



Iluminação natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação natural interna

Daylighting

Part 4: Experimental evaluation of internal daylighting in buildings

Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da ABNT Diretiva 2.

A ABNT chama a atenção para que, apesar de ter sido solicitada manifestação sobre eventuais direitos de patentes durante a Consulta Nacional, estes podem ocorrer e devem ser comunicados à ABNT a qualquer momento (Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996).

Os Documentos Técnicos ABNT, assim como as Normas Internacionais (ISO e IEC), são voluntários e não incluem requisitos contratuais, legais ou estatutários. Os Documentos Técnicos ABNT não substituem Leis, Decretos ou Regulamentos, aos quais os usuários devem atender, tendo precedência sobre qualquer Documento Técnico ABNT.

Ressalta-se que os Documentos Técnicos ABNT podem ser objeto de citação em Regulamentos Técnicos. Nestes casos, os órgãos responsáveis pelos Regulamentos Técnicos podem determinar as datas para exigência dos requisitos de quaisquer Documentos Técnicos ABNT.

A ABNT NBR 15.215-4 foi elaborada Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-002), pela Comissão de Estudo de Iluminação Natural (CE-002:135.002). O (Projeto/Projeto de Revisão) circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº XX, de XX.XX.XXXX a XX.XX.XXXX.

A ABNT NBR 15215-4:2023 cancela e substitui a ABNT NBR 15215-4:2005, a qual foi tecnicamente revisada.

A ABNT NBR 15.215-4 não se aplica aos projetos de construção que tenham sido protocolados para aprovação no órgão competente pelo licenciamento anteriormente à data de sua publicação como Norma Brasileira, bem como àqueles que venham a ser protocolados no prazo de 180 dias após esta data, devendo, neste caso, ser utilizada a versão anterior da ABNT NBR 15.215-4:2005.

O Escopo em inglês da ABNT NBR 15215-4 é o seguinte:

This Part of ABNT NBR 15215 specifies quantitative and qualitative tools and techniques, such as physical measurements and monitoring, and subjective and interactive methods separated into visual and non-visual stimuli.



The visual stimuli covered by this Standard consider:

- a) daylight availability;*
- b) daylight distribution;*
- c) objects daylighting;*
- d) daylighting directionality;*
- e) glare;*
- f) daylight color temperature;*
- g) temporal modulation of daylight;*
- h) exterior view;*
- i) non-visual stimuli (circadian potential).*

This Part of ABNT NBR 15215 presents methods for experimental verification (monitoring) in the built environment with tools considered current and appropriate, which can be used in various situations, such as performance evaluations and post-occupancy evaluations.

Note This Part of ABNT NBR 15215 is intended for industry professionals, for example, architects, lighting designers, building managers, researchers and/or owners, and provides a framework for assessing daylighting conditions in indoor environments.



Introdução

Esta Norma apresenta uma estrutura e ferramentas para avaliar ambientes e projetos de iluminação natural para edifícios residenciais e não residenciais. Esta Norma apresenta um conjunto de ferramentas quantitativas e qualitativas: medições físicas e monitoramento, bem como métodos subjetivos e interativos.. A estrutura desta norma aborda aspectos relativos aos estímulos visuais e não visuais e aspectos relativos ao comportamento e à preferência dos usuários.

Iluminação natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações

1 Escopo

Esta Parte da ABNT NBR 15215 especifica ferramentas e técnicas quantitativas e qualitativas, como medições e monitoramentos físicos e métodos subjetivos e interativos separados em estímulos visuais e não visuais.

Os estímulos visuais abordados por esta Norma consideram:

- a) disponibilidade de luz natural;
- b) distribuição de luz natural;
- c) iluminação natural de objetos;
- d) direcionalidade da luz natural;
- e) ofuscamento;
- f) temperatura de cor da luz natural;
- g) modulação temporal da luz natural;
- h) vista exterior;
- i) estímulos não visuais (potencial circadiano).

Esta Parte da ABNT NBR 15215 apresenta métodos relativos à verificação experimental (monitoramento) no ambiente construído com ferramentas consideradas atuais e apropriadas, podendo estas ser utilizadas em diversas situações, como avaliações de desempenho e avaliações pós-ocupação.

NOTA Esta Parte da ABNT NBR 15215 é destinada aos profissionais do setor, por exemplo, arquitetos, projetistas de iluminação, gestores de edifícios, pesquisadores e/ou proprietários, e fornece uma estrutura para avaliar as condições de iluminação natural em ambientes internos.

2 Referências normativas

Os documentos a seguir são citados no texto de tal forma que seus conteúdos, totais ou parciais, constituem requisitos para este Documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

ABNT NBR 15215-1, *Iluminação natural – Parte 1: Conceitos básicos e definições*

ABNT NBR 15215-2, *Iluminação natural – Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural e para a distribuição espacial da luz natural*

ABNT NBR 15215-3, *Iluminação natural – Parte 3: Procedimentos para a valiação da iluminação*

natural em ambientes internos

3 Termos e definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os termos e definições das ABNT NBR 15215-1, ABNT NBR 15215-2 e ABNT NBR 15215-2, e os seguintes.

3.1

autonomia da luz do dia

percentual das horas de ocupação, ao longo do ano, em que a iluminância-alvo é alcançada ou ultrapassada no plano de análise de trabalho, considerando-se apenas a iluminação natural

3.2

autonomia da luz do dia especial

percentual da área de piso em que determinada iluminância é alcançada ou ultrapassada, em um percentual do período de ocupação, ao longo do ano, considerando-se apenas a iluminação natural

3.3

posto de trabalho

local onde se realiza a tarefa visual, seja de ambientes residenciais ou não residenciais

3.4

zonas de iluminação

ambiente interno onde há necessidade de iluminação suficiente

4 Símbolos

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes símbolos.

<i>A</i>	área, expressa em metros quadrados (m^2)
<i>AABO</i>	avaliação ambiental baseada em observadores
<i>APO</i>	avaliação pós-ocupação
<i>ATA</i>	avaliação técnica ambiental
<i>C</i>	comprimento do ambiente, expresso em metros (m)
<i>CCT</i>	temperatura de cor correlata (<i>correlated colour temperature</i>)
<i>CS</i>	estímulo circadiano (<i>circadian stimulus</i>)
<i>DA</i>	autonomia da luz do dia
<i>DF</i>	fator de luz diurna (<i>daylight factor</i>)
<i>DGP</i>	probabilidade de ofuscamento pela luz do dia (<i>daylight glare probability</i>)
<i>E</i>	iluminância, expressa em lux (lx)
<i>EML</i>	lux melanópico equivalente (<i>equivalent melanopic lux</i>)
<i>H_m</i>	distância vertical entre a superfície de trabalho e o topo da janela, expressa em metros (m)
<i>HDR</i>	faixa dinâmica alta (<i>high dynamic range</i>)



K	índice do local
L	largura do ambiente, expressa em metros (m)
LDR	faixa dinâmica baixa (<i>low dynamic range</i>)
M-EDI	iluminância da luz do dia melanópica equivalente (<i>melanopic equivalent daylight illuminance</i>)
ND	densidade neutra
RPi	<i>Raspberry Pi</i>
sDA	autonomia da luz do dia espacial
U_o	uniformidade de iluminação
UDI	iluminação útil da luz do dia

5 Etapas para verificação de estímulos visuais

A seguir é apresentada a Tabela 1 que traz as etapas possíveis de serem realizadas quando de um levantamento in loco juntamente com a sua descrição.

Tabela 1 - Descrição das etapas para verificação de estímulos visuais

Etapa	Item	Descrição
1	Estabelecimento do objetivo da verificação	Aspectos visuais Aspectos não visuais Comportamento e preferência dos usuários
2	Entendimento do contexto	Levantamento da configuração espacial da edificação Levantamento do sistema de iluminação (aberturas, sistema de proteção solar, sistemas de controle etc.) Levantamento do clima luminoso Levantamento da disponibilidade para a realização de levantamentos <i>in loco</i>
3	Determinação de ambientes e tempo disponíveis	Determinação dos espaços a serem monitorados (por exemplo, por análise SWOT)
4	Determinação do tipo de medição	Medições contínuas ou ponto no tempo Medições em campo, medições em câmaras climáticas, medições em maquete, sob céu real ou artificial, simulações
5	Instrumentação	Seleção de equipamentos e ferramentas de monitoramento necessários
6	Determinação do escopo de monitoramento	Prioridade de alocação de recursos humanos e financeiros para o monitoramento
7	Monitoramento	Condução do monitoramento em si



Etapa	Item	Descrição
8	Tratamento de dados	Checagem da qualidade dos dados Organização dos dados Tratamento dos dados Comparações
9	Implementação de melhorias no processo	Verificação da necessidade de correção de procedimentos de medição e levantamentos para atingir os objetivos Verificação da necessidade de complementação de procedimentos ou introdução de novos procedimentos de verificação (questionários, novos levantamentos)

6 Etapa 1 – Estabelecimento do objetivo do monitoramento

A etapa 1 estabelece o foco do monitoramento e a identificação das estratégias a serem usadas para a avaliação. O objetivo do monitoramento pode ser o cumprimento de normas ou certificações, a verificação da efetividade de melhorias implementadas, o atendimento às necessidades visuais e de conforto visual, ou o estabelecimento de comparações com simulações computacionais (ver ABNT NBR 15215-3).

7 Etapa 2 – Entendimento do contexto

A etapa 2 estabelece o tipo de espaço a ser avaliado e que tipo de acesso é necessário para a realização do monitoramento. De forma geral, uma investigação preliminar do local é necessária para coletar informações sobre o tipo de espaço a ser monitorado. A seleção do espaço depende também do contexto, das características de construção e ocupação, dos aspectos que são objeto de investigação, bem como de questões pragmáticas como acessibilidade e capacidade de funcionamento.

NOTA 1 Para alguns estudos de caso, pode ser necessário dividir o espaço em diferentes zonas de iluminação. Como exemplo, grandes escritórios de planta livre têm características distintas de iluminação ao longo do perímetro do edifício *versus* a área central. Nesse cenário, é mais adequado monitorar as duas zonas separadamente e identificar problemas de desempenho característicos de cada zona. Em alguns casos, pode ser útil monitorar mais de um espaço para analisar, por exemplo, o desempenho em diferentes condições de iluminação, devido à orientação e às configurações espaciais.

A Tabela 2 pode ser usada como um *checklist* para documentar condições específicas do contexto durante a investigação do local.



Tabela 2 - Checklist relativo às principais características da edificação

Critério	Verificação
Clima	
Tipo de construção	
Tipo de atividade	
Características espaciais	
<i>Tipo</i>	
<i>Orientação solar</i>	
<i>Ocupação total</i>	
<i>Área do ambiente monitorado</i>	
<i>Sistema de luz natural (janelas, zenitais, vedação)</i>	
Período de monitoramento	
<i>Mês</i>	
<i>Dia da semana</i>	
<i>Período de tempo</i>	
<i>Condições de céu no período de monitoramento</i>	
<i>Total de dias</i>	
Aprovação	(gestor de construção, responsável, proprietário)

NOTA 2 Pode ser útil organizar reuniões com os administradores de edifícios ou com pessoas-chave nesta etapa. As reuniões fornecem mais informações sobre o uso do espaço e o funcionamento diário dos sistemas de iluminação, apoiando o desenvolvimento de um monitoramento eficiente e baseado em metas.

Nota 3 Recomenda-se verificar a necessidade de se aprovar a pesquisa junto Comitê de ética.

8 Etapa 3 – Determinação de ambientes e tempo disponíveis

Esta etapa abrange monitoramento realizado para escolher ferramentas adequadas, levando em conta o espaço a ser investigado e os recursos disponíveis (pessoal, equipamento e tempo). No desenvolvimento de um escopo de monitoramento, é importante primeiro priorizar o foco e o nível de monitoramento desejado para cada um dos aspectos (de básico a abrangente) e esforço (incluindo tempo e recursos disponíveis).

Os resultados das etapas 1 a 3 auxiliam na determinação das ferramentas mais indicadas para o monitoramento. As ferramentas de monitoramento são apresentadas na Seção 10).

9 Etapa 4 – Determinação do tipo de medição

Na etapa 4 as medições podem ser contínuas, ponto no tempo, ou ambas. As medidas ponto no tempo são feitas em dias e horários específicos e as medidas longitudinais (contínuas) são registradas continuamente em um período prolongado (por exemplo, semana, mês ou ano).

As medidas ponto no tempo caracterizam as condições de uma só vez (instantâneo). Quando tomadas em períodos significativos do dia, de forma que o ângulo solar esteja no seu nível mais baixo e/ou mais alto durante o horário de ocupação (por exemplo, 9:00, 12:00 e 15:00), as medidas podem indicar problemas de desempenho nessa hora do dia. Dias de céu típicos devem ser definidos, dependendo do objetivo de monitoramento (por exemplo, verificar o desempenho de sistemas de controle ligados à luz direta). As medidas devem ser feitas em horários que forneçam diferentes condições de iluminação natural do ambiente durante o dia (por exemplo, durante a manhã e à tarde para aberturas laterais voltadas para leste ou oeste, ou nos horários de maior e menor iluminação em ambientes para o norte e sul, ou ainda sob diferentes condições de céu).

As medições contínuas são mais abrangentes e precisas na caracterização do desempenho geral da instalação, porque as variações e a duração da iluminação ao longo do(s) dia(s) podem identificar períodos específicos em que ocorram problemas de desempenho. Da mesma forma, as medidas longitudinais devem ser tomadas a partir da determinação de uma malha de pontos ou em posições de tarefa durante o horário de trabalho e por no mínimo um dia, mas idealmente em um período de uma semana ou mais, durante períodos significativos do ano, conforme o clima e o uso da edificação.

Como as medidas abrangem uma ampla gama de situações, a equipe de monitoramento deve planejar minuciosamente o monitoramento para que abranja tanto os casos de maior ocorrência quanto as condições extremas de operação, como risco de ofuscamento e posições suscetíveis, escurecimento da luz do dia etc.

A equipe de monitoramento também pode considerar a execução de simulações computacionais de luz natural complementares à medição como forma de verificação. Esta abordagem deve ser considerada quando o espaço não for de fácil acesso.

