



2.º ENCONTRO NACIONAL SOBRE QUALIDADE E INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO

QIC2016

Lisboa • LNEC • 21 a 23 de novembro de 2016

O PAPEL DOS DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO NO CONTROLO E NA MODELAÇÃO DA LUZ NATURAL NOS EDIFÍCIOS

António Santos

PhD, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), asantos@lnec.pt

Resumo

A necessidade de os dispositivos de sombreamento poderem ter de desempenhar simultaneamente várias funções, pode colocar vários problemas de compatibilização e de articulação, potencialmente conflituosos, em particular no que diz respeito ao controlo dos ganhos solares e ao controlo e modelação da luz natural. Com a presente comunicação analisam-se algumas metodologias que permitem a potenciação do desempenho lumínico dos dispositivos de sombreamento, e apresentam-se novas abordagens de caracterização que tomam em consideração a influência dos ocupantes no desempenho final das condições de iluminação natural. Apresentam-se ainda os resultados de caracterizações *“in situ”* que incluíram a avaliação objetiva e subjetiva dos efeitos dos sombreamentos no conforto visual dos ocupantes.

Palavras-chave: Iluminação natural, Dispositivos de Sombreamento, Conforto Visual, Eficiência Energética

Introdução

A iluminação natural é inquestionavelmente um dos aspetos fundamentais do conforto ambiental nos edifícios e também um dos fatores que mais pode contribuir para a sua eficiência energética, quando adequadamente captada e distribuída para os espaços interiores. Para além de proporcionar um requisito funcional basilar, ao garantir as condições necessárias para a visão e conseqüentemente para os ocupantes poderem desempenhar as suas atividades visuais, têm vindo a ser demonstrados vários benefícios adicionais que o uso da luz natural possui na saúde e bem-estar dos indivíduos (CEN, 2011), benefícios estes que não são habitualmente tidos em consideração nas abordagens mais tradicionais do projeto de iluminação natural nos edifícios.

A influência que os dispositivos de sombreamento podem exercer nas condições interiores ambientais e nos consumos energéticos nos edifícios pode ser significativa. De facto, os dispositivos de sombreamento podem ter de desempenhar várias funções, como sejam: i) a proteção contra os ganhos solares excessivos, ii) o controlo e modelação da iluminação natural, iii) a minimização do encandeamento, iv) a possibilidade de obscurecimento e de ocultação, v) a garantia de privacidade, e vi) a possibilidade de contacto visual com o ambiente exterior, entre outras (Santos, 2014).

A necessidade de os dispositivos de sombreamento poderem ter de desempenhar simultaneamente várias funções, pode colocar vários problemas de compatibilização e de articulação, potencialmente conflituosos, em particular no que diz respeito ao controlo dos ganhos solares e ao controlo e modelação da luz natural. Nas regiões do Sul da Europa a disponibilidade anual da radiação solar é elevada, o que origina estações de arrefecimento quentes, secas e longas. Nestas regiões, a necessidade de proteção solar é preponderante mas, frequentemente, essa preponderância reflete-se negativamente nas condições interiores de iluminação natural, mediante a diminuição acentuada dos níveis de luz natural como consequência direta da utilização de dispositivos de proteção solar pouco eficientes no controlo e aproveitamento dessa luz natural.

Um dos aspetos fundamentais de qualquer metodologia que pretenda contribuir para uma caracterização dinâmica e realista das condições de iluminação natural nos edifícios deve tomar em consideração os efeitos e, conseqüentemente as características dos dispositivos de sombreamento. De um modo geral, a eficácia luminosa dos dispositivos de sombreamento é efetuada mediante a transmitância luminosa ou visível (Tv) e mediante a medição/cálculo das condições de iluminação natural (iluminâncias) para diferentes condições de utilização dos diferentes tipos de dispositivos de sombreamento (no caso de eles serem ajustáveis). Essas condições de utilização devem incluir o estado de ativação dos sombreamentos, as condições de nebulosidade do céu, os diferentes períodos do dia e do ano e as condições mais subjetivas relacionadas com o modo os ocupantes dos edifícios interagem com esses sombreamentos através dos respetivos controlos, no caso de tal ser exequível (Gomes et al., 2014; Santos, 2011).

O cálculo das propriedades de transmissão da luz através de vãos com diferentes combinações de envidraçados e dispositivos de sombreamento, constitui um processo complexo, habitualmente efetuado com recurso a ferramentas de simulação bastante complexas que necessitam de recursos computacionais exigentes. Os métodos de cálculo mais simplificados, mas suficientemente rigorosos para uso nos domínios da caracterização da iluminação natural nos edifícios, carecem ainda de validação, que tem vindo a ser efetuada em laboratórios especializados com recurso a equipamentos também eles complexos e dispendiosos, existindo apenas cerca de três ou quatro, a nível mundial, com capacidade para tal. Neste sentido, face às dificuldades expostas, a caracterização “*in situ*” afigura-se como uma das possibilidades mais interessantes e eficazes para a caracterização, em termos luminosos, dos dispositivos de sombreamento. Todavia, a dependência das condições meteorológicas e climáticas, a dificuldade na execução de algumas das medições e a inexistência de metodologias e protocolos adequados e devidamente validados, têm contribuído para a limitação do recurso às técnicas de caracterização “*in situ*” dos dispositivos de sombreamento.

Referiu-se a influência das características dos dispositivos de sombreamento no desempenho dos edifícios tanto em termos de iluminação natural, como em termos térmicos e energéticos. Todavia, um outro fator afeta de modo determinante o desempenho energético e luminoso real e final de um edifício que disponha de sombreamentos ajustáveis com controlo manual (pelos ocupantes). Esse fator consiste no tipo de interação entre os ocupantes desses edifícios e os sombreamentos mediante

atuação dos respetivos sistemas de controlo. Atualmente, uma das principais linhas de investigação nos domínios do conforto ambiental e da eficiência energética nos edifícios consiste no desenvolvimento de modelos comportamentais que traduzam o modo como os ocupantes interagem com os sombreamentos (Reinhart et al, 2003, Santos, 2011). O desenvolvimento de tais modelos, devidamente validados, tem atualmente grande importância tanto ao nível do desenvolvimento de novos algoritmos comportamentais o mais realistas possível para incorporação em ferramentas de simulação energética complexas, como ao nível da satisfação e bem-estar dos ocupantes, permitindo desenvolver e instalar dispositivos de sombreamento que sejam, simultaneamente, eficazes e cujo desempenho vá de encontro às expectativas dos ocupantes.

