabóia
23	10:00	50° (2)	-129°	Apenas clarabóia
24	11:20	60°	-160°	Apenas clarabóia
25	12:00	62° (1)	180°	Janelas e clarabóia
26	12:00	62° (2)	180°	Apenas clarabóia
27	12:40	60°	162°	Apenas clarabóia
28	14:00	50° (1)	129°	Janelas e clarabóia
29	14:00	50° (2)	129°	Apenas clarabóia
30	15:00	40° (1)	112,5°	Janelas e clarabóia
31	15:00	40° (2)	112,5°	Janelas tapadas com tela de linho cru e clarabóia
32	16:00	30°	102°	Janelas e clarabóia
33	17:40	10° (1)	85°	Apenas clarabóia
34	17:40	10° (2)	85°	Janelas e clarabóia

NOTA: Considerei o ângulo de incidência positivo no sentido Oeste e negativo para Este.



Na carta solar estão marcados as várias observações e os números das fotografias correspondentes. Pode-se ver na planta de cobertura a clarabóia e os diversos ângulos em que o sol incide sobre ela.

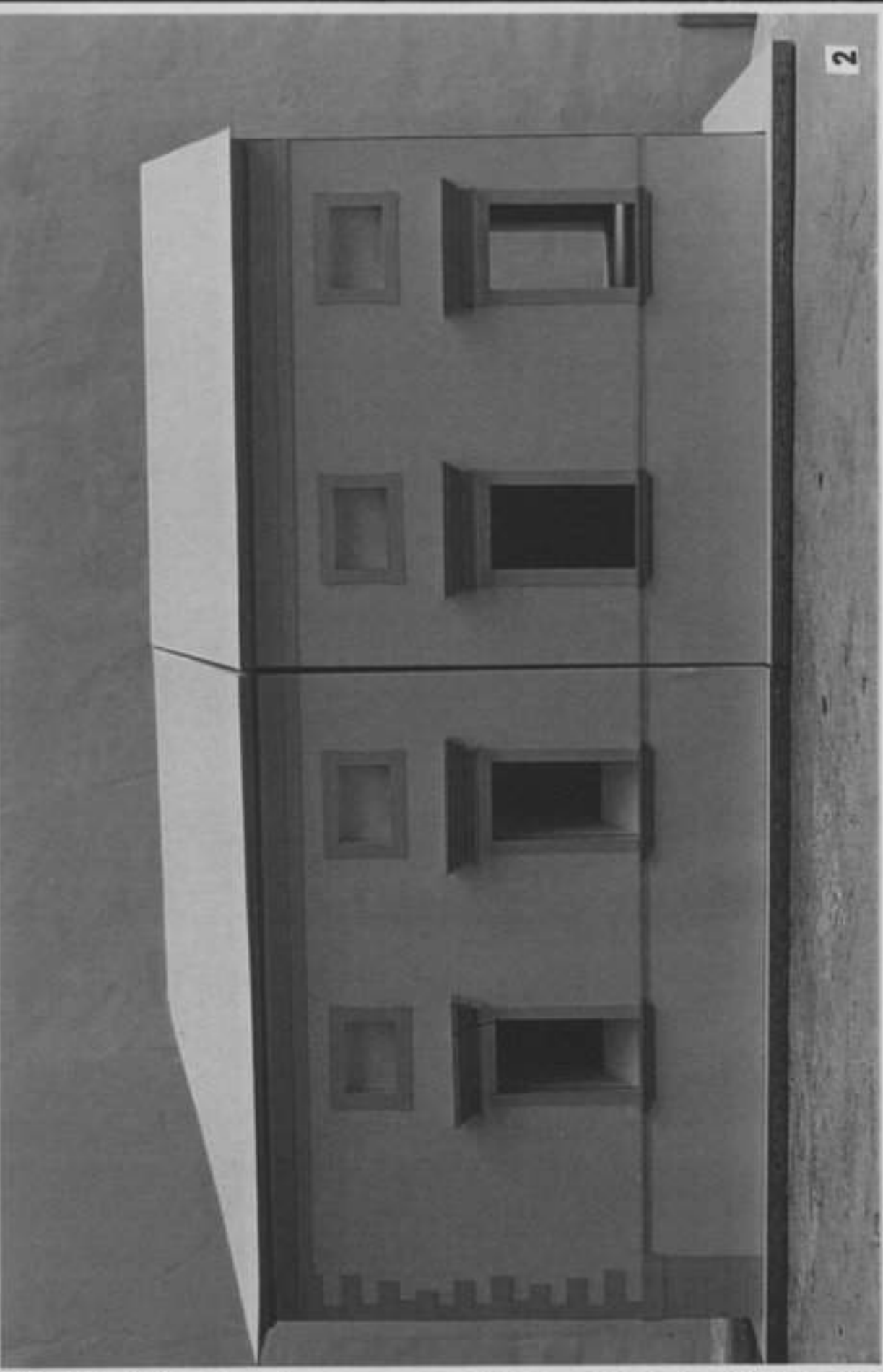
Fig. 30 – Planta de cobertura e carta solar



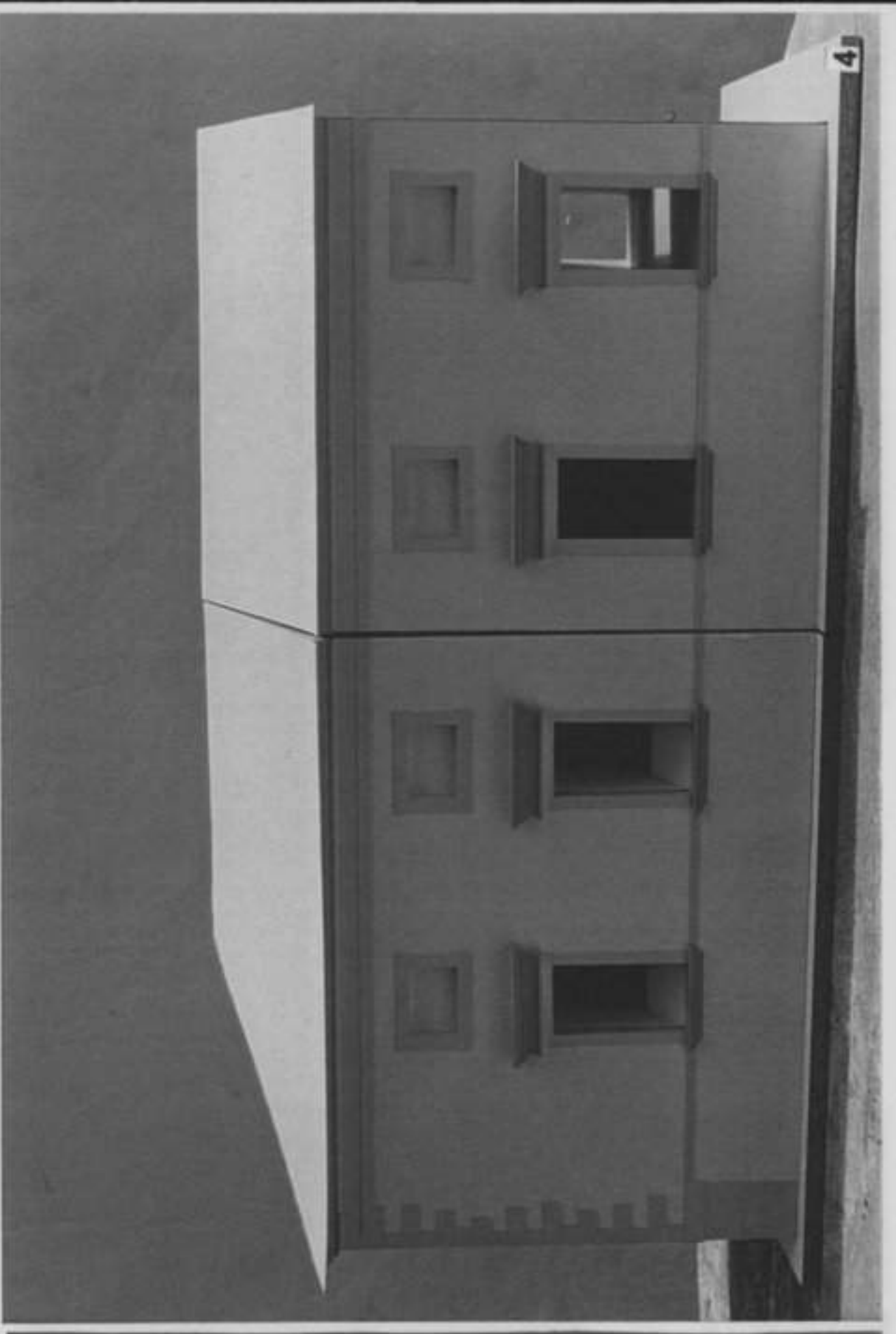
Na carta solar estão marcados as várias observações e os números das fotografias correspondentes. Pode-se ver na planta de cobertura a clarabóia e os diversos ângulos em que o sol incide sobre ela.