Uma lista de vantagens e desvantagens das diferentes abordagens para o monitoramento é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Vantagens e desvantagens das diferentes abordagens para monitoramento

Abordagem	Método	Vantagens	Desvantagens
Campo (<i>in loco</i>)	Ponto no tempo	<ul style="list-style-type: none">- Fornece resultados instantâneos e permite avaliar sistemas de luz do dia em conjunto com sistemas de iluminação elétrica usados em configurações reais em horários mais críticos do dia- Identifica problemas que ocorrem em condições reais- Permite observações <i>in loco</i> que fornecem melhor contextualização de problemas e ocorrências- Permite levantamentos adicionais com ocupantes e gestores que permitem melhor <i>feedback</i>- Compara as medições com métricas colocadas por normas e certificações	<ul style="list-style-type: none">- Eventuais dificuldades de acesso ao local (privacidade)- Requer planejamento feito por pessoa especializada, tempo, medição de vários pontos e obtenção de número de medições significativas- Tem conhecimento insuficiente da qualidade e precisão dos equipamentos de medição, podendo levar a resultados enganosos- Há necessidade de disponibilidade de equipamentos, incluindo o custo de aquisição- O planejamento inadequado pode invalidar as medidas, por exemplo, se as medidas não forem padronizadas e realizadas no mesmo local- Só fornece um dado instantâneo de luz do dia e do desempenho da iluminação elétrica



ABNT/CB-002
PROJETO DE REVISÃO ABNT NBR 15215-4
MAIO 2023

Abordagem	Método	Vantagens	Desvantagens
Campo (<i>in loco</i>)	Longitudinal <i>in loco</i> (monitoramento contínuo)	<ul style="list-style-type: none">- Fornece informações mais detalhadas sobre problemas de desempenho e ocorrências- Permite identificar problemas e pode levar a soluções aprimoradas- Pode avaliar os ambientes em função de métricas dinâmicas- Os resultados podem ser comparados com resultados de simulação para verificação	<ul style="list-style-type: none">- O planejamento inadequado pode invalidar as medidas (por exemplo, se as medidas não forem sistemáticas e padronizadas)- Há riscos para danos ao equipamento deixados sem acompanhamento- Tem conhecimento insuficiente da qualidade e precisão dos equipamentos de medição, podendo levar a resultados enganosos
	Longitudinais e pontuais - Métodos mistos	<ul style="list-style-type: none">- O monitoramento contínuo fornece informações detalhadas sobre problemas de desempenho e ocorrências- Podem ser identificados problemas que podem levar a soluções aprimoradas- Pode avaliar os ambientes em função de métricas dinâmicas- Compreensão abrangente do desempenho obtido a partir de diferentes métricas- Os resultados podem ser comparados com resultados simulados para verificação de compatibilidade- Métodos diferentes podem ser usados para ajustar medidas	<ul style="list-style-type: none">- Pode demandar muito tempo e recursos- O planejamento inadequado pode invalidar as medidas (por exemplo, se as medidas não forem sistemáticas e padronizadas)- Riscos para danos ao equipamento deixado sem acompanhamento- Conhecimento insuficiente da qualidade e precisão do equipamento, podendo levar a resultados enganosos
Campo (controlado /semicontrolado)	Células de ensaio	<ul style="list-style-type: none">- Permitem avaliar o desempenho dos sistemas de iluminação natural e de iluminação elétrica- Teste de diferentes soluções e estratégias- Mais controle das condições de monitoramento	<ul style="list-style-type: none">- O custo dos equipamentos e do modelo pode ser alto- Os resultados podem mudar quando as estratégias ou sistemas forem usados em condições reais (por exemplo, por fatores humanos)
Laboratórios vivos	Laboratórios vivos	<ul style="list-style-type: none">- O monitoramento baseado em ação permite avaliar diferentes soluções e estratégias- Soluções podem ser comparadas- <i>Feedback</i> direto dos ocupantes	<ul style="list-style-type: none">- O custo do equipamento e dos modelos/câmaras de ensaio pode ser bastante alto- Interferências na rotina normal de trabalho podem ser disruptivas
Simulação	Computacional	<ul style="list-style-type: none">- Não usa mão de obra ou tempo intensivos- Baixo custo- Permite iterações de simulação ilimitadas para melhorar os resultados- Pode gerar resultados ponto no tempo ou longitudinal- Resultados de consumo de energia, fotometria, simulação circadiana, entre outros, podem ser comparados com os resultados de campo posteriormente para verificação	<ul style="list-style-type: none">- Métricas ainda estão em evolução- Requer conhecimento especializado para realização de diagnósticos- Imprecisão na construção de modelos pode levar a resultados enganosos- As ferramentas nem sempre integram diretamente simulações de iluminação elétrica, de luz do dia e de consumo de energia

10 Etapa 5 - Instrumentação

10.1 Tipos de instrumentos

10.1.1 Generalidades

Para a medição de grandezas fotométricas, são utilizados fotômetros, que são instrumentos que possuem um sensor fotométrico para medição de radiação visível (luz). Recomenda-se o uso de aparelhos cuja resposta espectral apresente um erro máximo de 6 %, em relação à sensibilidade do olho humano. Recomenda-se o uso de sensores de silício.

10.1.2 Luxímetros

Instrumentos para medição de iluminância que consistem em um sensor fotométrico, geralmente de silício ou selênio, com um filtro de correção óptica, conectado a um circuito de tratamento do sinal (linearização e amplificação) com um visor digital ou analógico.

10.1.3 Luminancímetros

Instrumentos para medição de luminâncias que consistem essencialmente nos mesmos elementos que os luxímetros, mas com a adição de elementos óticos (lentes) apropriados para captar o brilho de objetos contidos em um determinado ângulo sólido e medir a intensidade luminosa proveniente deste ângulo sólido. A resolução ótica dos luminancímetros varia de 20° (95 msr) a 1/3° (26,5 μsr). Recomenda-se o uso de instrumentos com resolução menor ou igual a 1° (239 μsr) de ângulo sólido.

10.2 Dimensão dos sensores

As medições das condições internas de iluminação, verificadas por meio de sensores fotométricos, caracterizam condições pontuais de iluminação. Portanto, as fotocélulas devem ter as menores dimensões possíveis.

Recomenda-se, para modelos arquitetônicos em escala reduzida, que não sejam utilizados sensores maiores do que 0,03 m² na escala do modelo. Os sensores circulares não podem ter diâmetro superior a 20 cm na escala do modelo.

EXEMPLO Para um modelo executado em escala 1:20, o diâmetro máximo aceitável para o sensor é $d = 20/20 = 1$ cm; em escala 1:40, $d = 20/40 = 0,5$ cm.

10.3 Qualidade dos instrumentos

A qualidade dos instrumentos é determinada pelos seguintes fatores:

- a) resposta espectral: o sensor deve estar corrigido para apresentar uma sensibilidade espectral próxima à curva de sensibilidade do olho humano. A Figura 1 mostra a curva óptica padrão do olho humano proposta pela *Commission Internationale d'Éclairage* (CIE). O olho humano não responde igualmente a todos os comprimentos de onda da faixa visível do espectro luminoso. A máxima sensibilidade encontra-se em uma faixa entre as cores verde e amarela (550 nm), sendo bastante baixa para as cores violeta e vermelha;
- b) sensibilidade à temperatura: a sensibilidade das fotocélulas à variação de temperatura é influenciada pela resistência do circuito associado a elas. Quando a resistência é alta, as variações de temperatura podem causar erros nas medidas. Desta forma, recomenda-se que as fotocélulas sejam utilizadas em ambientes com temperatura em torno de 25 °C, devendo-se evitar o seu uso

em ambientes com temperatura abaixo de 15 °C e acima de 50 °C, exceto se houver recomendações específicas do fabricante;

NOTA As fotocélulas de selênio são consideradas mais sensíveis à temperatura do que as de silício.

- c) resposta ao efeito cosseno: é a resposta do medidor para luz incidente na fotocélula em diferentes ângulos. Desta forma, a iluminância E , fornecida por uma fonte de luz incidente que forma um ângulo θ com a normal η à fotocélula, deve ser dada pela Equação (1), conforme mostrado na Figura 2. Os medidores que eventualmente não apresentarem esta correção constituem uma fonte de erros, quando usados para medir iluminância produzida por um fluxo luminoso vindo de várias direções. Para a luz incidente em ângulos θ que se afastem muito da normal, a refletividade dos materiais tende a aumentar, provocando a distorção de leitura (ver equação 1). O erro máximo admitido deve seguir o indicado na Tabela 4;

$$E = E_{\eta} \cdot \cos\theta \tag{1}$$

- d) resposta à linearidade: quanto maior for a resistência do circuito associado à fotocélula, maior será a não linearidade de resposta para iluminâncias elevadas;
- e) precisão: caracteriza o erro total associado ao instrumento e deve ser de no máximo 10 %, conforme indicado na Tabela 4.

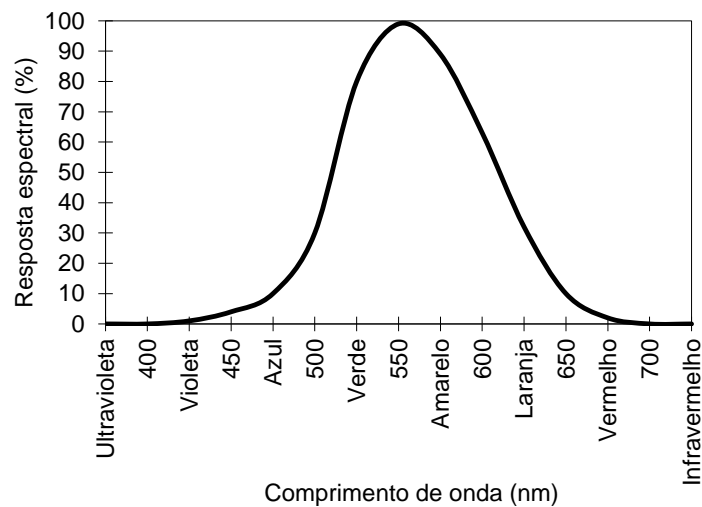


Figura 1 - Curva óptica padrão da CIE ^[14]

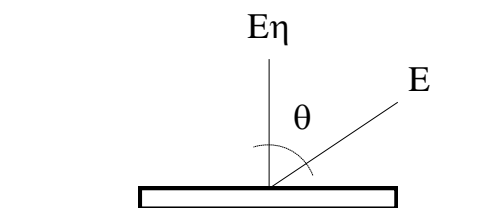


Figura 2 – Efeito cosseno

A Tabela 4 indica os erros máximos aceitáveis para os cinco fatores determinantes da qualidade dos instrumentos. Estes erros caracterizam instrumentos de qualidade intermediária e devem ser verificados por meio de catálogos ou diretamente com os fabricantes.

Tabela 4 – Erros máximos aceitáveis ^[15]

Fator	Erro
Resposta espectral	6 %
Sensibilidade à temperatura	1 %/ K
Resposta ao efeito cosseno	3 %
Resposta à linearidade	2 %
Precisão	10 %

10.4 Recomendações de utilização

Para assegurar a precisão e a continuidade das medições, é recomendado efetuar o seguinte:

- a) calibrar periodicamente;
- b) evitar choques de qualquer natureza;
- c) não expor às intempéries e atentar aos limites de umidade e temperatura indicados pelo fabricante;
- d) guardar os instrumentos em seus estojos, após a utilização, assegurando que estejam desligados e sem bateria.

11 Etapa 6 – Determinação do escopo do monitoramento

O monitoramento *in loco* segue a etapa preparatória. O monitoramento em edifícios reais pode ser complexo e propenso a ocorrências inesperadas. Além disso, edifícios de estudo de caso reais podem ser acessíveis apenas por tempo limitado. Portanto, a equipe de monitoramento deve elaborar uma lista de riscos que possam dificultar o monitoramento com indicação de mitigação de possíveis riscos, bem como preparar um *checklist* detalhado antes do monitoramento. A Tabela 5 um exemplo de *checklist* que pode ser usado para o detalhamento de etapas de monitoramento.

Tabela 5 – Exemplo de *checklist* detalhado para o monitoramento

Período	Procedimento
Dois meses antes	<ul style="list-style-type: none">— Verificar se o certificado de calibração dos instrumentos está válido.— Verificar o nível da bateria dos instrumentos— Reservar dias de monitoramento com o responsável pela edificação da edificação— Solicitar ao responsável pela edificação que informe aos usuários (moradores, funcionários etc.) sobre o monitoramento— Reservar pessoal para suporte no local



Período	Procedimento
Duas semanas antes	<ul style="list-style-type: none">— Enviar lembrete ao responsável pela edificação do prédio— Enviar <i>e-mail</i> para os usuários apresentando a equipe e o processo de monitoramento, o escopo do estudo, benefícios do estudo, os inconvenientes durante o monitoramento etc. (conforme o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido aprovado por Comitê de Ética em Pesquisa)— Verificar a previsão do tempo, reservando dias alternativos para o monitoramento, caso necessário— Enviar lembrete aos responsáveis pelo suporte no local— Reservar transporte
No dia anterior	<ul style="list-style-type: none">— Verificar a previsão das condições meteorológicas e, eventualmente, remarcar o monitoramento— Verificar informações de acesso— Imprimir formulários para o levantamento— Separar e embalar equipamentos e instrumentos (além dos medidores, lembrar de tripés, trena, nível de bolha, fita-crepe, máquina fotográfica etc.)
Dia do monitoramento	<ul style="list-style-type: none">— Chegar antes dos usuários da edificação— Medir e marcar a malha de pontos, com fita-crepe ou de outro modo— Montar o tripé na altura necessária— Localizar os medidores autônomos nos locais determinados— Iniciar os <i>dataloggers</i> e verificar se estão fazendo o registro como esperado— Fotografar o espaço
Chegada de usuários da edificação	<ul style="list-style-type: none">— Realizar a apresentação— Iniciar e medir de acordo com os horários e locais estipulados— Verificar periodicamente, para monitoramentos de médio e longo tempo, se os registros estão sendo feitos conforme esperado
Após o monitoramento	<ul style="list-style-type: none">— Verificar se todos os questionários e formulários foram preenchidos— Verificar se os instrumentos foram embalados novamente— Comunicar o fim do monitoramento ao responsável pela edificação— Verificar rapidamente a qualidade dos dados medidos

12 Etapa 7 - Monitoramento

12.1 Determinação dos pontos de medição

Para avaliação da iluminância em postos de trabalho, fazer medições em uma quantidade de pontos suficiente, para caracterizar adequadamente o plano. Isso pode ser feito determinando-se pontos estratégicos em um ambiente, como o centro das mesas de trabalho ou pela determinação de uma malha de pontos que abranja o ambiente como um todo. Quando da determinação de uma malha, é necessária a determinação de um número mínimo de pontos a serem medidos para a caracterização da distribuição de luz em um ambiente.

12.1.1 Quantidade de pontos

Para determinar o número mínimo de pontos necessários para a verificação do nível de iluminação natural com erro inferior a 10 %, determinar o índice do local (K) pela Equação (2) e proceder conforme a Tabela 6.

$$K = \frac{C \cdot L}{H_m \cdot (C + L)} \quad (2)$$

onde

L é a largura do ambiente, expressa em metros (m);

C é o comprimento do ambiente, expresso em metros (m);

H_m é a distância vertical, expressa em metros (m), entre a superfície de trabalho e o topo da janela, conforme indicado na Figura 3.

Tabela 6 – Quantidade mínima de pontos a serem medidos^[13]

K	Nº de pontos
$K < 1$	9
$1 \leq K < 2$	16
$2 \leq K < 3$	25
$K \geq 3$	36

Este índice caracteriza um número mínimo de pontos a serem medidos e deve ser aumentado para que se alcance a simetria nas medições e sempre que se desejar melhor caracterização da iluminância do ambiente.

NOTA Caso não haja disponibilidade de sensores em número suficiente, recomenda-se a padronização dos dados conforme 13.5.

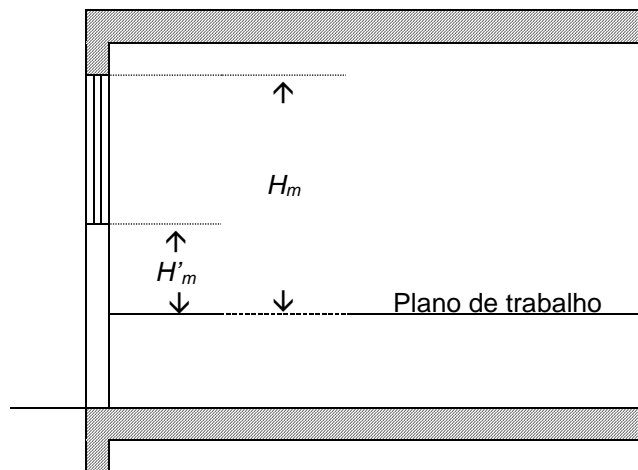


Figura 3 – Determinação de H_m

Quando o peitoril da janela estiver mais de 1 m acima do plano de trabalho, tomar H_m como a distância vertical entre a superfície de trabalho e o peitoril (H'_m).