Com a presente comunicação apresentam-se alguns resultados de uma metodologia integrada e interdisciplinar de caracterização que permite a potenciação do desempenho luminoso dos dispositivos de sombreamento. Apresentam-se novas abordagens de caracterização que tomam em consideração a influência dos ocupantes no desempenho final das condições de iluminação natural e no conforto visual dos indivíduos.

Metodologia

Aspetos gerais

O estudo efetuado teve como objetivo geral o desenvolvimento de uma metodologia de caracterização dinâmica das condições de iluminação natural *“in situ”* (Santos, 2011). Na presente comunicação apresentam-se alguns dos aspetos que se relacionam com os dispositivos de sombreamento, a sua caracterização e influência nas condições de iluminação reais nos edifícios. A metodologia utilizada incluiu: i) medições de iluminação *“in situ”*, ii) observações e levantamentos complementares, bem como, iii) a análise das respostas a um questionário de avaliação das condições individuais de iluminação em vários edifícios/espacos selecionados como casos de estudo.

Caracterização *“in-situ”* do ambiente luminoso incluindo o efeito de dispositivos de sombreamento

A transmitância difusa visível (ou luminosa - T_v) permite caracterizar o grau de atenuação da radiação visível causado por um determinado vão envidraçado (incluindo eventuais dispositivos de sombreamento). O método de medição de T_v para os envidraçados inclui uma medição de iluminância vertical na parte exterior do envidraçado da janela na direção do exterior. Uma segunda iluminância é medida, na parte interior do envidraçado na direção do exterior. A transmitância difusa visível (ou transmitância hemisférica-hemisférica) do envidraçado é dada pela expressão (1) em que E_{Vint} é a iluminância vertical medida pelo interior e E_{Vext} a iluminância vertical medida pelo exterior.

$$T_v = E_{Vint} / E_{Vext} \quad (1)$$

No caso da transmitância luminosa dos dispositivos de sombreamento o processo de medição dependerá do tipo de dispositivo, uma vez que, em termos genéricos é possível distinguir, para a maior parte desses dispositivos, uma componente direta e uma componente difusa da radiação visível transmitida (Santos, 2011). Todavia, no essencial, o método de medição de T_v para dispositivos de sombreamento ($T_{v-sombr.}$), consiste em medir as iluminâncias verticais num plano perpendicular à face dos vãos envidraçados (E_v) nas situações sem e com o dispositivo de sombreamento ativado, ou com diferentes *“graus de ativação”* (vd. eq. 2):

$$T_{v-sombr.} = E_{V \text{ com disp. sombr.}} / E_{V \text{ sem disp. sombr.}} \quad (2)$$

Para dispositivos de sombreamento do tipo estores venezianos com lâminas horizontais orientáveis, uma caracterização completa implica a medição com *“graus de ativação diferenciados”*, ou seja, para determinadas posições e orientações das lamelas. De um modo geral, para este tipo de sombreamentos as medições são efetuadas nas posições: i) estore completamente aberto; ii) estore fechado com lamelas na posição horizontal (inclinação das lamelas de 0°); iii) estore fechado com lamelas inclinadas a 45° e iv) estore completamente fechado (Figura 1 a). Adicionalmente, no caso de

estores do tipo veneziano de lamelas horizontais orientáveis é necessário que a medição das iluminâncias com o estore ativado seja efetuada em várias posições entre as lamelas (conforme ilustrado na Figura 1 b) para se minimizarem erros experimentais (Santos, 2011). No caso ilustrado o valor final de $E_{V2_com\ disp.\ de\ sombr.}$ será o valor médio das quatro medições de E_{V2} efetuadas.

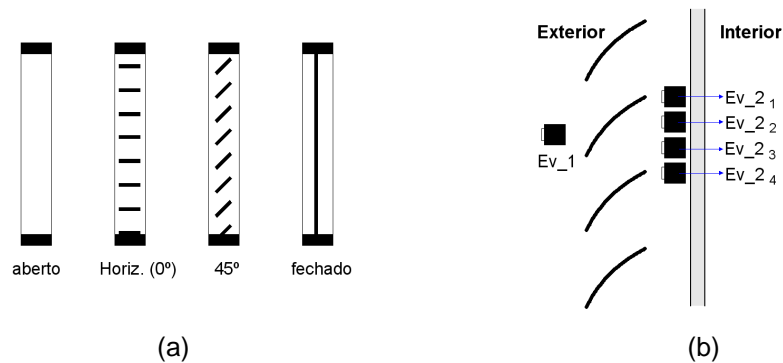


Figura 1: Ilustração da medição de T_v para dispositivos de sombreamento: a) condições-padrão das lamelas; b) localização dos sensores de iluminâncias para minimização dos erros experimentais

Para uma caracterização adequada do ambiente luminoso interior em compartimentos que disponham de dispositivos de sombreamento, é ainda necessário efetuar a medição de iluminâncias ao longo de uma malha de pontos num plano horizontal coincidente com o principal plano de trabalho. As medições devem ser efetuadas para todas as condições-padrão dos dispositivos de sombreamento (vd. Figura 2) e adicionalmente devem ser registados os valores das iluminâncias horizontais globais exteriores. Se houver possibilidade, as medições devem ainda ser complementadas com medições de iluminâncias verticais. Na Figura 2 ilustra-se um exemplo de um conjunto de medições num compartimento-tipo.