Fig. 30 – Planta de cobertura e carta solar

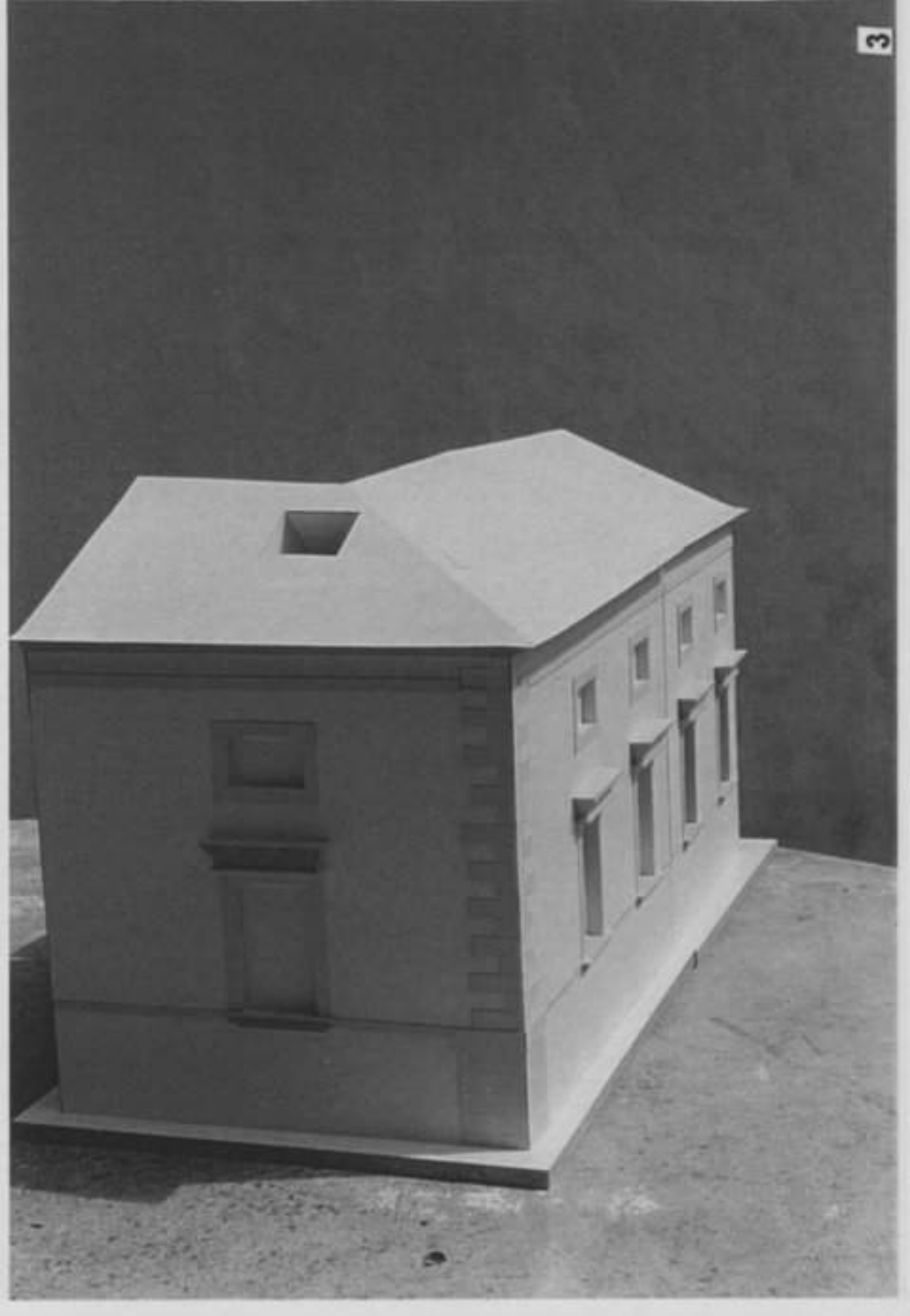
2



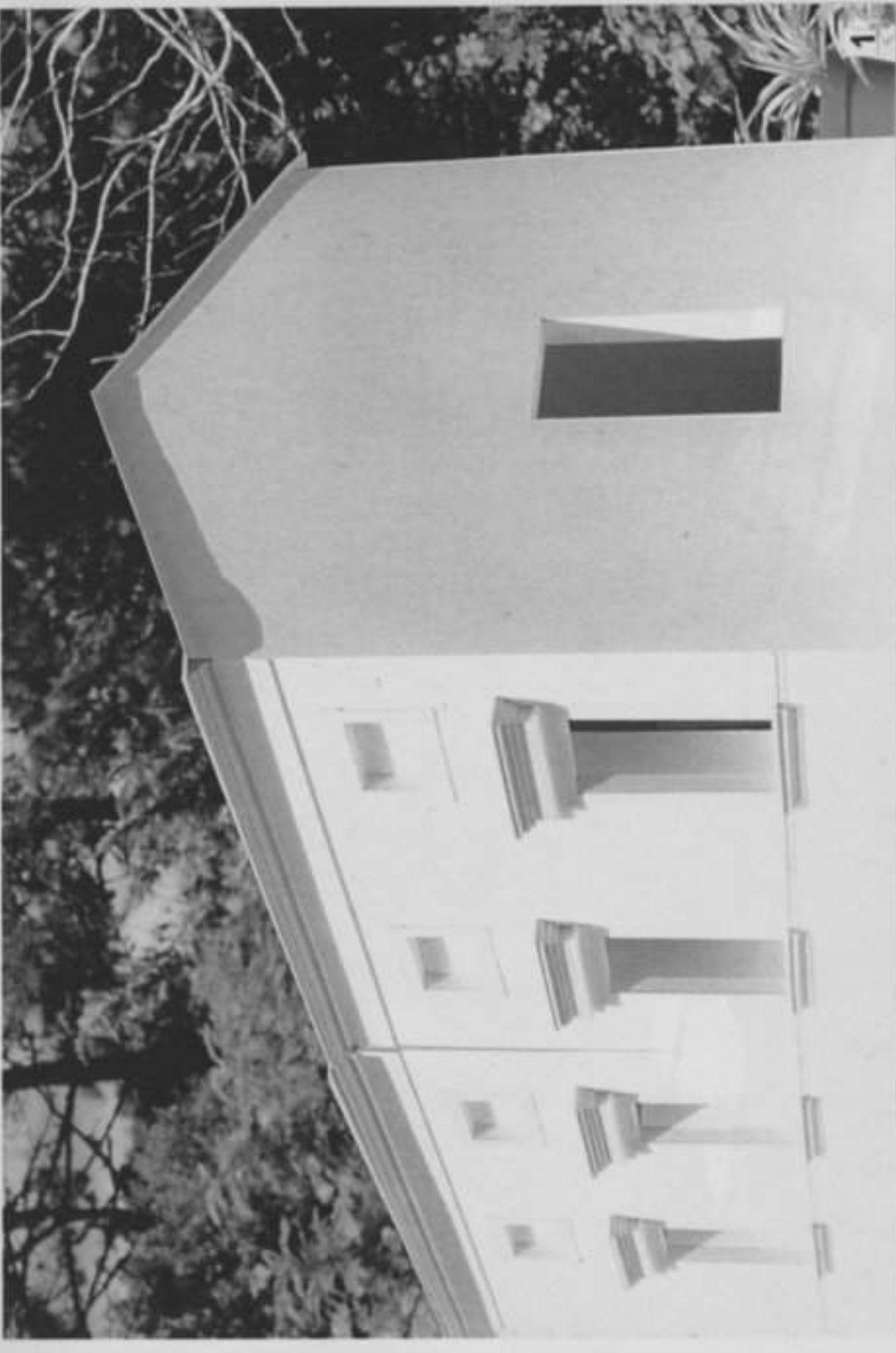
4



3

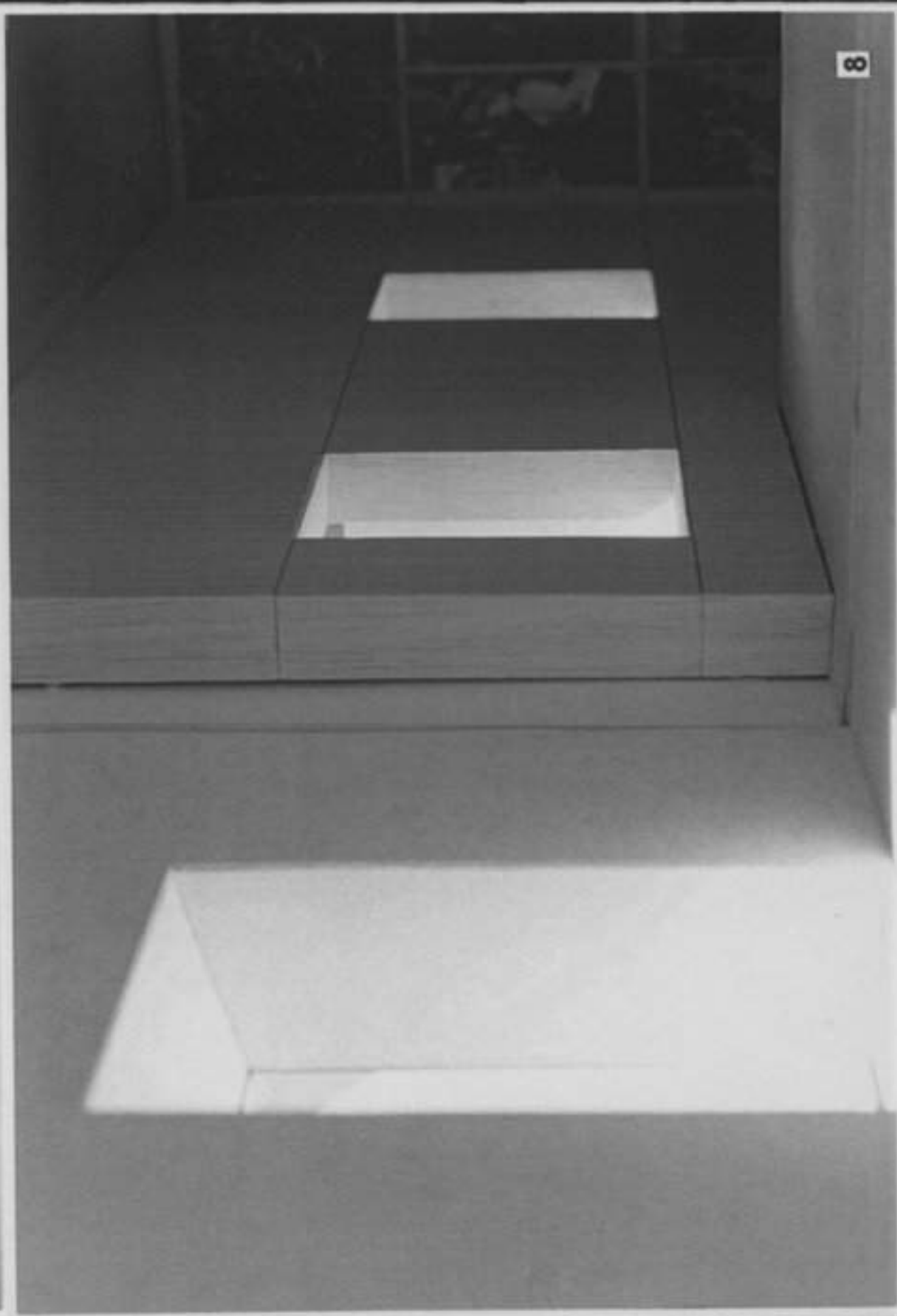


1

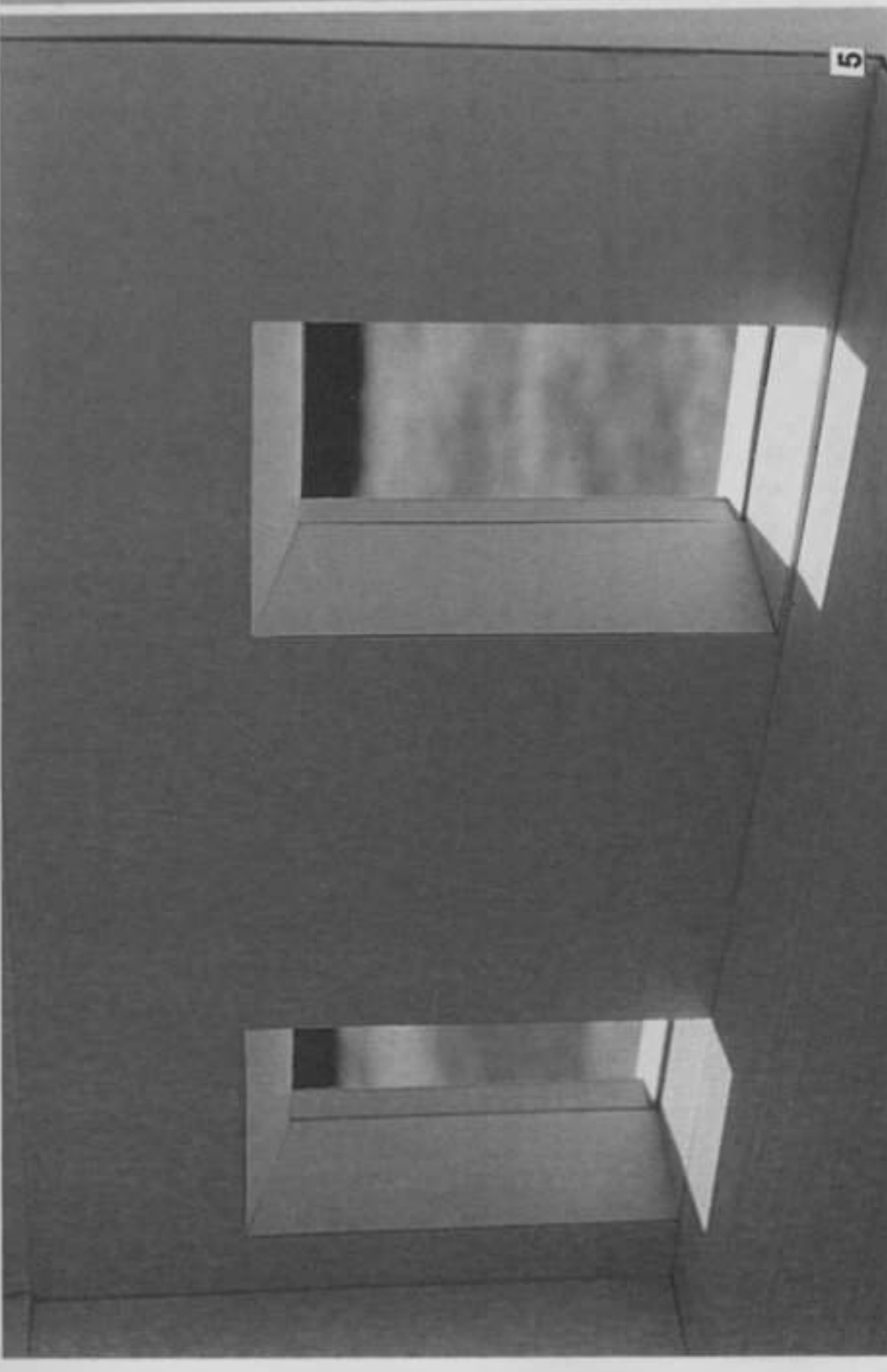




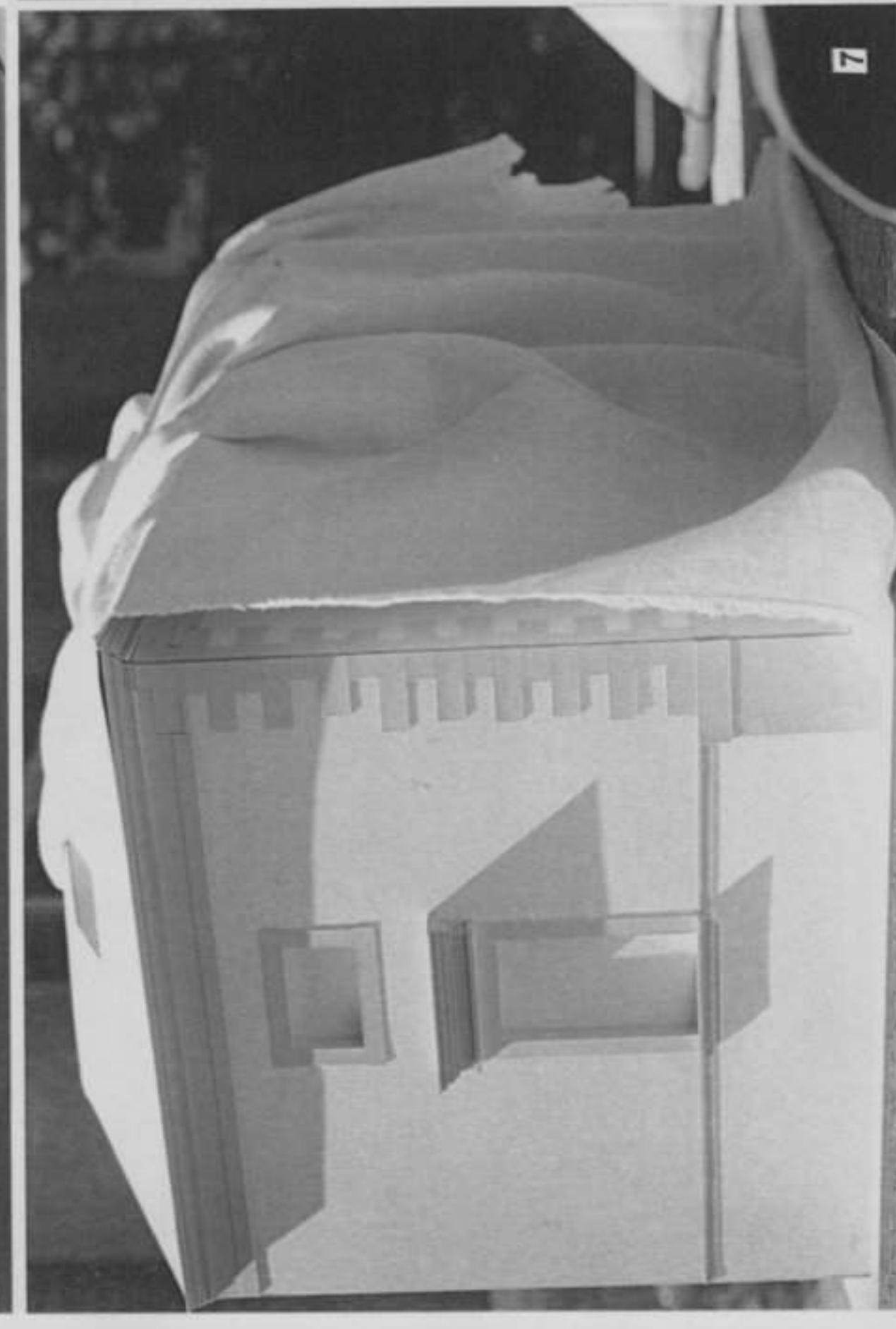
6



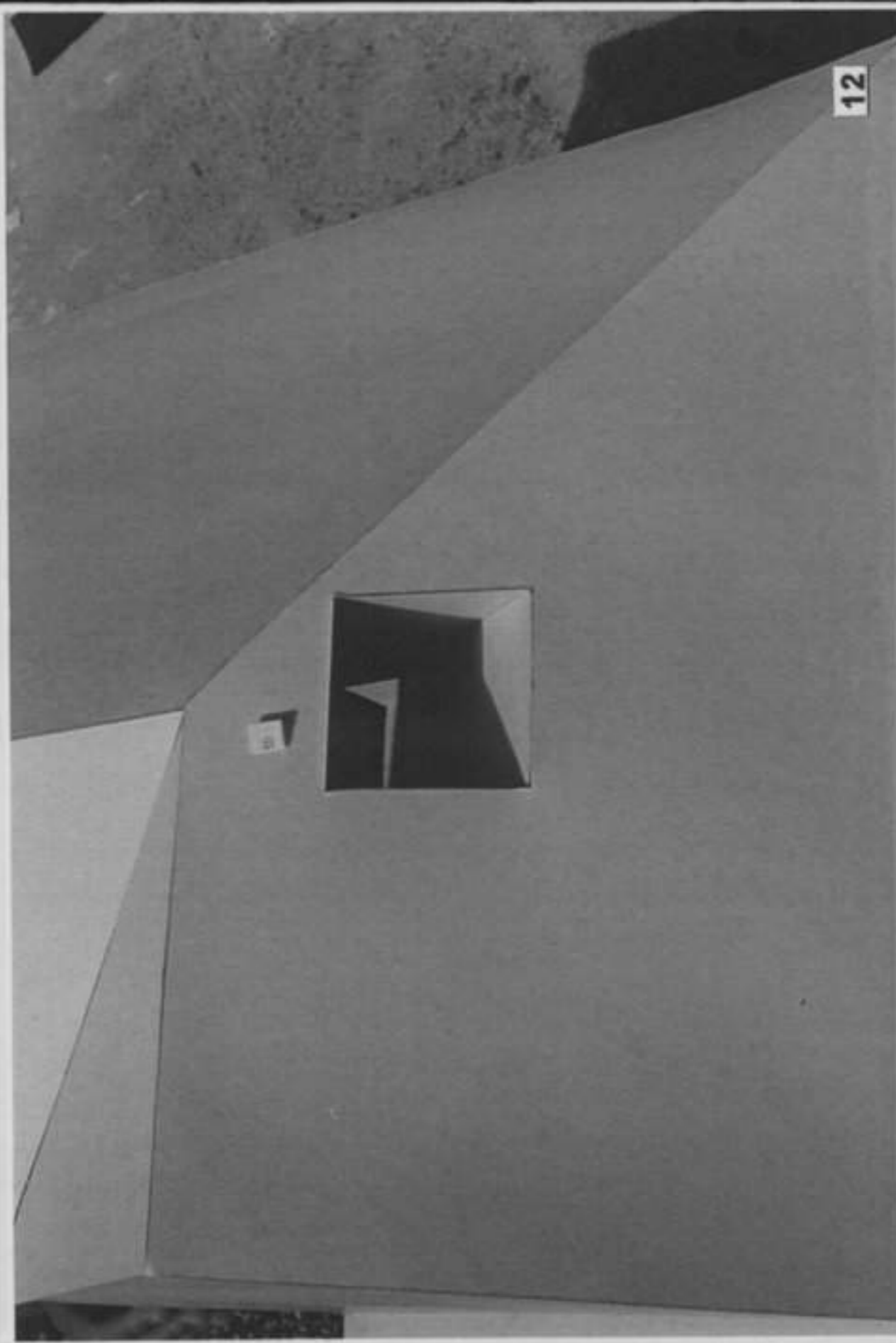
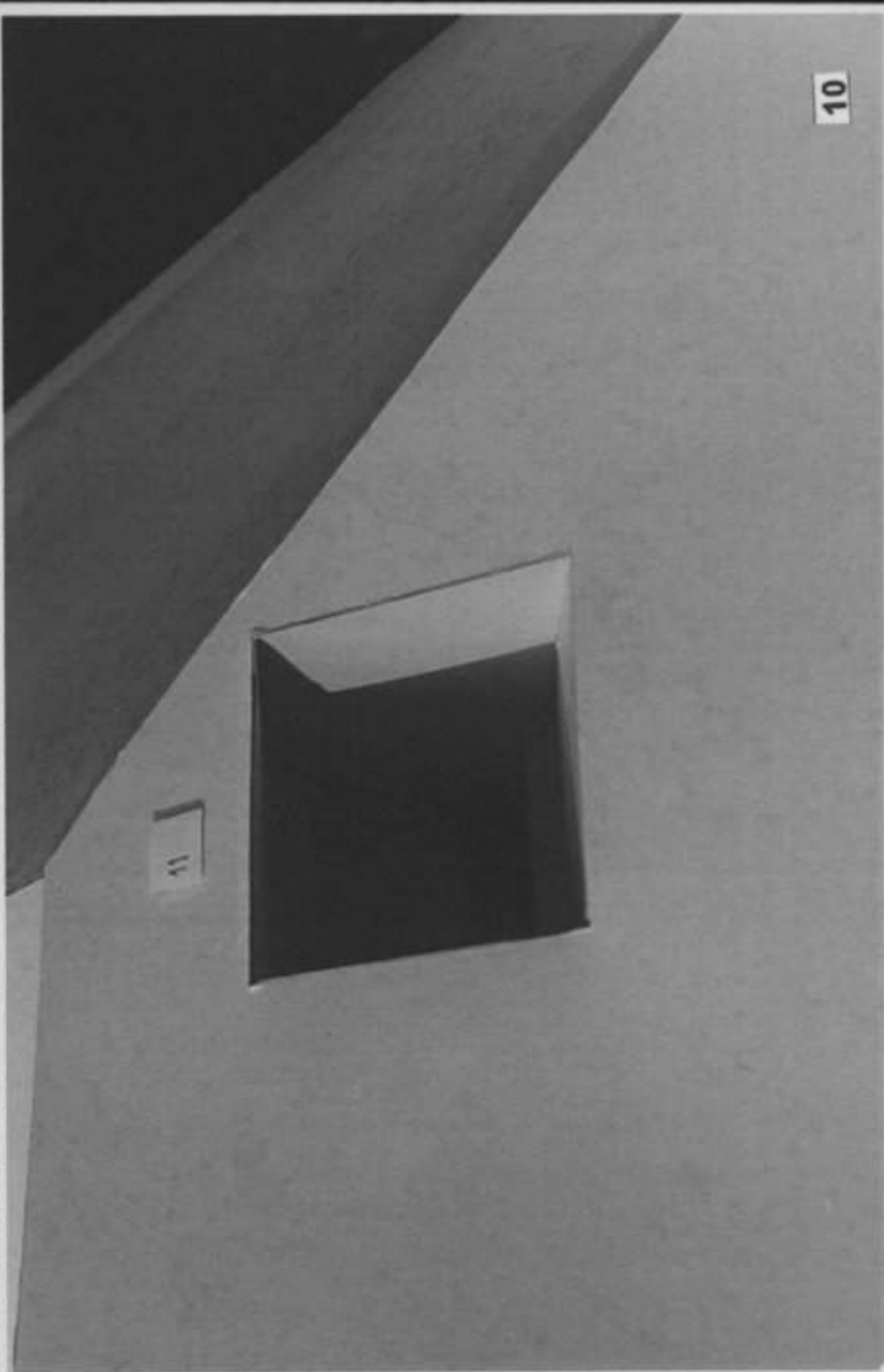
8



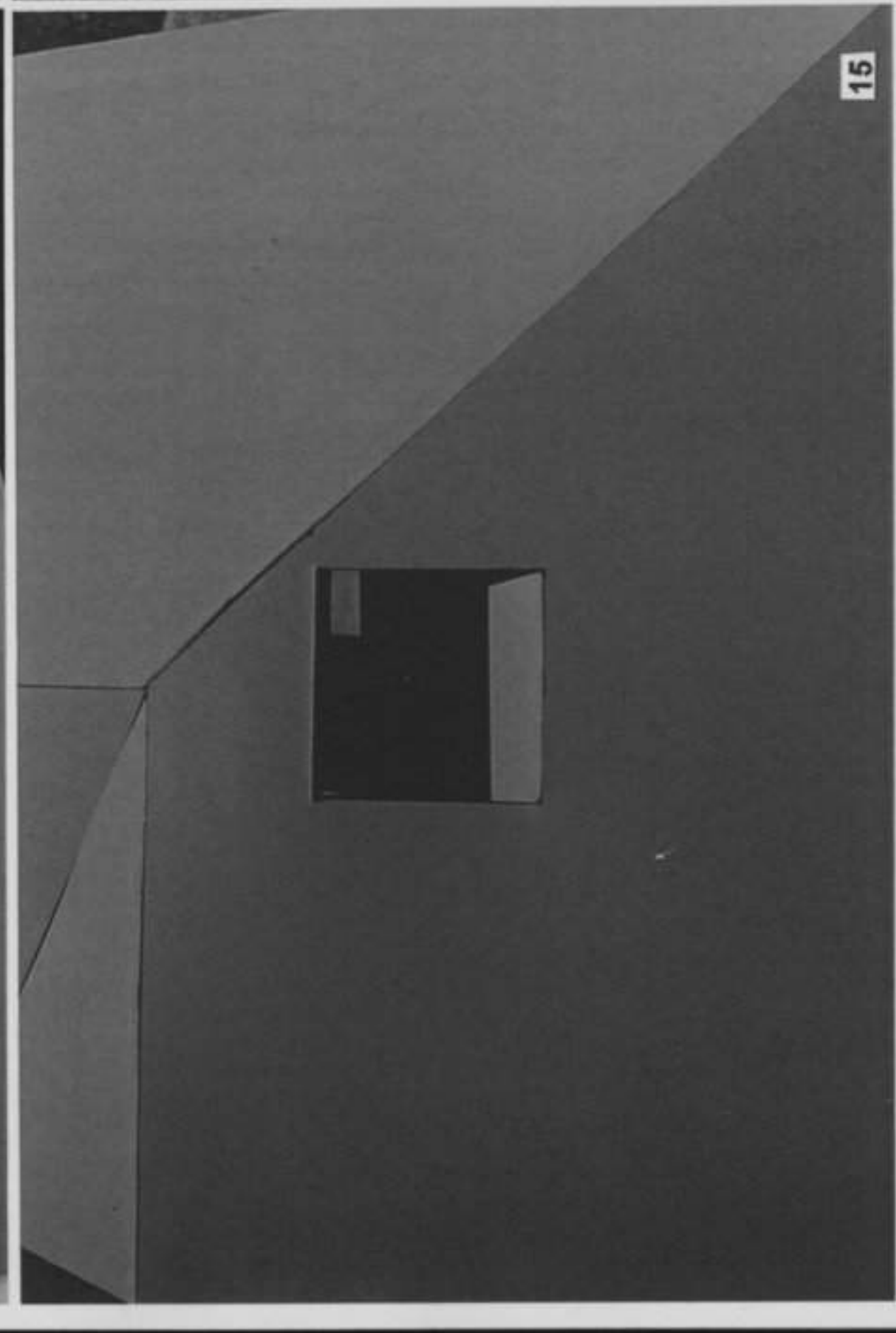
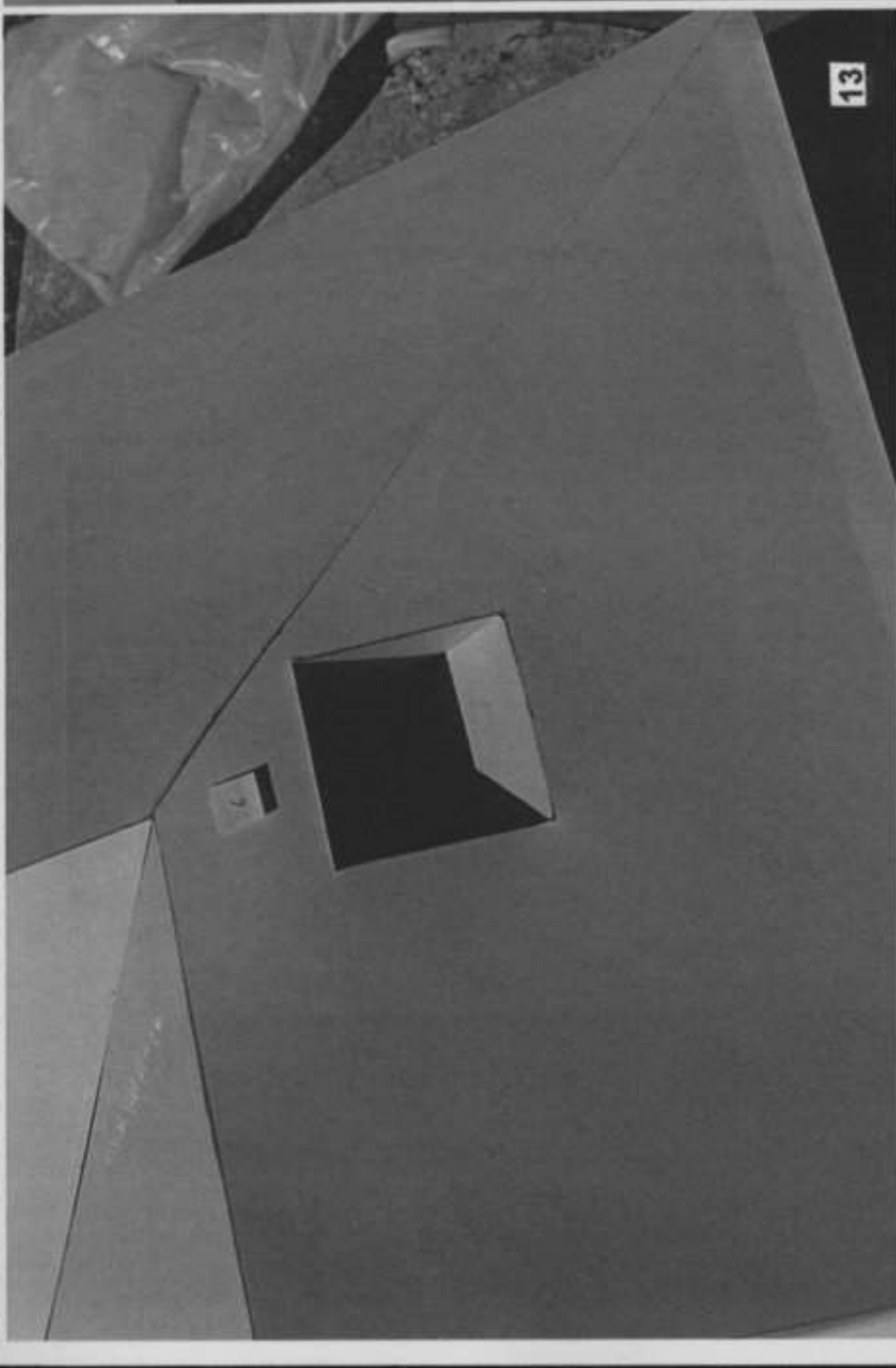
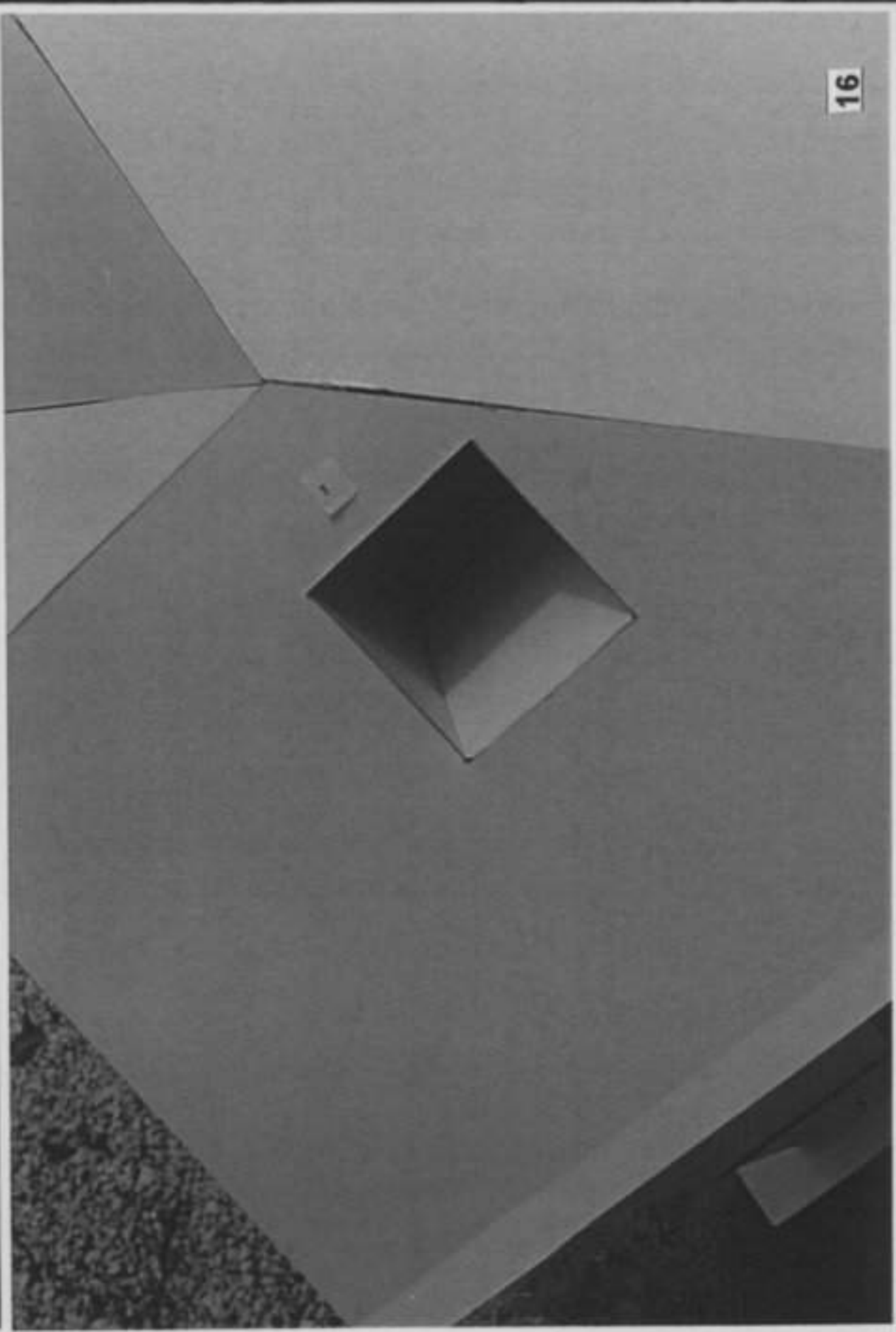
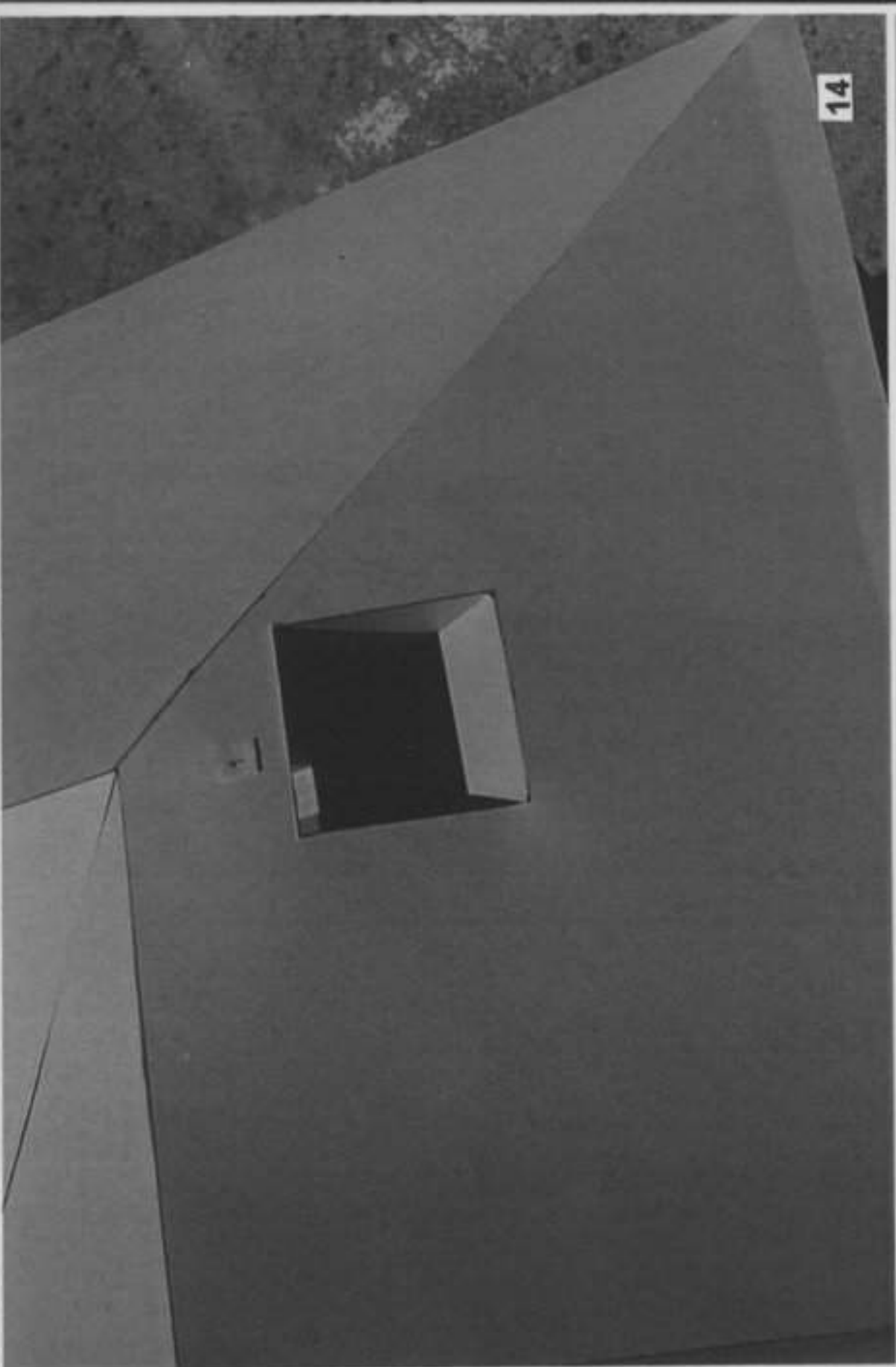
5