12.1.2 Malha de pontos para medições

Especificando o número de pontos, o ambiente interno deve ser dividido em áreas iguais, com formato próximo ou igual a um quadrado. A iluminância E é medida no centro de cada área, conforme mostrado

na Figura 4.

Planejar a malha evitando pontos muito próximos às paredes. Para isto, recomenda-se um afastamento mínimo de 0,50 m das paredes e dos elementos divisórios. Recomenda-se sempre que possível, fazer $d_1 = d_2$.

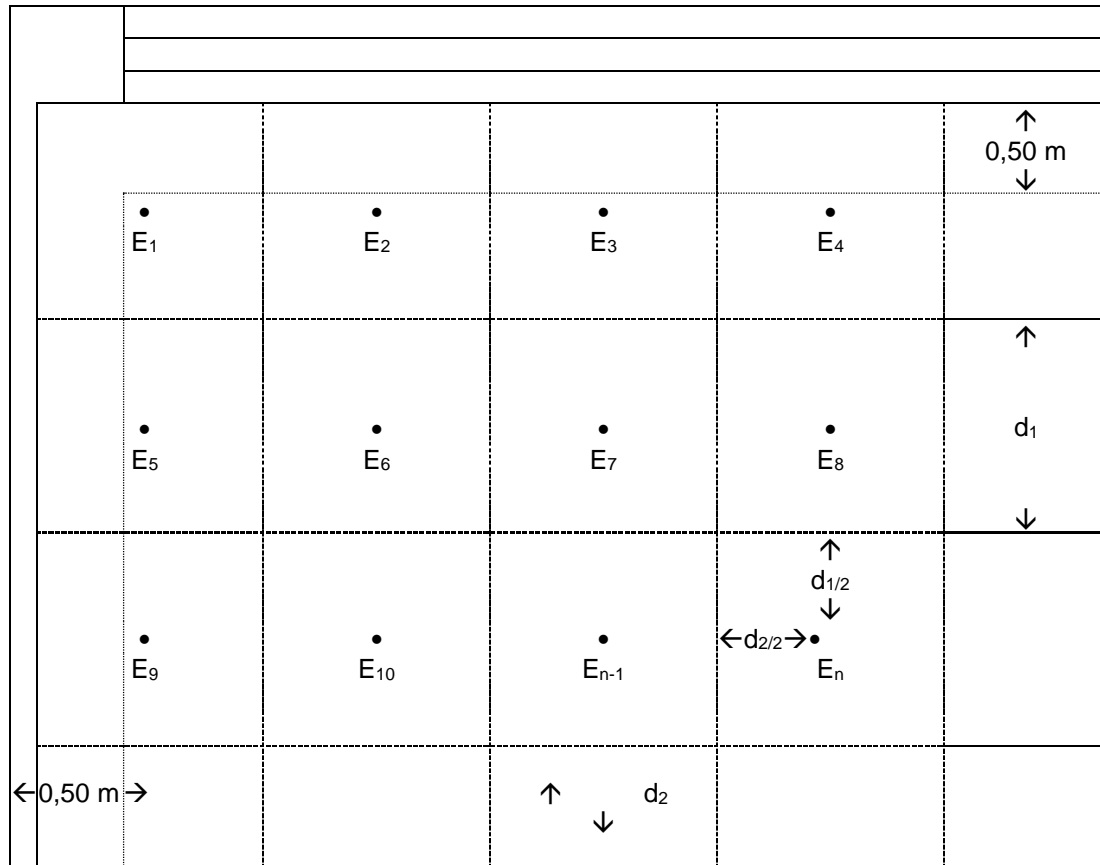


Figura 4 – Malha de pontos para medições

12.1.3 Medição da iluminância externa de referência

Recomenda-se realizar a medição da iluminância externa horizontal na condição mais desobstruída possível. O sensor, entretanto, deve estar protegido da incidência dos raios diretos do sol.

12.2 Medições de iluminância

12.2.1 Generalidades

As medições de iluminância podem ser realizadas em ambientes reais ou em modelos físicos executados em escala reduzida.

12.2.2 Modelos arquitetônicos em escala reduzida

Modelos em escala reduzida são ferramentas de projeto que podem ser utilizadas para avaliação de vários aspectos do projeto do edifício, bem como a sua forma, orientação, fachadas e, principalmente, para o estudo da iluminação natural nos espaços internos, visto que considerações sobre a iluminação

de ambientes constituem a medida mais efetiva no controle das qualidades visuais destes ambientes.

Ao contrário de outros modelos físicos nos quais o comportamento do fenômeno físico (transmitância térmica, tensões estruturais, fluxo de ar etc.) sofre distorções pelo efeito da escala, o modelo para iluminação não requer compensações em função da escala. Como o comprimento de onda da luz visível é extremamente reduzido em comparação ao tamanho dos modelos em escala, um modelo arquitetônico que represente com fidelidade um espaço real, exposto às mesmas condições de céu e mantendo a mesma geometria e as mesmas características das superfícies, apresenta um padrão idêntico de distribuição da iluminação interna.

Portanto, como a luz não sofre distorções, as medições, neste caso, têm como objetivo avaliar as condições de iluminação do ambiente ainda em fase de projeto, por meio da execução de maquetes, permitindo a adoção de sistemas de aberturas mais eficientes e uma melhor orientação dos componentes construtivos.

Para avaliações em modelos reduzidos, cuidados devem ser tomados quanto à dimensão dos sensores a serem adotados, conforme detalhado em 10.2

12.2.3 Medições em modelos

As seguintes recomendações são sugeridas:

- a) construir modelos em escala não menor do que 1:50;
- b) assegurar que todas as superfícies estejam presentes, não considerando adequados os modelos seccionados;
- c) adequar as refletividades das superfícies e representar o mais corretamente possível as refletividades das superfícies reais;
- d) evitar modelos executados inadequadamente em que possam ocorrer vazamentos de luz em suas arestas e emendas;
- e) assegurar que as obstruções externas apresentem tamanhos e refletividades corretas;
- f) modelar adequadamente os detalhes das aberturas; e
- g) planejar com antecedência as posições das medições e dos sensores.

12.2.4 Medições em ambientes reais

As medições em ambientes reais (avaliação *in loco*) têm como objetivo avaliar as condições de iluminação natural do ambiente construído, em condições reais de ocupação e utilização.

Para uma avaliação mais precisa dos níveis de iluminação, os seguintes procedimentos para as medições devem ser observados:

- a) considerar a quantidade de luz no ponto e no plano em que a tarefa for executada, seja horizontal, vertical ou em qualquer outro ângulo;
- b) manter o sensor paralelo à superfície a ser avaliada ou deixá-lo sobre a superfície cujos níveis de iluminação estejam sendo medidos;



- c) atentar para o nivelamento da fotocélula quando ela não for mantida sobre a superfície de trabalho e sim na mão da pessoa que faz as medições, pois pequenas diferenças na posição podem acarretar grandes diferenças na medição;
- d) evitar sombras sobre a fotocélula, acarretadas pela posição de pessoas em relação a ela, a não ser que isso seja necessário para a caracterização de um posto de trabalho;
- e) verificar, sempre que possível, o nível de iluminação em uma superfície de trabalho, com e sem as pessoas que utilizam estes ambientes em suas posições; desta forma, é possível verificar eventuais falhas de leiaute;
- f) expor a fotocélula à luz aproximadamente 5 min antes da primeira leitura, evitando-se sua exposição a fontes luminosas muito intensas, como, por exemplo, raios solares;
- g) realizar as medições em um plano horizontal a 75 cm do piso, quando a altura da superfície de trabalho não for especificada ou conhecida.

Devido à variação frequente das condições de céu ao longo do dia e do ano, para valores mais precisos de níveis de iluminação, estes níveis devem ser verificados em diferentes horários do dia (horário legal) e também em diferentes épocas do ano.

Para levantamentos nos quais não seja possível um monitoramento da iluminação natural ao longo do ano, recomenda-se verificar a iluminância nas condições de céu mais representativas do local, em períodos como:

- em um dia próximo ao solstício de verão (22 de dezembro);
- em um dia próximo ao solstício de inverno (22 de junho);
- de 2 h em 2 h, a partir do início do expediente (horário legal).

Os períodos de medição selecionados devem ser justificados adequadamente.

12.2.5 Condições do céu

12.2.5.1 Generalidades

Medições podem ser desenvolvidas em condições simuladas (céu artificial) ou reais (sob condições de céu real).

12.2.5.2 Céu artificial

Estes céus proporcionam um ambiente facilmente controlável, estável e reproduzível, permitindo que várias alternativas de projeto sejam ensaiadas exatamente sob as mesmas condições de céu.

A maioria dos céus artificiais simula condições de céu fixas (uniforme ou encoberto), com ou sem luz direta do sol.

Existem dois tipos básicos de céus artificiais, descritos a seguir:

- a) céu hemisférico (domo): o céu hemisférico pode simular a luminância do céu de duas formas:
 - reflexão em superfície refletora da luz projetada por uma série de lâmpadas posicionadas ao

redor da base;

- conjunto de lâmpadas espalhadas pela superfície do domo, com intensidade controlada, permitindo a fácil incorporação da luz direta do sol pelo controle individualizado da intensidade das lâmpadas de acordo com a posição do sol;
- b) céu retilíneo (caixa de espelhos): a caixa de espelhos integra um forro plano luminoso com paredes espelhadas para criar um horizonte infinito por múltiplas reflexões, simulando, desta forma, apenas a distribuição de céu encoberto.

NOTA Apesar de sua utilidade no processo de medições com modelos, céus artificiais normalmente têm grandes dimensões e exigem calibração e manutenção apropriadas.

12.2.5.3 Céu real

As medições com céu real configuram um procedimento mais viável. Entretanto, a variabilidade das condições pode introduzir erros nos valores absolutos medidos. Para superar este problema, costuma-se realizar medições relativas pela leitura da iluminação externa e produzir taxas percentuais que caracterizem o desempenho do sistema de iluminação natural.

Recomenda-se que todas as medições sejam feitas simultaneamente, uma vez que medições com céu real se caracterizam pela dificuldade de reprodução das condições experimentais. Pelo menos dois sensores são necessários, um para o exterior e outro para o interior, no sentido de produzir dados normalizados para serem usados em análises e comparações com diferentes condições de céu.

12.3 Medições de luminância

Quando uma parte da luz incidente sobre uma superfície é refletida, o olho humano percebe a superfície como uma fonte de luz. O brilho observado é chamado de luminância, que depende da posição e da direção em que o usuário olha (ver Anexo A).

As luminâncias podem ser medidas em modelos em escala reduzida ou em ambientes reais.

NOTA 1 O ofuscamento fisiológico (impedimento da visão) ocorre a partir de 25 000 cd/m².

NOTA 2 Os olhos podem ser facilmente danificados pela visão direta da luz solar, que apresenta uma luminância 1 000 vezes maior que o limite máximo aceitável.

Para avaliar as condições de brilho da superfície de trabalho utilizada por um usuário e do entorno próximo, devem-se realizar medidas de luminância como a seguir:

- a) medir luminâncias na área central de desenvolvimento da atividade visual;
- b) medir luminâncias nas áreas adjacentes que influenciam no desenvolvimento da atividade visual;
- c) medir luminâncias de superfícies muito brilhantes, mesmo que não estejam dentro do campo visual de 120°;
- d) determinar as luminâncias mesmo quando a superfície, dentro do ângulo sólido de 60° ou de 120°, estiver em um plano diferente daquele da superfície de trabalho.

Recomenda-se ainda:

- direcionar o sensor para a superfície ou os objetos em estudo, certificando-se de que estejam contidos no ângulo sólido do sensor;
- assegurar que o sensor esteja o mais próximo possível do que seria a posição dos olhos do ocupante do posto de trabalho.

A Tabela 7 apresenta as posições características de um ambiente de trabalho que devem ter as luminâncias avaliadas. Para cada posição, deve-se medir a luminância em diferentes pontos: A, B, C etc., anotando-os na planilha da Tabela 7.

Tabela 7 – Posições para medição de luminâncias

Posições	Luminância cd/m ²				
	A	B	C	D	E
Parede ao nível dos olhos					
Área central da tarefa					
Área adjacente da tarefa					
Maior luminância no campo de visão					
NOTA A, B, C, D e E são pontos de observação dentro do ambiente.					

Para as medições de distribuição de luminâncias, sugere-se a utilização de um diagrama que caracterize o campo de visão do observador, conforme indicado na Figura 5.

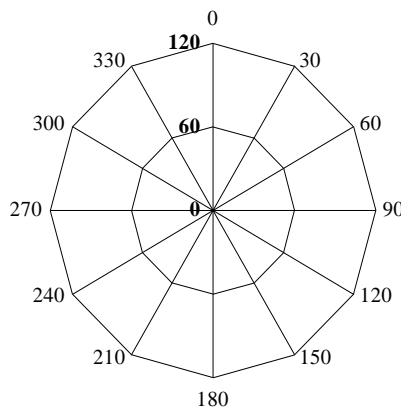


Figura 5 — Diagrama para medição de luminâncias

Para levantamento de luminâncias em postos de trabalho, recomenda-se complementar a utilização do diagrama da Figura 5 com as informações indicadas no Anexo A.



13 Etapa 8 - Tratamento de dados

13.1 Generalidades

Após a conclusão do monitoramento, o procedimento para analisar os resultados deve ocorrer em etapas, para obter resultados significativos e confiáveis.

13.2 Verificação da qualidade dos dados

A qualidade dos dados coletados durante o monitoramento deve ser validada pela equipe de monitoramento. Apenas o conjunto de dados confiável deve ser considerado para análise posterior.

NOTA 1 Se o monitoramento for planejado em detalhes e a equipe de monitoramento considerar uma análise de risco para o monitoramento, há grandes chances de que os dados sejam de boa qualidade.

NOTA 2 Se os dados forem considerados de baixa qualidade, a equipe de monitoramento deve considerar um novo monitoramento.

Causas típicas de baixa qualidade para os dados são: instrumentais (por exemplo, *dataloggers* que falharam inesperadamente durante as medições); operacionais (por exemplo, um sensor de luz acidentalmente sombreado); ou causas devidas às condições de operação (por exemplo, alteração da cobertura de nuvens durante a medição).

13.3 Organização dos dados

A quantidade de dados coletados no monitoramento pode ser grande. Além disso, detalhes são observados pela equipe durante o monitoramento, que são importantes para a interpretação correta dos dados. Recomenda-se organizar os dados de forma compreensível o mais breve possível. A equipe de monitoramento não pode limitar esse processo à criação de um conjunto de dados limpo. Notas, reflexões e observações também devem ser adicionadas ao conjunto de dados. Como princípio geral, os dados devem ser organizados de forma que seja possível ler e interpretá-los de maneira clara.

13.4 Analisar e comparar

A análise do conjunto de dados depende do tipo de dados coletados. Em geral, a análise deve seguir procedimentos padronizados, e os resultados devem poder ser comparáveis a métricas existentes. Dessa forma, torna-se adequada e compreensível a comunicação dos resultados do monitoramento.

A análise também deve ser criteriosa. Recomenda-se que os dados tratados estatisticamente atendam à hipótese do teste estatístico específico (por exemplo, teste de normalidade) e que a população estatística seja tal que a significância estatística seja alcançada. Para dados qualitativos, é importante que tanto os dados coletados quanto a sua interpretação não sejam tendenciosos ou apresentem viés da equipe de monitoramento; assim, a análise e a interpretação dos dados qualitativos devem ser conduzidas por mais de uma pessoa, e devem seguir procedimentos objetivos, como por exemplo o uso da escala Likert.