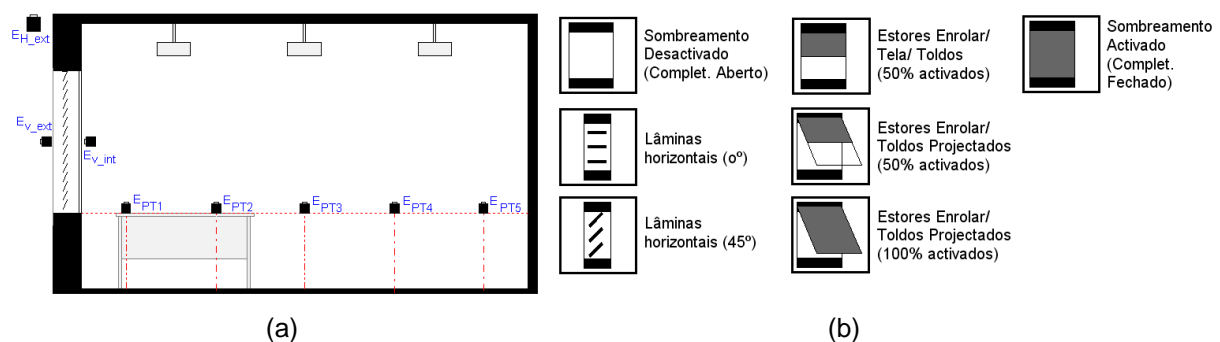


Figura 2: Ilustração das medições simplificadas para caracterização dos dispositivos de sombreamento “*in situ*” (a) e situações de ativação-tipo desses sombreamentos (b)

Aspetos subjetivos na caracterização do ambiente interior luminoso

Considera-se fundamental dispor de metodologias que possam ultrapassar algumas das limitações das abordagens tradicionais de análise do ambiente luminoso nos edifícios, recorrendo a uma abordagem interdisciplinar baseada no pressuposto de que as caracterizações objetivas dos ambientes luminosos interiores não possuem, por si só, a capacidade de captar a experiência sensorial subjetiva dos indivíduos, que por sua vez tem influência no desempenho real dos edifícios. Neste sentido, a inclusão de aspetos subjetivos como as perceções, expectativas e comportamentos dos ocupantes dos edifícios para com o ambiente luminoso e para com os dispositivos de sombreamento e respetivos sistemas de controlo de que dispõem, permitirá potenciar a capacidade

explicativa e de previsão das ferramentas de análise mais tradicionais. O objetivo geral do estudo que deu origem ao presente documento foi o de incluir os aspetos comportamentais num modelo geral de caracterização dinâmica das condições de iluminação natural nos edifícios. A metodologia utilizada incluiu a análise estatística das respostas a um inquérito formal por questionário de avaliação das condições individuais de iluminação em vários edifícios/espacos selecionados como casos de estudo. O inquérito formal foi ainda complementado por inquéritos informais, medições de iluminação *“in situ”*, observações e levantamentos complementares

A metodologia do estudo incluiu a realização de levantamentos (medições e observações) *“in situ”* e a inquirição dos ocupantes dos edifícios mediante resposta a um inquérito individual por questionário formal de avaliação pós-ocupação e mediante inquéritos e entrevistas informais.

O inquérito por questionário aplicado foi desenvolvido tendo como principal pressuposto um dos objetivos principais do estudo: conhecer e compreender as motivações e as preferências e as atitudes e os comportamentos dos inquiridos relativamente ao ambiente luminoso e aos sistemas de controlo ambiental disponíveis, de modo a poder ser possível estabelecer perfis de comportamento em função das variáveis de projeto mais relevantes.

O inquérito foi estruturado em sete grupos temáticos onde constam uma série de questões do tipo fechado, nas quais se apresentam opções de resposta que os inquiridos têm que selecionar de acordo com a sua opinião. Adicionalmente, incluíram-se questões abertas que permitem ao indivíduo escrever livremente a sua resposta sem restrições. As dimensões estruturadoras do inquérito estão identificadas no Quadro 1, onde se sintetizam os objetivos inerentes a cada uma das temáticas.

Quadro 1: Grupos temáticos subjacentes ao inquérito por questionário (Santos, 2011)

Grupo temático	Objetivos das questões / Observações
I. Local (de trabalho)	Conhecer as opiniões (expectativas/preferências e satisfação/insatisfação) dos ocupantes relativamente ao “ambiente geral” de que dispõem e quais os aspetos desse ambiente interior que mais valorizam
II. Condições de iluminação	Conhecer as opiniões acerca do ambiente luminoso interior (natural e artificial) no momento da realização do inquérito e também em termos gerais em função dos períodos do dia e das condições exteriores de nebulosidade
III. Vistas/Janelas	Conhecer a influência das vistas e do contacto visual com o exterior no conforto visual e no bem-estar geral dos ocupantes
IV. Sombreamentos e controlos	Conhecer e compreender os diversos fatores relacionados com os dispositivos de sombreamento que influenciam a satisfação com o ambiente luminoso e com as atitudes e comportamentos dos indivíduos para com esses dispositivos e seus sistemas de controlo, com influência nas condições de iluminação e no desempenho energético dos edifícios
V. Iluminação artificial e controlos	Conhecer e compreender os diversos fatores relacionados com os dispositivos de iluminação artificial com influência na satisfação com o ambiente luminoso e a influência das atitudes e comportamentos dos indivíduos para com esses dispositivos com influência nas condições de iluminação e no desempenho energético dos edifícios
VI. Ocupação e atividades	Conhecer os principais tipos de tarefas visuais efetuadas pelos indivíduos e a sua duração relativa
VII. Caracterização social da amostra	Conhecer as características sociográficas da amostra inquirida

Com o quarto grupo de questões pretendeu-se, como se referiu, conhecer os principais fatores relacionados com os dispositivos de sombreamento que influenciam a satisfação com o ambiente luminoso e ainda os comportamentos típicos de acionamento desses dispositivos de sombreamento, o modo como o seu controlo é efetuado, bem como o grau de satisfação com esses dispositivos e

respetivos controlos. As questões relacionadas com os dispositivos de sombreamento estão indicadas na Figura 3.