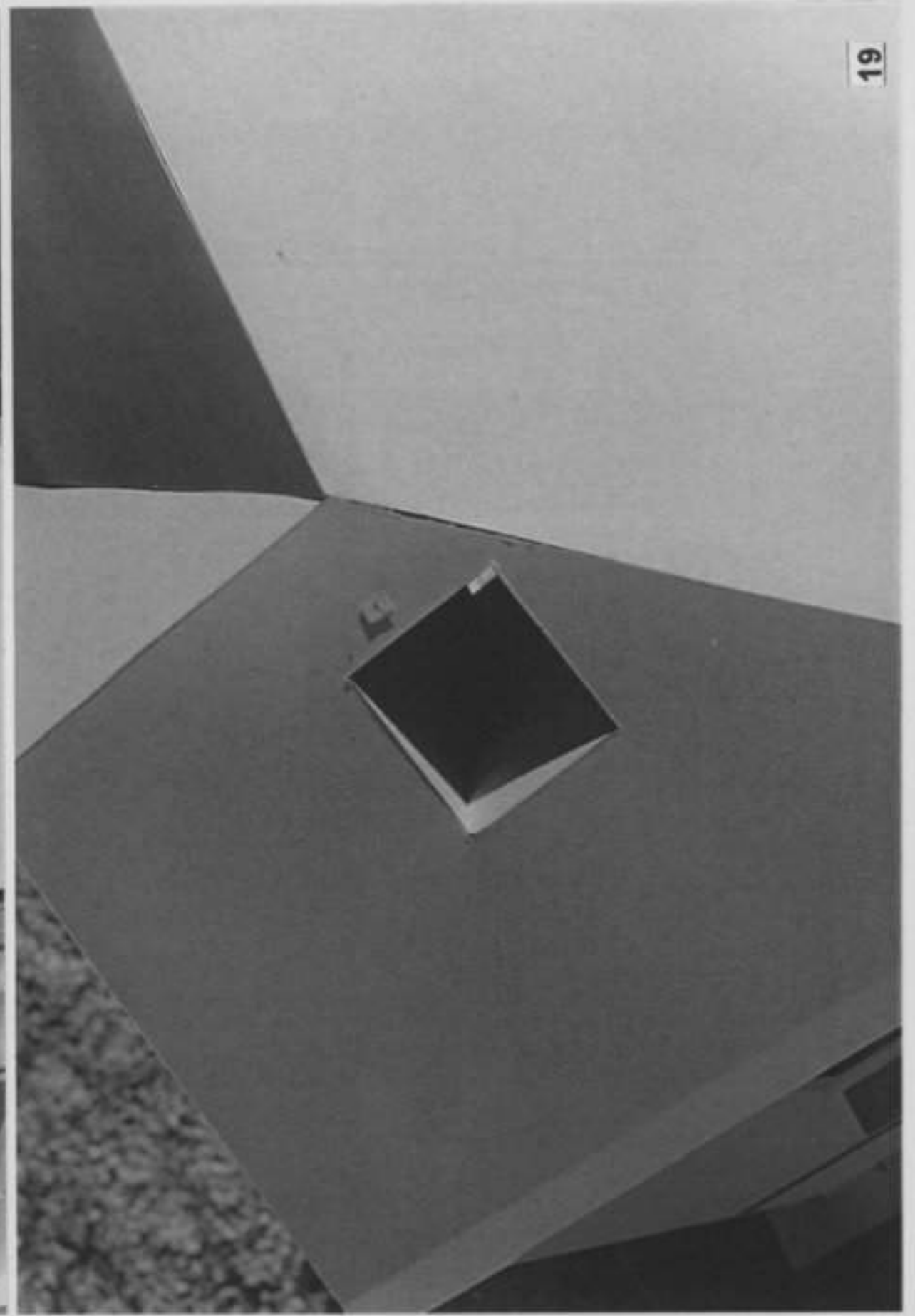
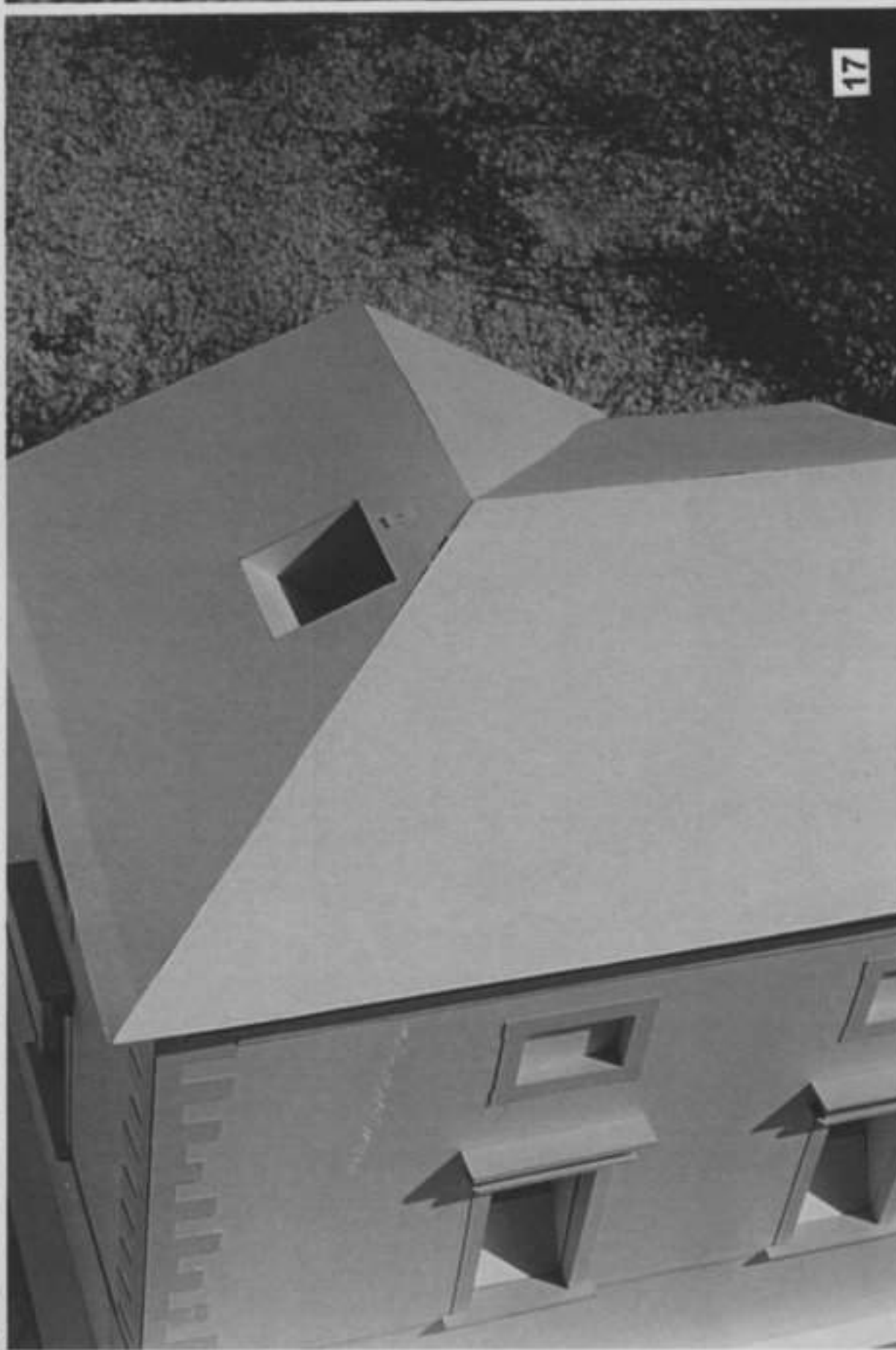
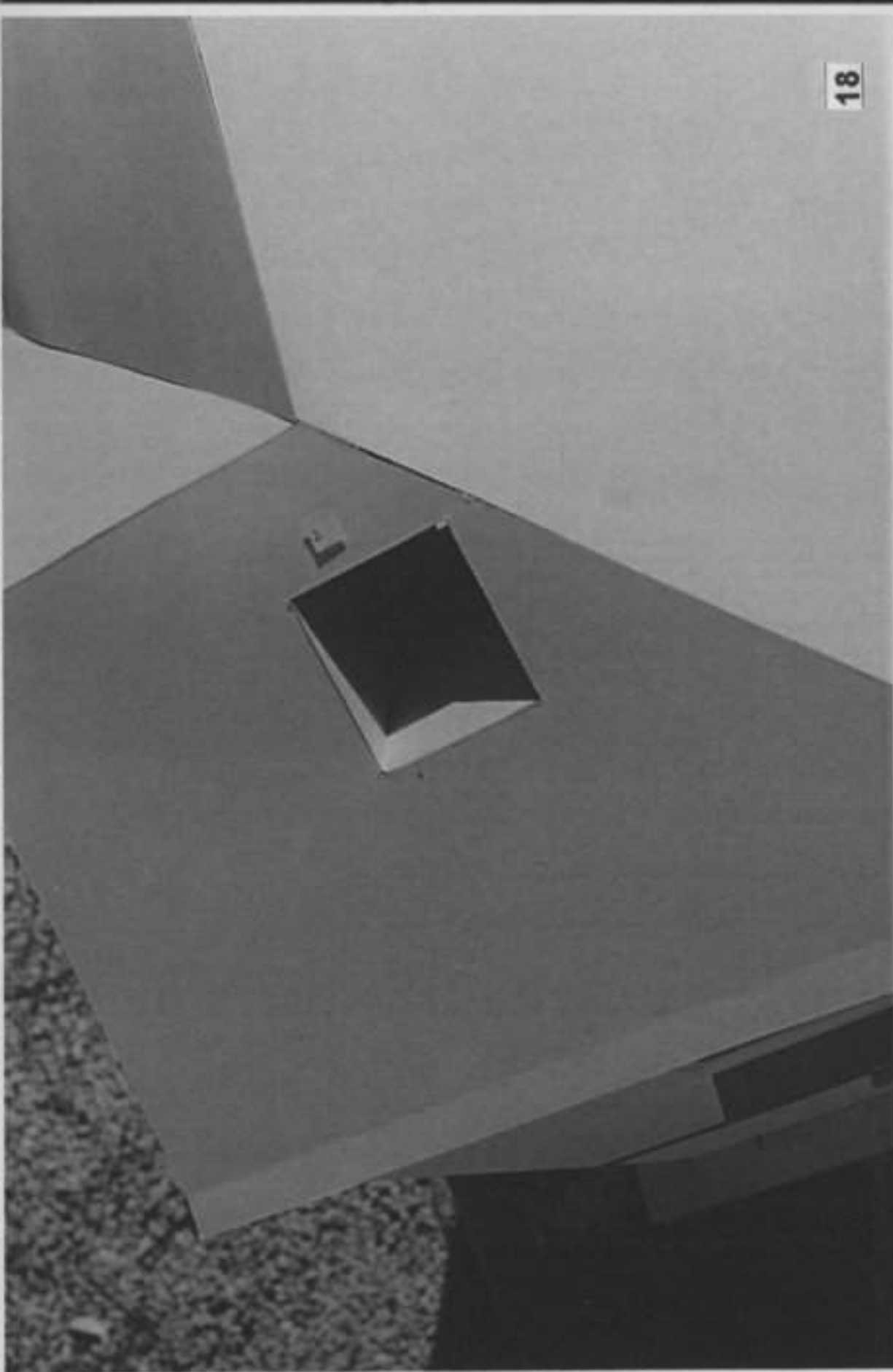


7















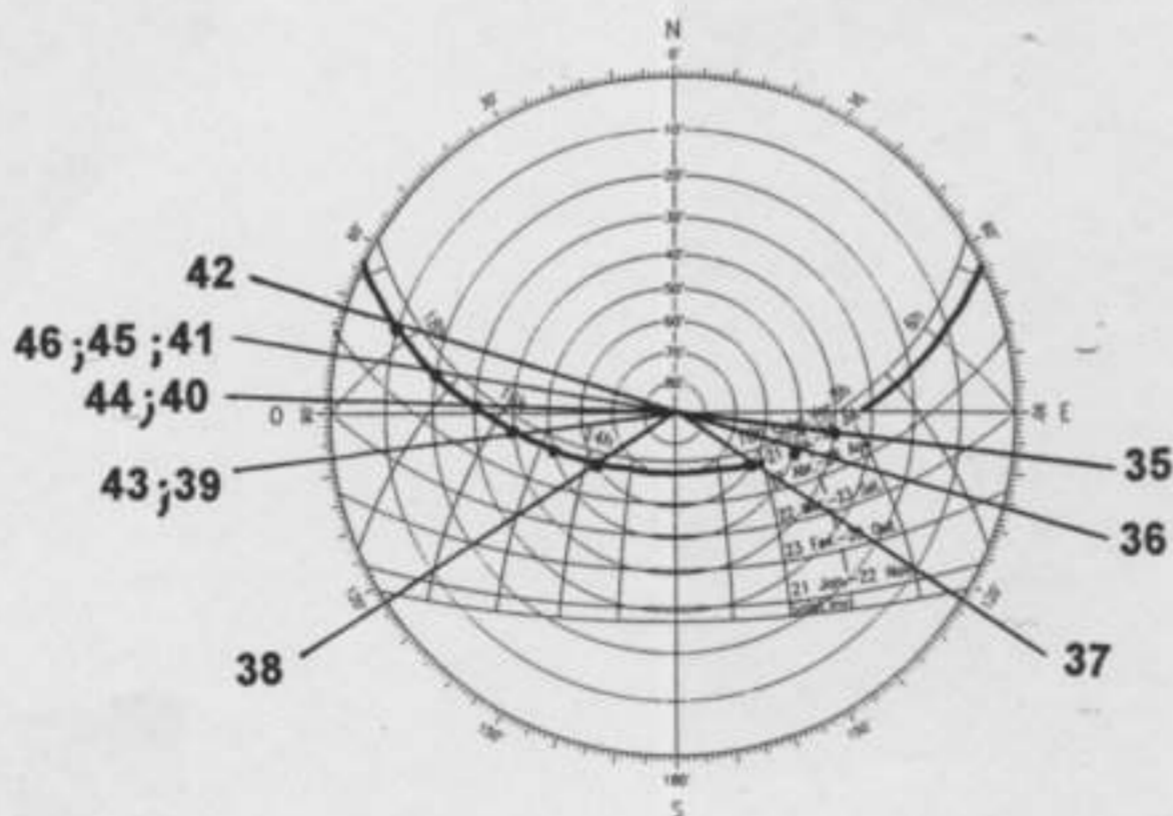
21 DE MAIO E 24 DE JULHO

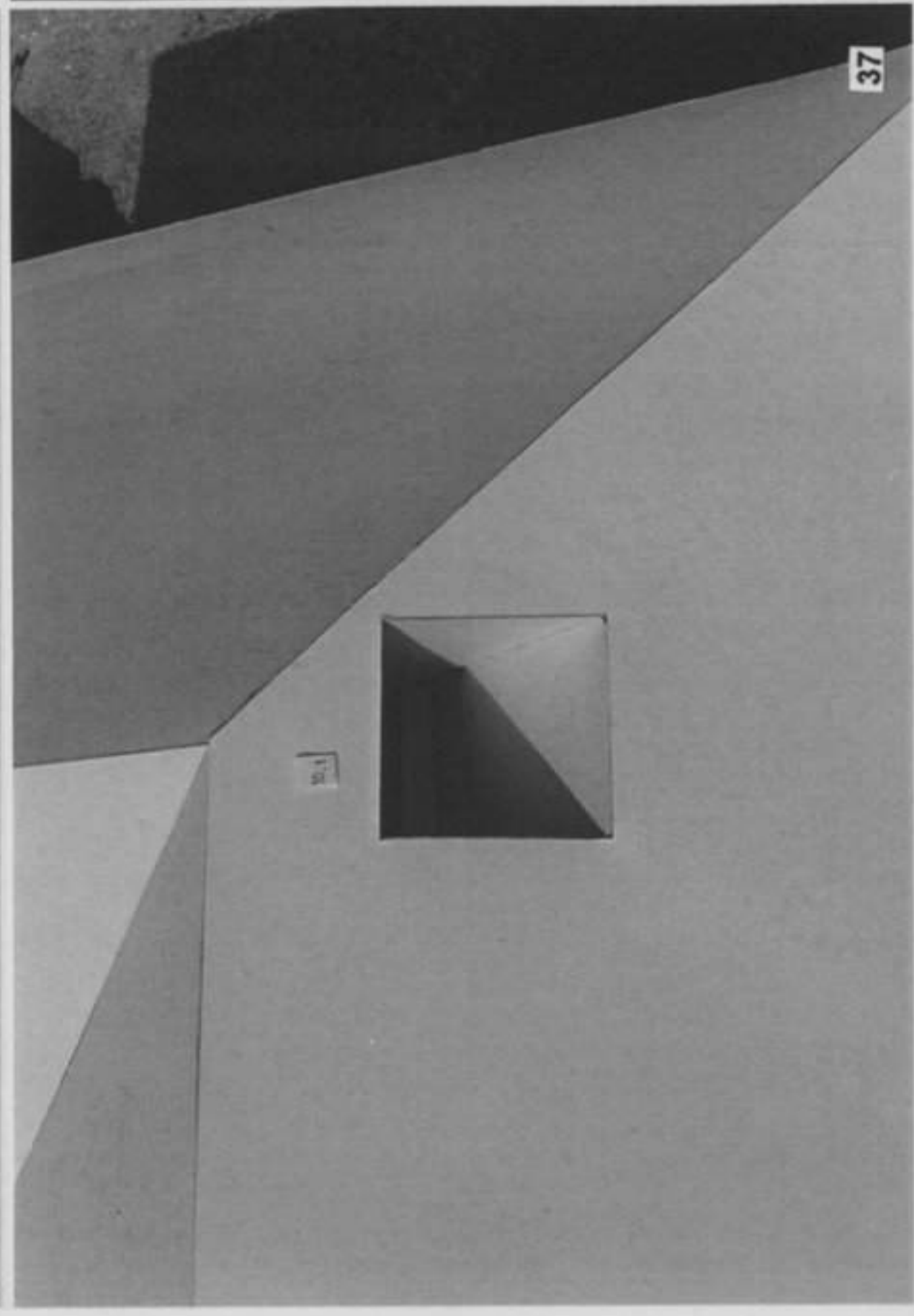
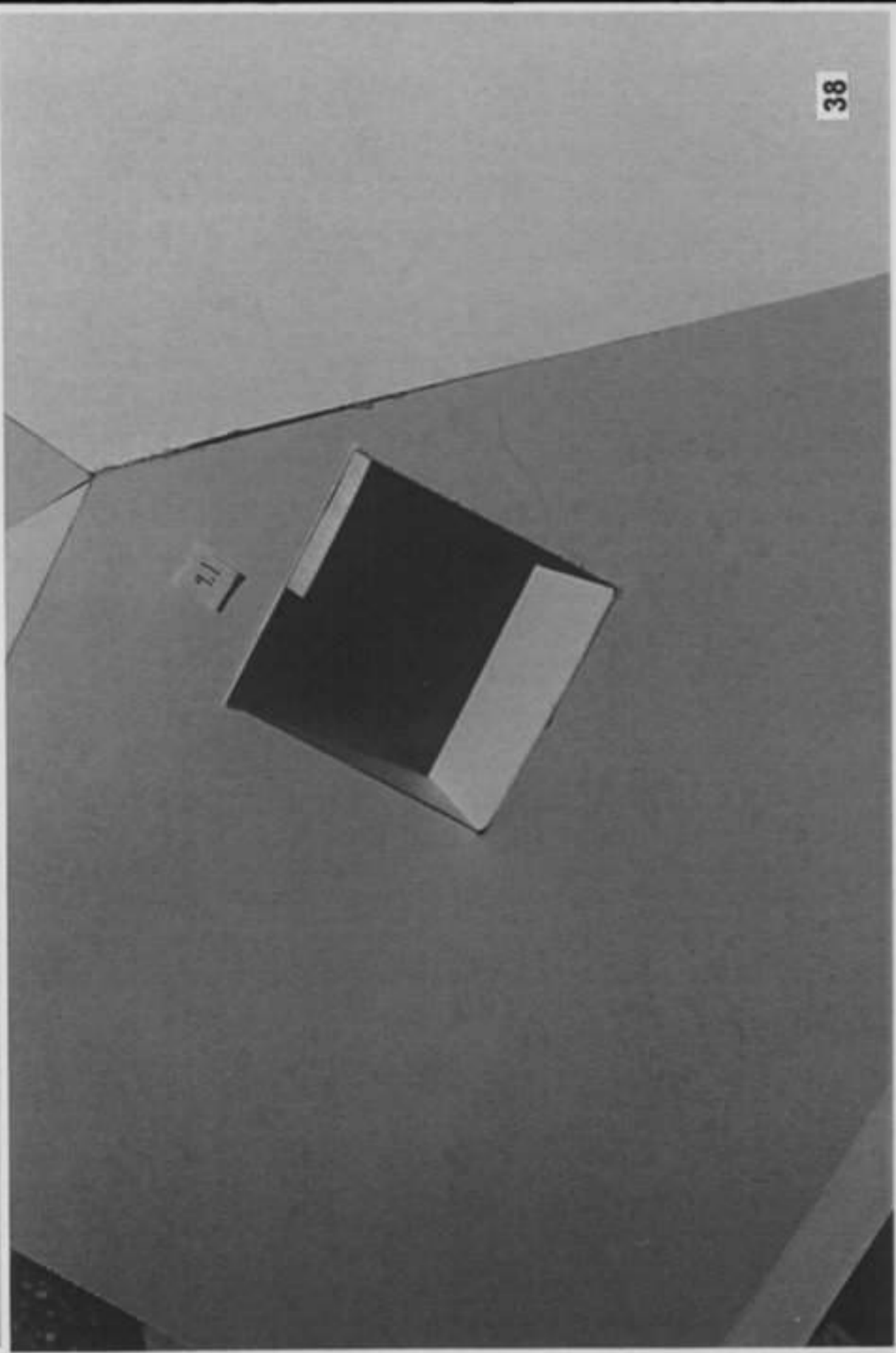
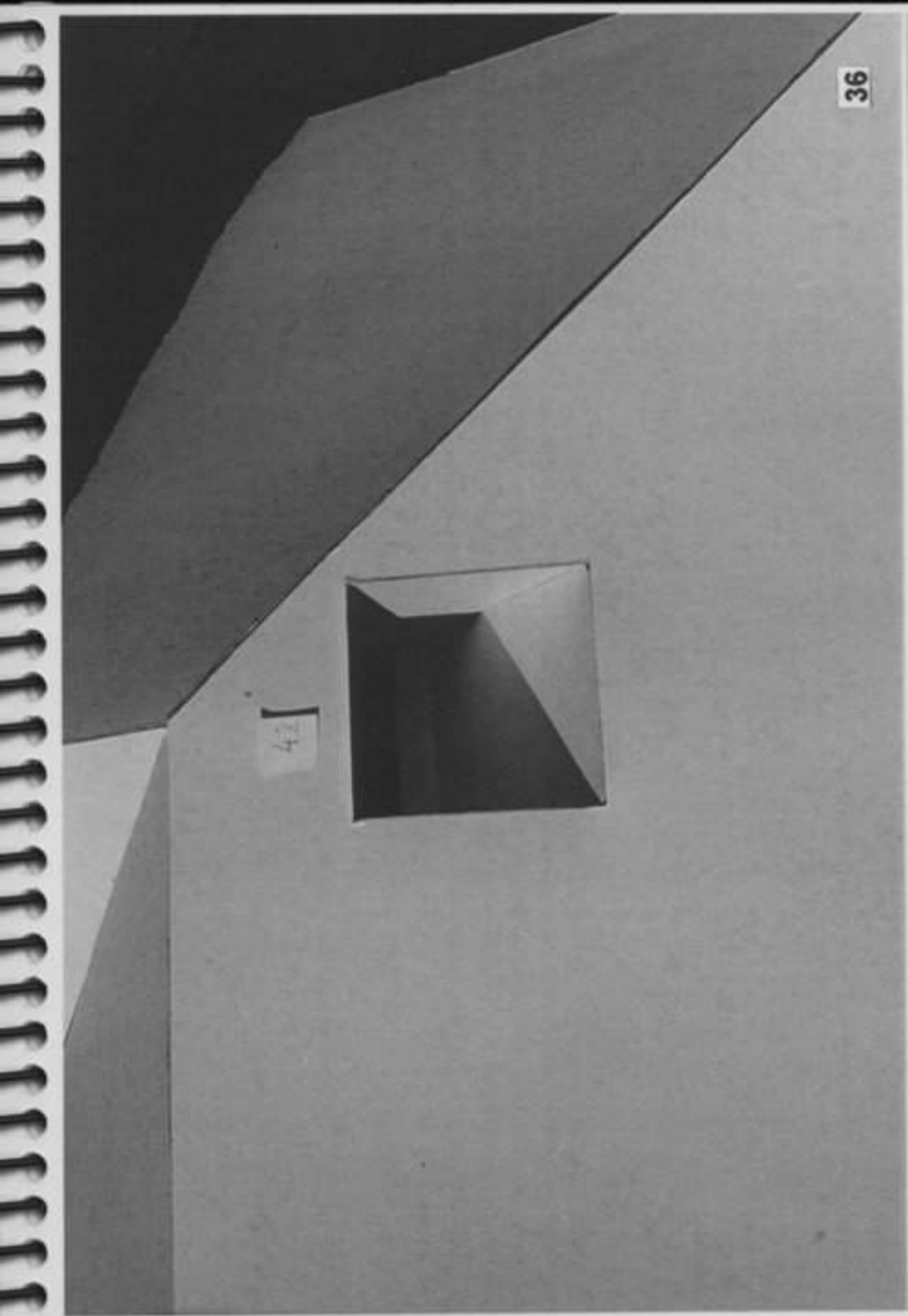
Fotografia n.º	Tema	Artista	Assunto da Obra	Descrição
----------------	------	---------	-----------------	-----------



21 DE MAIO E 24 DE JULHO				
Fotografia n.º	Hora	Altitude do sol	Ângulo de incidência	Observações
COMPORTAMENTO DA LUZ NA CLARABÓIA				
35	8:30	40°	-97°	
36	9:15	50°	-106°	
37	10:15	60°	-123°	
38	13:50	60°	123°	
39	15:35	40°	97°	
40	16:30	30°	88°	
41	17:25	20°	80°	
42	18:15	10°	72°	
COMPORTAMENTO DA LUZ NO INTERIOR				
43	15:35	40°	97°	Janelas exteriores
44	16:30	30°	88°	Janelas exteriores
45	17:25	20° (1)	80°	Janelas e clarabóia
46	17:25	20° (2)	80°	Janelas tapadas com tela de linho cru e clarabóia

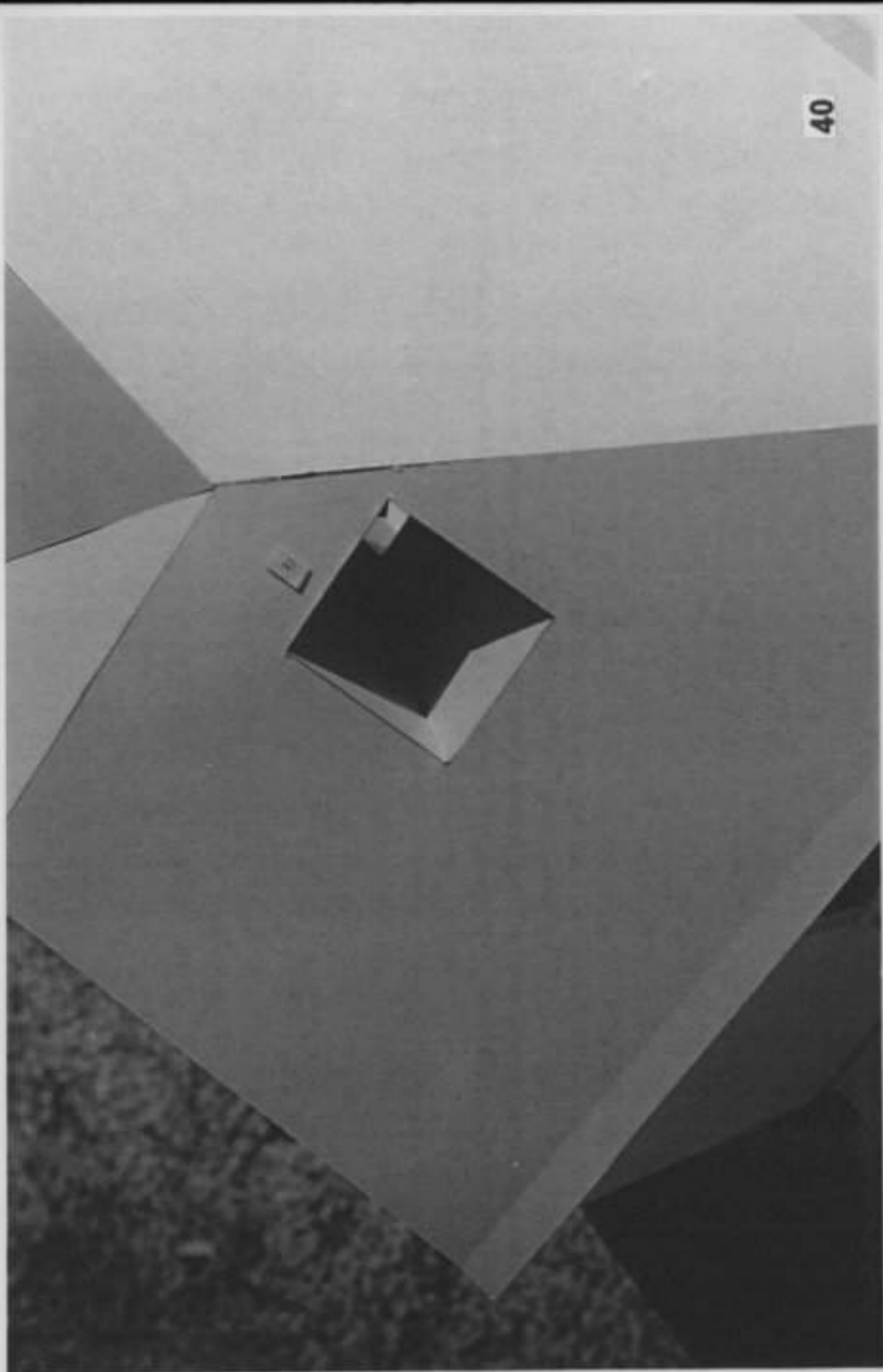
NOTA: Considerei o ângulo de incidência positivo no sentido Oeste e negativo para Este.