13.5 Procedimento para normalização de dados

Para normalizar dados de iluminação natural, visando a comparação entre diferentes estudos, recomenda-se a utilização da Equação (3):



$$A_2 = \left(\frac{B_2 \cdot A_1}{B_1} \right) \cdot F \cdot T \quad (3)$$

onde

A_2 é a projeção do nível de iluminação interna no edifício, expressa em lux (lx);

B_2 é a iluminação de referência na região onde se localiza o edifício, determinada pela ABNT NBR 15215-2;

A_1 é o nível de iluminação interno medido no modelo em estudo, expresso em lux (lx);

B_1 é a iluminação de referência medida no modelo em estudo, expressa em lux (lx);

F é o fator de manutenção para os vidros;

T é a transmissividade do vidro, de valor adimensional (recomenda-se, para o vidro comum, 3 mm, $T = 0,85$).

13.6 Iluminância média

Para determinar a iluminância média, deve-se fazer uma análise estatística simplificada para verificar a existência de valores espúrios para pontos com iguais afastamentos da janela. Caso exista dúvida sobre a confiabilidade de algum valor, este também deve ser descartado.

A iluminância média (\bar{E}) sobre a superfície de trabalho deve ser determinada para verificar se o ambiente atinge a especificação de projeto.

Desta forma, a iluminância média é a média aritmética de todos os n pontos medidos conforme a Equação (4):

$$\bar{E} = \frac{E_1 + E_2 + \dots + E_n}{n} \quad (4)$$

Quando as áreas de abrangência dos pontos medidos não forem iguais, deve-se utilizar uma média ponderada conforme a Equação (5):

$$\bar{E} = \frac{E_1 \cdot A_1 + E_2 \cdot A_2 + \dots + E_n \cdot A_n}{A_{\text{total}}} \quad (5)$$

NOTA A iluminância média caracteriza adequadamente apenas os ambientes iluminados artificialmente ou com iluminação zenital uniformemente distribuída.

13.7 Representação gráfica dos resultados

Para uma análise completa da iluminância no ambiente construído, devem-se verificar a variação e a distribuição de iluminância pelas curvas de isoiluminância que são traçadas pelos pontos com igual iluminância, a iluminância sobre a superfície total de trabalho e a uniformidade de iluminância sobre as superfícies de trabalho e seu entorno próximo.

Conhecendo-se a variação da iluminação natural com o afastamento da janela, percebe-se que um nível médio de iluminação pode não representar adequadamente a iluminância do espaço interno. Desta forma, estas curvas representam a variação de iluminância no ambiente e indicam as partes do

ambiente onde é necessário o uso de iluminação artificial para suprir as necessidades mínimas.

14 Etapa 9 – Retroalimentação do processo

O processo de monitoramento pode ser melhorado a partir de experiências anteriores. A análise dos dados de uma experiência anterior pode fornecer *insights* para o projeto de iluminação e para o próprio procedimento de monitoramento. Para tal sugere-se que a equipe de monitoramento se reúna e discuta pontos fortes e fracos do procedimento de monitoramento e que proponha eventuais ajustes.

Ajustes podem ser introduzidos para uma nova rodada de monitoramento. Para ajustes em relação à abordagem do monitoramento, pode ser necessário um monitoramento adicional. Para ajuste em relação às ferramentas, muitas vezes é possível revisar rapidamente o monitoramento planejado com pequeno impacto no tempo e nos recursos alocados.

15 Ferramentas e procedimentos para verificação das condições de iluminação natural

A Tabela 8 apresenta um resumo de métricas e procedimentos que podem ser levantados por meio experimental. Deve-se selecionar para cada caso de monitoramento os métodos mais adequados.

Tabela 8 – Métricas e procedimentos para verificação experimental

Aspecto	Foco	Métrica/indicadores	Ferramentas/equipamentos
Estímulo visual	Quantidade de luz	Iluminação no plano de trabalho	Medições baseadas malha de pontos com medidores de iluminação (próximo) Mapeamento de luminância montada no teto através de imagens HDR (High Dynamic Range, faixa dinâmica alta)
	Fator de Luz do Dia (DF)		
	Quantidade e distribuição de luz	Índice de Uniformidade	Mapeamento de luminância via imagem HDR (High Dynamic Range, faixa dinâmica alta) Medidor de luminância Reflectância e transmissão medidos ou repositório de banco de dados
		Métricas anuais de iluminação natural baseadas no clima	
		Luminância	
	Iluminação de objetos	Iluminação cilíndrica	Medidor de iluminação Sensores de baixo custo
	Direcionalidade da luz	Razão escalar do vetor luminância (<i>Vector-to-scalar luminance ratio</i>)	Mapeamento de luminância por imagem HDR (<i>High Dynamic Range</i> , de alto alcance dinâmico)
Ofuscamento	Probabilidade de ofuscamento pela luz do dia (DGP)		



	Visão externa	Acesso à vista (alto, médio, baixo)	Fotografias e uso de máscaras (ver ABNT NBR 15215-3 para simulação)
Estímulo não visual	Potencial circadiano	EML, M/P	Planilha de Lucas' ^a , ALFA and Lark software
		M-EDI	Ferramentas CIE S 026 α -opic ^a
		CS	Calculadora CS ^a , Software Lark
	Percepção individual de luz (visual e não visual)	Padrão de recepção de luz em nível individual	Sensores de luz vestíveis ^b
Usuário	Percepção Aceitação Satisfação Comportamento	-	^c Questionários Observações Entrevistas estruturadas, semiestruturadas e não estruturadas) Diários
^a Ferramentas que requerem um espectrômetro ou um medidor de iluminação ^b Normalmente são equipados com sensores RGB-IR. Sensores vestíveis com espectrômetro integrado estão aparecendo no mercado e podem ser adequados para medir o potencial circadiano em nível individual. ^c Ferramentas gerais.			

16 Análise de estímulos visuais

16.1 Generalidades

As seções de 16.2 a 16.7 trazem os critérios para avaliação da qualidade do ambiente luminoso iluminado sob a luz do dia são apresentados, de modo a fornecer orientações adicionais sobre os procedimentos existentes e alternativos. A seleção de ferramentas para uso no estudo de caso depende da disponibilidade de recursos (por exemplo, equipamentos) e do tempo disponível para a equipe de monitoramento. Quando houver limitações significativas para a realização das avaliações, a equipe de monitoramento deve focar nos critérios que respondem ao objetivo principal do monitoramento.

16.2 Quantidade de luz

16.2.1 Generalidades

Esta Subseção descreve as ferramentas para medir a quantidade e a distribuição de fontes de luz diurna, usando métricas e indicadores de iluminação.

Para ferramentas baseadas em iluminação, o ideal é que as medidas sejam tomadas isolando os tipos de fonte de luz, para determinar sua contribuição com o desempenho do sistema de iluminação. Quando não for possível medir a iluminação natural separadamente, apagando a iluminação elétrica durante o dia, podem ser medidas as iluminâncias a partir da iluminação elétrica, quando não houver luz do dia (ou seja, à noite), e subtrair das iluminâncias com iluminação elétrica e luz do dia presente. As contribuições diurnas em lux representam o valor resultante. Recomenda-se que as medições sejam

feitas no mesmo local, altura e orientação, para assegurar a confiabilidade dos resultados.

16.2.2 Fator luz do dia (DF)

O fator luz do dia (DF) é a relação entre as iluminações interna e externa, sendo um indicador documentado para fornecer caracterização inicial da quantidade de luz do dia no espaço sob céu encoberto. Este fator é independente da localização geográfica, hora do dia e orientação solar do espaço, e é a soma de três componentes: iluminação direta (se o céu for visível nesse ponto), reflexões externas e reflexões internas. Sabendo que não seria possível medir sob um céu encoberto perfeito, as medições ponto no tempo devem ser feitas às 9 h, 12 h e 15 h, de forma a representar ângulos críticos de azimute solar.

Para prosseguir com as medições, deve ser estabelecido um sistema de grade na sala, na altura do plano de trabalho (0,75 m ou 0,85 m), e devem ser registrados os valores em cada ponto (simultaneamente, se possível), sob condições de céu nublado, E_{task} . Simultaneamente, a iluminação horizontal ao ar livre (idealmente no telhado ou no chão, em uma área com obstrução vertical mínima, como edifícios vizinhos que podem causar ofuscação) deve ser registrada. Se os valores flutuarem, esperar até que as medições sejam estabilizadas e adotar o valor mais persistente. O DF é a média (DF_{mean}) de todos os pontos divididos pela iluminação horizontal externa (expressa em percentual). Como alternativa à média aritmética, a mediana (DF_{median}) pode permitir comparações estatísticas de diferentes espaços. Quando não for possível medir uma malha de pontos, o DF ainda pode ser calculado usando um único ponto, de preferência no centro do ambiente.

NOTA Embora o DF ainda seja um indicador-padrão para quantificar a luz do dia, foi documentado que a sua caracterização do desempenho da luz do dia está desatualizada e não é realista em relação a outras condições contextuais (geografia, condições do céu, hora do dia e orientação solar) que influenciariam os resultados.

16.2.3 Medição da iluminação horizontal com uma câmera de luminância montada no teto

Imagens de *High Dynamic Range* (HDR) possibilitam a geração de mapas de luminância que podem ser usados para explorar cenários de iluminação em interiores. As imagens HDR são criadas combinando várias imagens de *Low Dynamic Range* (LDR), tiradas com diferentes exposições. A vantagem das imagens HDR é que elas são capazes de capturar uma ampla gama de níveis de iluminação, permitindo a representação de áreas muito escuras e muito brilhantes na mesma imagem, sem perda significativa de detalhes.

Mapas de luminância baseados em imagem podem ser usados para identificar fontes de ofuscamento e fornecer uma representação mais ampla da iluminação em um espaço, em comparação com as medições pontuais de luminância. Além disso, esses mapas apresentam o ponto de vista do usuário, oferecendo um *insight* que não pode ser obtido, por exemplo, por medições de malha de pontos. O dispositivo cria, preferencialmente, mapas de luminância correspondentes ao campo visual de um usuário, mas medições baseadas no teto podem oferecer precisão razoável.

Pesquisadores interessados em gerar mapas de luminância podem escolher entre câmeras de luminância calibradas comercialmente disponíveis, programas que convertem imagens HDR em mapas de luminância ou calibração sistemática de uma câmera. Isso torna conveniente o uso de câmeras de luminância de baixo custo para medições de longo prazo em edifícios, onde há risco de danos nos equipamentos.

Neste contexto, um computador do tipo *Raspberry Pi* (RPi)¹, equipado com um módulo de câmera e com uma lente olho de peixe de 180°, pode ser utilizado. Uma das principais vantagens de usar este

dispositivo para fins de medição de luminância é que ele oferece possibilidade de automação de uma sequência de capturas de imagem e seu pós-processamento. Essa característica torna este dispositivo útil para monitorar estudos de caso de longo prazo, em que ele pode ser colocado em um local fixo e gerar mapas de luminância continuamente.

16.3 Quantidade e distribuição de luz

16.3.1 Índices de uniformidade

A razão de uniformidade determina a uniformidade da distribuição de fontes de luz no espaço. A uniformidade de iluminação pode ser perturbadora e ter um efeito de "adaptação transitória", que pode ser visualmente desconfortável a partir de mudanças repentinas na iluminação. A uniformidade de iluminação, U_0 , da área de tarefa é medida no plano horizontal e é determinada como a razão entre o mínimo e a média ou a média e a máxima. Não há valores padronizados para uniformidade, U_0 , em relação à luz natural.

NOTA A ABNT NBR ISO/CIE 8995 apresenta valores para iluminação elétrica.

16.3.2 Métricas de luz do dia baseadas no clima

As métricas de luz do dia baseadas no clima (*CBDM*) são indicadores baseados em séries temporais da quantidade e distribuição da luz diurna disponível no espaço. Autonomia da luz do dia (*DA*), autonomia contínua da luz do dia (*cDA*), autonomia da luz do dia espacial (*SDA*) e iluminância útil da luz do dia (*UDI*) são mais fáceis de simular computacionalmente do que de medir.

Especificamente, iluminância útil da luz do dia (*UDI*) é uma alternativa ao *DF*, porque contabiliza a localização geográfica, as condições do céu, a hora do dia e a orientação solar. A iluminação diurna de 100 lux a 300 lux é considerada iluminação suficiente, com ou sem iluminação elétrica. Valores entre 300 lux e 3 000 lux são desejáveis por pelo menos 50 % do tempo, durante o horário de ocupação. A equipe de monitoramento pode explorar a possibilidade de executar uma simulação *CBDM* para comparação com dados medidos.

O desenvolvimento de tecnologias mais recentes de monitoramento pode permitir medições de campo de métricas baseadas no clima. Este monitoramento pode ser possível, por exemplo, com o uso onipresente de *dataloggers* para medição sem fio, ou com uma câmera HDR calibrada no teto (ver 16.2.3). Essas abordagens são promissoras, mas a tecnologia ainda não é considerada madura o suficiente para a divulgação em larga escala de dispositivos.

16.3.3 Luminância das superfícies

A luminância das superfícies é necessária para avaliar o contraste. A luminância pontual das principais superfícies verticais deve ser medida com um luminômetro para medições pontuais ou, de preferência, por meio de mapeamento de luminâncias.

Se for utilizado um luminômetro, devem ser selecionados pontos críticos. No caso de superfícies uniformemente iluminadas, um a três pontos podem ser suficientes para sua caracterização. Em superfícies de tonalidades fortes, mais pontos devem ser selecionados. Deve ser feita uma fotografia do campo de visão e a medição da mancha de luminância deve ser sobreposta na imagem. As medições pontuais de luminância devem ser feitas para paredes laterais, no nível dos olhos, para posições sentadas (1,2 m) e em pé (1,6 m). A medição do local deve ser repetida para cada configuração fornecida pelo sistema: luz do dia (diferentes condições do céu) e com uso simultâneo de iluminação elétrica. Valores acima de 100 cd/m^2 são geralmente preferíveis em escritórios.

16.3.4 Distribuição da iluminação natural no campo visual

A distribuição da luz no campo de visão é fundamental para uma visibilidade adequada. A medição pontual de luminâncias na tarefa permite avaliar se as relações de contraste garantem um ambiente luminoso confortável.

16.3.5 Refletância e transmissividade

Para caracterização dos espaços internos e sua relação com os valores e características encontrados, podem ser usados dados de refletância e transmissividade das superfícies medidos em laboratório ou fornecidos por fabricantes.

16.4 Mapeamento de luminâncias

Para gerar um mapa de luminâncias de uma cena visual, ou seja, imagens em que cada pixel represente a luminância da parte correspondente da cena visual capturada, fotografias *high dynamic range* (HDR) podem ser usadas. A fotografia HDR consiste em capturar várias fotografias de uma cena de um ponto de vista idêntico com diferentes exposições, ou seja, imagens de *Low Dynamic Range* (LDR), e mesclá-las para obter uma imagem com maior alcance de brilho, ou seja, uma imagem HDR. O mapa de luminância pode ser usado para uma variedade de escopos, por exemplo, para verificar ocorrência de ofuscamento.

Existem dois métodos principais de geração de um mapa de luminâncias de uma cena visual: por meio de uma calibração absoluta (com uma câmera de medição de luminâncias) ou por meio de uma calibração, usando um algoritmo de fusão automática (com uma câmera fotográfica).