24. De seguida referem-se algumas das funções dos dispositivos de sombreamento nos edifícios. Assinale aquelas, que na sua opinião, são as **TRÊS** mais importantes. (escolha **APENAS 3 OPÇÕES**, assinalando de **1 a 3**, sendo **1 = mais importante e 3 = menos importante**)

<input type="checkbox"/> Protecção do calor proveniente do Sol	<input type="checkbox"/> Manutenção do contacto visual com o exterior
<input type="checkbox"/> Redução das necessidades de arrefecimento interiores	<input type="checkbox"/> Redução das perdas de calor no Inverno
<input type="checkbox"/> Controlo da luz natural nos espaços interiores	<input type="checkbox"/> Complemento estético do edifício
<input type="checkbox"/> Protecção contra o encandeamento provocado pelo Sol	<input type="checkbox"/> Obscurecimento total ou parcial dos espaços interiores
<input type="checkbox"/> Garantia da privacidade nos espaços interiores	<input type="checkbox"/> Outras (p.f. especifique qual(is);

25. A sua sala ou espaço de trabalho dispõe de dispositivos de sombreamento nas janelas?
 Sim Não Se respondeu **Não** vá para a questão **32**

Se respondeu **Sim**, de **quantos** dispositivos dispõe e de que **tipo** são? (selecione **todas** as opções que se aplicarem)

a. Exteriores	→	<input type="checkbox"/> Fixos	<input type="checkbox"/> Ajustáveis manualmente	<input type="checkbox"/> Ajustáveis automaticamente
b. Interiores	→	<input type="checkbox"/> Fixos	<input type="checkbox"/> Ajustáveis manualmente	<input type="checkbox"/> Ajustáveis automaticamente
c. Entre dois envidraçados	→	<input type="checkbox"/> Fixos	<input type="checkbox"/> Ajustáveis manualmente	<input type="checkbox"/> Ajustáveis automaticamente

26. De um modo geral, como qualificaria a **eficácia** global dos dispositivos de sombreamento de que dispõe?

	Muito eficazes	Eficazes	Medianamente eficazes	Pouco eficazes	Ineficazes
a. Exteriores	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Interiores	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. Entre dois envidraçados	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Se respondeu **Pouco eficazes** ou **Ineficazes**, quais as razões?

27. Se dispõe de dispositivos de sombreamento **ajustáveis**, tem possibilidade de os **controlar pessoalmente**?

Sim Não

Se respondeu **Não**, quais as razões? (selecione **todas** as opções que se aplicarem)

<input type="checkbox"/> Os dispositivos não são ajustáveis (são fixos)	<input type="checkbox"/> Os dispositivos de sombreamento estão avariados
<input type="checkbox"/> Os dispositivos são ajustados automaticamente	<input type="checkbox"/> O sistema de ajuste é demasiado difícil de usar
<input type="checkbox"/> Os dispositivos são ajustados por um responsável	<input type="checkbox"/> Outras razões:

Se respondeu **Sim**, quais as **razões** e em que **situações** os ajusta? (selecione **todas** as opções que se aplicarem)

	Céu Limpo		Céu Encoberto	
	de manhã	à tarde	de manhã	à tarde
a. Para evitar a entrada do Sol	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Para diminuir o encandeamento proveniente das janelas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. Para aumentar a iluminação natural no interior	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. Para diminuir a iluminação natural no interior	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e. Para diminuir o calor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g. Para controlar a visão para o exterior	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
h. Outras razões (p.f. especifique)				

28. Mesmo quando totalmente encerrados a claridade proveniente dos estores incomoda-o?

Sempre Frequentemente Às vezes Ocasionalmente Nunca

Se a sua resposta foi **afirmativa**, quando é que tal acontece?

29. Qual o **grau de importância** que atribui à possibilidade de poder **controlar** a quantidade de **luz natural** no seu compartimento (usando dispositivos de sombreamento)?

Muito importante Importante Moderadamente importante Pouco importante Não é importante

30. Qual o **grau de controlo** de que dispõe sobre a **luz natural** que chega à sua secretária?

Controlo Total Controlo parcial Controlo intermédio Controlo limitado Não tenho controlo

31. Qual o seu **grau de satisfação** com este grau de controlo?

Muito satisfeito Satisfeito Indiferente Insatisfeito Muito insatisfeito

Figura 3: Algumas das questões do inquérito relacionadas com os dispositivos de sombreamento, e o modo de atuação por parte dos ocupantes (Santos, 2011)

Resultados e Discussão

Aspetos gerais

É frequente encontrar edifícios com desempenhos de iluminação natural e energético, substancialmente diferentes daqueles que foram previstos na fase de projeto. De um modo geral, as diferenças encontradas são tendencialmente penalizadoras, tanto para as condições de iluminação natural interiores, como para o desempenho energético global do edifício e, em particular, para os consumos potencialmente desnecessários em energia elétrica para iluminação. Uma das principais razões para a existência das mencionadas “diferenças penalizadoras” reside no facto de os ocupantes interagirem com os sistemas de controlo ambiental interiores de que dispõem (e em particular com os dispositivos de sombreamento e com a iluminação artificial) de um modo que, regra geral, não é conhecido ou previsível. Os aspetos comportamentais relacionados com os dispositivos de sombreamento que a seguir se apresentam, pretende tipificar as preferências e os comportamentos dos indivíduos relativamente ao ambiente luminoso, de modo a que essas preferências e comportamentos possam ser incorporados em modelos de previsão de desempenho da iluminação natural tornando-os mais realistas e, conseqüentemente, mais rigorosos.

A informação necessária para o desenvolvimento do modelo comportamental consistiu num inquérito por questionário, medições “*in situ*” e observações e caracterizações complementares. Esta informação serviu de base à criação de variáveis subjetivas (respostas ao inquérito) e a variáveis objetivas (medições, observações e parâmetros e índices de desempenho objetivos) que foram posteriormente incorporadas num modelo final obtido mediante análise estatística (Santos, 2011). Um dos principais aspetos do presente estudo consiste em apresentar perfis comportamentais-tipo (ou seja, características-tipo definidas em função das características funcionais dos espaços, e das condições de iluminação) relativos à atuação dos dispositivos de sombreamento que influenciam diretamente as condições de iluminação natural finais e os consumos em energia elétrica de iluminação.