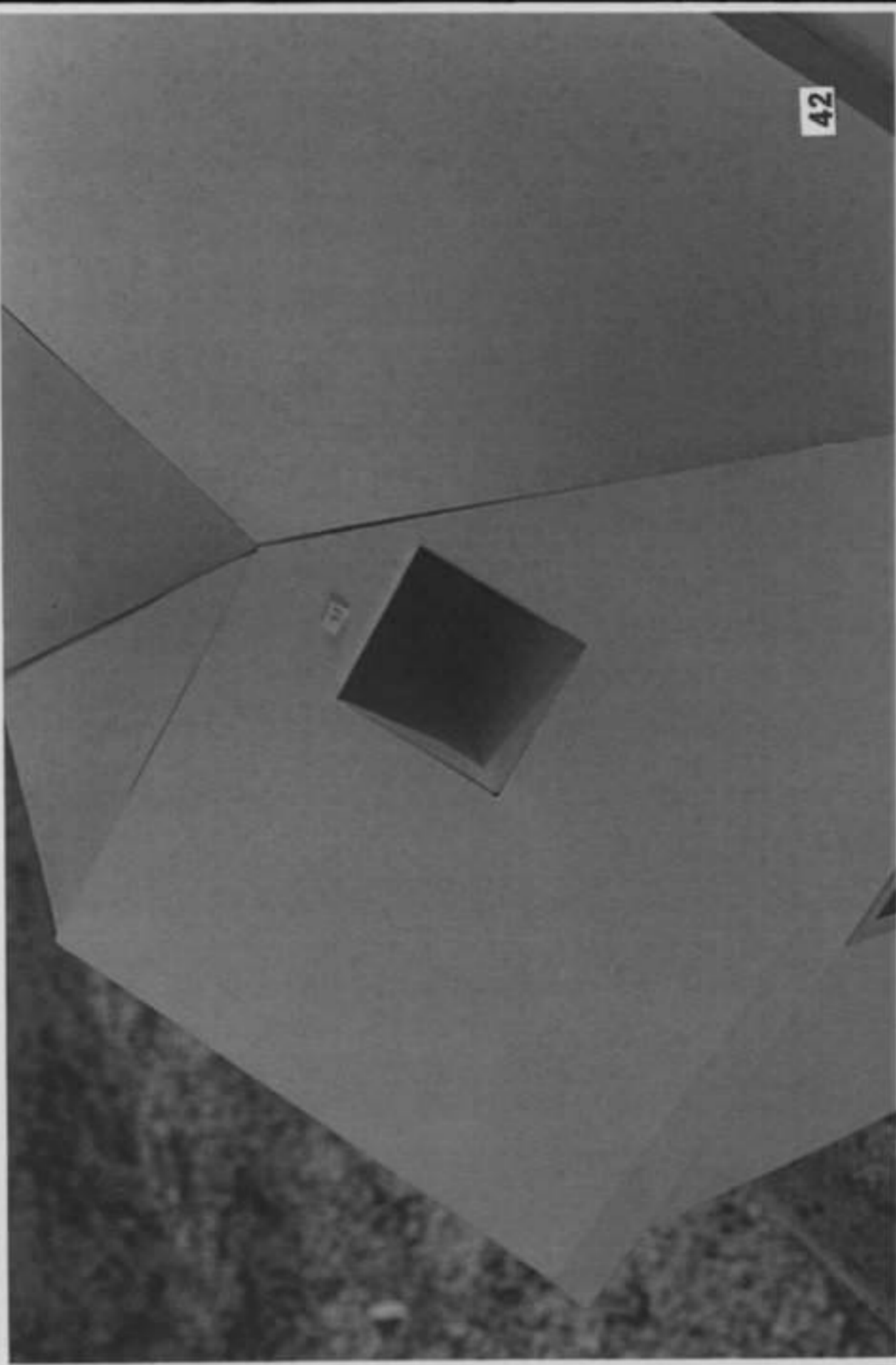




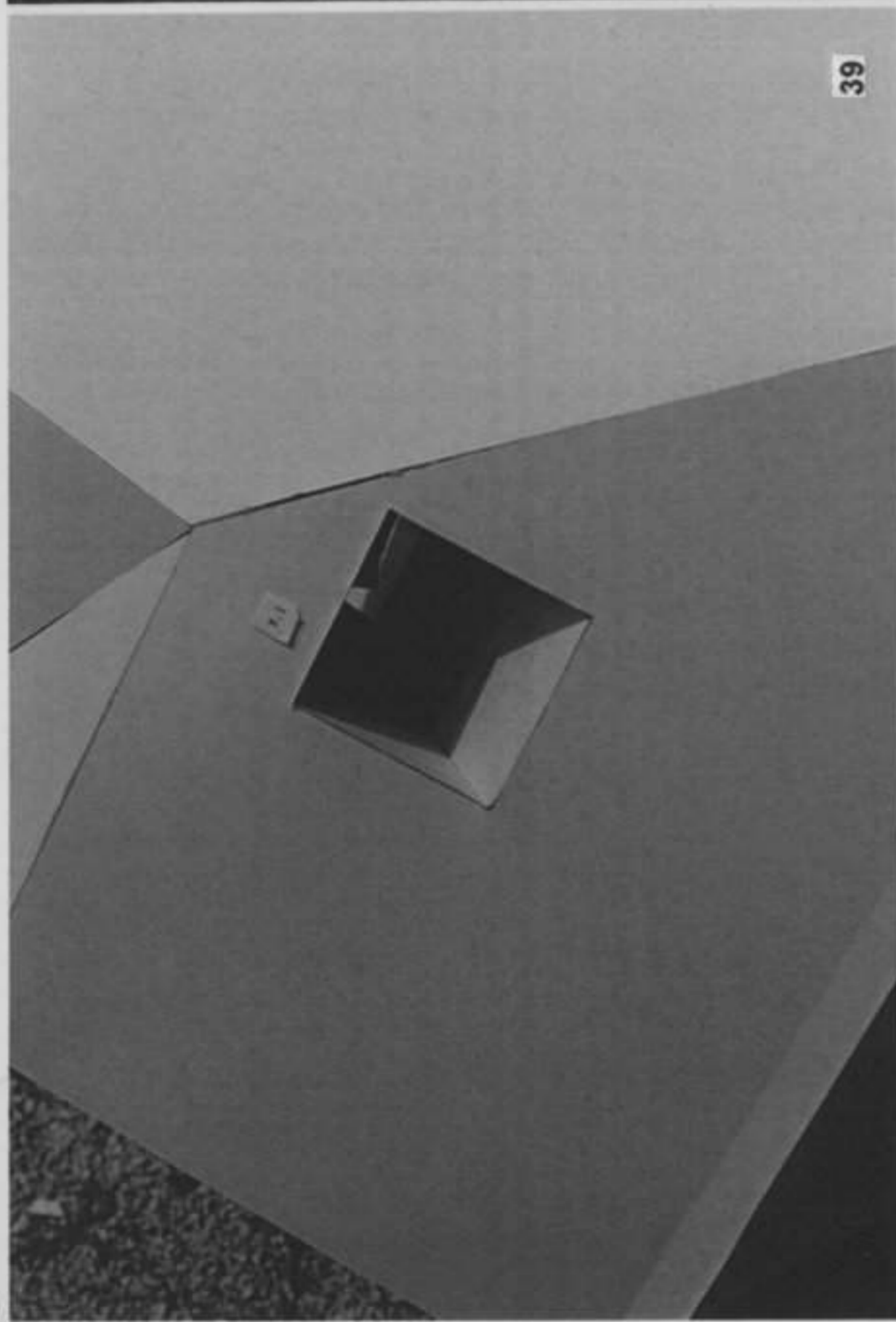
40



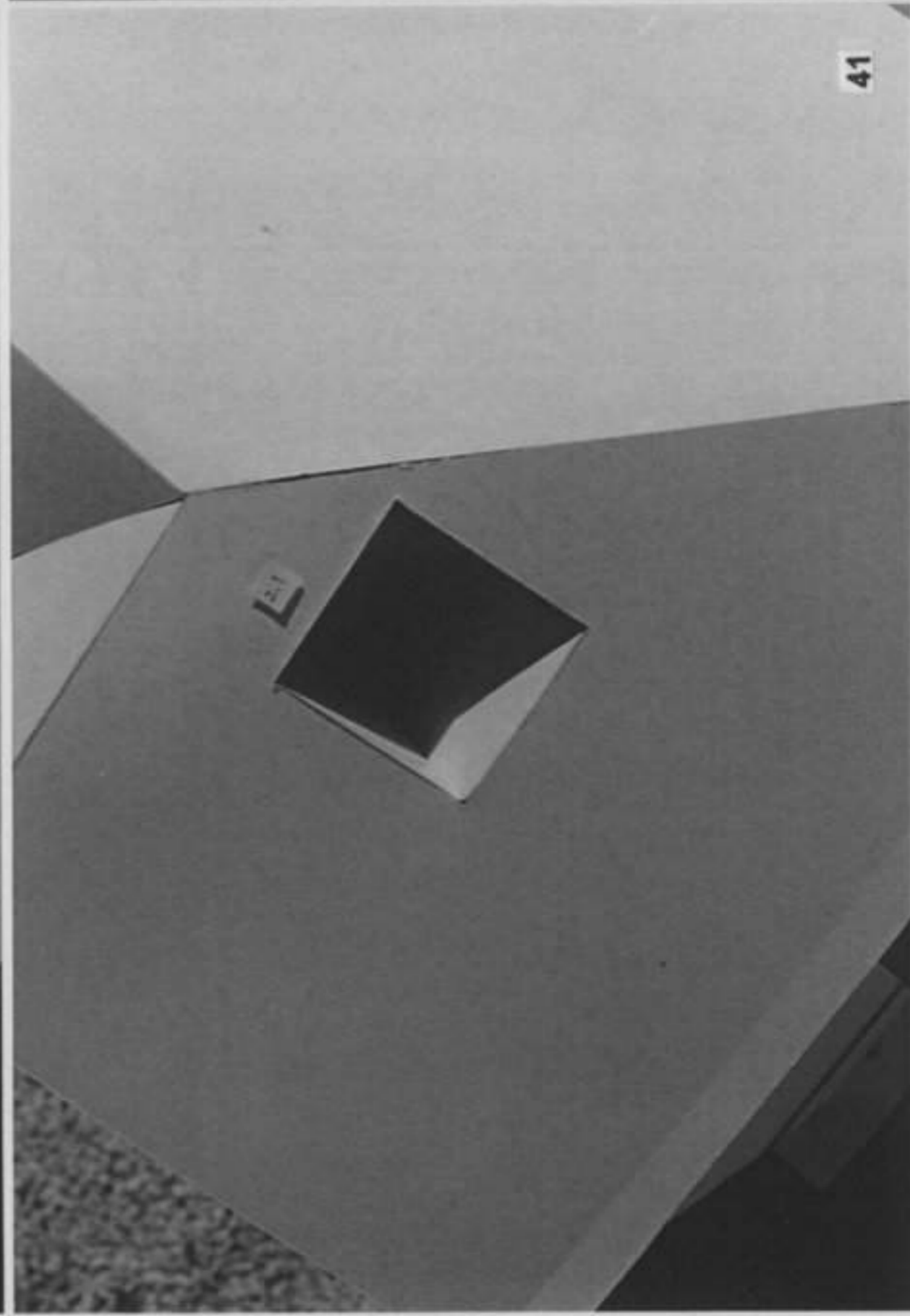
42

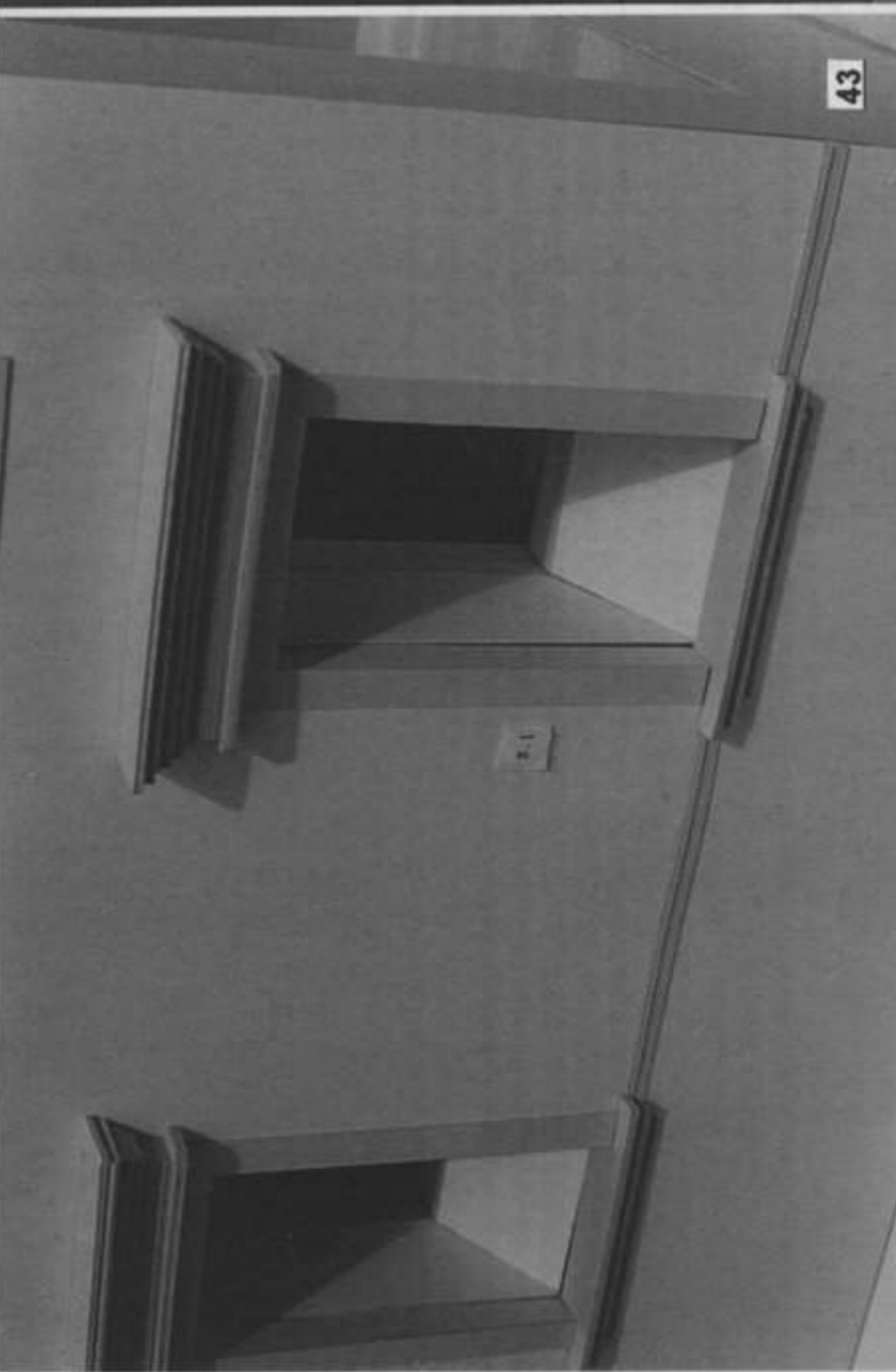
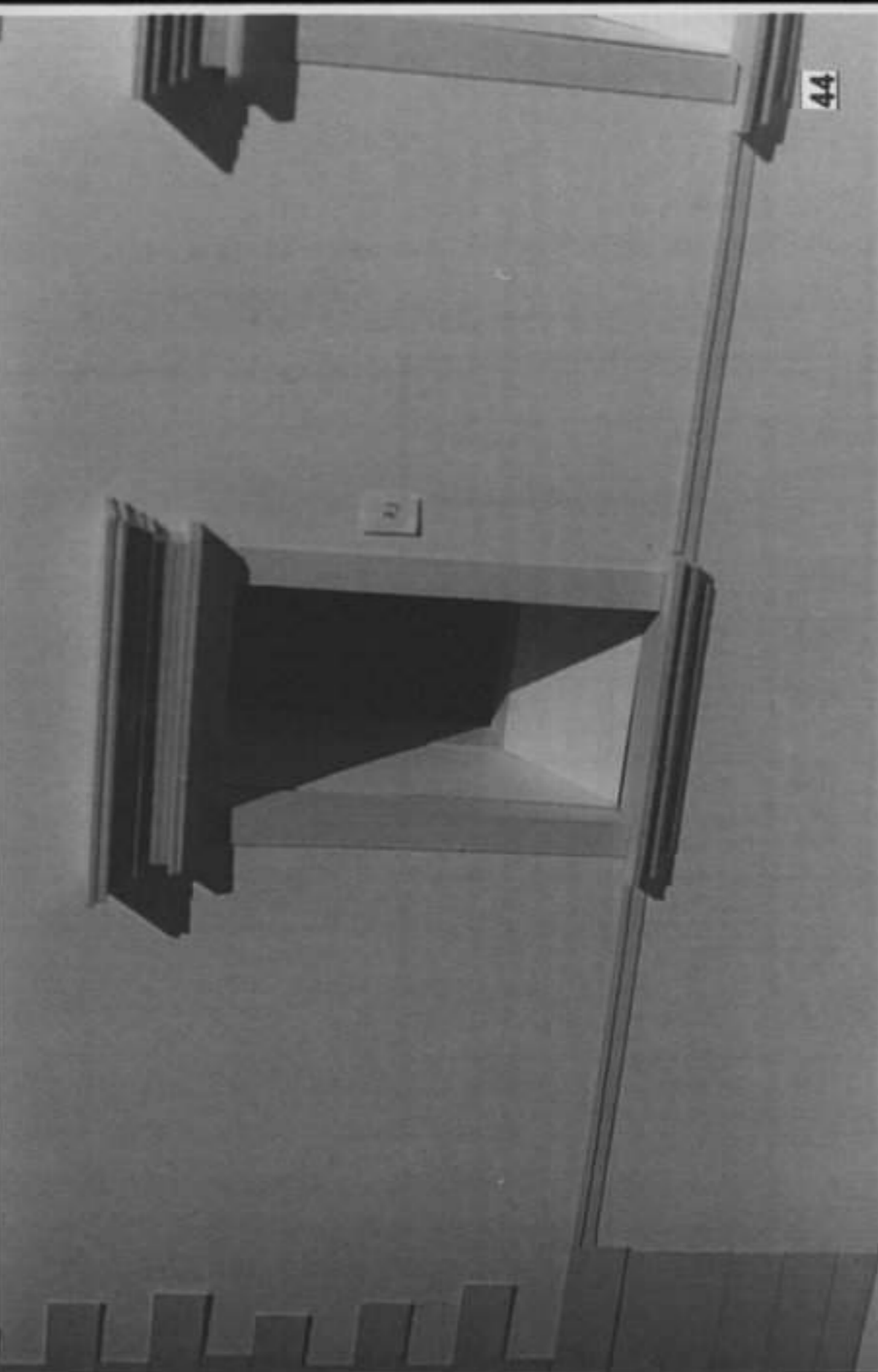


39



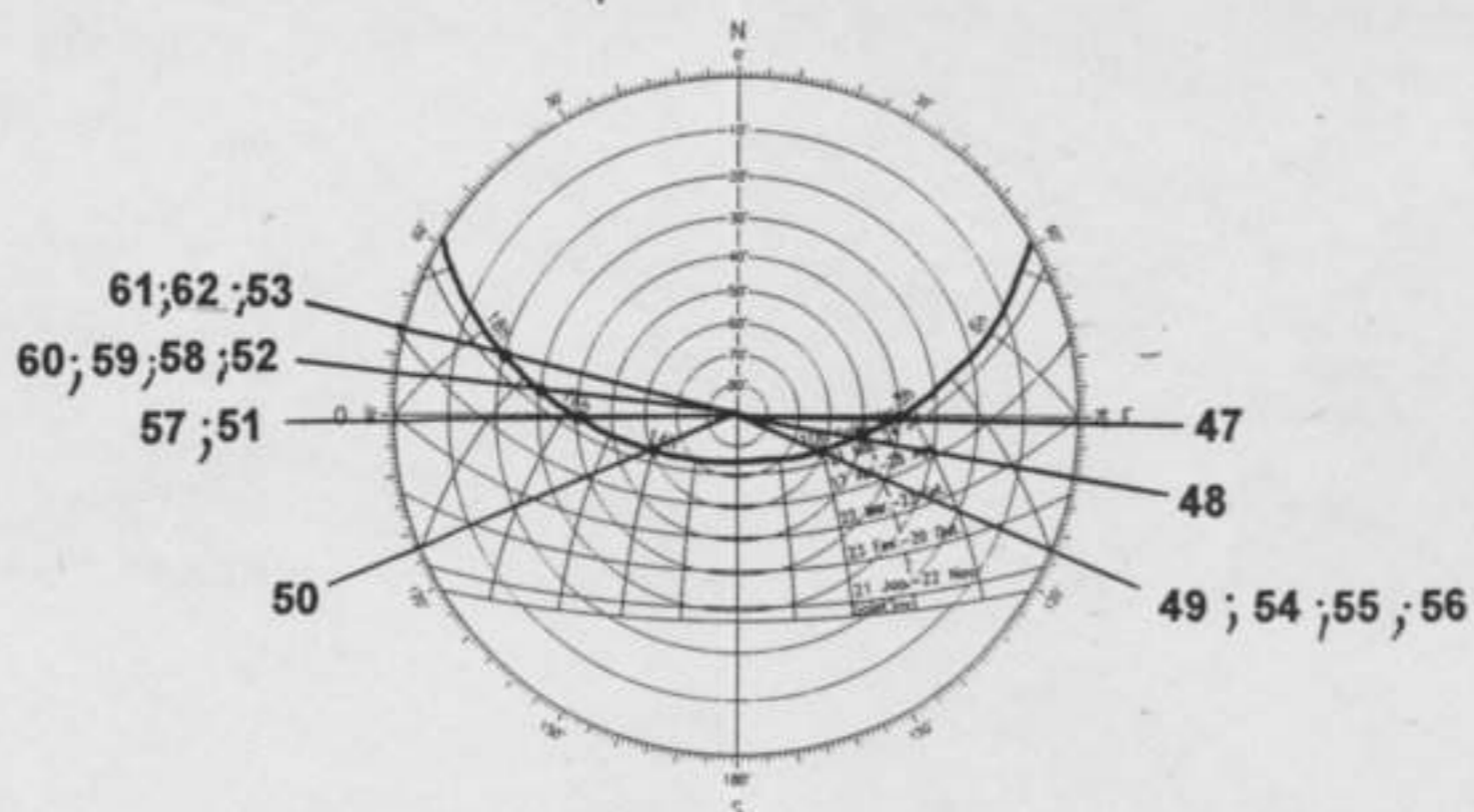
41





SOLSTÍCIO DE VERÃO				
Fotografia n.º	Hora	Altitude do sol	Ângulo de incidência	Observações
COMPORTAMENTO DA LUZ NA CLARABÓIA				
47	8:15	40°	-91°	
48	9:00	50°	-100°	
49	10:00	60°	-113	Incidência mais profunda registada
50	14:00	60°	112,5°	
51	15:45	40°	91°	
52	16:40	30°	83°	
53	17:20	20°	75,5°	
COMPORTAMENTO DA LUZ NO INTERIOR				
54	10:00	60° (1)	-113°	Janelas e clarabóia
55	10:00	60° (2)	-113°	Janelas tapadas com tela de linho cru e clarabóia
56	10:00	60° (3)	-113°	Apenas clarabóia
57	15:45	40°	91°	Janelas e clarabóia
58	16:40	30° (1)	83°	Janelas exteriores
59	16:40	30° (2)	83°	Janelas e clarabóia
60	16:40	30° (3)	83°	Janelas tapadas com tela de linho cru e clarabóia
61	17:20	20° (1)	75,5°	Janelas e clarabóia
62	17:20	20° (2)	75,5°	Janelas tapadas com tela de linho cru e clarabóia

NOTA: Considerei o ângulo de incidência positivo no sentido Oeste e negativo para Este.