A calibração absoluta é a implementada por fabricantes profissionais em câmeras de medição de luminâncias. Gerar mapas de luminância usando uma câmera de luminância é, portanto, simples e não requer manipulações ou medidas adicionais. A calibração passo a passo é mais complexa, mas permite gerar mapas de luminância usando uma câmera fotográfica comercialmente disponível. O método consiste em aplicar um algoritmo automático para mesclar as imagens LDR capturadas em uma imagem HDR, enquanto fazem uma calibração radiométrica, antes de ajustar manualmente a imagem HDR gerada para calibrá-la fotometricamente e geometricamente. O método de calibração passo a passo para gerar mapas de luminância de cenas visuais diurnas a partir de uma sequência de imagens LDR (jpeg) é descrito no Anexo D^[69].

16.5 Ofuscamento

16.5.1 Avaliação preliminar da ocorrência de ofuscamento

Áreas com risco de ofuscamento devem ser monitoradas com ferramentas mais específicas, como mapeamento de luminâncias. Áreas com risco de ofuscamento podem ser pré-identificadas com o uso de programas que permitam a simulação de ofuscamento (ver ABNT NBR 15215-3).

16.5.2 Ofuscamento pela da luz do dia

O ofuscamento causado pela luz do dia é medido pela probabilidade de ofuscamento pela luz natural (DGP). Para avaliação do DGP, uma imagem HDR deve ser carregada em programa apropriado que forneça uma medida de DGP. O DGP inferior a 0,35 é classificado como imperceptível, enquanto o DGP maior ou igual a 0,45 é classificado como intolerável.

Um mapa de distribuição de luminâncias é necessário para medir a DGP e representa um único ponto de vista em uma época específica do ano. A equipe de monitoramento deve identificar o ponto de vista

e a época relevante do ano para as medições.

Para medir o DGP, deve-se utilizar um mapa de luminância e seguir o procedimento indicado nesta Parte da ABNT NBR 15215. Se uma câmera for fornecida com uma lente tipo olho de peixe de 180 °, nenhum outro instrumento é necessário. Em outros casos, a iluminação vertical na posição ocular também deve ser medida.

16.6 Vista externa

Métodos simplificados para verificar este parâmetro incluem uma avaliação visual de fotografias, para as quais recomenda-se o uso de uma lente tipo olho de peixe. Estudos mais recentes incluíram o uso de imagens panorâmicas e gravações de vídeo para capturar aspectos dinâmicos e ambientais, bem como métodos de visão computacional para classificar características mistas em vistas urbanas.

16.7 Dispositivos vestíveis de medição de iluminação

Dispositivos de registro de luz vestíveis (ou dosímetros de luz) são sensores portáteis que podem rastrear a exposição pessoal à luz. São frequentemente usados em estudos de campo que visam conectar a dose diária de luz recebida por uma pessoa e respostas fisiológicas ou psicológicas (por exemplo, estado de alerta, qualidade do sono). Durante o dia, uma pessoa é exposta a uma variedade de condições de luz, natural e elétrica, que não podem ser adequadamente avaliadas apenas por medidas estáticas de luz em espaços internos. Os dispositivos de luz vestíveis permitem medições dinâmicas durante um período de tempo, e seus resultados podem ser combinados com o uso de questionários, rastreadores de atividades e/ou diários de sono. Vários dispositivos vestíveis estão disponíveis comercialmente, e há uma grande variedade de métricas de luz que eles podem medir, variando sua posição no corpo, precisão e custo.

A métrica de saída mais comum de dispositivos de luz vestíveis é a iluminância. Alguns dos dispositivos disponíveis no mercado fornecem CCT de três canais de cores distintos (vermelha, verde e azul, ou RGB), poucos dispositivos comerciais fornecem um padrão de distribuição espectral (SPD) como saída. Embora a iluminação seja uma saída útil, nem sempre é considerada a métrica mais apropriada para respostas fisiológicas à luz e não pode ser convertida diretamente em EML, CS ou mel-EDI. Como dados RGB não são equivalentes a dados espectrais para calcular métricas circadianas, são necessárias medidas de todo o espectro visível (por exemplo, a cada 5 nm). Dispositivos vestíveis que fornecem dados espectrais com alta resolução começaram a ficar disponíveis, embora ainda tenham um custo alto.

Idealmente, os dispositivos devem estar localizados o mais próximo possível do olho com o sensor em uma posição vertical, se possível na têmpora, já que é o olho que mede a resposta dos humanos à luz. No entanto, vários dispositivos são usados no pulso, embora eles possam causar desvios significativos, mesmo sendo menos incômodos.

Os dispositivos vestíveis devem ser calibrados contra um sensor corrigido por cosseno. A calibração precisa ser específica para cada tipo de fonte de luz, em função de sua variação espectral. Alguns dos índices importantes para a calibração são: índice geral $V(\lambda)$ incompatibilidade $f1'$, índice de resposta direcional $f2$, índice de linearidade $f3$ e índice de temperatura $f6,T$. O $f1'$ mede a correspondência espectral entre o sensor e a curva de eficiência luminosa fotopical $V(\lambda)$. O índice $f2$ indica a influência do ângulo de incidência. O índice $f3$ analisa se a saída de um sensor aumenta linearmente com o aumento da saída da fonte de luz. O $f6,T$ refere-se à influência da temperatura ambiente no desempenho do sensor.

Questões práticas também precisam ser consideradas, como a capacidade de registro de dados,

extração de dados e duração da bateria. A taxa de amostragem do dispositivo afeta o número de pontos de dados que podem ser armazenados nele, portanto é necessário selecioná-lo com base nas necessidades específicas do aplicativo. Além disso, antes de usar um dispositivo, deve-se saber com que frequência ele deve ser recarregado.

Devem ser fornecidas instruções claras aos participantes. Os usuários devem ser instruídos quando e onde usar o dispositivo e o que fazer com os dispositivos ao sair ao ar livre ou durante o sono. Dispositivos que são colocados no pulso ou em roupas podem ser cobertos quando o usuário estiver colocando um casaco e, portanto, é necessário registrar estas atividades, uma vez que a qualidade dos dados medidos depende da qualidade do sensor, mas também da forma como o usuário o utiliza.

17 Quantificando a luz como estímulo não visual

17.1 Potencial circadiano

17.1.1 Geral

Existem dois métodos para quantificar a luz como estímulo não visual ^[33], que são baseados em:

- a) resposta espectral dos fotopigmentos nos bastonetes, cones e ipRGC;
- b) avaliação da supressão noturna do hormônio melatonina.

Existem duas métricas para o primeiro método: lux melanópico equivalente (*equivalent melanopic lux - EML*)^[56] e iluminância da luz do dia melanópica equivalente (*melanopic equivalent daylight illuminance -M-EDI*)^[16]; e uma ferramenta para o segundo método, o estímulo circadiano (circadian stimulus -CS)^{[(72), [73], [74)]}.

NOTA Até o momento, o EML é a métrica mais difundida, pois tem sido adotada por sistemas de certificação voluntária aplicados a edificações (por exemplo, certificação WELL). Essa métrica também é um dado de saída-padrão para as versões atuais de *softwares* de projeto de iluminação circadiana (Alfa, Lark). O M-EDI foi proposto pela CIE e espera-se que se torne uma métrica-padrão no futuro. O CS também é amplamente utilizado.

Para os efeitos desta Parte da ABNT NBR 15215, o procedimento de medição a seguir se aplica a todas as métricas propostas.

17.1.2 Procedimento de medição do estímulo não visual

O estímulo não visual deve ser medido em pelo menos duas posições extremas no espaço, sendo uma sob a luz do dia predominantemente (por exemplo, perto de uma janela) e a outra sob iluminação predominantemente elétrica (por exemplo, em uma posição mais profunda na sala). As medições devem ser repetidas preferencialmente em diferentes horas do dia e estações. Se isso não for possível, recomenda-se selecionar um dia nublado perto de um equinócio.

A medição requer:

- um espectrômetro ou pelo menos um medidor de iluminância (luxímetro);
- uma ferramenta para calcular a métrica selecionada (EML, M-EDI, CS). As ferramentas são livres. Uma versão *online* da calculadora CS também está disponível. Os *links* para as páginas em que estas podem ser baixadas ou consultadas são indicados na bibliografia (ver Anexo B).

O espectrômetro deve medir a irradiação na faixa visível (380 nm a 780 nm), geralmente com um

intervalo de 1 nm a 5 nm. Normalmente, os dados medidos por estes aparelhos podem ser baixados na forma de um arquivo .csv. A vantagem de usar um espectrômetro é que a irradiação real é medida.

Se um medidor de iluminação estiver disponível, a equipe de monitoramento deve observar os tipos de fontes de luz que fornecem iluminação. As ferramentas fornecem abordagens aproximadas em que a iluminação é convertida em irradiação aproximada, usando distribuições de energia espectral relativas padrão para as fontes de luz selecionadas. Esse dispositivo requer baixo investimento e geralmente está disponível para a maioria das equipes de monitoramento. Porém, a irradiação resultante é apenas aproximada, e a irradiação fornecida por uma mistura de fontes de luz é mais complexa de ser estimada.

As medidas devem ser realizadas verticalmente, na altura dos olhos. Para realizar a medição, deve-se atender ao seguinte:

- a) anotar dia, hora e condições de medição. Usar fotografias como documentação para cada uma das medições;
- b) realizar uma medição inicial de irradiação vertical (ou, alternativamente, iluminância) na posição ocular do ocupante sob a luz do dia, para cada uma das posições extremas de tarefa;
- c) realizar uma medição de irradiação vertical (ou, alternativamente, iluminância) na posição ocular do ocupante sob luz diurna combinada e da iluminação elétrica para cada uma das posições extremas de tarefa;
- d) realizar uma medição de irradiação vertical (ou, alternativamente, iluminância) na posição ocular do ocupante sob iluminação elétrica (noite) para cada uma das posições extremas de tarefa;
- e) baixar os dados;
- f) usar a planilha apropriada para a métrica selecionada para a avaliação da luz circadiana.

As seções 17.2 a 17.4 fornecem uma visão geral das três métricas circadianas propostas (EML, Mel-EDI, CS) e de suas respectivas planilhas de cálculo.

17.2 Planilha de Lucas - Lux melanópico equivalente (EML) e M/P

O potencial circadiano de um espaço pode ser estimado ao se quantificar o EML^[25],^[56]. Os valores EML podem ser calculados utilizando-se a planilha em MS Excel "*Irradiance Toolbox*"^[56]. A planilha pode ser acessada na página do Lucas Group, no *site* da Universidade de Manchester^[55]².

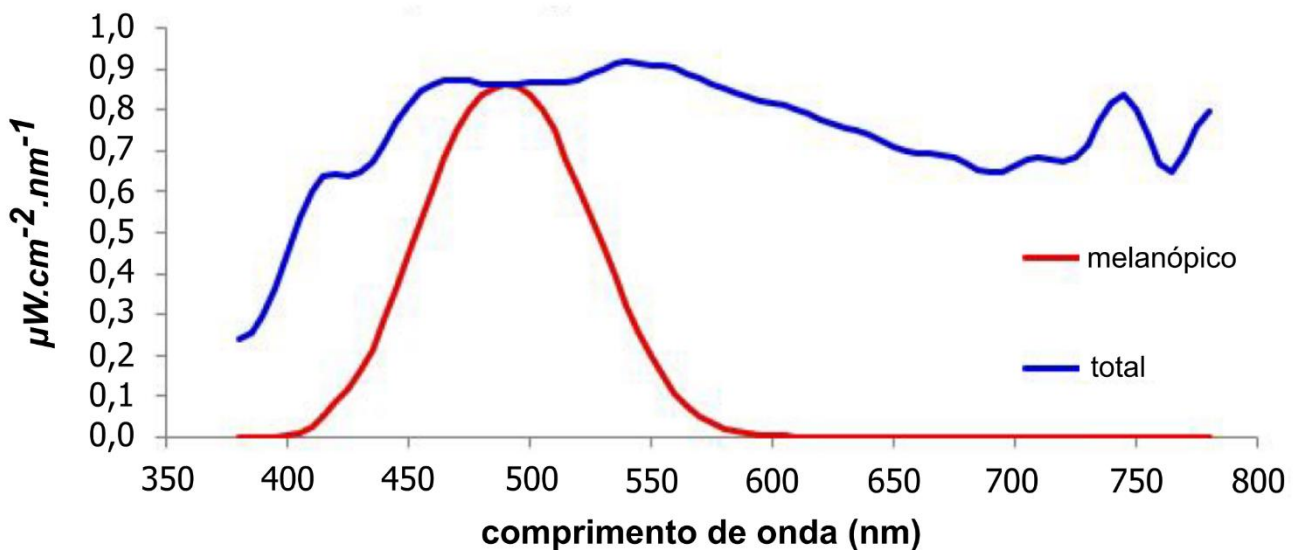
A planilha fornece tanto a luz fotóptica quanto a cianópica, clorópica, eritrópica, melanópica e rodópica, sendo as três primeiras correspondentes às três classes de cones presentes na retina humana, a seguinte aos iPRGCs e a última aos bastonetes. Apenas o lux melanópico equivalente é usado para estimar a resposta não visual porque o papel de cada fotorreceptor no ciclo circadiano ainda não foi precisamente determinado e, portanto, suas unidades equivalentes ainda não foram integradas ao cálculo do estímulo não visual.

As informações necessárias para aplicar a conversão são a irradiação medida, ou a iluminação medida, e a distribuição de energia espectral da fonte de luz. Na planilha de Lucas, a irradiação medida com um espectrômetro é o dado de entrada, e as iluminâncias são calculadas. Para a medição

² A planilha de Lucas é um exemplo de produto adequado comercialmente disponível. Esta informação é dada para facilitar aos usuários deste Documento e não constitui um endosso por parte da ABNT ao produto citado.

aproximada com luxímetro, o usuário deve digitar a iluminação fotópica medida pelo dispositivo e selecionar o SPD a partir de uma lista predefinida de fontes de luz (por exemplo, incandescente, luz natural, banda estreita, LED branco etc.).

a Figura 6 apresenta, em azul, um exemplo da distribuição de energia espectral (SPD) obtida pelos dados relativos de energia espectral introduzidos na planilha. A curva vermelha na Figura 6 representa a curva de sensibilidade melanópica, com o pico em 480 nm.



b

Iluminância fotópica						
Prefixo	Sensibilidade	$\lambda_{m\acute{a}x}$	Subscrito	curva	Lux	
Fotópico	Visibilidade	555,0	n/a	$V(\lambda)$	125,48	
Complemento do fotorreceptor da retina humana (ponderado)						
Prefixo	Sensibilidade	$\lambda_{m\acute{a}x}$	α em $N_{\alpha}(\lambda)$	curva	α -opic lux	
Cianópico	Cone S	419,0	sc	$N_{sc}(\lambda)$	109,64	
Melanópico	Melanopsina	480,0	z	$N_z(\lambda)$	124,01	
Escotópico	Bastonete	496,3	r	$N_r(\lambda)$	125,72	
Clorópico	Cone M	530,8	mc	$N_{mc}(\lambda)$	126,31	
Eritrópico	Cone L	558,4	lc	$N_{lc}(\lambda)$	123,76	

Figura 6 - Exemplo de resultado gráfico (a) e em tabela (b) de saída da planilha de Lucas

A planilha de Lucas integra a curva SPD em seu processo de cálculo e expressa seus resultados em uma tabela, sintetizando informações sobre a sensibilidade espectral de cada saída da retina e o lux equivalente obtido para cada fotorreceptor (ver Figura 6).