Foram inquiridos cerca de 600 indivíduos (54% mulheres e 47% homens) com idades compreendidas os 18 e mais de 50 anos. Os inquiridos encontravam-se distribuídos por 13 edifícios, classificados em três tipos: multifuncional (46,4%), escritórios (28,3%) e ensino (25,3%). Quase 75% ocupam compartimentos partilhados com outras pessoas, enquanto os restantes estão localizados em compartimentos individuais.

Caracterização objetiva do efeito dos dispositivos de sombreamento

Como se referiu anteriormente, simultaneamente com a resposta aos inquéritos foi efetuada uma avaliação quantitativa do ambiente luminoso, que inclui um conjunto mínimo de medições e observações, nomeadamente: i) as condições meteorológicas; ii) o estado de ativação dos dispositivos de sombreamento; iii) o estado de ativação do sistema de iluminação artificial; iv) as iluminâncias no plano dos ecrãs de computador; as iluminâncias verticais em quatro direções perpendiculares entre si e as iluminância horizontais globais exteriores simultânea. Em espaços representativos dos edifícios foi efetuado um conjunto mais alargado de medições, observações e caracterizações complementares, seguindo um protocolo previamente definido e devidamente validado (Santos, 2002), sob diferentes condições de nebulosidade (céu limpo e encoberto) e diferentes condições e estados de ativação dos dispositivos de sombreamento ajustáveis. Este conjunto de medições permitiu uma caracterização objetiva e quantitativa completa dos espaços dos edifícios onde foram realizados os inquéritos permitido, deste modo, estabelecer correlações entre os aspetos subjetivos e objetivos do ambiente luminoso (Santos, 2011).

Os edifícios selecionados como casos de estudo dispunham dos seguintes tipos de sombreamentos: i) estores interiores de lâminas horizontais ajustáveis (4 edifícios); ii) estores exteriores de lâminas horizontais ajustáveis (2); iii) estores exteriores de enrolar (2); iv) estores exteriores de enrolar projetáveis (2); v) estores de lâminas horizontais ajustáveis intercalares (2); vi) estores interiores de lamelas verticais de tela translúcidas (1); vii) estores interiores de tela perfurada de enrolar e viii) estores intercalares de tela perfurada de enrolar.

Na Figura 4 apresenta-se um exemplo das caracterizações efetuadas num dos edifícios com a indicação dos perfis de iluminância (lux) ao longo do plano de trabalho em dois compartimentos

diferentes ao meio dia solar no equinócio de março e no solstício de junho, sob condições de céu limpo. As iluminâncias foram medidas com os estores interiores de lâminas horizontais ajustáveis em diferentes estados de ativação, conforme indicado na legenda dos perfis. Na Figura 4 os símbolos ☀ e ☀ indicam que nos pontos de medição há incidência da radiação solar direta e não representam os valores das iluminâncias nesses pontos.

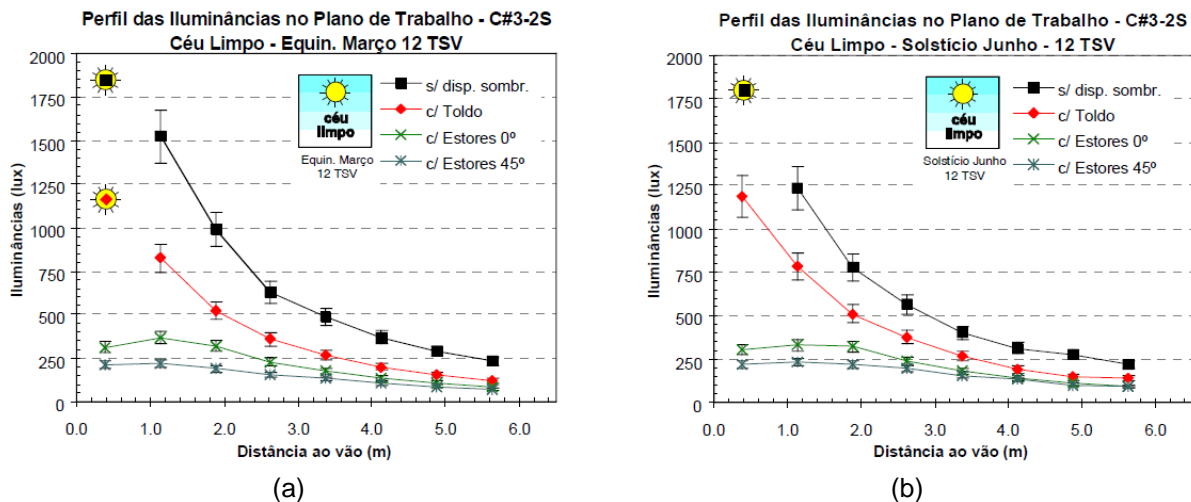


Figura 4: Perfis das Iluminâncias medidas ao meio-dia solar num período próximo do Equinócio de março (a) e num período próximo do Solstício de junho (b)

Foram ainda medidas as transmitâncias luminosas (T_v) dos dispositivos de sombreamento existentes no para diferentes estados de ativação. Os resultados obtidos estão indicados no Quadro 2.

Quadro 2: Propriedades dos dispositivos de sombreamento no edifício #1

Vãos Envidraçados	Cor	Textura/aparência	Estado	T_v
Estores interiores de lâminas (0°) (lâminas horizontais)	Bege	Metálica, semimate	Sujo	41 %
Estores interiores de lâminas (45°)	Bege	Metálica, semimate	Sujo	21 %
Estores interiores de lâminas (90°) (estore fechado)	Bege	Metálica, semimate	Sujo	7 %
Toldos Exteriores Projetados	Amarelo	Plástico; semiopaco	Sujo	55%

Da Figura 4 e do Quadro 2 é possível observar os efeitos de “atenuação e modelação” da luz natural que diferentes estados de ativação de diferentes tipos de sombreamento introduzem no ambiente luminoso interior.