48

45

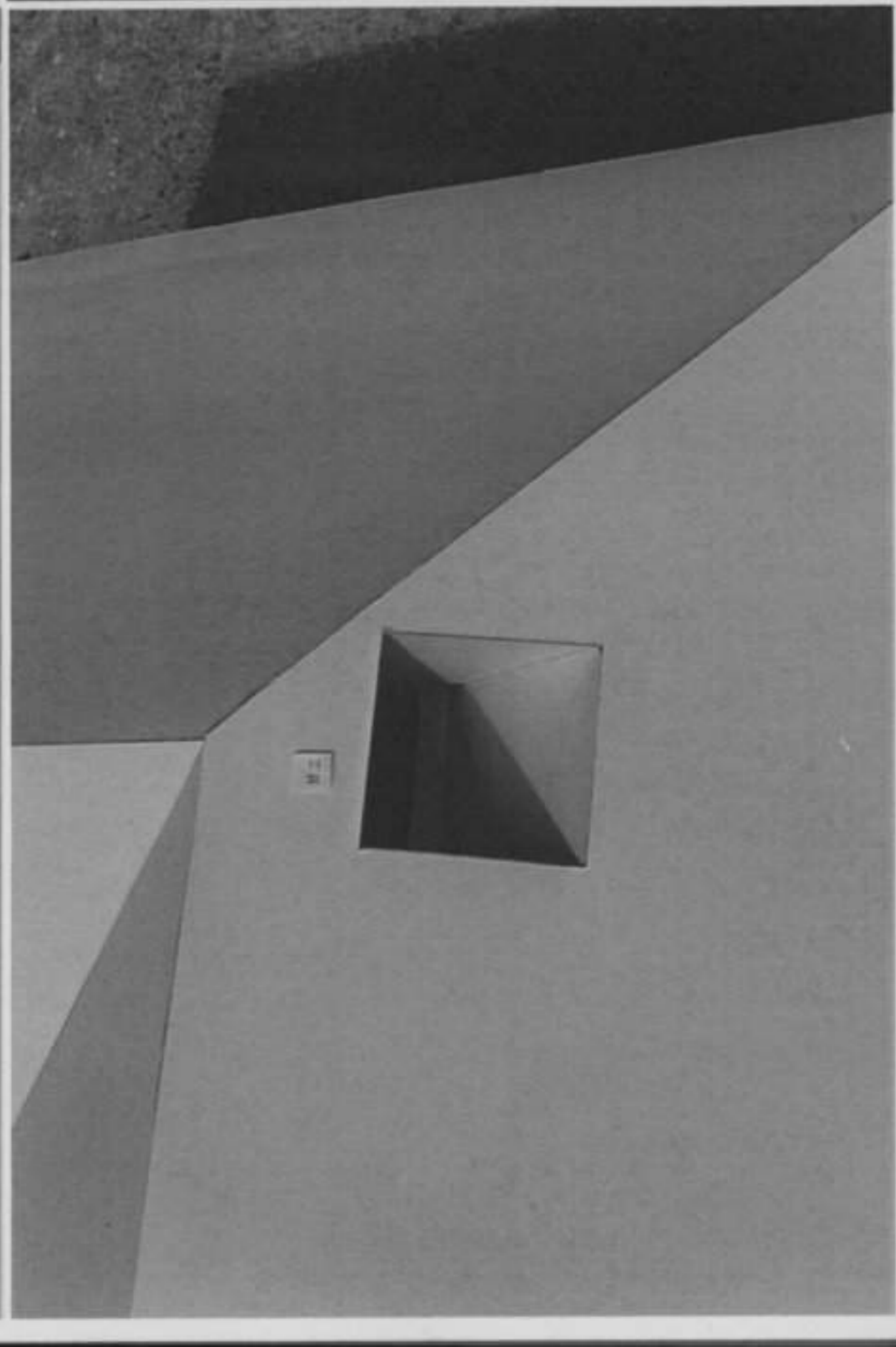
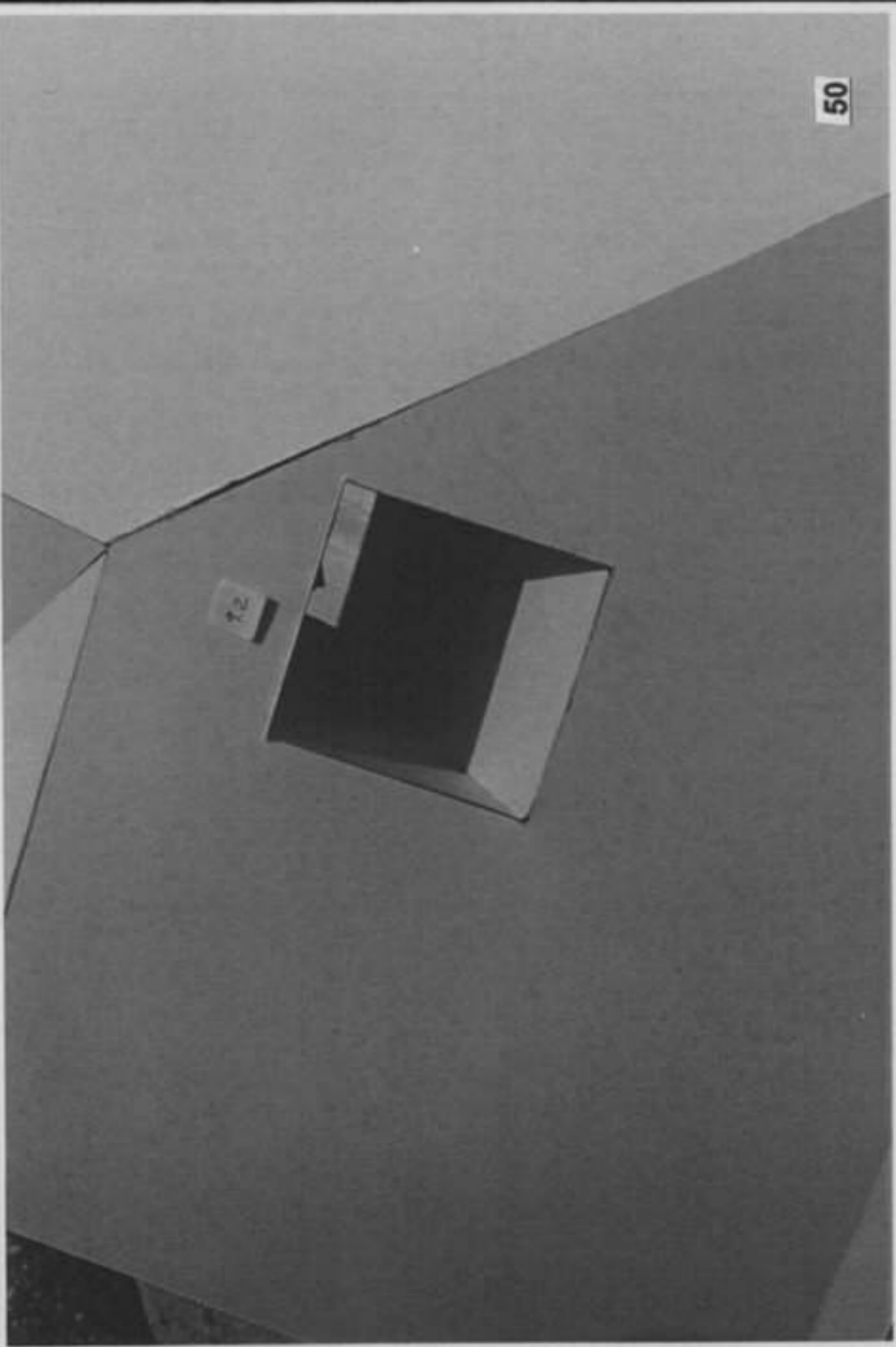
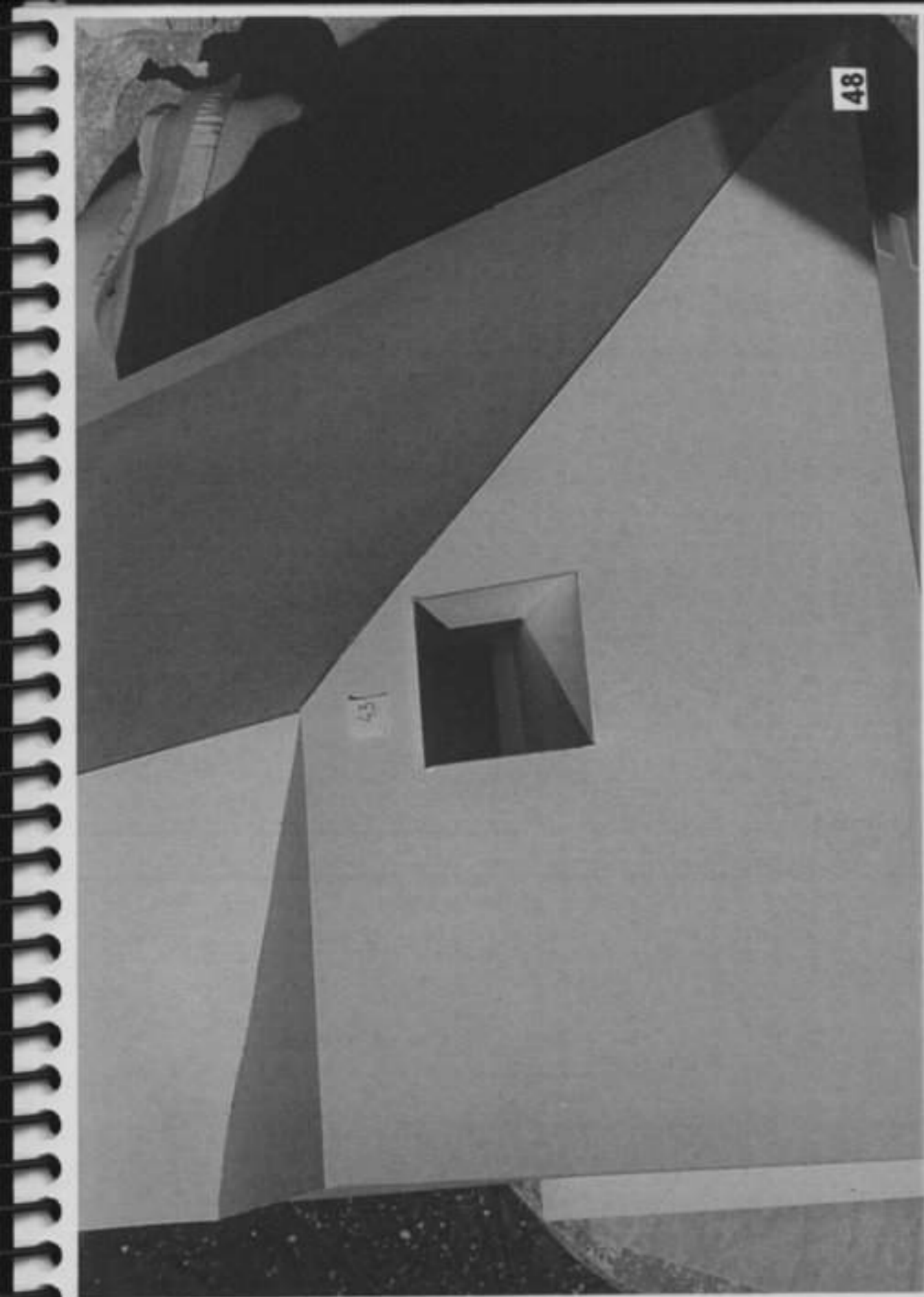
50