NOTA 1 Para obter mais informações sobre como usar a planilha, recomenda-se consultar o Guia de Usuário da Planilha.

Pode ser útil calcular a razão entre as iluminâncias melanópica e fotópica, fornecendo uma indicação aproximada da composição espectral da fonte de luz. Como regra geral, $M/P > 0,9$ indica uma luz azul enriquecida que é recomendada durante o dia, enquanto $M/P < 0,35$ indica uma luz deslocada para a cor vermelha, que é mais apropriada para a noite.

EXEMPLO Na planilha de Lucas obteve-se 125,48 lux fotópica e um lux melanópico equivalente de 124,01. O fator de conversão é então:

$$M/P = 124,01/125,48 = 0,988$$

NOTA 2 Como este é um tipo de avaliação desenvolvido recentemente, há poucas métricas estabelecidas, estando algumas das quais disponíveis em sistemas de certificação de edificações que indicam recomendações baseadas no padrão temporal da exposição à luz (tempo e duração).

17.3 Iluminância de luz do dia equivalente melanópica (mel-EDI)

A EML é expressa em unidades de lux melanópico (lux) e ainda não é reconhecida pelo sistema internacional de unidades (SI). Como resultado, a *Commission Internationale de L'Eclairage* (CIE) propôs uma nova métrica - a iluminação de luz do dia equivalente melanópica (*melanopic equivalent daylight illuminance* - M-EDI), em uma nova quantidade compatível com o SI. O M-EDI combina a sensibilidade de cinco fotorreceptores (cone S, cone M, cone L, rodopsina, melanospsina) com a luz do dia padrão (D65). Para calcular o M-EDI, utilizar a planilha "CIE S 026 α -opic"^[17], em Microsoft Excel, e um guia de usuário sobre como usar a ferramenta^[18], disponíveis no *site* do CIE.

A planilha M-EDI e a planilha EML necessitam da entrada do dado da irradiação medida por dispositivo ou da distribuição de energia espectral (SPD) de uma fonte de luz e da iluminância fotópica no plano do olho. As medições são feitas em um plano vertical a 1,2 m de altura, representando o plano do olho de um observador na posição sentada. O procedimento para obter o M-EDI da ferramenta é muito semelhante ao da EML. Os dados de saída de resultados da planilha CIE S 026 α -opic fornecem o M-EDI.

17.4 Calculadora de estímulo circadiano (CS – circadian stimulus)

A calculadora CS fornece um coeficiente para expressar até que ponto uma determinada fonte de luz de intensidade e espectro conhecidos provoca respostas circadianas, ou seja, a supressão da secreção de melatonina. Para as faixas de coeficiente de 0 a 0,7, considerar a supressão mínima de de melatonina (0) até a supressão máxima observada (0,7), respectivamente^[27]. Embora os dados de saída sejam diferentes dos outros métodos, a calculadora CS é semelhante à planilha de Lucas na forma como os valores relativos de energia espectral importados de um arquivo .csv (descrevendo a distribuição espectral da fonte de luz) precisam ser introduzidos, ou na seleção de uma fonte de luz de uma lista com características predefinidas.

A calculadora CS funciona com incrementos de comprimento de onda de 2 nm. Os valores podem ser introduzidos na calculadora com incremento de 1 nm ou 5 nm, o que requer uma extrapolação de dados operados pela calculadora CS, respectivamente, para se adequar ao seu incremento de 2 nm. Uma diferença importante entre as duas ferramentas é a capacidade da calculadora CS compilar dados espectrais de várias fontes. Por exemplo, o SPD de uma luminária pré-codificada pode ser combinado com dados codificados manualmente extraídos de uma medição. Uma vez que todas as fontes de luz, combinadas com seus respectivos níveis de iluminação fotópica, sejam codificadas, os dados obtidos após o cálculo são fornecidos em três partes, juntamente com uma exibição de distribuição de energia espectral relativa correspondente a incrementos de comprimento de onda de 2



nm. Existe uma versão *online* da calculadora CS que propõe uma interface mais didática da ferramenta, indicando os passos a seguir e facilitando a escolha de uma fonte de luz e a entrada manual de dados espectrais., A Tabela C.2 fornece recomendações sobre o estímulo circadiano.

Anexo A

(informativo)

Campo visual

A.1 Extensão do campo

A extensão do campo visual de uma pessoa pode ser dividida em duas porções: uma monocular (por um único olho) e outra binocular (pelos dois olhos).

O campo monocular é especificado, aproximadamente, por 60° na parte superior (limitado pela testa), 70° na parte inferior (limitado pela face), 60° na parte limitada pelo nariz e 90° na parte limitada pela têmpora.

A sobreposição dos campos monoculares de cada olho forma o campo visual binocular com um ângulo central de 120° percebido pelos dois olhos, conforme a Figura A.1.

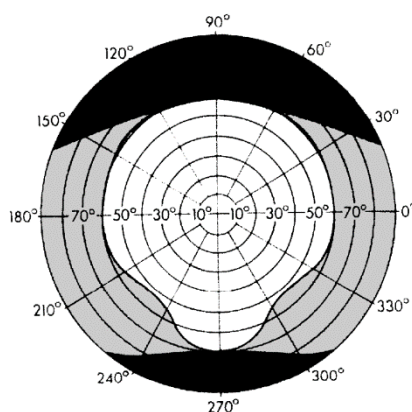


Figura A. 1 – Campo normal de visão

A porção central representa o campo de visão dos dois olhos (binocular), e as porções laterais representam aquilo que é visto isoladamente pelos olhos esquerdo e direito.

A região escura representa a área que não pode ser percebida, limitada pela testa, face e nariz.

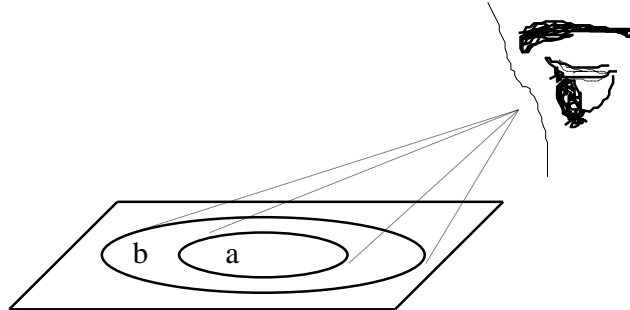
O campo visual pode variar consideravelmente em função da anatomia facial; no entanto, Figura A.1 fornece uma indicação bastante precisa do campo visual para pessoas com anatomia facial normal.

A.2 Área central e adjacente

Com base na especificação do campo visual, pode-se estabelecer uma área para determinação de luminâncias dentro de um ângulo sólido de 120° (3,1416 sr).

Uma área central *a* é especificada para a determinação de luminâncias dentro de um ângulo sólido de 60° (0,842 sr) e uma área adjacente *b* entre o ângulo sólido de 60° (0,842 sr) e os 120° (3,1416 sr)

proporcionados pela visão binocular. A Figura A.2 exemplifica estas informações.



Legenda

- a área central
- b área adjacente

Figura A. 2 – Áreas central e adjacente

Anexo B

(informativo)

Planilha para medições de luminâncias

A Figura B.1 mostra um modelo ilustrativo de planilha de luminâncias.

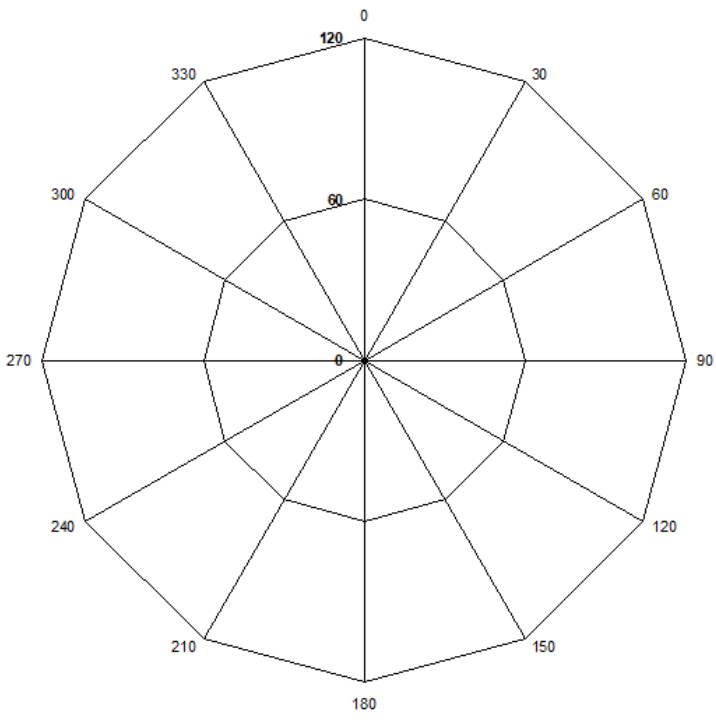
Sala:	
Posição na sala:	
Ocupante do posto de trabalho:	
Data: / /	
Horário:	
	
Desenho esquemático do campo visual [graus]	
Luminâncias de superfícies muito brilhantes, fora do campo visual:	
Equipamento utilizado:	
Referência à ABNT NBR 15215-4:	
Responsável pelas medições:	

Figura B.1 – Modelo de planilha para medições de luminâncias

Anexo C

(informativo)

Pesquisa com Usuários

C.1 Generalidades

As avaliações técnicas ambientais (ATA) podem ser de interpretação complexa, especialmente em edifícios reais ocupados, onde é difícil controlar as condições ambientais. A avaliação de projetos de iluminação baseada apenas em instrumentos técnicos pode então ser complementada pela avaliação do comportamento e preferência dos usuários. Embora seja recomendável configurar um monitoramento contínuo de longo prazo para entender uma fonte de luz dinâmica como luz do dia, não é possível colocar isso em prática para a maioria dos edifícios ocupados reais. Nessa perspectiva, a avaliação ambiental baseada em observadores (AABO) fornece uma conclusão satisfatória e adequada para as ATA, formando uma avaliação pós-ocupação (APO). As AABO podem aprimorar a compreensão do espaço e da opinião e comportamento do usuário, especialmente quando poucas medições ponto no tempo estiverem disponíveis.

Este Anexo orienta os pesquisadores por meio do projeto, aplicação e análise de AABO para seu projeto integrado de iluminação e luz específica no contexto da APO. O principal papel da AABO – combinado com as avaliações técnicas – é verificar *in loco* se o projeto atingiu suas metas de projeto, considerando tanto as medidas objetivas quanto a opinião do usuário.

C.2 Monitoramento do comportamento do usuário

A AABO deve capturar informações que não podem ser medidas por meio das ATA. O projeto deve começar identificando os objetivos do monitoramento para determinar os usuários relevantes em função da escolha do tipo de pesquisa, sendo que pode haver mais de uma meta geral para um projeto. Os usuários podem ser:

- a) usuários reais do espaço;
- b) síndico do prédio ou uma pessoa responsável;
- c) responsáveis pelo monitoramento de sistemas automatizados.

C.3 Longo prazo e ponto no tempo

Tanto os TEA quanto as AABO podem avaliar a situação em um momento e condição específicos (“aqui e agora”), ou para uma condição mais geral a longo prazo, por exemplo, ao longo do ano.

Quando avaliações técnicas ambientais só puderem ser realizadas em momentos específicos, os questionários podem complementar informações sobre horários ou épocas do ano em que não foi possível realizar medições. Recomenda-se repetir a APO em diferentes estações e condições (abordagem longitudinal), pois os usuários podem ter uma percepção diferente dos projetos integrados em diferentes épocas do ano, mesmo quando as perguntas são colocadas de fora do prazo de medição.

Em outros casos, o objetivo do monitoramento pode ser averiguar uma condição específica de iluminação. Medições fotométricas comuns podem não capturar a experiência do usuário de

iluminação, e pesquisas pontuais podem ser úteis. Escalas diferenciais semânticas (quente e fria, direta ou difusa etc.) ou escalas de *Likert* (concordo fortemente – discordo fortemente etc.) podem ser usadas neste caso. Esse tipo de pesquisa deve ser projetado em coordenação com as ATA para que a condição específica de iluminação possa ser medida. Pesquisas pontuais também podem ser usadas para descrever a intenção comportamental ou os comportamentos reais. O diário de iluminação descrito neste Anexo é um exemplo de pesquisa ponto no tempo que descreve o comportamento autorrelatado.

C.4 Tipos de pesquisa

As pesquisas podem ser quantitativas ou qualitativas. Ao projetar as APO simples, para projetos de iluminação natural e de fonte elétrica em edifícios ocupados reais, o investigador pode considerar o apresentado na Tabela C.1.

Tabela C.1- Indicações para pesquisas quantitativas ou qualitativas

Pesquisa quantitativa	Pesquisa qualitativa
<ul style="list-style-type: none">– se o objetivo do monitoramento é bem definido e muito específico– para maior tamanho amostral – pelo menos 15 a 20 indivíduos– se os indivíduos pesquisados compartilham antecedentes, funções e uso semelhantes aos do espaço– se poucos fatores que possam causar confusão na interpretação dos resultados são esperados ou se podem ser isolados (controlando o meio ambiente ou com levantamento adequado)	<ul style="list-style-type: none">– se os objetivos do monitoramento são amplos para um tamanho amostral menor– se os indivíduos pesquisados representam um grupo de indivíduos ou têm uma compreensão geral sobre o espaço, como o gestor da edificação– se os resultados não podem ser diretamente comparados com os TEA– se o investigador tem menor controle sobre possíveis fatores que possam causar confusão na interpretação de dados ou se estes não podem ser isolados

Geralmente, a pesquisa quantitativa inclui questionários com perguntas fechadas. A pesquisa qualitativa depende principalmente de entrevistas, grupos focais ou afins, e as perguntas são abertas. Recomenda-se aos pesquisadores que forneçam espaço para reflexões abertas mesmo quando são projetadas pesquisas quantitativas com perguntas fechadas. Isso é particularmente importante em edifícios reais ocupados, onde o ambiente não pode ser controlado; comentários abertos podem alertar para fatores não previstos ou fornecer *insights* adicionais.

C.5 Análise de dados

A análise de dados depende do tipo de pesquisa. Para pesquisas quantitativas, algumas análises estatísticas podem ser realizadas. Frequências e estatísticas descritivas podem ser geralmente realizadas nos dados. Para dados qualitativos, um grau de subjetividade deve ser sempre contabilizado.

C.6 Exemplo de pesquisas

C.6.1 Generalidades

Esta Seção fornece quatro exemplos de instrumentos: o primeiro é um questionário genérico para espaços de escritório, adequado para longo prazo, com metas bastante genéricas para o monitoramento. As duas seguintes são escalas diferenciais semânticas bipolares pontuais que avaliam

a experiência de luz por meio de qualidades percebidas; são mais utilizadas em projetos de *retrofit* ou, mais em geral, quando há duas situações a serem comparadas. O quarto é um diário autorrelatado que pode ser usado para monitorar o comportamento em nível individual e por curto período de tempo, como complemento ou em substituição de ocupação e sensores ambientais.

C.6.2 Questionário

O questionário pode ser utilizado para recuperar informações gerais sobre a valorização da iluminação no espaço. O questionário tem resultado mais adequado se submetido a um número significativo de indivíduos e se a amostra de indivíduos for caracterizada (antecedentes, funções profissionais, espaço de trabalho, idade e gênero). Grupos heterogêneos podem exigir mais indivíduos para fornecer resultados robustos. A análise de dados pode consistir em frequência e estatística descritiva.