Na Figura 5 ilustram-se alguns dos dispositivos de sombreamento existentes nos edifícios onde foi efetuado o estudo e que foram objeto de caracterização “*in situ*” em condições reais de funcionamento tanto nos seus aspetos objectivos (quantitativos) como nos aspetos subjetivos, relacionados com as preferências, satisfação e comportamentos dos ocupantes, para com esses dispositivos e para com os sistemas de controlo a eles associados.



Figura 5: Ilustração de alguns dos dispositivos de sombreamento caracterizados “*in situ*” em condições reais de funcionamento, no âmbito do estudo

Caracterização subjetiva do efeito dos dispositivos de sombreamento

Os resultados da análise do questionário, dos inquéritos simplificados, das observações e das caracterizações quantitativas “*in situ*”, permitiram obter resultados relevantes relacionados com as preferências, satisfação, atitudes e comportamentos dos ocupantes dos edifícios para com os dispositivos de sombreamento ajustáveis e respetivos sistemas de controlo desses dispositivos. Seguidamente abordam-se alguns dos resultados obtidos mais significativos.

Um dos aspetos que ressalta do estudo é a importância que os indivíduos dão à luz natural como elemento de conforto e bem-estar num espaço interior. Entre uma variedade de fatores apresentados como passíveis de tornar um local de trabalho como agradável e confortável, a luz natural surge como um dos mais referidos, a par da temperatura, conforme ilustrado na Figura 6 (resposta múltipla).

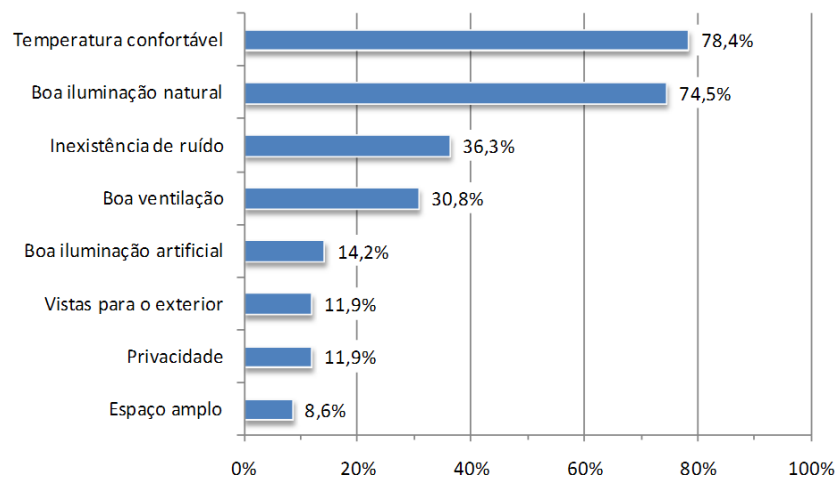


Figura 6: Principais fatores ambientais que contribuem para tornar um local agradável

Adicionalmente, e contrariamente ao esperado, os indivíduos inquiridos identificam claramente as principais funções dos dispositivos de sombreamento, incluindo o controlo da luz natural e a proteção contra o encandeamento para além da “previsível” “proteção contra o calor” (Figura 7). De facto, o que a Figura 7 traduz é o facto de os inquiridos compreenderem que os dispositivos de sombreamento desempenham várias funções para além da de proteção solar.

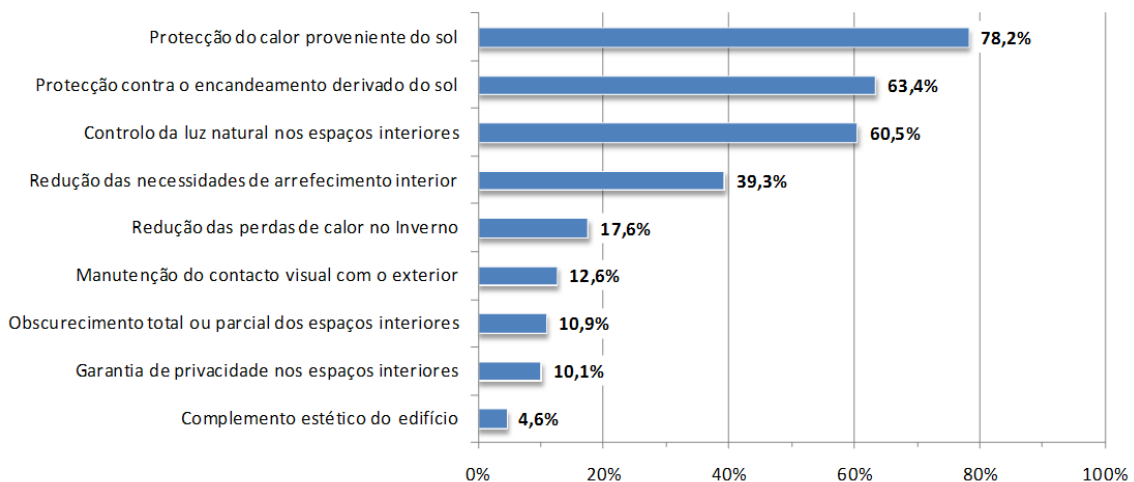


Figura 7: Principais funções dos dispositivos de sombreamento (resposta múltipla)

O estudo das condições de iluminação natural e a sua relação com os ocupantes e as suas atitudes e comportamentos acarreta, inevitavelmente, a análise dos efeitos dos dispositivos de sombreamento, como mecanismos de controlo da captação e distribuição de luz natural nos espaços interiores. A eficácia dos dispositivos de sombreamento para controlo de situações de desconforto visual ou térmico, pode permitir aos indivíduos ter acesso à luz natural para o desempenho das suas tarefas visuais, em detrimento do uso sistemático de luz artificial para o mesmo efeito. Este facto pode ter um peso significativo no sentimento de satisfação dos indivíduos para com os ambientes que ocupam. De acordo com a Figura 8 os tipos de dispositivos de sombreamento que recolhem opiniões mais favoráveis entre os inquiridos são os estores de enrolar exteriores projetáveis e os estores de lâminas. Por outro lado, aqueles que são considerados menos eficazes são os estores de tela juntamente com a combinação de toldo exterior com estores de lâminas interiores. Neste último caso, a ausência de possibilidade de controlo dos toldos exteriores por parte dos ocupantes, pode ditar a avaliação negativa da sua eficácia por parte dos mesmos.