42

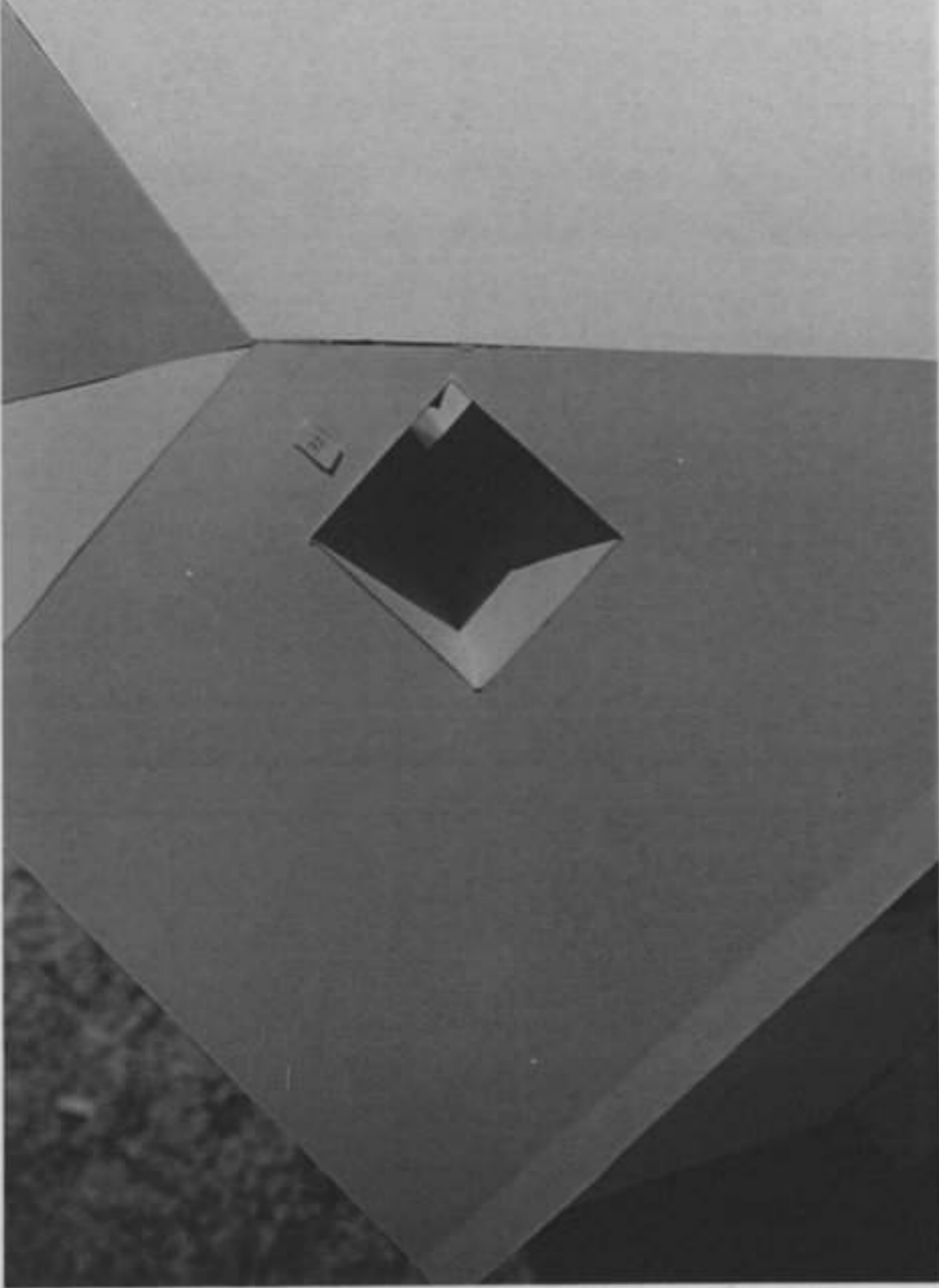
47

41

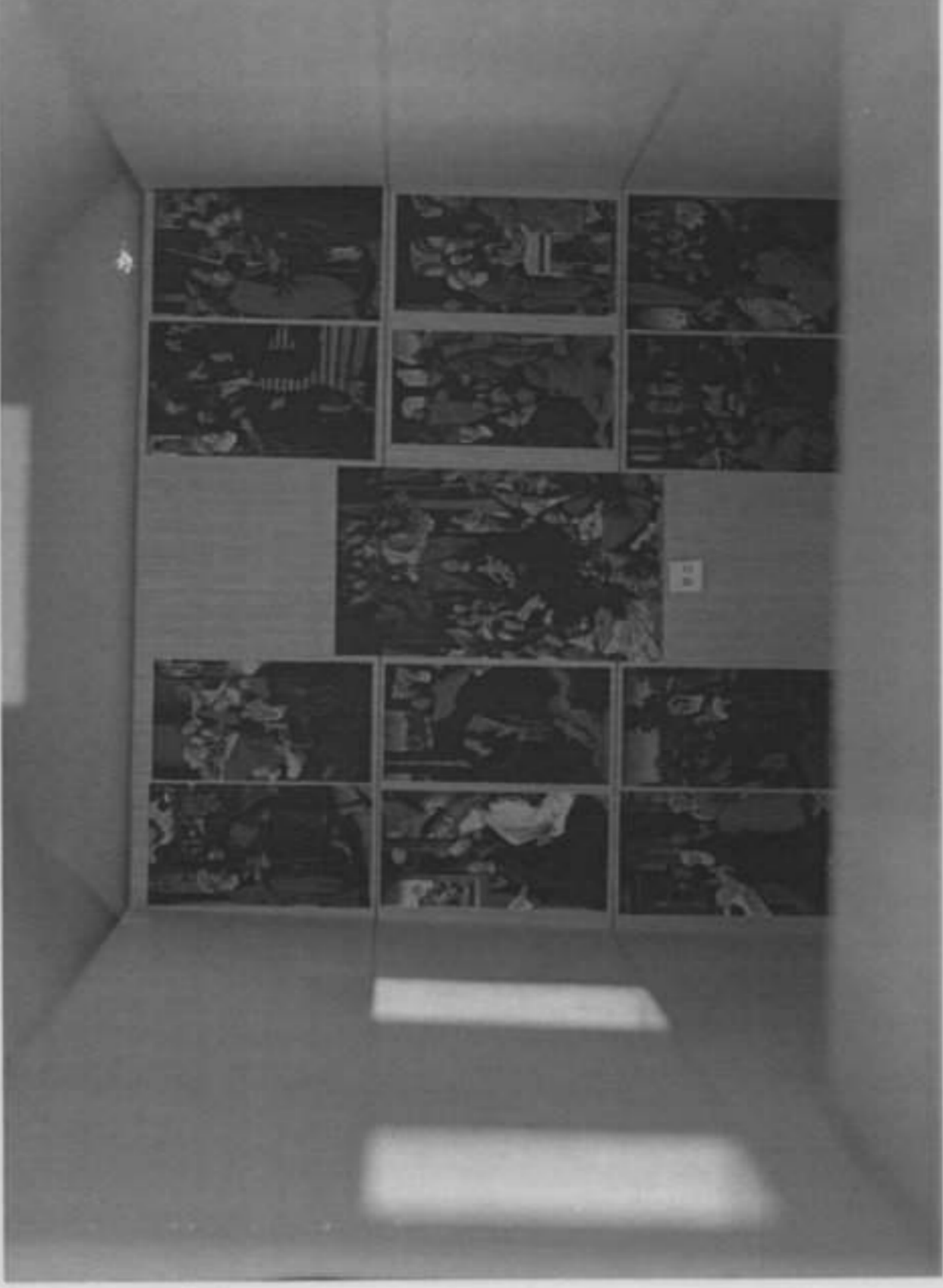
43



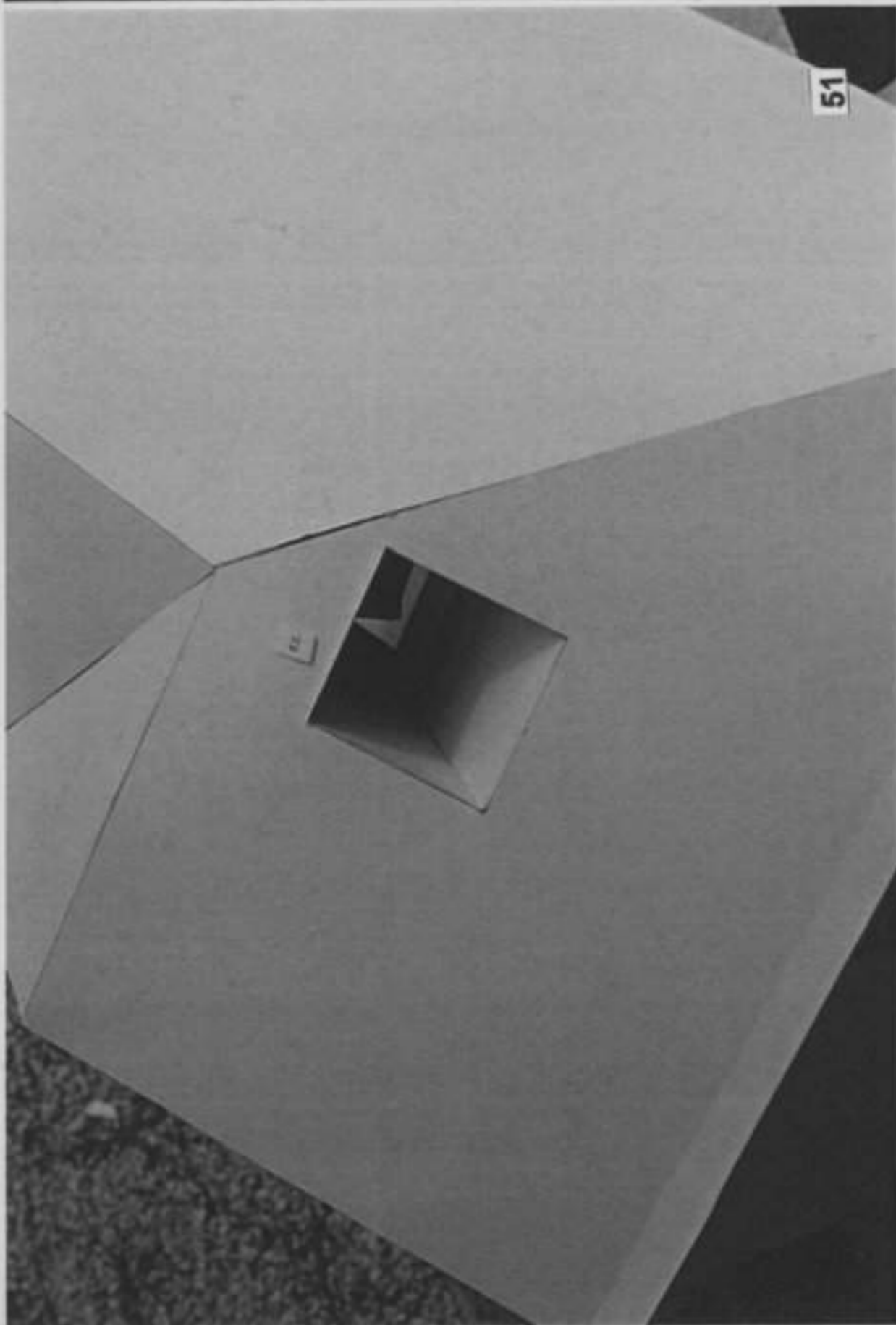
52



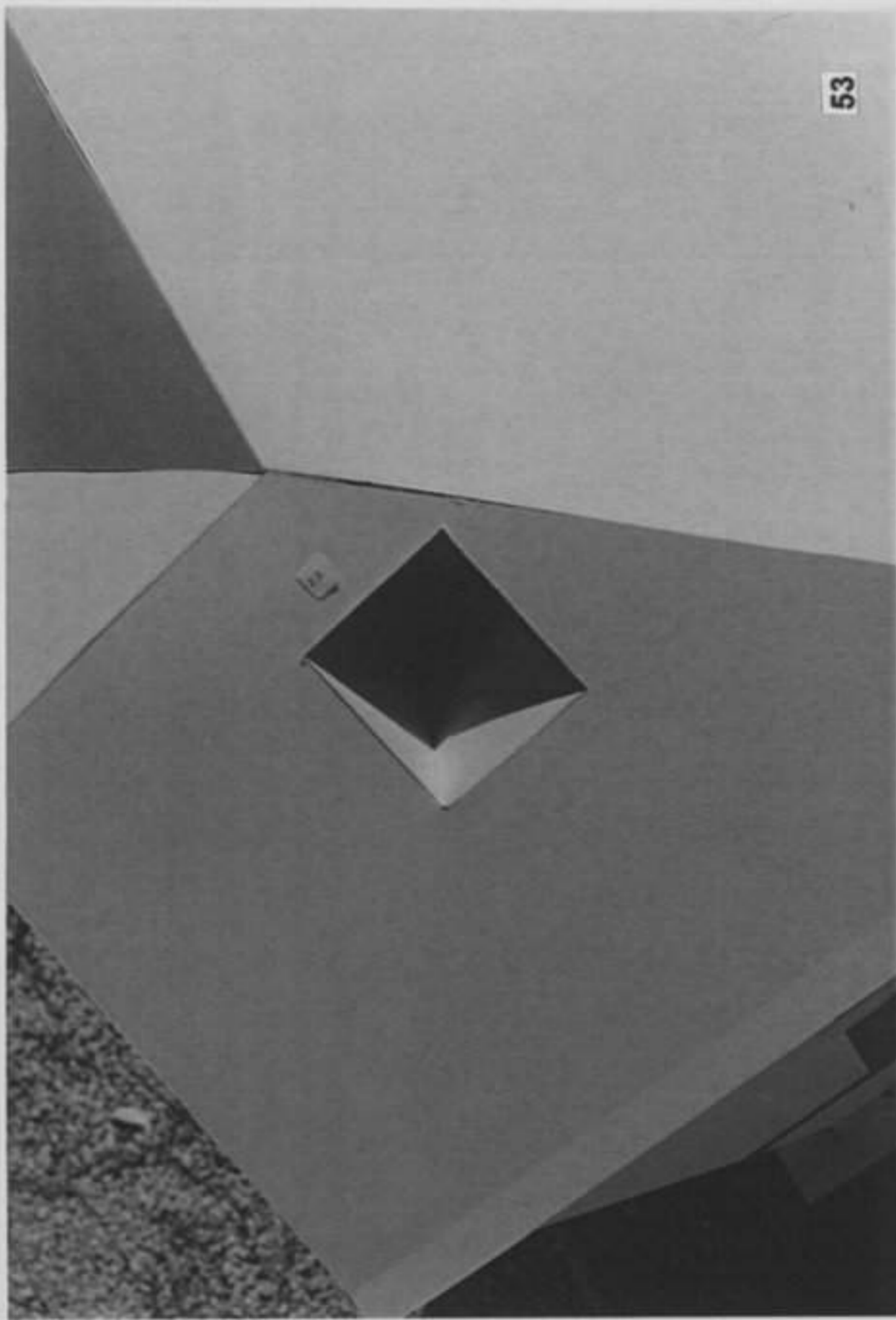
54

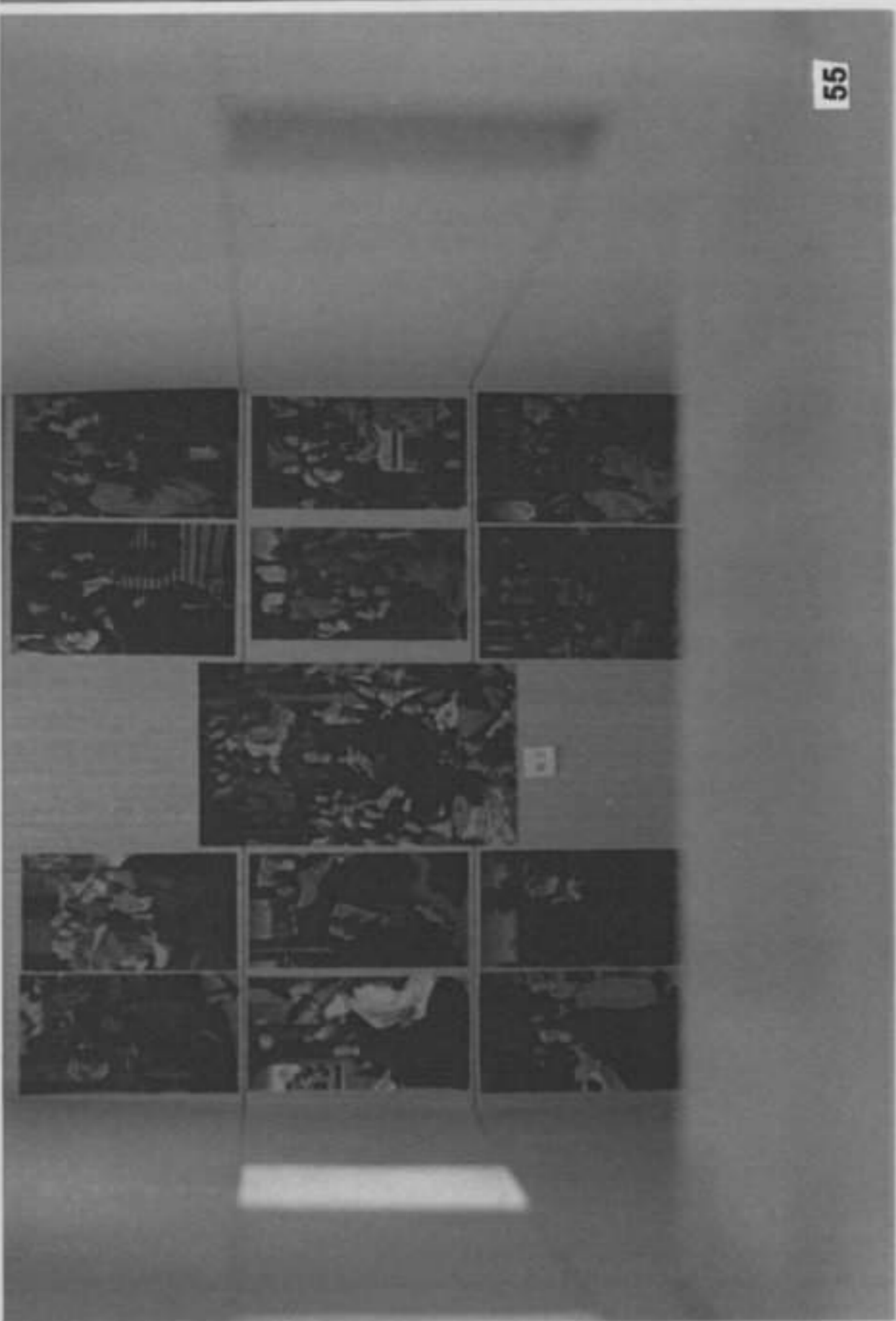


51



53





55



56



57



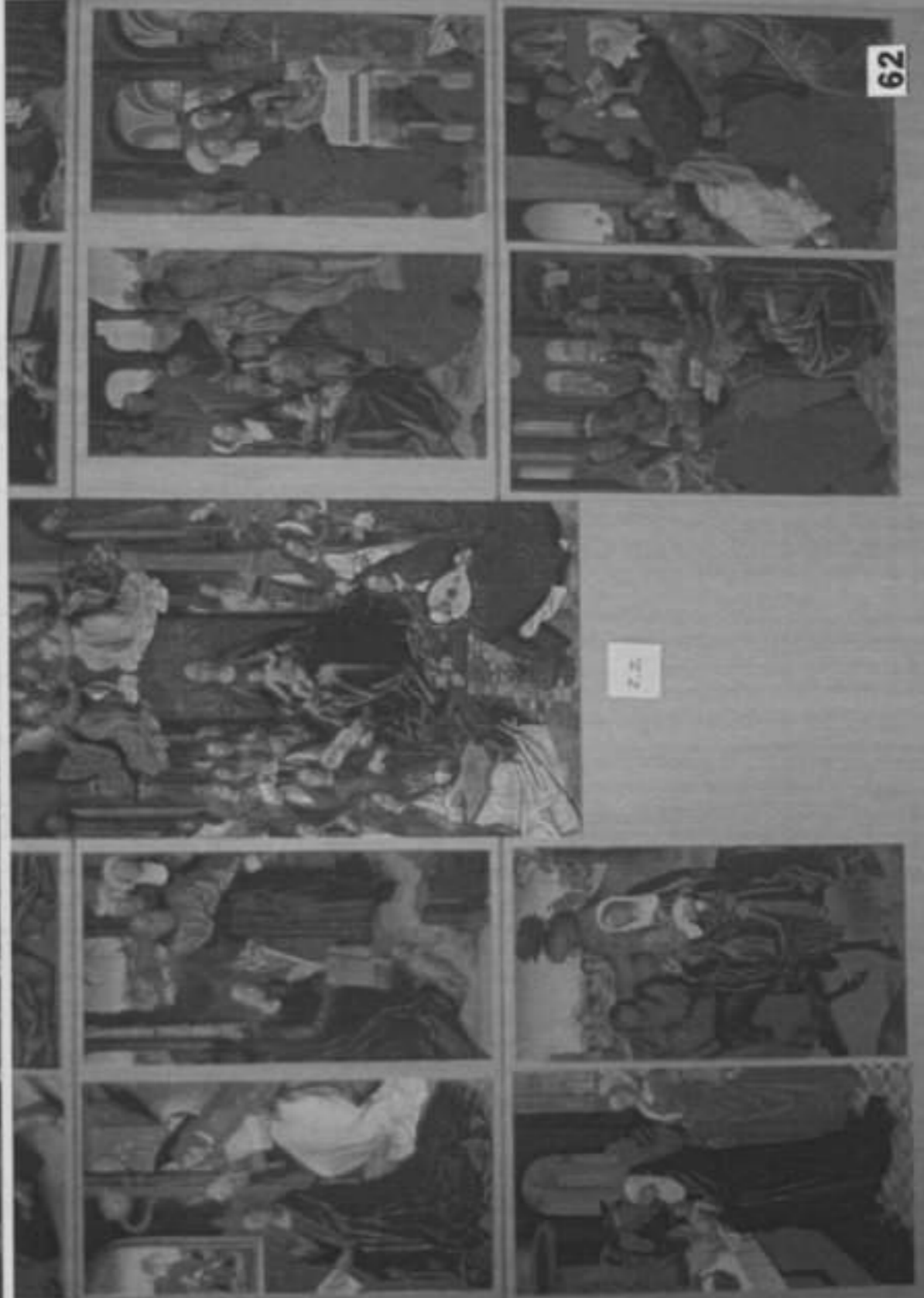
58

60



22

62



23

59



22

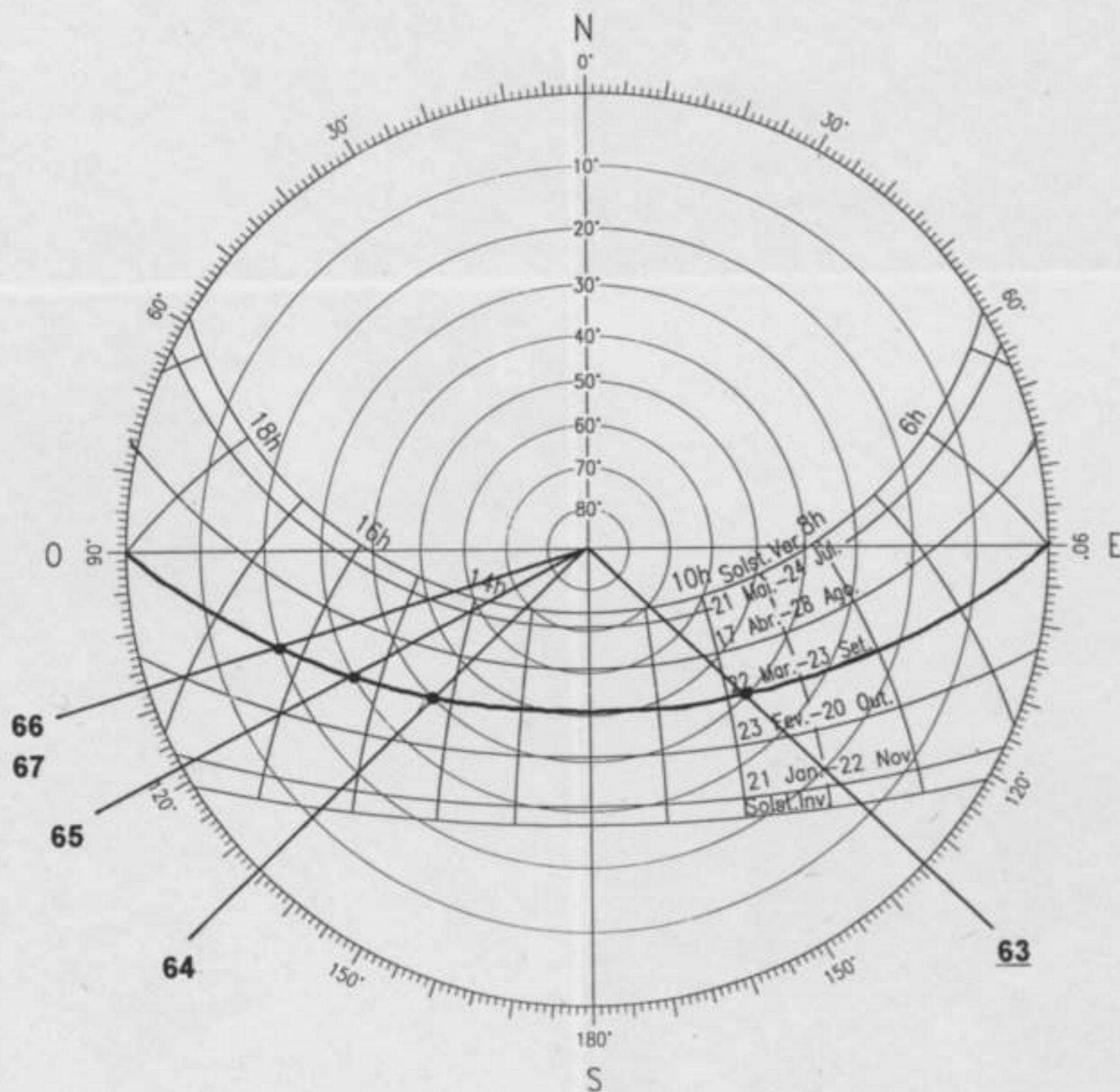
61



23

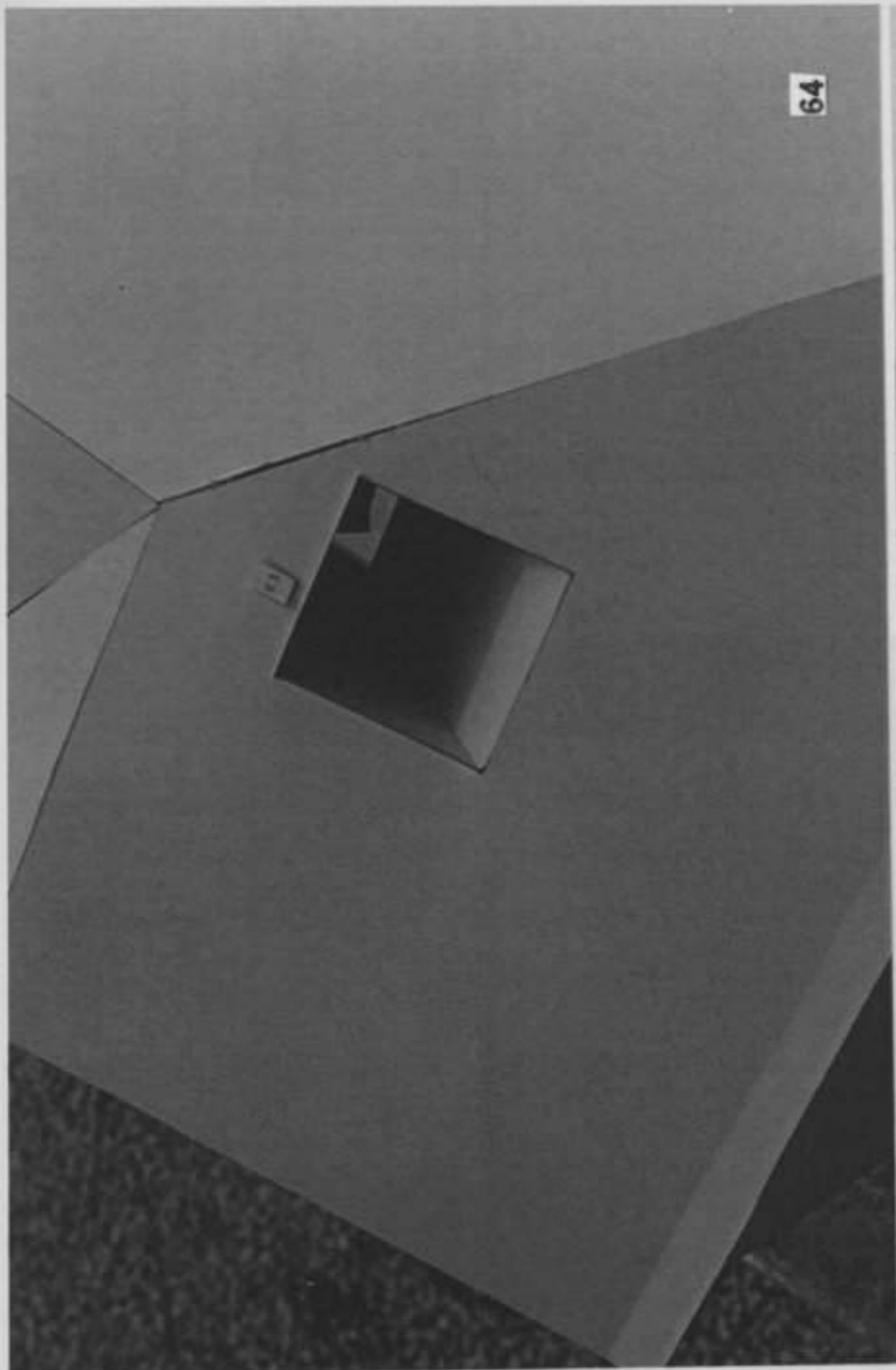
22 DE MARÇO E 23 DE SETEMBRO				
Fotografia n.º	Hora	Altitude do sol	Ângulo de incidência	Observações
COMPORTAMENTO DA LUZ NA CLARABÓIA				
63	9:45	40°	-134°	
64	14:15	40°	134°	
65	15:20	30°	118°	
66	16:15	20°	107°	
COMPORTAMENTO DA LUZ NO INTERIOR				
67	16:15	20°	107°	Janelas exteriores

NOTA: Considerei o ângulo de incidência positivo no sentido Oeste e negativo para Este.

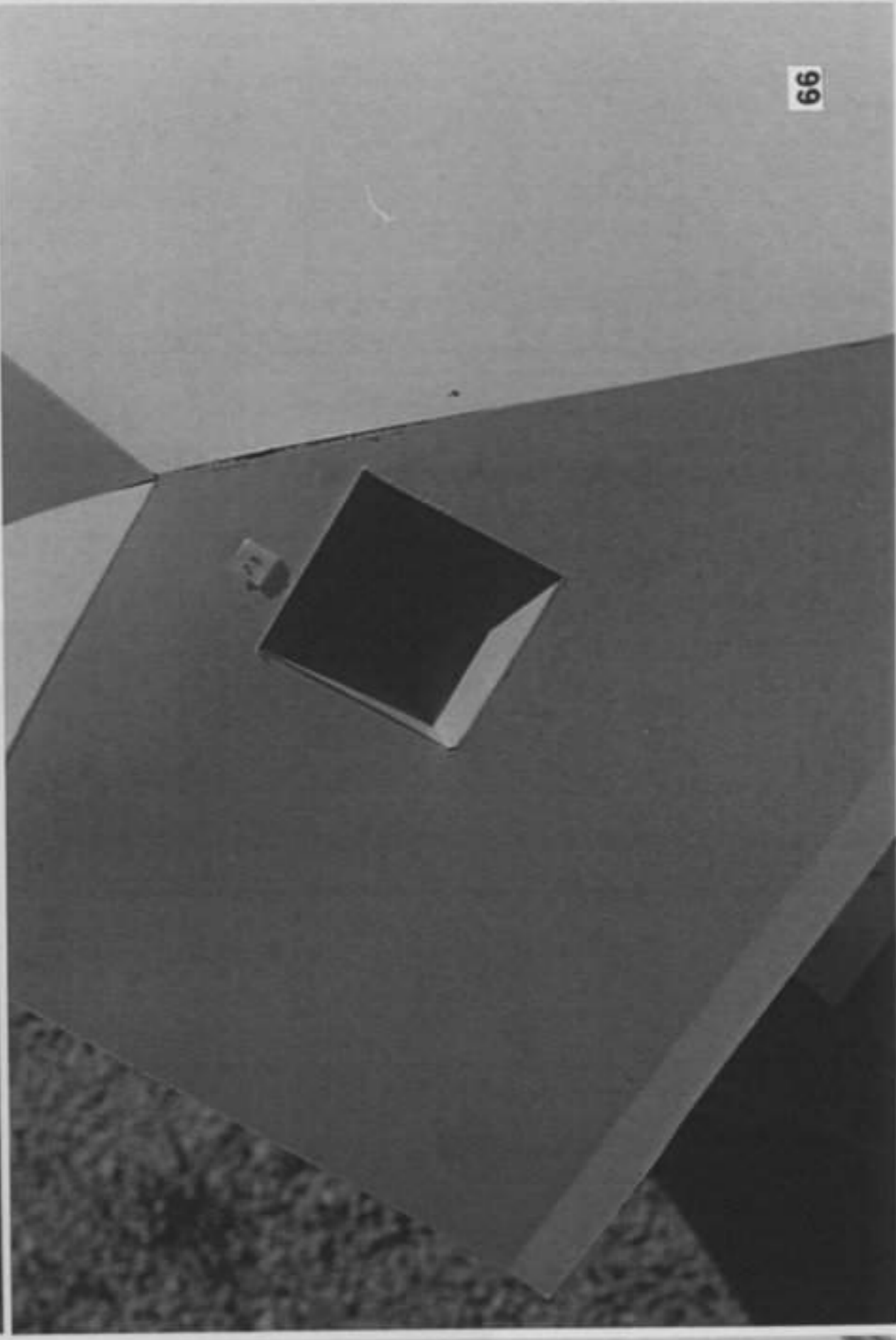




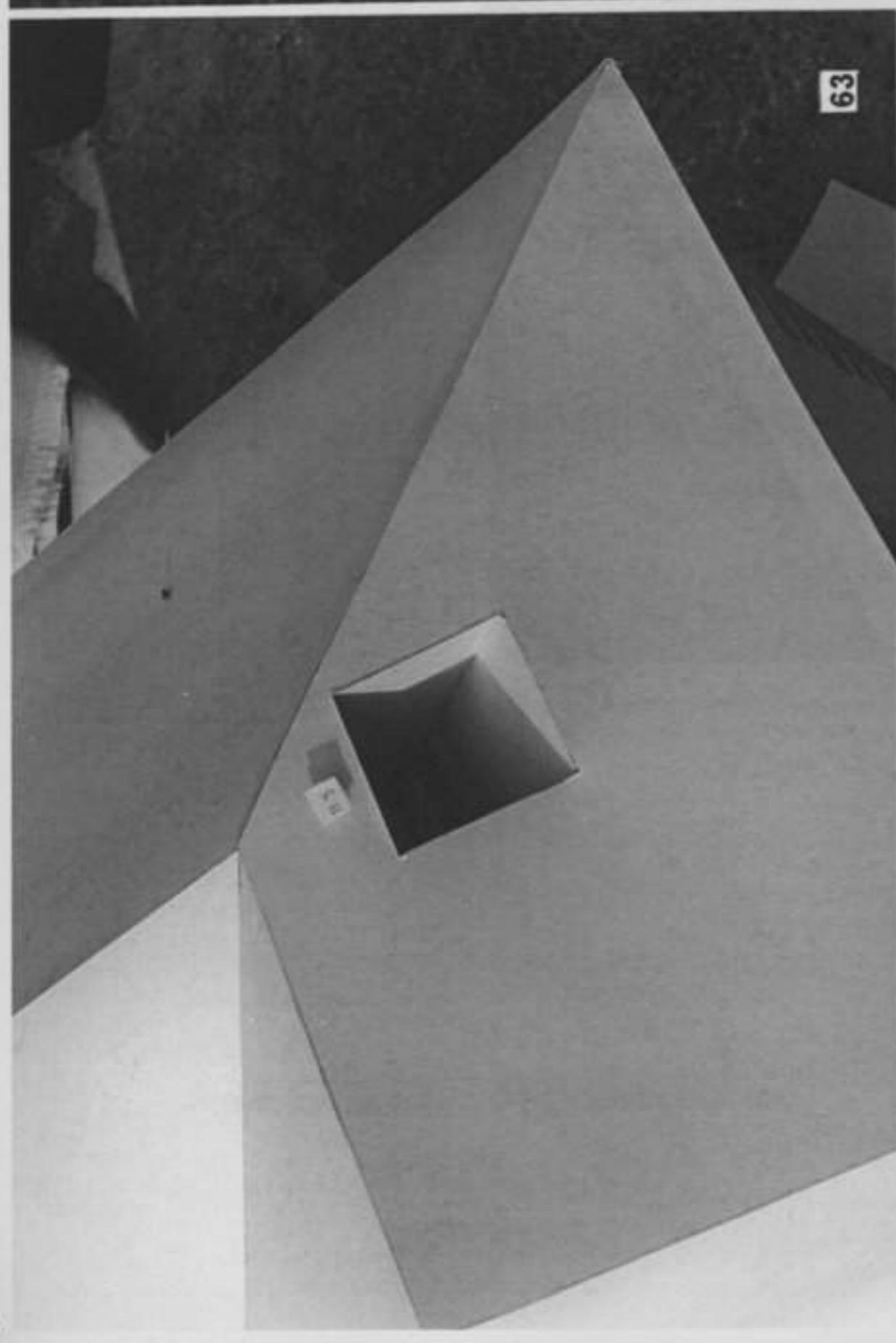
64



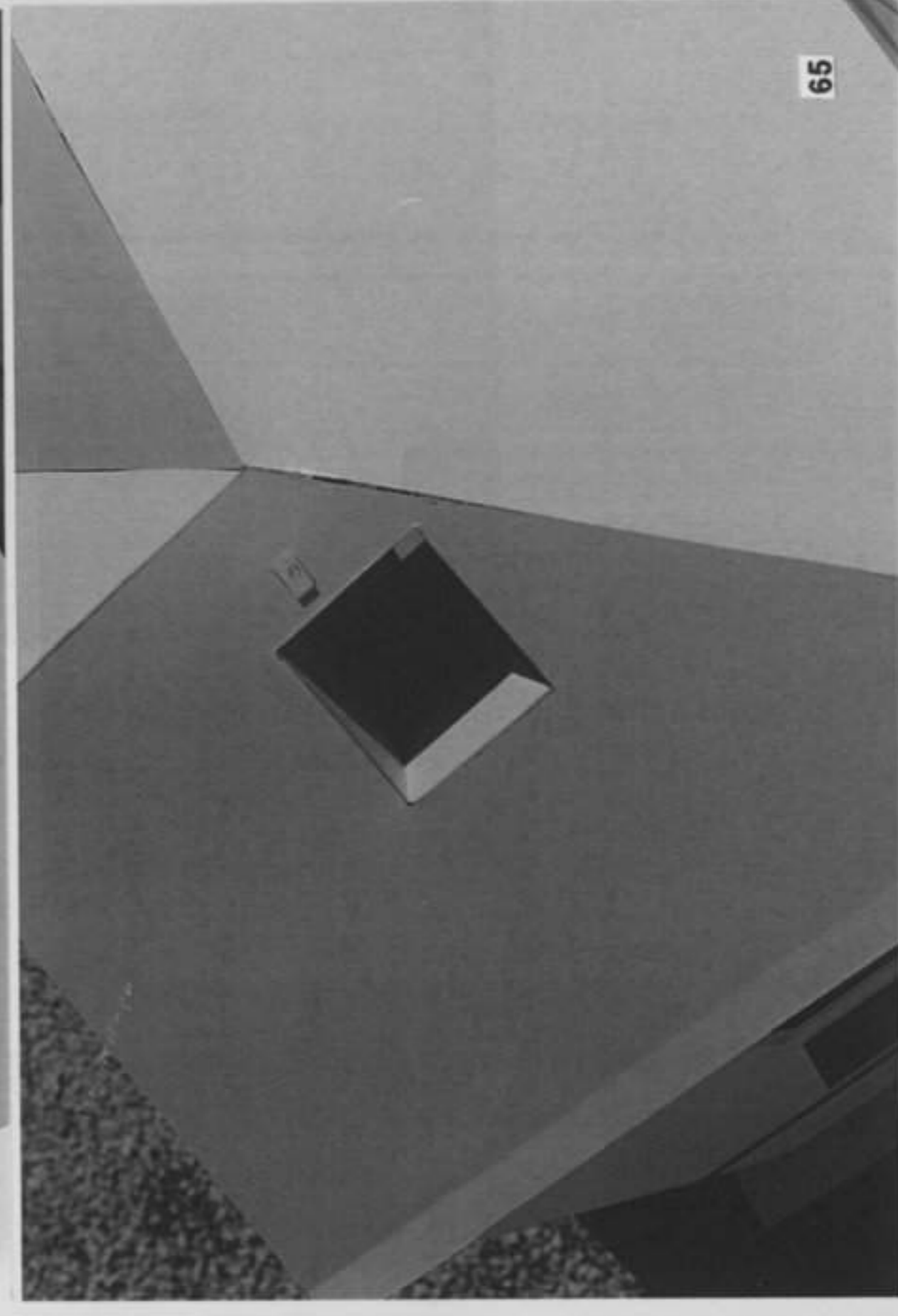
66



63



65

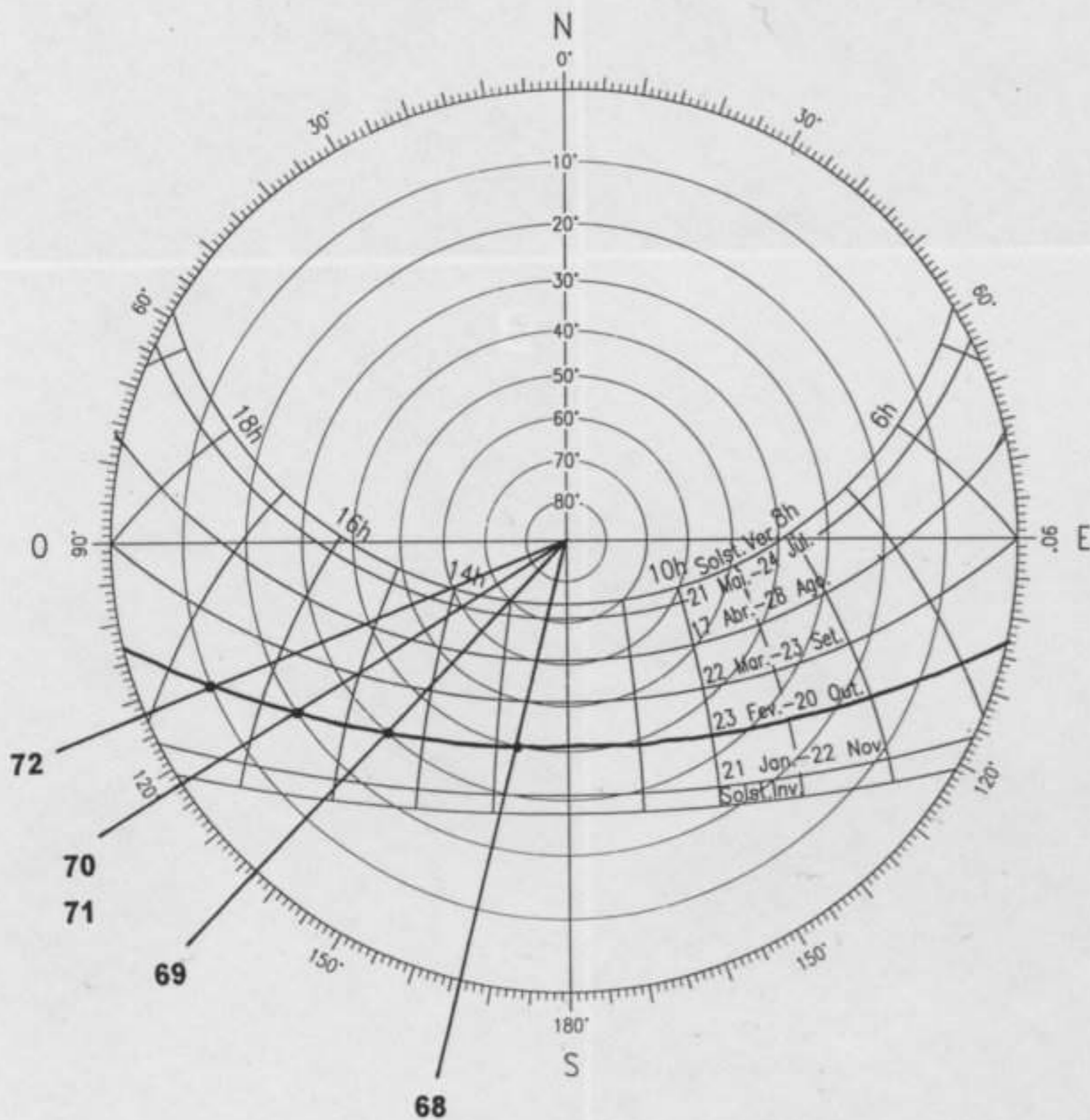


23 DE FEVEREIRO E 20 DE OUTUBRO				
Fotografia nº	Hora	Altitude do sol	Ângulo de incidência	Observações
COMPORTAMENTO DA LUZ NA CLARABÓIA				
66	12:45	40°	100°	
67	14:30	25°	100°	

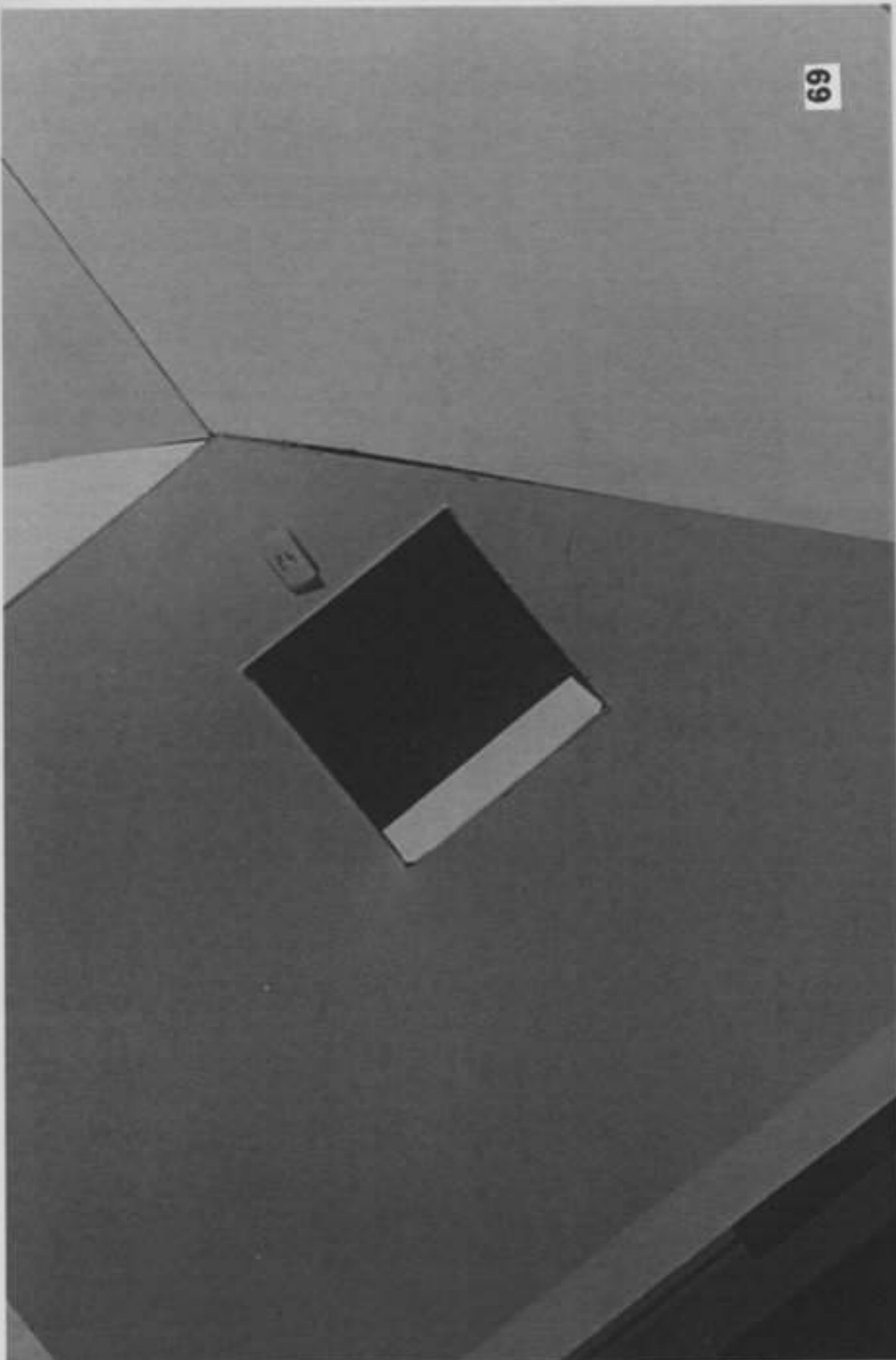


23 DE FEVEREIRO E 20 DE OUTUBRO				
Fotografia n.º	Hora	Altitude do sol	Ângulo de incidência	Observações
COMPORTAMENTO DA LUZ NA CLARABÓIA				
68	12:45	40°	166°	
69	14:30	30°	136,5°	
70	15:35	20°	122°	
COMPORTAMENTO DA LUZ NO INTERIOR				
71	15:35	20°	122°	Janelas exteriores
72	16:30	10°	112°	Janelas e clarabóia