Esta Parte da ABNT NBR 15215 propõe uma estrutura indicativa contendo quatro tópicos principais, apresentados a seguir:

- a) dados pessoais;
- b) ambiente social e físico;
- c) experiência do usuário com a iluminação;
- d) aceitação do usuário em relação a novas tecnologias.

As respostas podem ser dadas em escalas do tipo Likert ou em escalas diferenciais semânticas nas quais se contrapõem dois pares de adjetivos opostos.

C.6.3 Diário de iluminação

Recomenda-se conhecer o comportamento dos usuários em relação a um sistema de iluminação. O diário de iluminação é um instrumento para registrar o uso autorrelatado da iluminação do espaço. O diário tem utilização e compreensão simples, mas deve ser utilizado apenas por curto período de tempo, pois pode gerar ônus aos participantes, resultando em alto risco de desistência. A confiabilidade dos dados sobre o comportamento autorrelatado diminui com o tempo (ver Tabela C.2).

Tabela C.2 – Vantagens e desvantagens de usar o diário de iluminação autorelatado

Vantagens	Desvantagens
<ol style="list-style-type: none">1. Captura todo tipo de comportamento – não depende de questões mal formuladas.2. Os participantes não precisam refletir ao marcar seu comportamento3. Simples aplicação	<ol style="list-style-type: none">1. Ônus para os participantes – risco de abandono2. Subjetividade – os participantes documentam o que acham relevante.3. É demorado para o pesquisador – preparação, instruções, codificação

Os participantes podem ser convidados a relatar os movimentos e as atividades:

- a) os movimentos que podem ser registrados são:
 - entrar na sala;
 - sentar na sala;
 - sair da sala, mas ficar no prédio; e

- sair do prédio.
- b) as atividades que podem ser registradas são:
- ação sobre uma luminária de teto podendo ser ligar, desligar, dimerizar, não atuar;
 - ação sobre uma luminária de mesa podendo ser ligar, desligar, dimerizar, não atuar;
 - ajuste das cortinas ou persianas para bloquear a luz do dia das janelas do escritório: registro da porcentagem de bloqueio da entrada de luz.

Cada vez que um novo movimento ou atividade é realizado, uma nova linha no diário deve ser utilizada, a partir do registro do tempo. O tempo necessário para a coleta de dados pode ser, por exemplo, um dia em duas ocasiões diferentes.

C.6.4 Entrevistas semiestruturadas

O exemplo da Tabela C.3 é um modelo genérico para entrevistas semiestruturadas e pode ser personalizado com base em temas e metas para o monitoramento. Recomenda-se que as perguntas sejam preferencialmente abertas, não muito diretas, permitindo respostas articuladas, evitando respostas sim/não. As perguntas de exemplo podem ser usadas para estimular a discussão. Recomenda-se que as entrevistas sejam gravadas e transcritas.

Tabela C.3 – Exemplo de modelo orientador para entrevistas semiestruturadas

Tema	Objetivo geral	Objetivos específicos	Exemplo de questões
Padrões de uso	Entendendo determinantes do comportamento dos usuários	<ul style="list-style-type: none">– Verificar o uso do ambiente durante a semana.– Identificar as tarefas executadas.– Entender as posições habituais	<ul style="list-style-type: none">– Quantas vezes você esteve neste ambiente nas últimas duas semanas? Você teve muitas reuniões, palestras, viagens etc.?– Foi uma semana "normal"?– Você trabalhou com o <i>laptop</i> para escrever, simular etc.?– Você leu ou revisou artigos?– Onde você se senta quando lê?– Você aproveita a luz do dia?
Ambiente luminoso	Caracterização da experiência de iluminação geral	<ul style="list-style-type: none">– Nível geral de satisfação com o ambiente leve– Entender o quanto a luz ambiental influencia na qualidade da iluminação da tarefa.– Identificar possíveis situações de incômodo.– Utilização das telas	<ul style="list-style-type: none">– Como você descreveria a luz do seu ambiente? Você acha que seu ambiente estava muito escuro ou muito brilhante?– Você acha que a luz é muito direta ou muito difusa no espaço de trabalho? Você achou a luz dura?– Você está satisfeito com as condições de iluminação na sala?– Você acha que o ambiente foi suficiente iluminado a partir da luz do dia?– Alguma vez usou as cortinas ou persianas? Foi devido à luz solar direta no espaço de trabalho ou só porque você achou muito brilhante?– Você experimentou ofuscamento?

Tema	Objetivo geral	Objetivos específicos	Exemplo de questões
Sistema de controle da iluminação	Caracterização da valorização do sistema de controle	<ul style="list-style-type: none">– Capacidade do sistema de controle em responder aos requisitos de iluminação.– Aceitação do sistema de controle pelo usuário– Preferências dos usuários por controles automáticos ou manuais	<ul style="list-style-type: none">– Qual é a sua opinião sobre o sistema de controle?– O sistema funciona corretamente?– Você considera o sistema fácil de usar?– Você gostaria de ter mais "controle" sobre o sistema? De que tipo?– Você considera que o sistema de controle pode melhorar? Como?– Você tem o hábito de ligar a iluminação quando entra na sala? Se sim, v a desliga ao sair?
Sintomas oculares	Verificar os sintomas oculares que ocorrem devido a um ambiente sub ou superiluminado	<ul style="list-style-type: none">– Confirmar a relação entre faores como excesso de luz sisntomas e oculares.– Verificar questões relacionadas a ambientes com pouca iluminação	<ul style="list-style-type: none">– Você teve algum problema de ocular durante o uso deste sistema de controle de iluminação?– Se você teve dor de cabeça, você acha que esse problema está relacionado com a condição de iluminação do ambiente?– Você teve sintomas oculares, como dor, coceira nos olhos, fotossensibilidade, vermelhidão, lágrimas, secura nos olhos?– Você teve outro sintoma?– Com que frequência os sintomas ocorreram?

C.6.5 Uso de personas

Personas são um método para descrever usuários fictícios. Há um grande número de artigos e livros sobre personas, no entanto, uma compreensão unificada de uma única maneira de aplicar o método não existe, ou uma definição do que uma descrição de persona deva conter exatamente.

As personas podem ajudar a entender as necessidades, experiências, comportamentos e objetivos dos usuários de determinado espaço. Nesse contexto, uma persona representa apenas um grupo de usuários.

Em geral, uma persona eficaz descreve uma pessoa real com seus antecedentes, objetivos e valores. Essa pessoa representa um dos grupos de usuários, expressa as principais necessidades do grupo e dá uma visão clara de suas expectativas, além de mostrar como os membros do grupo provavelmente usam os sistemas e/ou soluções. Personas podem ser criadas usando várias ferramentas, como o diário de iluminação, entrevistas ou pesquisas.



Anexo D

(informativo)

Calibração de imagens HDR

D.1 Generalidades

O procedimento completo para gerar um mapa de luminâncias de uma cena visual com luz do dia consiste em múltiplas etapas, sendo algumas das quais baseadas em uma calibração predefinida. A calibração predefinida, como a função de resposta da câmera, deve ser derivada apenas uma vez para um equipamento específico durante a configuração. A calibração predefinida pode ser usada posteriormente para cada mapa de luminância de uma cena iluminada gerada com o mesmo equipamento.

O equipamento necessário para a configuração única só deve estar disponível uma vez. O restante dos equipamentos é necessário para a geração de um mapa de luminâncias.

D.2 Método de calibração

D.2.1 Instrumentação

D.2.1.1 Para a calibração de imagens HDR, é necessário os seguintes instrumentos:

- a) uma câmera fotográfica *Digital Single-Lens Reflex* (DSLR), configurada conforme recomendado na Tabela D.1;
- b) uma lente tipo olho de peixe compatível com a câmera. Uma lente normal (que não seja tipo olho de peixe) também pode ser usada, na condição de que esta lente não seja uma lente de *zoom* ou que o *zoom* seja fixado para assegurar que a lente esteja exatamente na mesma posição durante todo o procedimento de calibração e para todas as capturas seguintes de imagens LDR;
- c) um tripé, para assegurar que a câmera não se mova durante a sequência de múltiplas exposições, ou seja, durante a captura de múltiplas imagens LDR;
- d) um computador para controlar a câmera remotamente e para processar as imagens, equipado com software para controlar remotamente a câmera³; o conjunto de programas de simulação computacional⁴ e a ferramenta de comando *hdrgen* para processar as imagens; e software de registro de imagens em 360°⁵ para aplicar o ajuste fotométrico;

³ qDslrDashboard é exemplo de produto adequado para a função, comercialmente disponível. Esta informação é dada para facilitar aos usuários deste Documento e não constitui um endosso por parte da ABNT ao produto citado.

⁴ Radiance, disponível em <https://www.radiance-online.org/>, é exemplo de produto adequado a função comercialmente disponíveis. Esta informação é dada para facilitar aos usuários deste Documento e não constitui um endosso por parte da ABNT ao produto citado.

⁵ Photosphere é exemplo de produto adequado comercialmente disponíveis. Esta informação é dada para facilitar aos usuários deste Documento e não constitui um endosso por parte da ABNT ao produto citado.

- e) um medidor de luminância calibrado e um alvo cinza médio para fazer o ajuste fotométrico;
- f) um medidor de iluminação calibrado para verificar a validade da imagem feita com a lente tipo olho de peixe HDR calibrada;
- g) um filtro de densidade neutra (ND), que pode ser necessário se o sol ou uma superfície muito brilhante estiver na área central da imagem.

Tabela D.1 - Configuração para a câmera fotográfica DSLR

Critério	Especificação
Velocidade do filme	ISO 100
Abertura	Luz do dia (5 200 K)
Modo de exposição	Manual
Modo de medição da luz	Insignificante
Foco	Manual
Valor do foco	Infinito
Qualidade da imagem	Maior possível
Tipo de imagem	JPEG or RAW
Estilo de fotografia	Neutro
Correção de iluminação periférica	Desligado
Cor ambiente	sRGB

D.2.1.2 Para a configuração em um passo, é necessária o seguinte.:

- gráfico de cores;
- uma unidade de rotação panorâmica e uma placa deslizante para mover a câmera no tripé;
- uma fonte de luz estável e brilhante (por exemplo, um holofote halógeno) em uma sala escura, ou um simulador de céu artificial (por exemplo, uma caixa de espelho) com uma plataforma semicircular.

D.2.2 Procedimento

D.2.2.1 As etapas para a configuração em um passo são resumidas a seguir⁶:

- a) determinação do ponto sem paralaxe
- b) determinação da gama luminosa da câmera, que é caracterizada pelos valores mínimos e máximos de luminância que a câmera e a lente podem medir pela fotografia HDR^[41];

⁶ Mais detalhes sobre como executar essas etapas podem ser encontrados no artigo tutorial ^[69].

- c) determinação da função de resposta da câmera, que relaciona valores de brilho da cena (W/m^2sr) aos valores de pixel (0-255) para os canais RGB, específica para cada câmera dada pelo fabricante;
- d) determinação da função de projeção da lente, ou seja, como as cenas 3D são projetadas em uma imagem 2D;
- e) determinação das curvas que representam a diminuição do brilho que pode ser observada a partir do centro de uma imagem em direção à sua periferia, especialmente quando uma lente tipo olho de peixe é usada.

Se um filtro ND for usado durante a captura de imagens LDR para evitar que os pixels estorem, deve ser feita a determinação da função de correção do filtro ND.

D.2.2.2 A geração de um mapa de luminâncias com a calibração passo a passo deve ser conforme a seguir.

- a) captura de uma sequência de cerca de 15 imagens LDR da cena visual de forma automática, acompanhada de pelo menos uma medição de luminância pontual e uma medição de iluminação vertical;
- b) fusão das exposições para gerar a imagem HDR usando a função de resposta da câmera predefinida e um algoritmo de fusão automática, como o hdrgen;
- c) anulação do valor de exposição, ou seja, inclusão do valor de exposição diretamente nos valores dos pixels;
- d) corte e redimensionamento da imagem HDR usando as coordenadas de visão da lente tipo olho de peixe predefinidas para facilitar futuras manipulações aplicadas à imagem HDR;
- e) ajuste da projeção da imagem HDR utilizando a função de distorção predefinida, uma vez que, em aplicações para as quais a geometria da cena visual é relevante, muitas vezes é preferível ter uma imagem HDR com uma das duas projeções teóricas mais comuns (equidistante ou ortográfica);
- f) correção da vinheta da imagem HDR, usando as curvas de vinheta predefinidas;
- g) correção das alterações da imagem HDR devido ao filtro ND, se este for usado, utilizando a função de correção ND predefinida;
- h) ajuste da fotometria da imagem HDR, utilizando o valor de luminância medido, uma vez que a fotografia HDR captura valores relativos de luminância que devem ser ajustados para recuperar os valores absolutos de luminância da cena;
- i) edição do cabeçalho de imagem HDR, ou seja, o local onde as configurações e os parâmetros da imagem são armazenados, usando o tipo de projeção predefinido e o ângulo de visão real para fornecer informações corretas para pós-análises;
- j) verificação da validade da imagem HDR como um mapa de luminância, usando a iluminação vertical medida e, se necessário, o alcance luminoso predefinido.

D.2.2.3 O método de calibração passo a passo pode ser adaptado para gerar mapas de luminância



de cenas visuais eletricamente iluminadas, com a condição de que as seguintes questões sejam tratadas:

- a) determinação da correta configuração de equilíbrio de branco da câmera para as condições de iluminação estudadas;
- b) análise da interferência potencial da cintilação da fonte de luz elétrica enquanto a sequência de múltiplas exposições está sendo capturada (quando a iluminação elétrica não pode ser desligada para a medição);
- c) resolução limitada da imagem HDR, quando o tamanho da fonte de luz que está sendo medida é muito pequeno na cena visual, como com luminárias *led* atuais (quando a iluminação elétrica não pode ser desligada para a medição).