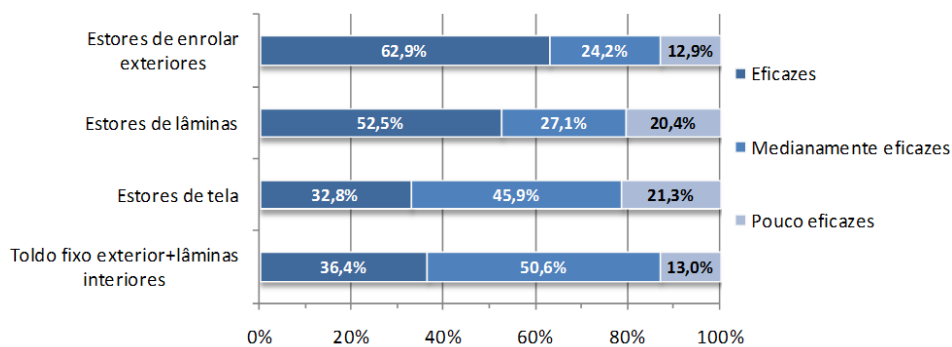


Figura 8: Percepção da eficácia dos dispositivos de sombreamento

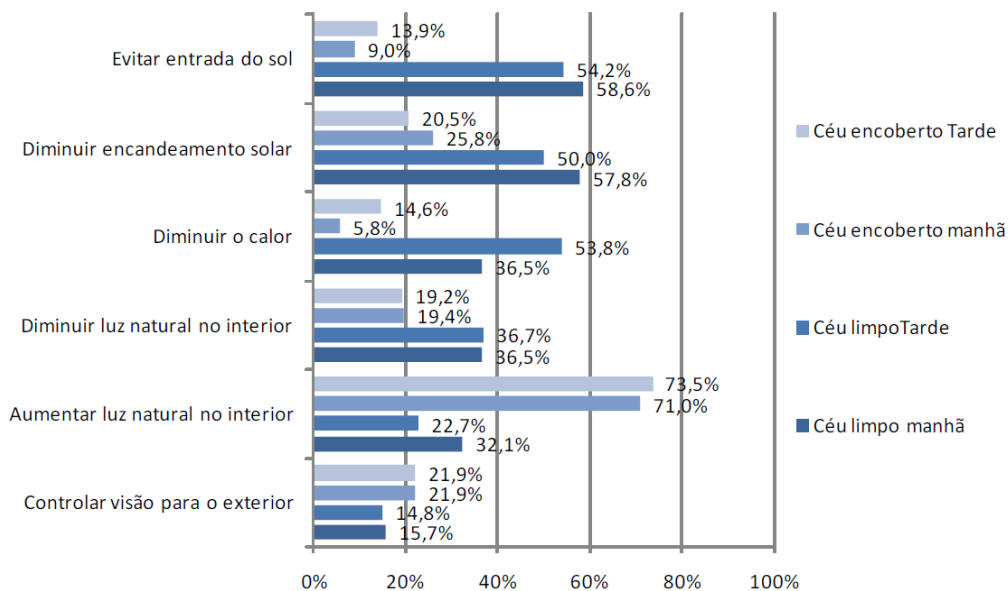


Figura 9: Razões que levam os inquiridos a atuarem os sombreamentos ajustáveis de que dispõem em função do período do dia e das condições de céu

Na Figura 9 sumarizam-se as razões que levam os inquiridos a ativar os dispositivos de sombreamento em função do período do dia e das condições de nebulosidade do céu. É possível concluir que os sombreamentos são manipulados não só sob condições de céu limpo, mas também em dias de céu encoberto principalmente para aumentar a luz natural no interior, tanto nos períodos

da manhã como da tarde (cerca de 70% dos inquiridos afirmam fazê-lo), mas também, nalguns casos, para diminuir a luz natural no interior e o encandeamento solar, bem como para controlar a visão para o exterior. De resto pode concluir-se que é nos períodos de céu limpo que mais razões são invocadas para o acionamento dos sombreamentos: mais de 50% dos ocupantes referem a necessidade de o fazer para evitar a luz solar e diminuir a luz natural no interior do compartimento, bem como o encandeamento direto pela luz do Sol e o calor (neste caso, a necessidade é mais frequente nos períodos da tarde).

Com base no estudo efetuado foi possível identificar diferentes perfis comportamentais-tipo (ou perfis de atuação-tipo), para o controlo dos dispositivos de sombreamento, cujas designações e principais características se referem de seguida:

- i) Automático - Os ocupantes não têm possibilidade de acionar os dispositivos de controlo (não há possibilidade de atuação porque não existem sistemas de controlo ou porque os sistemas são automáticos ou ainda porque são controlados por terceiros - responsável de manutenção e gestão do edifício, por exemplo);
- ii) Passivo - Os ocupantes não acionam os controlos porque não tem possibilidade ou liberdade para o efetuarem. Possuem um grau de controlo nulo ou muito baixo (sistemas controlados por terceiros, não existência de possibilidade de “override” em sistemas automáticos ou semiautomáticos, ou não estão autorizados a fazê-lo, por exemplo);
- iii) Passivo Comportamental - Os ocupantes têm possibilidade de acionar os dispositivos de controlo (grau de controlo médio a elevado) mas decidem não o fazer, por opção;
- iv) Ativo Padronizado - Os ocupantes acionam os dispositivos de controlo com pouca frequência e fazem-no essencialmente em função de características maioritariamente exógenas à iluminação (principalmente em função de aspetos térmicos, ou relacionados com as “condições meteorológicas”);
- v) Ativo Dinâmico - Os ocupantes acionam os dispositivos de controlo com frequência, de modo consistente e consciente, maximizando as condições de iluminação natural (porque preferem trabalhar com luz natural e ter alguma visão para o exterior, por exemplo) e de conforto visual (evitando reflexos nos monitores dos computadores, por exemplo).