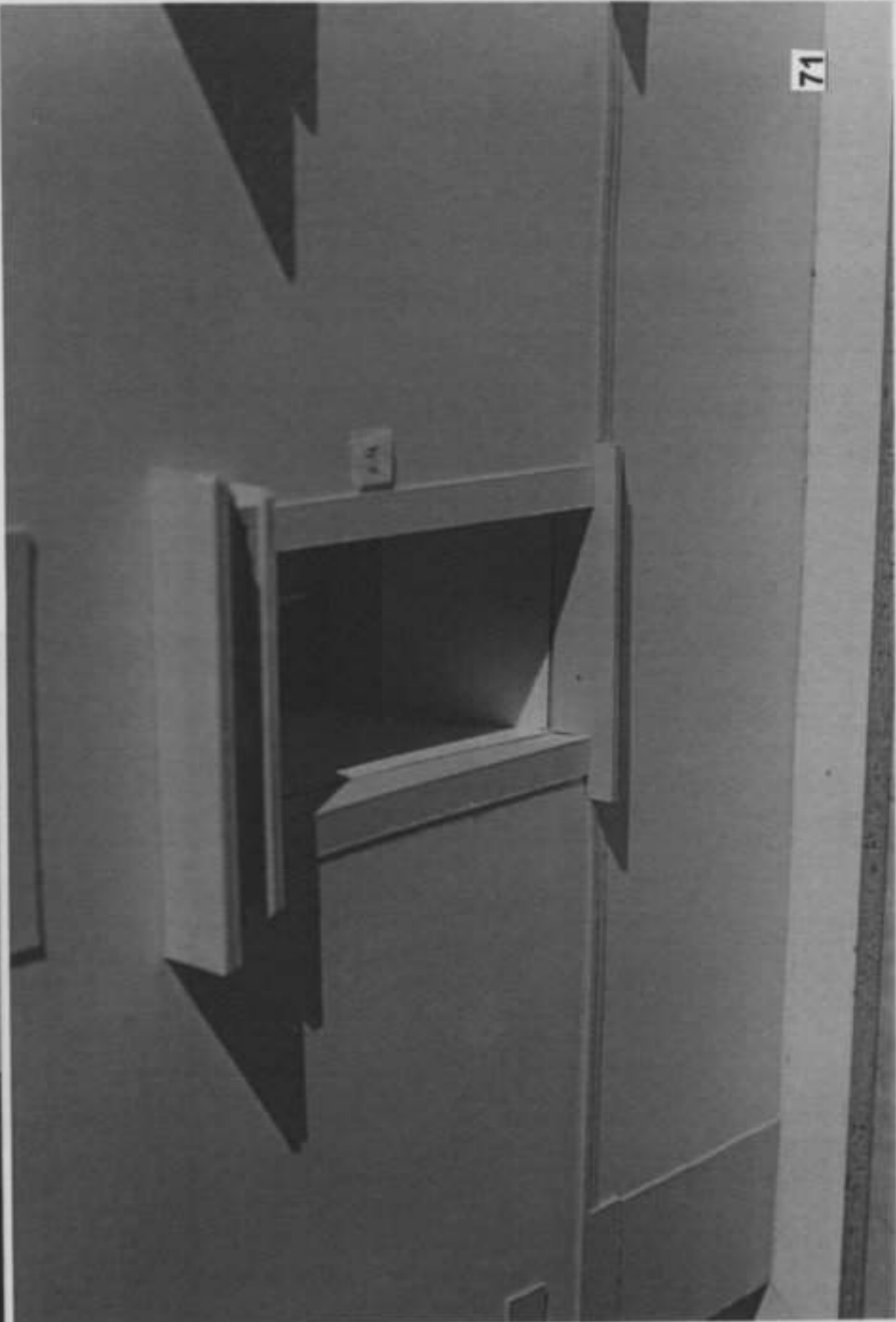
NOTA: Considerei o ângulo de incidência positivo no sentido Oeste e negativo para Este.



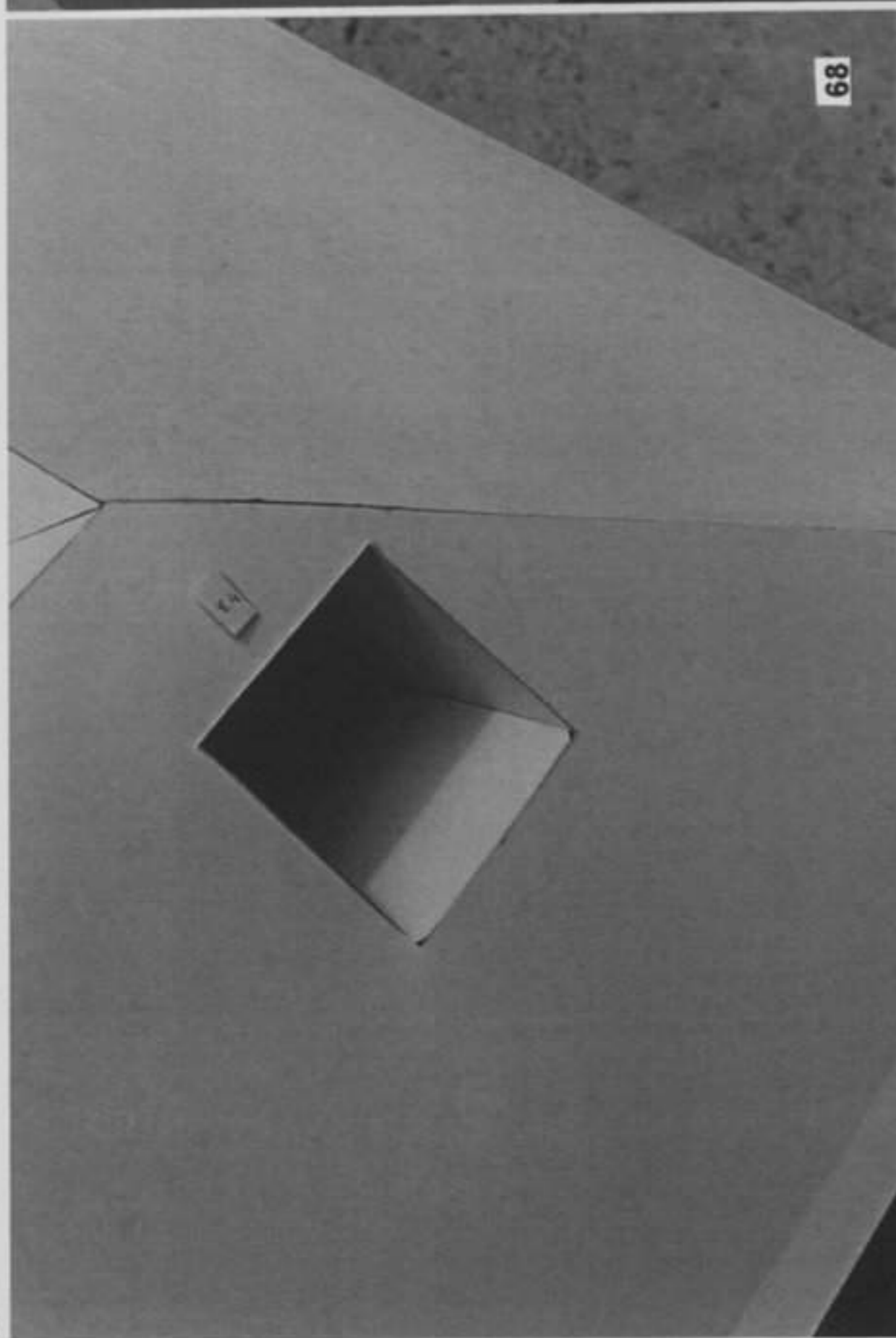
69



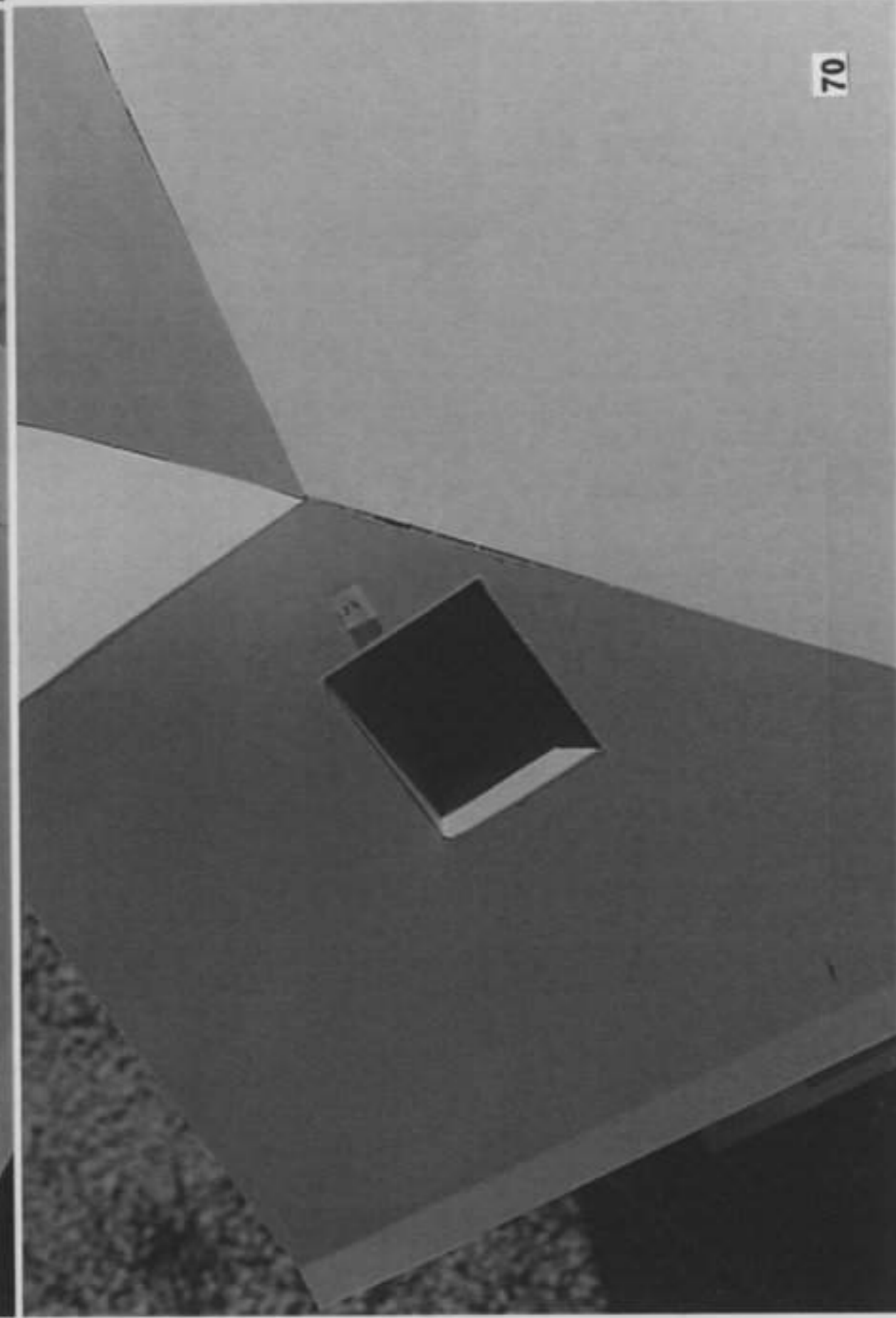
71



68



70

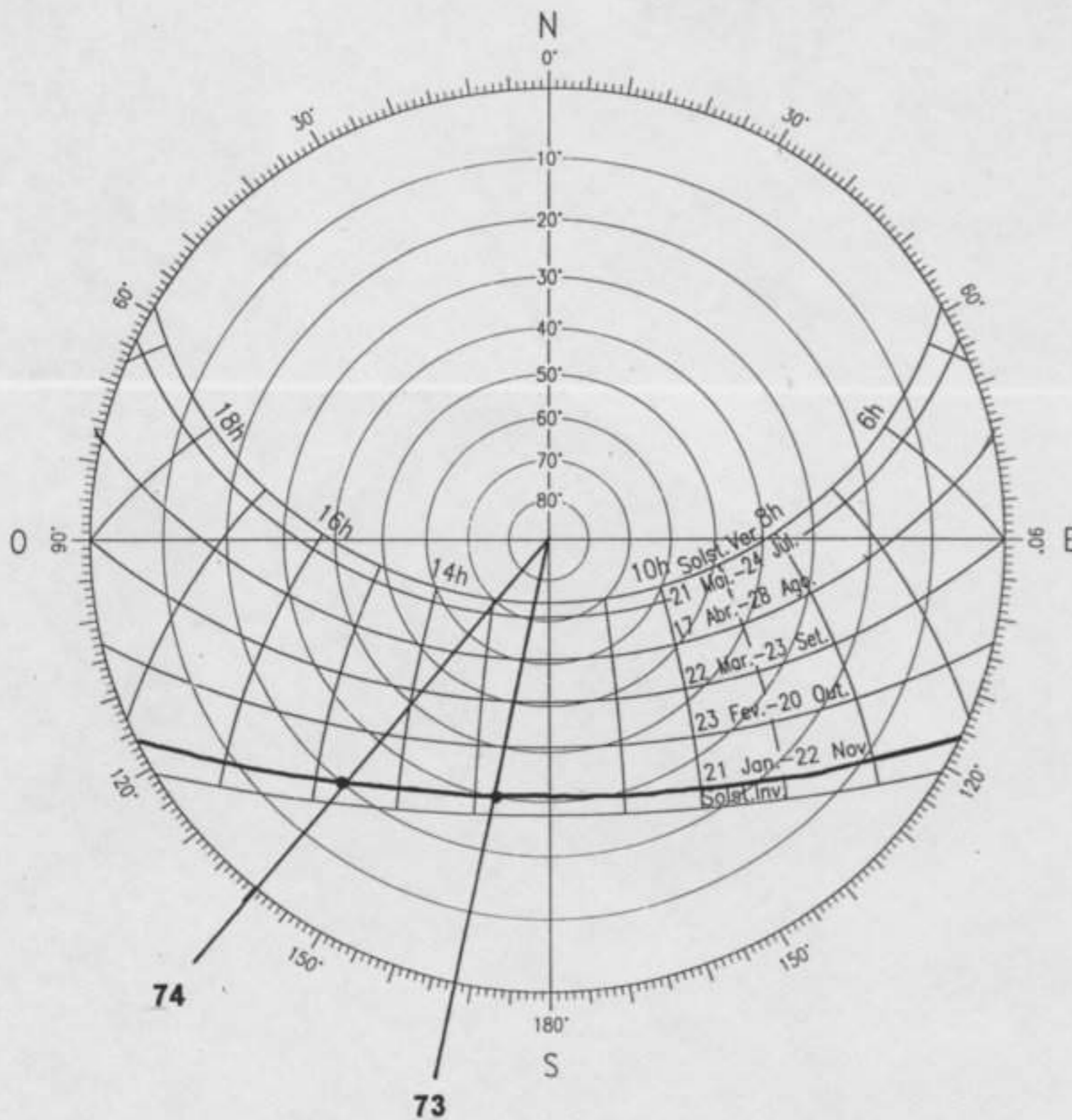


21 DE JANEIRO E 22 DE NOVEMBRO				
Fotografia n.º	Hora	Ângulo de altura do sol	Ângulo de incidência	Observações
COMPORTAMENTO DA LUZ NA CLARABÓIA				
78	12:45	30°	100°	
79	14:25	30°	100°	



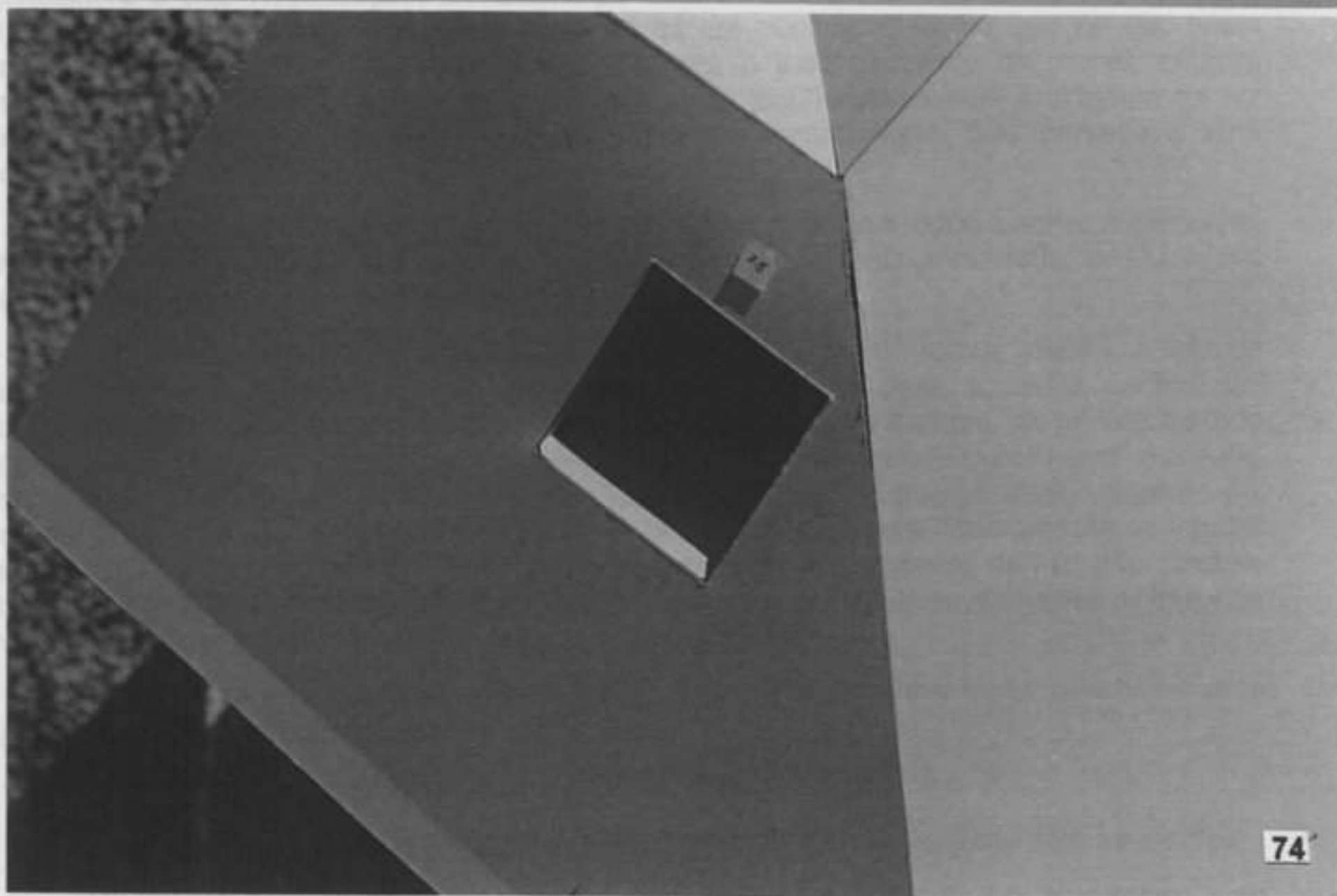
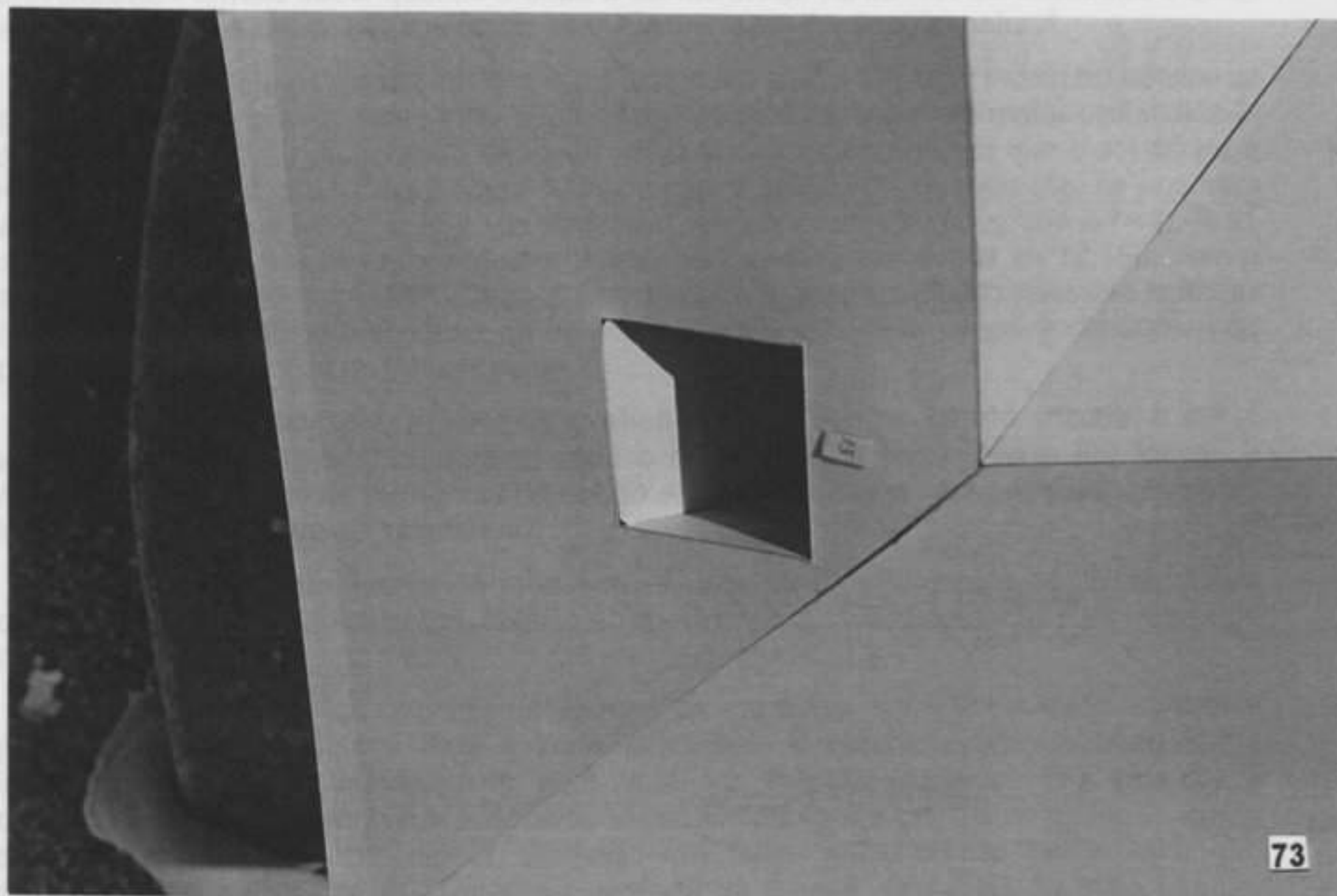
21 DE JANEIRO E 22 DE NOVEMBRO				
Fotografia n.º	Hora	Altitude do sol	Ângulo de incidência	Observações
COMPORTAMENTO DA LUZ NA CLARABÓIA				
73	12:45	30°	168°	
74	14:40	20°	140°	

NOTA: Considerei o ângulo de incidência positivo no sentido Oeste e negativo para Este.



### 2.2.1 Construção da observação

A observação da maquete em condições de iluminação natural trouxe resultados interessantes. Primeiro, sabe-se quando e onde o sol irá incidir na fachada, e qual



### 3.2.1 Conclusões da observação

A observação da maqueta em condições de iluminação natural trouxe resultados proveitosos. Permitiu saber quando e onde o sol iria incidir no interior da clarabóia, e quais as consequências desse facto, e testar os dispositivos de iluminação natural.

De facto, durante os meses em que o sol está mais alto, a luz solar incide no interior da clarabóia durante praticamente todo o dia. O registo da incidência em maior profundidade ocorreu na simulação do solstício de verão. Esta é a altura do ano em que o sol atinge a maior altitude e em que há mais horas de insolação. É às 10:00h, quando este se encontra a 60° de altitude e a -113°, que a sua incidência é mais profunda (fotografia n.º 49). A 21 de Maio / 24 de Julho foi registada uma incidência quase tão profunda às 12:15h, com o sol a 60° de altitude e a -123°. Embora este chegue a atingir altitudes bastante maiores (aprox. 71° às 12:00h no solstício de verão), o ângulo com que chega à clarabóia não permite a sua incidência no interior desta.

Foi curioso verificar que, a partir do momento que atinge os 10° de altitude, o sol já incide na clarabóia. Portanto, durante todo o ano e praticamente todo o dia (desde o nascer ao pôr do sol), há incidência do sol no seu interior. No entanto, o comportamento lumínico desta manteve-se satisfatório.

Nas observações do interior da maqueta, estudou-se a performance dos sistemas de controle da iluminação natural. A clarabóia foi observada individualmente e em conjunto com as janelas.

Verificou-se que a luz proveniente apenas da clarabóia tinha intensidade suficiente para iluminar o Retábulo e toda a zona adjacente. O resultado era de certa forma imponente pois este destacava-se com uma luz límpida, celestial. No entanto, a quantidade de luz que atingia a parte superior do Retábulo era um pouco maior do que a que chegava à sua parte inferior, surgindo um brilho mais intenso nesta zona que dificultava a sua visualização. Durante o período da manhã este facto foi mais notório, talvez pelo carácter mais límpido e "branco" da luz matinal. O brilho que se via, nesta altura do dia, encontrava-se mais deslocado para o lado esquerdo do painel, embora sempre na sua zona superior e central. Este facto justificava-se pela incidência da luz solar no interior da clarabóia, precisamente desse mesmo lado, que provocava uma reflexão mais intensa.

No período da tarde já não era tão significativo o brilho na zona central superior do Retábulo, sendo quase imperceptível. A tonalidade da luz, mais amarelada, produziu um efeito mais homogéneo e confortável.