Bibliografia

- [1] ABNT NBR 15575-1 Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais
- [2] ABNT NBR 15575-4 Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE
- [3] Aarts, M. P. J., van Duijnhoven, J., Aries, M. B. C., & Rosemann, A. L. P. (2017). Performance of personally worn dosimeters to study non-image forming effects of light: Assessment methods. *Building and Environment*, 117, 60-72. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.03.002>
- [4] Aktuna, B., Bueno, B., Darula, S., Deneyer, A., Diakite, A., Fuhrmann, P., Geisler-Moroder, D., Hubschneider, C., Johnsen, K., & Kostro, A. (2016). *Daylighting and electric lighting retrofit solutions*. Universitätsverlag der TU Berlin.
- [5] Altomonte, S., Saadouni, S., Kent, M. G., & Schiavon, S. (2017). Satisfaction with indoor environmental quality in BREEAM and non-BREEAM certified office buildings. *Architectural Science Review*, 60(4), 343-355.
- [6] Baumann, T. F., M. Khaintatzi-Masouti, M., & Osterhaus, W. (2021, 21-24 March 2021). Luminance maps for investigation of lighting in indoor environments from HDR images with the use of a Raspberry Pi computer. Proc. LICHT 2021, Bamberg.
- [7] Berkley Lab. (2019). *Windows & Daylighting*. <https://windows.lbl.gov/software/optics>
- [8] Brown, T.; Brainard, G.; Cajochen, C.; Czeisler, C.; Hanifin, J.; Lockley, S.; Lucas, R.; Munch, M.; O'Hagan, J.; Peirson, S.; Price, L.; Roenneberg, T.; Schlangen, L.; Skene, D.; Spitschan, M.; Vetter, C.; Zee, P.; Wright Jr., K. *Recommendations for Healthy Daytime, Evening, and Night-Time Indoor Light Exposure*. Preprints 2020, 2020120037 (doi: 10.20944/preprints202012.0037.v1).
- [9] Campama Pizarro, R. (2019). *Daylighting and Electric Lighting Integration in the Retail Sector* Lund University]. <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/8999762>
- [10] CEN. (2017a). EN15193-1 Energy performance of buildings - energy requirements for lighting - Part 1: specifications, module M9. In: Comité Européen de Normalisation.
- [11] CEN. (2017b). EN 15193-2 Energy performance of buildings - Energy requirements for lighting - Part 2: Explanation and justification, Module M9. In.
- [12] CEN. (2018). EN 17037:2018 Daylight in Buildings.
- [13] CIBSE (1994): "Code for interior lighting". The Chartered Institution of Building Services Engineers, UK.
- [14] CIE 18.2 (1983): "The Basis of Physical Photometry". Publication CIE No 18.2 (TC-1.2). Commission Internationale de L'Éclairage, France.
- [15] CIE 69 (1987): "Methods of characterizing illuminance meters and luminance meters: performance, characteristics and specifications". Publication CIE No 69. Commission Internationale de L'Éclairage, Austria.
- [16] CIE. (2019). Position Statement - **Proper Light at the Proper Time** <https://cie.co.at/publications/cie-system-metrology-optical-radiation-iprgc-influenced-responses-light-0>
- [17] Planilha CIE S 026 α -opic, disponível em <https://bit.ly/33YM9Rh>
- [18] Guia do usuário, disponível em <https://bit.ly/3auN66d>
- [19] Debevec, P., Reinhard, E., Heidrich, W., Ward, G., Myszkowski, K., & Pattanaik, S. (2010). *High Dynamic Range Imaging: Acquisition, Display, and Image-Based Lighting*. Elsevier Science.
- [20] Delvaeye, R. (2017). *Lighting Energy Numeric Indicator (LENI) Version 2.0*. Retrieved March 2 from <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=tools&sub=calculator&pag=leni>
- [21] Design for Climate & Comfort Lab. (2021). *Spectral materials database*. <http://spectraldb.com/>



- [22] Dubois, M.-C., Gentile, N., Amorim, C. N. D., Geisler-Moroder, D., Jakobiak, R., Matusiak, B., Osterhaus, K. E. W., & Stoffer, S. (2016). *Monitoring protocol for lighting and daylighting retrofits* (IEA SHC Task 50: Advanced Lighting Solutions for Retrofitting Buildings, Issue. http://task50.iea-shc.org/data/sites/1/publications/Technical_Report_T50_D3_final.pdf
- [23] Dumortier, D. (2015). PHOTOLUX: a new luminance mapping system based on Nikon Coolpix digital cameras. *Proceedings of Lux Europa 2015* Berlin, Germany.
- [24] Ellegård, K., & Svedin, U. (2012). Torsten Hägerstrand's time-geography as the cradle of the activity approach in transport geography. *Journal of Transport Geography*, 23, 17-25. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.03.023>
- [25] Enezi, J., Revell, V., Brown, T., Wynne, J., Schlangen, L., & Lucas, R. (2011). A "melanopic" spectral efficiency function predicts the sensitivity of melanopsin photoreceptors to polychromatic lights. *J Biol Rhythms*, 26(4), 314-323. <https://doi.org/10.1177/0748730411409719>
- [26] EPFL-LIPID. (2015). *SpeKtro, Interactive dashboard for exploring non-visual spectrum lighting [online]*. Retrieved 22 May from <http://spektro.epfl.ch/>
- [27] Figueiro, M. G., Gonzales, K., & PeDler, D. (2016). Designing with circadian stimulus. *Ld+ a*, 8, 30-34.
- [28] Figueiro, M. G., Hamner, R., Bierman, A., & Rea, M. S. (2012). Comparisons of three practical field devices used to measure personal light exposures and activity levels. *Lighting Research & Technology*, 45(4), 421-434. <https://doi.org/10.1177/1477153512450453>
- [29] Gentile, N., Dubois, M.-C., Osterhaus, W., Stoffer, S., Amorim, C. N. D., Geisler-Moroder, D., & Jakobiak, R. (2016). A toolbox to evaluate non-residential lighting and daylighting retrofit in practice. *Energy and Buildings*, 123, 151-161. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.04.026>
- [30] Gentile, N., Goven, T., Laike, T., & Sjoberg, K. (2018). A field study of fluorescent and LED classroom lighting. *Lighting Research & Technology*, 50(4), 631-650. <https://doi.org/10.1177/1477153516675911>
- [31] Gifford, R. (2007). *Environmental psychology: Principles and practice*. Optimal books Colville, WA.
- [32] Hellinga, H., & Hordijk, T. (2014). The D&V analysis method: A method for the analysis of daylight access and view quality. *Building and Environment*, 79, 101-114. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.04.032>
- [33] Houser, K. W., & Esposito, T. (2021). Human-Centric Lighting: Foundational Considerations and a Five-Step Design Process. *Frontiers in Neurology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.630553>
- [34] Hygge, S., & Löfberg, H. (1999). *IEA SHC Task 21 Post occupancy evaluation of daylight in buildings* (Center for the Built Environment, Sweden, for IEA Solar and Heating Program Task, Issue.
- [35] Inanici, M. (2006). Evaluation of high dynamic range photography as a luminance data acquisition system. *Lighting Research & Technology*, 38(2), 123-134. <https://doi.org/10.1191/1365782806li164oa>
- [36] Inanici, M. (2009). *Introduction to high dynamic range photography*. https://www.radiance-online.org/community/workshops/2009-boston-ma/Presentations/inanici_HDR-2009.pdf
- [37] Inanici, M., Brennan, M., & Clark, E. (2015). Spectral daylighting simulations: computing circadian light. *Buiding Simulation 2015*, Hyderabad, India.
- [38] Inanici, M., & ZGF Architects, L. (2021). *Lark spectral lighting*. https://faculty.washington.edu/inanici/Lark/Lark_home_page.html
- [39] ISO/CIE. (2014). Characterization of the Performance of Illuminance Meters and Luminance Meters. In Vienna, Austria.: ISO.
- [40] IWBI. (2020). WELL v2 Circadian Lighting Design. In.
- [41] Jakubiec, J. A. (2016). Building a database of opaque materials for lighting simulation. PLEA 2016—Cities, Buildings, People: Towards Regenerative Environments, Proceedings of the 32nd International Conference on Passive and Low Energy Architecture,

- [42] Jakubiec, J. A., Van Den Wymelenberg, K., Inanici, M., & Mahic, A. (2016a). Accurate measurement of daylight interior scenes using high dynamic range photography. Proceedings of the CIE 2016 Lighting Quality and Energy Efficiency Conference,
- [43] Jakubiec, J. A., Van Den Wymelenberg, K., Inanici, M., & Mahic, A. (2016b). Improving the accuracy of measurements in daylight interior scenes using high dynamic range photography. Proceedings of the 32nd PLEA Conference, Los Angeles, CA, USA,
- [44] Johansson, M., Pedersen, E., Maleetipwan-Mattsson, P., Kuhn, L., & Laike, T. (2014). Perceived outdoor lighting quality (POLQ): A lighting assessment tool. *Journal of Environmental Psychology*, 39, 14-21. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2013.12.002>
- [45] Johnsen, K., Dubois, M.-C., & Sørensen, K. G. (2006). Assessment of daylight quality in simple rooms: Impact of three window configurations on daylight conditions, Phase 2. SBI forlag.
- [46] Jung, B., & Inanici, M. (2018). Measuring circadian lighting through high dynamic range photography. *Lighting Research & Technology*, 51(5), 742-763. <https://doi.org/10.1177/1477153518792597>
- [47] Knoop, M. (2016). Daylighting and electric lighting retrofit solutions (A source book of IEA SHC Task 50 'Advanced lighting for retrofitting buildings', Issue. <https://depositonce.tu-berlin.de/handle/11303/5494>
- [48] Konis, K. (2018). Field evaluation of the circadian stimulus potential of daylight and non-daylight spaces in dementia care facilities. *Building and Environment*, 135, 112-123. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.007>
- [49] Kristensen, T. S., Hannerz, H., Høgh, A., & Borg, V. (2005). The Copenhagen Psychosocial Questionnaire-a tool for the assessment and improvement of the psychosocial work environment. *Scandinavian journal of work, environment & health*, 438-449.
- [50] Kruisselbrink, T., Dangol, R., & Rosemann, A. (2018). Photometric measurements of lighting quality: An overview. *Building and Environment*, 138, 42-52. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.028>
- [51] Kruisselbrink, T. W., Dangol, R., & van Loenen, E. J. (2020). Feasibility of ceiling-based luminance distribution measurements. *Building and Environment*, 172, 106699.
- [52] Kuller, R., & Laike, T. (1998). The impact of flicker from fluorescent lighting on well-being, performance and physiological arousal. *Ergonomics*, 41(4), 433-447. <https://doi.org/10.1080/001401398186928>
- [53] Ladybug Tools LLC. (2021). Ladybug Tools. <https://www.ladybug.tools/about.html>
- [54] Liu, R., Zhou, X., Lochhead, S. J., Zhong, Z., Huynh, C. V., & Maxwell, G. M. (2017). Low-energy LED lighting heat gain distribution in buildings, part II: LED luminaire selection and test results. *Science and Technology for the Built Environment*, 23(4), 688-708. <https://doi.org/10.1080/23744731.2016.1250563>
- [55] Lucas Group, & The University of Manchester. (2020). *Lucas Toolbox [online]*. Retrieved 2 March from <http://lucasgroup.lab.manchester.ac.uk/research/measuringmelanopicillumiance/>
- [56] Lucas, R. J., Peirson, S. N., Berson, D. M., Brown, T. M., Cooper, H. M., Czeisler, C. A., Figueiro, M. G., Gamlin, P. D., Lockley, S. W., O'Hagan, J. B., Price, L. L., Provencio, I., Skene, D. J., & Brainard, G. C. (2014). Moore, F. (1991): "Concepts and Practice of Architectural Daylighting". Van Nostrand Reinhold, New York.
- [57] Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends Neurosci*, 37(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2013.10.004>
- [58] Lys og udsyn (§ 377- § 384). (2018). <https://byggningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/18/Krav>
- [59] Maleetipwan-Mattsson, P., Laike, T., & Johansson, M. (2013). Self-Report Diary: A Method to Measure Use of Office Lighting. *Leukos*, 9(4), 291-306. <https://doi.org/10.1582/LEUKOS.2013.09.04.004>
- [60] Mardaljevic, J., Andersen, M., Roy, N., & Christoffersen, J. (2012). *Daylighting, Artificial Lighting and Non-Visual Effects Study for a Residential Building*.

- [61] Markus, T. A. (1967). The function of windows— A reappraisal. *Building Science*, 2(2), 97-121. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0007-3628\(67\)90012-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0007-3628(67)90012-6)
- [62] Markvart, J., Hansen, Å. M., & Christoffersen, J. (2015). Comparison and Correction of the Light Sensor Output from 48 Wearable Light Exposure Devices by Using a Side-by-Side Field Calibration Method. *Leukos*, 11(3), 155-171. <https://doi.org/10.1080/15502724.2015.1020948>
- [63] Matusiak, B., Martyniuk-Pęczek, J., Sibilio, S., Amorim, C. N. D., Scorpio, M., Nazari, M., & Sokol, N. (2021). *User perspective and requirements. Personas*. (A Technical Report of IEA SHC Task 61/ EBC Annex 77. Integrated solutions for Daylighting and Electric Lighting, Issue.
- [64] Meir, I. A., Garb, Y., Jiao, D., & Cicelsky, A. (2009). Post-Occupancy Evaluation: An Inevitable Step Toward Sustainability. *Advances in Building Energy Research*, 3(1), 189-219. <https://doi.org/10.3763/aber.2009.0307>
- [65] Nabil, A., & Mardaljevic, J. (2006). Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. *Energy and Buildings*, 38(7), 905-913. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.013>
- [66] Palm, J., & Ellegård, K. (2011). Visualizing energy consumption activities as a tool for developing effective policy. *International Journal of Consumer Studies*, 35(2), 171-179.
- [67] Pejtersen, J. H., Kristensen, T. S., Borg, V., & Bjorner, J. B. (2009). The second version of the Copenhagen Psychosocial Questionnaire. *Scandinavian Journal of Public Health*, 38(3_suppl), 8-24. <https://doi.org/10.1177/1403494809349858>
- [68] Pham, K., Garcia-Hansen, V., Isoardi, G., & Allan, A. (Manuscript in submitted, 2021). *Open-source hardware and software for in-situ measurements in real contexts: a use case scenario of its usability for lighting research*
- [69] Pierson, C., Cauwerts, C., Bodart, M., & Wienold, J. (2021). Tutorial: luminance maps for daylighting studies from high dynamic range photography. *Leukos*, 17(2), 140-169.
- [70] Pierson, C., Jacobs, A., Wienold, J., & Bodart, M. (2017). Luminance maps from High Dynamic Range imaging: photometric, radiometric and geometric calibrations. *Lux Europa 2017*
- [71] Preiser, W. F., White, E., & Rabinowitz, H. (2015). *Post-Occupancy Evaluation (Routledge Revivals)*. Routledge.
- [72] Rea, M. S., & Figueiro, M. G. (2016). Light as a circadian stimulus for architectural lighting. *Lighting Research & Technology*, 50(4), 497-510. <https://doi.org/10.1177/1477153516682368>
- [73] Rea, M. S., Figueiro, M. G., Bierman, A., & Hamner, R. (2011). Modelling the spectral sensitivity of the human circadian system. *Lighting Research & Technology*, 44(4), 386-396. <https://doi.org/10.1177/1477153511430474>
- [74] Rea, M. S., Figueiro, M. G., Bullough, J. D., & Bierman, A. (2005). A model of phototransduction by the human circadian system. *Brain Research Reviews*, 50(2), 213-228. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2005.07.002>
- [75] Robertson, M. A., Borman, S., & Stevenson, R. L. (1999). Dynamic range improvement through multiple exposures. *Proceedings 1999 International Conference on Image Processing (Cat. 99CH36348)*,
- [76] Rodriguez, F., Garcia-Hansen, V., Allan, A., & Isoardi, G. (2021). Subjective responses toward daylight changes in window views: Assessing dynamic environmental attributes in an immersive experiment. *Building and Environment*, 195, 107720. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107720>
- [77] Sekulovski, D., Poplawski, M., Vogels, I., Whitehead, L., Wilkins, A., Perz, M., & Pong, B.-J. (2016). *CIE TN 006:2016: Visual Aspects of Time-Modulated Lighting Systems—Definitions and Measurement Models*. Commission International de l'Éclairage Retrieved from http://files.cie.co.at/883_CIE_TN_006-2016.pdf



- [78] Shach-Pinsly, D., Fisher-Gewirtzman, D., & Burt, M. (2011). Visual Exposure and Visual Openness: An Integrated Approach and Comparative Evaluation. *Journal of Urban Design*, 16(2), 233-256. <https://doi.org/10.1080/13574809.2011.548979>
- [79] UL. (2020). Design Guideline for Promoting Circadian Entrainment with Light for Day-Active People. In.
- [80] van Duijnhoven, J., Aarts, M. P. J., Aries, M. B. C., Böhmer, M. N., & Rosemann, A. L. P. (2017). Recommendations for measuring non-image-forming effects of light: A practical method to apply on cognitive impaired and unaffected participants. *Technology and Health Care*, 25, 171-186. <https://doi.org/10.3233/THC-161258>