A análise dos padrões comportamentais dos ocupantes relativamente aos dispositivos de sombreamento de que dispõem, permitiu concluir, desde logo, que é nos períodos de céu limpo que mais se atua sobre os mesmos, tendo-se verificado uma variedade de padrões de acionamento dos mesmos, o que indica que o período do dia e as condições meteorológicas constituem um dos principais fatores comportamentais com influência direta no estabelecimento de padrões de atuação e consequentemente nas condições finais de iluminação no interior dos edifícios. No entanto, os sombreamentos são acionados, não só sob condições de céu limpo, mas também em dias de céu encoberto, principalmente para aumentar os níveis de luz natural no interior tanto nos períodos da manhã como da tarde, mas também em alguns casos para diminuir a luz natural no interior e o encandeamento pela luz direta do Sol, bem como para controlar a visão para o exterior. Não obstante, continua a ser em períodos de céu limpo que mais razões são invocadas para se atuar nos sombreamentos, entre elas para se evitar a luz solar e diminuir a luz natural no interior do compartimento, bem como o encandeamento solar e o calor (neste caso, a necessidade é mais premente no período da tarde). Mas não são apenas as condições meteorológicas que determinam uma atuação ativa sobre os dispositivos de sombreamento.

Assim, as condições determinantes de uma atuação mais ativa sobre os sombreamentos são:

- i) as condições de nebulosidade do céu;
- ii) o próprio tipo de sombreamento revela características que podem ou não facilitar e incentivar o seu acionamento. Neste caso, são os estores de lâminas, aqueles que mais se associam a uma manipulação ativa dos sombreamentos com vista a manipular a luz natural, enquanto os estores de tela se encontram mais associados a uma atuação passiva;
- iii) a atuação sobre os sombreamentos está sem dúvida relacionada com a existência de controlo (total e médio a elevado) sobre a luz natural que penetra no compartimento;

- iv) a ocorrência de encandeamento devido à luz do sol. De facto, os inquiridos que associam o seu espaço de trabalho à existência frequente de encandeamento são os que mais indicam atuar nos sombreamentos em períodos de céu limpo;
- v) a orientação dos vãos envidraçados dos espaços estudados: quem se encontra em compartimentos orientados a Norte afirma com menos frequência atuar sobre os dispositivos de sombreamento, ao contrário dos ocupantes situados para Sul e para Oeste, que são os que mais atuam;
- vi) a qualidade da iluminação no interior do compartimento: apesar de ter sido observado que os ocupantes de compartimentos com “muita luz” e “luz suficiente” mantêm sensivelmente o sombreamento no mesmo estado (cerca de 60% ativado e 40% desativado), são os indivíduos em situações de pouca luz os que mais têm o sombreamento ativado.

Conclusões

Com a presente comunicação apresentam-se alguns resultados, incluído num estudo de âmbito mais alargado, da análise de uma metodologia integrada e interdisciplinar de caracterização do ambiente luminoso interior e respetivos impactes energéticos, que permite a potenciação do desempenho luminoso dos dispositivos de sombreamento. Apresentam-se novas abordagens de caracterização que tomam em consideração a influência dos ocupantes no desempenho final das condições de iluminação natural e no conforto visual dos indivíduos.

Foram identificados os principais fatores que influenciam as condições de iluminação natural no interior dos edifícios, que dependem ou que têm direta ou indiretamente a ver com os dispositivos de sombreamento e com os seus sistemas de controlo tendo-se concluído que os ocupantes possuem uma influência determinante no ambiente luminoso real e final como resultado das suas atitudes e comportamentos para com os dispositivos e sistemas de controlo dos sombreamentos. Dependendo do grau de liberdade na atuação dos dispositivos de sombreamento e da eficácia dos mesmos, de um modo geral, os indivíduos atuam conscientemente, numa base diária, os dispositivos de sombreamento ajustáveis de que dispõem em função das suas preferências e necessidades de: iluminação natural, vistas para o exterior, controlo do encandeamento e necessidade de proteção solar. Parece também existir um padrão sazonal na atuação dos dispositivos de sombreamento em função da orientação dos vãos envidraçados. Tendencialmente, nos períodos mais quentes, os sombreamentos em compartimentos orientados aproximadamente a Sul são menos atuados numa base diária, do que aqueles orientados a Nascente ou Poente.

Referências bibliográficas

- CEN, 2011 - **EN 12464-1: Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places**. European Committee for Standardization (CEN). Brussels: CEN. EN 12464-1:2011.
- GOMES, M.G., SANTOS, A.J., RODRIGUES, A.M., 2014 - **Solar and visible optical properties of glazing systems with venetian blinds: numerical, experimental and blind control study**. Building and Environment. 71 (2014) 47- 59.
- REINHART, C., VOSS, K. - **Monitoring manual control of electric lighting and blinds**. Lighting Research and Technology. 35 (2003) 243-260.
- SANTOS, A. J. - **Desenvolvimento de uma Metodologia de Caracterização das Condições de Iluminação Natural nos Edifícios Baseada na Avaliação “In Situ”**. Tese de Mestrado. Lisboa: LNEC/FCUL, 2002.
- SANTOS, A. J. - **Desenvolvimento de um método para a caracterização dinâmica da iluminação natural nos edifícios aplicável a climas mediterrânicos**. Tese de Doutoramento. Lisboa: IST/LNEC, 2011.
- SANTOS, A. J. - **A iluminação natural nos edifícios. Uma perspetiva no âmbito do conforto ambiental e da eficiência energética**. ICT - Informação Técnica de Edifícios N^o 57 - ITE 57. Lisboa: LNEC, 2014.