A abertura das janelas mostrou-se bastante proveitosa no período da manhã. A falta de uniformidade da luz proveniente da clarabóia (brilho na zona superior central) foi completamente esbatida quando se destaparam as janelas. No entanto, na parede do lado oposto a estas, surgiram manchas de luz, que foram eliminadas pelo uso de outro dispositivo de controle – a tela de linho. Este dispositivo revelou-se especialmente útil durante o período da tarde, pois havia alturas em que o sol incidia directamente no interior da sala. O uso da tela de linho era suficiente para eliminar os pontos de luz, difundindo-a de uma forma uniforme. De qualquer modo, a luz resultante talvez estivesse acima dos valores recomendados (tabela 5).

A performance dos sistemas de controle foi satisfatória, embora tenha que haver uma programação do seu funcionamento em conjunto:

- As telas devem ser usadas durante todo o dia.
- Durante o período da manhã deve-se usar a clarabóia em conjunto com as janelas.
- Durante o período da tarde devem ser medidos os níveis de luz pois talvez seja necessário fechar as janelas.



A aplicação de sistemas de controle nunca é um processo 100% previsível. Apenas com a experiência é possível por os sistemas a operar eficazmente. Os dispositivos a serem usados no Museu de Évora devem ser sujeitos a testes e observações durante um determinado período de tempo (o mínimo seria 1 ano, de forma a abranger as diversas situações previstas). Durante este período devem ser feitas medições da quantidade de luz, de forma a ser estabelecido um esquema operativo que coordene todos os dispositivos de controle da iluminação natural. Podem ser instalados dispositivos de regulação automáticos (no caso da tela e do fechamento das janelas), programados para entrarem em acção quando forem atingidos determinados níveis de iluminação. Dentro destes dispositivos deve estar incluída a iluminação artificial.

## 4. CONCLUSÕES

A iluminação natural é uma manifestação natural e imprevisível, sendo possível fazer previsões de sua ocorrência e nunca ter certeza. No entanto, o Homem foi criando métodos científicos que lhe permitem lidar com estes fatores de uma forma o mais certa possível. Uma das técnicas usadas na observação e registo sistemático destas manifestações naturais. A análise destas registo permite encontrar padrões de comportamento que se repetem repetidamente ao longo do tempo: variações sazonais, condições diárias (no caso dos países, por ex.) variações dependentes de outros fatores, etc. É então com estes padrões que se vai trabalhar e este é o tipo de previsibilidade que o Homem encontrou na Natureza.

O estudo da iluminação natural baseia-se em padrões pré-estabelecidos, e quantidade de luz disponível ao longo do dia e de ano e as variações diárias próprias das várias condições. A investigação técnica permite-me conhecer esses padrões e o comportamento da luz natural. A aplicação prática permite-me aplicar a esta relação com a arquitetura e fazer conclusões de que esta é uma área onde pouco se sabe, mas de grande valor.

A análise da iluminação natural do Museu de Évora permitiu chegar à conclusão de que não existem "fórmulas" para este tipo de estudo. É através da observação e registo que se obtém valores. A pesquisa bibliográfica é necessária para estabelecer e as observações do modelo foram os parâmetros para estabelecer este trabalho. No entanto, para que este estudo fosse completo, seria necessário acompanhar e perceber as condições próprias e fazer ajustes no local, o Museu de Évora.

A realização do estágio foi uma experiência muito enriquecedora. Não só permitiu ampliar os meus conhecimentos na área de iluminação natural, como foi a primeira vez que trabalhei num projeto real. Inicialmente este "contacto com a realidade" foi um pouco complicado por representar uma responsabilidade que nunca tinha experimentado. O apoio do orientador de estágio foi fundamental no desenvolvimento da autoconfiança e do estabelecimento de objetivos e estratégias.

Creio que a realização de um estágio no curso de Arquitectura é de importância vital. O arquiteto tem grandes responsabilidades para si, quer para si próprio. O curso por si só é completo e abrangente que seja mesmo a primeira vez a preparar para a vida profissional. Apenas o trabalho em atelier, sob a supervisão de um profissional mais experiente e a experiência prática de lidar com os vários aspectos que um projeto não está só a ser desenhado, podem completar o "curso" de um arquiteto.

Durante este estágio foram de grande importância com que me foi possível. No entanto, a escolha de um tema específico foi a estabelecer objetivos e a organização de muitos projetos. O trabalho em atelier, para diversidade de situações que abrange, por si só forma desafiador. Uma experiência com tanto tempo de pouco conhecimento. O estágio é, acima de tudo, um desafio e como tal deve ampliar os seus conhecimentos. Penso que, no futuro, os arquitetos devem ter mais oportunidades, imediatamente pela existência de um supervisor de estágio que seja docente no faculdade, de modo a não se desperdiçar e a proporcionar um trabalho eficaz.

#### 4. CONCLUSÕES

A iluminação natural é uma área complexa da arquitectura solar passiva. As manifestações naturais são incontrolláveis, sendo apenas possível fazer previsões da sua ocorrência e nunca dar certezas. No entanto o Homem foi criando métodos científicos que lhe permitiam lidar com estes factores de uma forma o mais certa possível. Uma das técnicas consiste na observação e registo sistemático destas manifestações naturais. A análise destes registos permite encontrar padrões de comportamento que se foram repetindo ao longo dos tempos: variações sazonais, ocorrência cíclicas (no caso dos sismos, por ex.), variações dependentes de outros factores, etc. É então com estes padrões que ele vai trabalhar, é este o tipo de previsibilidade que o Homem encontrou na Natureza.

O estudo da iluminação natural baseia-se em padrões pré estabelecidos: a quantidade de luz disponível ao longo do dia e do ano e as variações climáticas próprias das várias estações. A investigação teórica permitiu-me conhecer esses padrões e o comportamento da luz natural. A aplicação prática permitiu-me experienciar a sua relação com a arquitectura e tomar consciência de que esta é uma área ainda pouco explorada, mas de inegável valor.

A análise da iluminação natural do Museu de Évora permitiu chegar à conclusão de que não existem "fórmulas" para este tipo de estudo. É através da experiência e observação que se obtêm soluções. A pesquisa bibliográfica, a conversa com especialistas e as observações do modelo foram as componentes mais importantes deste trabalho. No entanto, para que este estudo fosse completo, seria necessário acompanhar a performance dos sistemas propostos e fazer ajustes no local, o Museu de Évora.

A realização do estágio foi uma experiência muito enriquecedora. Não só permitiu ampliar os meus conhecimentos na área da iluminação natural, como foi a primeira vez que trabalhei num projecto real. Inicialmente este "contacto com a realidade" foi um pouco assustador pois representava uma responsabilidade que nunca tinha experimentado. O apoio do orientador de estágio foi fundamental no desenvolvimento da autoconfiança e no estabelecimento de objectivos e estratégias.

Creio que a realização de um estágio no curso de Arquitectura é de importância vital. O arquitecto detém grandes responsabilidades para as quais deve estar preparado. O curso, por mais completo e abrangente que seja nunca é suficiente para o preparar para a vida profissional. Apenas o trabalho em atelier, sob a supervisão de um profissional mais experiente e a experiência prática de lidar com os vários aspectos que um projecto e/ou uma obra abrangem, podem completar o "curso" de um arquitecto.

Durante este estágio foram diversas as situações com que tive contacto. No entanto, a escolha de um tema ajudou-me a estabelecer objectivos e direccionar as minhas energias. O trabalho em atelier, pela diversidade de situações que abrange, pode-se tornar disperso. Uma experiência sem rumo torna-se pouco gratificante. O estagiário é, acima de tudo, um aluno e, como tal deve ampliar os seus conhecimentos. Penso que, no futuro, os estagiários devam ser mais apoiados, nomeadamente pela existência de um supervisor de estágio que seja docente na faculdade, de modo a não se dispersarem e a produzirem um trabalho efectivo.

## 5. BIBLIOGRAFIA

### 5. BIBLIOGRAFIA

- Programa JUCLE II (1990) - Daylight Europe - The Portuguese Monitoring Case Studies - Daylight Design of European Buildings, L.N.E.C., Lisboa
- Egan, David M. - *Concepts in Architectural Lighting*
- Cavaleiro, Luísa (1997) - *A arquitectura das vilas e a iluminação natural* - Caderno 12, L.N.E.C., Lisboa
- Programa THERMIE (1994) - Daylighting in Buildings - Directorate General for Energy, The European Commission, Dublin, Irlanda
- Programa THERMIE (1995) - Energy Efficient Lighting in Buildings - Directorate General for Energy, The European Commission, Windsor, Reino Unido

## 5. BIBLIOGRAFIA

- Programa JUOLE II (1996) - *Daylight Europe – The Portuguese Monitoring Case Studies* – Daylight Design of European Buildings, L.N.E.C., Lisboa
- Egan, David M. – *Concepts in Architectural Lighting*
- Carvalho, Licínio (1987) – *A envolvente dos edifícios e a iluminação natural* – Caderno 12, L.N.E.C., Lisboa
- Programa THERMIE (1994) – *Daylighting in Buildings* – Directorate-General for Energy, The European Commission, Dublin, Irlanda
- Programa THERMIE (1995) – *Energy Efficient Lighting in Buildings* – Directorate-General for Energy, The European Commission, Watford, Reino Unido

## 6. ANEXO I - CONFERÊNCIA SOBRE CONSERVAÇÃO PREVENTIVA

No passado de um encontro sobre conservação preventiva, do Instituto Canadense de Conservação de Museus, em 1979, em que este razão é por estar a trabalhar num projecto de um museu na, em conjunto com o orientador de estágio, o sr. Helena Ferreira, que decidiu participar.

### 6. ANEXO I – CONFERÊNCIA SOBRE CONSERVAÇÃO PREVENTIVA

O papel do arquitecto nas questões de conservação preventiva é extremamente importante. Na maior parte das vezes é ele quem coordena a execução das peças, o desenho dos suportes (vitrines, etc.), os sistemas de iluminação e a climatização. Como coordenador de uma equipa técnica e responsável pelo projecto, o arquitecto deve conhecer as questões técnicas específicas da área em que está a intervir. No caso dos museus, a natureza das peças expostas, exige que se tomem medidas concretas para a sua conservação. A conservação preventiva implica uma série de questões que é necessário equacionar na elaboração de um museu. As soluções a adoptar são parte de uma estratégia global cujo suporte é a arquitectura.

As questões relativas à iluminação também foram abordadas neste encontro. Stefan Michael dedicou grande parte dos seus estudos e trabalhos a este assunto, tendo as suas ideias servido de base para as normas canadianas de iluminação. Foi em questão os níveis de iluminação rígidos que estavam em vigor desde os anos 70, estabelecendo critérios de gestão de luz que visavam controlar os danos causados por radiação ultravioleta e infravermelha, bem como a temperatura dos objectos.

No seu discurso, Stefan Michael, pôs também em causa os valores de humidade relativa, recomendando não só níveis mais baixos, mas também a sua manutenção constante. A conservação preventiva é uma disciplina que exige uma abordagem multidisciplinar, sendo necessário estabelecer uma ligação estreita entre os diferentes sectores envolvidos, desde o planeamento à execução, passando pela avaliação dos resultados.

A participação neste encontro representou para muitas instituições importantes a elaboração de museus. Juntamente com outros colegas portugueses, a Susana Siqueira, teve a oportunidade de participar de uma forma activa, expondo um vasto conjunto de experiências de conservação, relacionadas com a Museu de Évora.

#### Conservação preventiva

A conservação preventiva é uma estratégia de intervenção que se divide em três fases: a identificação dos agentes de deterioração, as várias etapas que se têm que cumprir para o seu controlo e os meios disponíveis para a fazer.

Os principais agentes de deterioração de peças nos museus são:

1. Fuga física directa
2. Vandalismo
3. Incêndios
4. Água (infiltrações, humidade, etc.)
5. Piagas

## 6. ANEXO I - CONFERÊNCIA SOBRE CONSERVAÇÃO PREVENTIVA

No passado dia 22 de Junho de 1998, teve lugar no Museu Nacional de Arqueologia um encontro sobre conservação preventiva. O orador convidado foi Stefan Michalski, do Instituto Canadano de Conservação. Este encontro destinava-se principalmente a conservadores de museus, embora as questões abordadas estivessem, na sua maioria, ligadas à arquitectura. Por esta razão e por estar a trabalhar num projecto de um museu foi, em conjunto com o orientador de estágio, o arq. Hestnes Ferreira, que decidi participar.

O papel do arquitecto nas questões da conservação preventiva é extremamente importante. Na maior parte das vezes é ele quem coordena a exposição das peças, o desenho dos suportes (vitrines, etc.), os sistemas de iluminação e a climatização. Como coordenador de uma equipa técnica e responsável pelo projecto, o arquitecto deve conhecer as questões técnicas específicas da área em que está a intervir. No caso dos museus, a natureza das peças expostas, exige que se tomem medidas concretas para a sua boa conservação. A conservação preventiva engloba uma série de questões que é necessário equacionar na elaboração de um museu. As soluções a adoptar são parte de uma estrutura global cujo suporte é a arquitectura.

As questões relativas à iluminação também foram abordadas neste encontro. Stefan Michalski dedicou grande parte dos seus estudos a esta problemática, sendo as suas teorias a base para as normas canadianas de iluminação. Pôs em questão os níveis de iluminância rígidos que estavam em vigor desde os anos 70, estabelecendo critérios de gestão de luz fundamentados em dados cientificamente comprovados que tinham como princípio o controle da degradação dos objectos.

No seu discurso, Stefan Michalski, põe também em causa os valores de humidade relativa, recomendados até então, demonstrando que a sua origem nada tem a ver com critérios de conservação. O desenho de vitrines também é uma das suas especialidades, tendo feito um longo estudo sobre estanquidade em geral, que questiona os dados empíricos, propondo uma abordagem mais rigorosa na sua construção.

A participação neste encontro despertou-me para questões importantes relativas à elaboração de museus. Juntamente com outra colega estagiária, a Susana Sequeira, tive a oportunidade de participar de uma forma activa, expondo um caso concreto de necessidades de conservação, relacionado com o Museu de Évora.

### Conservação preventiva

A conservação preventiva é uma estratégia de intervenção que se divide em três fases: a identificação dos agentes de deterioração, as várias etapas que se têm que cumprir para o seu controle e os meios disponíveis para o fazer.

Os principais agentes de deterioração de peças nos museus são:

1. Força física directa
2. Vandalismo
3. Incêndios
4. Água (infiltrações, limpeza, etc.)
5. Pragas

6. Contaminantes (poluição, sais)
7. Radiação (luz, raios U.V.)
8. Temperatura incorrecta
9. Humidade relativa incorrecta

Sendo os dois últimos variáveis conforme o tipo de artefacto em questão. De qualquer modo os maiores danos ocorrentes são resultado do manuseamento descuidado das peças.

As etapas para o controle dos agentes de deterioração são:

- 1º - Evitar
- 2º - Bloquear
- 3º - Detectar (inspecções regulares)
- 4º - Responder (logo que se detectam problemas)
- 5º - Recuperar (quando as outras etapas falham)

Deve haver um plano de intervenção e de resposta pré-estabelecido na manutenção do museu.

Os meios a serem utilizados variam de acordo com os agentes em questão e a etapa a cumprir. Assim, para cada agente, irei fazer uma descrição sumaria das etapas e meios de controle.

#### 1. Força física directa

##### 1º - Evitar

- Sismos - não são evitáveis
- Excesso de pessoas

##### 2º - Bloquear

- Colocar barras nas prateleiras para os objectos não caírem
- Controle do transporte (colocação de detectores de vibração nas embalagens)
- Controle das vibrações provocadas pelos passos pela colocação de tapetes

##### 3º - Detectar

- O pessoal de segurança é o mais indicado para a detecção de problemas, para além de ser o responsável pelo controle e prevenção do vandalismo.

##### 4º - Responder

- Deve ser constituída uma equipa técnica que tenha uma participação activa

#### 2. Vandalismo / roubo

##### 2º - Bloquear

- Com o uso de vitrines
- A própria arquitectura deve evitar recantos críticos que propiciem estas acções
- Colocação de pessoal de segurança especializado

##### 3º - Detectar

- Utilização de alarmes
- Catalogação dos objectos para detectar eventuais faltas



#### 4º - Responder

- Verificação sistemática dos catálogos

### 3. Incêndios

#### 1º - Evitar

- A maior parte dos incêndios são fogo posto
- Acidentes com o sistema de iluminação – focos de luz perto de objectos inflamáveis
- Televisões, projectores de slides, etc. em compartimentos potencialmente inflamáveis com o calor

#### 2º - Bloquear

- Compartimentação corta-fogo

#### 4º - Responder

- Colocação de extintores em locais bem visíveis e acessíveis (este aspecto deve ser considerado na montagem da exposição)

### 4. Água

#### 1º - Evitar

- Em locais com possibilidades de inundação deve haver um plano de emergência e não devem ser colocados objectos junto ao chão
- Infiltrações por capilaridade – humidade ascendente
- Evitar coberturas planas. Deve-se ter especial atenção ao escoamento das águas nas coberturas
- As drenagens e os anti-fungos não são soluções para o problema. Deve-se procurar a causa da infiltração
- As águas dos pátios devem ser bem escoadas de forma a não haver acumulações junto a elementos arquitectónicos, pois a humidade pode ascender por capilaridade
- As limpezas dos pavimentos com água pode originar problemas
- As clarabóias são potenciais locais de infiltração de água. As diferenças de temperatura entre o interior e exterior podem dar origem a condensações no interior das clarabóias, pingando água.

#### 2º - Bloquear

- Coberturas bem feitas e solos bem drenados

#### 3º - Detectar

- Procurar infiltrações não só no edifício como nos objectos

#### 4º - Responder

- Detectar a origem das infiltrações

### 5. Pragas

#### 1º - Evitar

- Redução do Habitat – evitar locais e ambientes em que os insectos possam habitar ou desenvolver (comida, sujidade, recantos difíceis de limpar)

- Comer dentro do museu pode deixar resíduos (migalhas) dos quais os insectos se alimentam

#### 2º - Bloquear

- Definição de um perímetro sanitário (um insecto passa por um buraco com 0,3 mm)
- Fendas e alhetas nos rodapés devem ser vedadas com pó anti-insecto que não seja prejudicial para a saúde do Homem
- Controle das vibrações provocadas pelos passos pela colocação de tapetes
- Detalhes de construção – paredes, portas, pavimentos, janelas, etc. estanques

#### 3º - Detectar

- O pessoal de segurança é o mais indicado para a detecção de problemas, devendo procurar detectar pragas
- Há "armadilhas pegajosas" que se destinam ao controle da população de insectos, detectando aumentos ou reduções desta.

#### 4º - Responder

- Controle térmico – a  $-30^{\circ}\text{C}$  nenhum insecto sobrevive
- Fumigação controlada da atmosfera com dióxido de carbono (não danifica as peças)

### 6. Contaminantes

#### 1º - Evitar

- Poluição e poeiras
- Tintas e materiais usados podem libertar contaminantes incompatíveis com os artefactos expostos

#### 2º - Bloquear

- Usar vitrines

Em relação à radiação, temperatura e humidade relativa incorrecta os meios de controle não são tão simples. As características dos materiais expostos são determinantes no estabelecimento dos seus valores ideais.

Em relação à temperatura, o mais importante não é o seu valor efectivo mas sim as flutuações que originam compressões e dilatações nos materiais, dando origem a fendas (no caso da pedra, por ex.). Do mesmo modo o seu valor não deve ser muito elevado, até por razões de conforto ambiental.

A radiação, nomeadamente os raios ultravioleta e a luz excessiva, causa danos principalmente em objectos coloridos, "comendo" as suas cores. Não é apenas a luz natural que danifica os objectos. A luz eléctrica também produz estragos, esbatendo as cores. As lâmpadas fluorescentes são as que causam mais danos, bem como níveis de luz muito elevados. Este esbatimento, na maioria dos casos, não é uniforme, alterando os padrões cromáticos e o significado do objecto. De um modo geral, toda a luz é um potencial agente de degradação. O problema reside no facto de haver cores muito sensíveis à luz, que desaparecem com muita facilidade. A conservação ideal residiria então na ausência total de luz, privando-nos da observação dos artefactos. Como isso não é desejável, há que chegar a um compromisso entre o quanto se quer exhibir e o quanto se pode permitir degradar, pois a degradação é um facto natural inevitável. Para isso há que analisar os objectos e determinar quais os níveis de luz que nos permitem visualizá-los com um mínimo de degradação possível. O nível de visualização também deve ser equacionado pois, como se viu no trabalho apresentado, os níveis de luz em que um jovem e um idoso vêm bem são diferentes, bem

como os níveis de luz necessários para se apreender a totalidade de um objecto ou para o ver ao pormenor.

As cores e o tipo de pigmentação utilizados são determinantes para se saber qual o nível da degradação que a luz pode provocar. As cores encarnadas, magentas e sépias são as primeiras a ser destruídas, sendo o indigo (tom de azul) a tinta natural mais resistente. As cores minerais, por sua vez, são muito mais resistentes que as orgânicas. Quando uma cor é sensível à luz, a utilização de filtros ultravioleta não faz muita diferença pois é a própria luz visível que destrói a cor. Isto não significa que o seu papel não seja importante. Os raios ultravioletas tornam os materiais e as cores amareladas, danificando bastante a maioria das madeiras pois as suas cores são muito "fugitivas" (o que não acontece com a luz visível).

Se forem bem controladas, as oscilações na iluminância não representam danos maiores para os objectos. Dentro de um determinado nível de luz a degradação produzida não aumenta com pequenas variações.

Em relação à humidade relativa as oscilações podem ser uma causa de degradação. A humidade relativa incorrecta surge por quatro razões diferentes:

1. humidade superior a 70% HR
2. superior ou inferior a um valor crítico
3. superior a 0% HR, no caso de arquivos, fotografias, fitas magnéticas, etc
4. flutuações

O valor normal da humidade relativa é de HR > 50%, embora em alguns casos este nível seja prejudicial (ponto 3). No caso da pintura, por exemplo, a velocidade de degradação aumenta para o dobro entre 50% HR e 75% HR.

O principal agente de degradação que surge com a humidade é o bolor. No entanto, abaixo de 65% HR é quase impossível o seu desenvolvimento. Se o material for sensível, acima de 30°C e com 65 a 70% HR o risco é muito maior. Uma das formas de evitar bolor consiste no aumento da temperatura de forma a diminuir a humidade relativa. Outro método de bloqueio é a limpeza cuidadosa dos artefactos. Os textéis, por exemplo, são extremamente resistentes à humidade se estiverem bem limpos. Se tiverem resíduos orgânicos, em 24 horas a 98% HR desenvolve-se o bolor.

As variações da humidade relativa são também agentes de degradação. Há valores críticos (mínimos e máximos) que não devem ser ultrapassados. No caso da pintura não se deve exceder os 50% HR, nos arquivos de papel, fotografias ou fitas magnéticas os 0% e, no caso de ossos e dentes encontrados em escavações arqueológicas, nunca se deve ir abaixo dos 50% HR, sendo o valor ideal de conservação 100% HR.

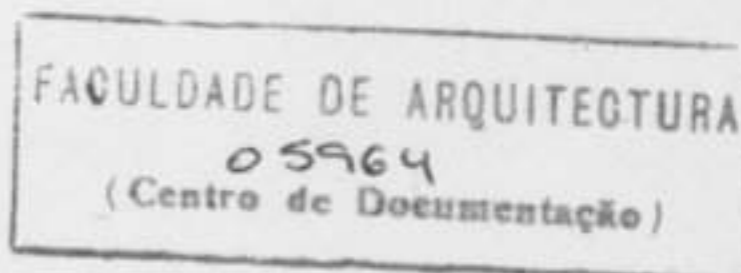
Nos objectos de madeira as variações de humidade criam dilatações e compressões do material. No entanto estas variações são relativamente naturais pois estes objectos sempre estiveram sujeitos a elas. Há então que lhes permitir uma certa liberdade para se expandirem e comprimirem. Muitas vezes a causa de degradação é a repressão destes movimentos (pelo fecho de uma fenda natural durante o período de dilatação, por ex.) que leva frequentemente ao seu fendilhamento. Muitas pinturas antigas são feitas sobre painéis de madeira, havendo fissuras na tinta no sentido perpendicular ao veio da madeira, por causa das suas oscilações.

A humidade relativa varia de três formas: verão/inverno, noite/dia e chuva/sol. Nos museus, a melhor forma de evitar estas oscilações é a climatização ou o isolamento das peças. Molduras bem seladas e vitrines bem construídas conservam no seu interior níveis de humidade constantes, uma espécie de micro-clima. Uma das formas de controlar estes níveis consiste em injectar ar com a humidade relativa desejada para o seu interior. Do mesmo modo podem-se isolar compartimentos inteiros, controlando o seu ambiente com sistemas mecanizados. Esta solução, no entanto, apenas se deve aplicar em edifícios em que não seja possível uma intervenção generalizada.

O controle dos níveis de humidade relativa faz-se conjugando aquecedores com humidificadores e desumidificadores. Os últimos podem ser fontes de bactérias e bolores, pelo que devem ser limpos e esterilizados com frequência. Quando se climatiza uma sala, a verificação dos níveis deve ser feita perto do ar condicionado pois junto ao pavimento ou a janelas as condições podem variar ligeiramente.

A conservação preventiva deve fazer parte integrante de um projecto. O tempo é o maior aliado do arquitecto ou conservador. O projecto deve ser faseado e as soluções bem equacionadas e verificadas. Há uma série de problemas que apenas são detectáveis a longo prazo e que só um bom planeamento pode prevenir. A constituição de uma equipa técnica com profissionais das diversas áreas e o constante diálogo com as instituições, após a conclusão da obra, são essenciais para o seu bom funcionamento.

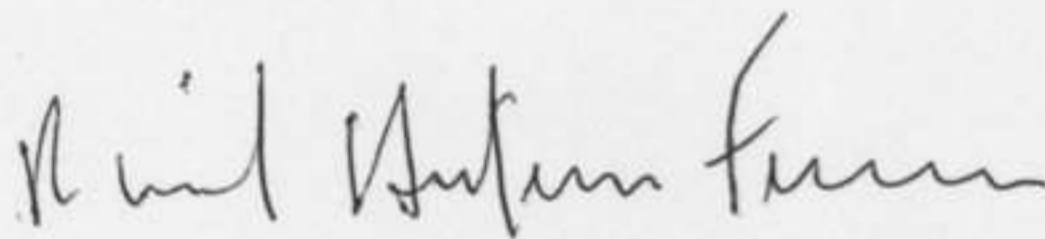
A participação de duas futuras arquitectas neste encontro sensibilizou todos os presentes para a necessidade de trabalhar em equipa. Durante a conferência o arquitecto foi muitas vezes designado como o "inimigo" para a conservação preventiva. Do mesmo modo, os arquitectos, vêm muitas vezes este tipo de problemas como um entrave à sua capacidade criativa. Apenas a compreensão mútua e o diálogo entre o arquitecto e o conservador podem levar a soluções eficazes, tanto do ponto de vista arquitectónico como da conservação preventiva.



## DECLARAÇÃO

Declaro que Patrícia, Miranda Rodrigues de Teves Costa, após conclusão do Plano de Estudos em *Arquitectura* na Faculdade de Arquitectura de Lisboa, efectuou um estágio neste Atelier entre Fevereiro e Julho do presente ano, sob minha orientação, abordando o tema "*Iluminação Natural na Arquitectura*", sob o ponto de vista teórico e prático, tendo cumprido os objectivos propostos.

Lisboa, 28 de Setembro de 1998



Raúl Hestnes Ferreira

