



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Suelem Schier de França

**INFLUÊNCIA DA COMPONENTE REFLETIDA DA LUZ NATURAL NA  
ILUMINAÇÃO CIRCADIANA**

Florianópolis

2024

Suelem Schier de França

**INFLUÊNCIA DA COMPONENTE REFLETIDA DA LUZ NATURAL NA  
ILUMINAÇÃO CIRCADIANA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador(a): Prof.(a) Fernando Oscar Ruttkay Pereira,  
Dr.

Coorientador(a) Prof.(a) Raphaela Walger da Fonseca,  
Dr.(a)

Florianópolis

2024

Schier de França, Suelem

Influência da componente refletida da luz natural na  
iluminação Circadiana / Suelem Schier de França ;  
orientador, Fernando Oscar Ruttkay Pereira, coorientadora,  
Raphaela Walger da Fonseca, 2024.

133 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em  
Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Arquitetura e Urbanismo. 2. ciclo circadiano. 3.  
componente refletida. 4. Iluminância Melanópica. 5. efeito  
não visual da luz. I. Oscar Ruttkay Pereira, Fernando .  
II. Walger da Fonseca, Raphaela . III. Universidade  
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em  
Arquitetura e Urbanismo. IV. Título.

Suelem Schier de França

**Influência da componente refletida da luz natural na iluminação Circadiana**

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em [19 de março de 2024] pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

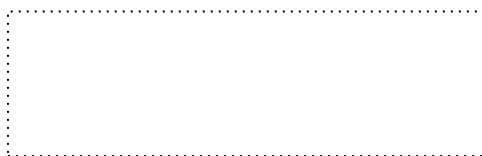
Prof.(a) Maíra Longhinotti Felipe, Dr.(a)

Instituição UFSC

Prof.(a) Cláudia Naves David Amorim, Dr.(a)

Instituição UnB

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.



Coordenação do Programa de Pós-Graduação



Prof. Fernando Oscar Ruttkay Pereira, Dr.

Orientador

Florianópolis, 2024.

Dedico este trabalho em memória ao meu pai, Fábio Sprotte Floriani,  
Saudades Eternas

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Fernando Oscar Ruttkay e a minha coorientadora Raphaela Walger por toda a dedicação e ensinamentos ao longo desse trabalho. Por toda a paciência e compreensão durante esses anos, e por nunca perderem a fé em mim.

A todos os membros da banca de qualificação, que me guiaram para essa entrega final.

A todos os membros da banca final, pela disponibilidade e pela chance de partilhar conhecimentos.

A CAPES pelos recursos financeiros concedidos durante o desenvolvimento da pesquisa.

A todos os membros do LAbCon – UFSC, pela troca de conhecimento e pela companhia nesses anos, desde minha época de bolsista Pibic.

A meu marido, Luís Gustavo, que todo o agradecimento não caberia em palavras. Obrigada por ter me ajudado em todo esse processo, me acompanhado em todas as saídas para fazer medições, e me dado o apoio que eu precisava nessa época tão difícil. Sem ele esse trabalho não teria sido como é, e por isso sou eternamente grata.

Aos meus sogros, Guilbet e André Boldt, por terem me ajudado em toda a parte de confecção da maquete. Obrigada por todo o tempo, cuidado e apoio fornecidos nesse período.

Ao meu irmão, João Vitor Schier, pelas dúvidas intermináveis sobre estatística, onde fomos descobrindo muita coisa juntos. Obrigada por todas as conversas de madrugada e por ter permanecido ao meu lado até o final, ajudando na revisão do trabalho.

Aos meus amigos da UFSC, Yasmin, Thiago e Nicole, que desde a época da graduação sempre me apoiaram e me ajudaram a manter a calma. Obrigada por todas as conversas no Discord falando sobre a vida nesse período.

Ao Escritório Di Leone arquitetura pela compreensão durante esse trabalho. Por me liberarem sempre que precisei e por me ajudar na pesquisa.

A minha mãe, Solange Schier Floriani, que desde sempre foi minha ancora e que me inspirou a seguir a carreira que eu tenho hoje. Obrigada por ter tido fé em mim mesmo quando eu não tinha.

E finalmente, eu agradeço ao meu pai, Fabio Sprotte Floriani, que veio a falecer durante esse trabalho. Por ser o primeiro com quem eu falava sobre tudo, por ter me incentivado a entrar no programa de mestrado e por ter sido o melhor pai que eu poderia pedir.

## RESUMO

Por muito tempo, as principais preocupações dos projetistas quanto a iluminação foi atender a um nível de iluminância no plano de trabalho, garantir eficiência energética do sistema e proporcionar conforto visual aos usuários. Tais parâmetros, apesar de importantes, não enquadram aspectos relacionados a saúde dos usuários do espaço. Isso mudou com a descoberta das Células Ganglionares da Retina intrinsecamente fotossensíveis (ipRGCs), uma das principais responsáveis por sincronizar o ciclo circadiano humano. Esse corresponde ao período de aproximadamente 24 horas de luz e escuridão que o organismo regula suas funções fisiológicas e comportamentais. Um estímulo no período correto pode ajudar a aumentar o estado de alerta e, conseqüentemente, a produtividade do usuário ao longo do dia. Dessa forma, um projeto arquitetônico deve levar em conta não apenas os aspectos visuais da luz, mas também os não visuais, responsáveis por essa sincronização do relógio biológico. Esse trabalho busca estimar o impacto de materiais com diferentes propriedades reflexivas na iluminação circadiana do ambiente. Para isso o estudo foi dividido em 3 etapas: a primeira, consistiu na validação do uso de um modelo em escala para representar um ambiente real para medições de iluminância melanópica, denominada de estudo piloto. Nela, realizaram-se as medições com um espectrofotômetro adotando-se as mesmas refletâncias para ambos, onde comprovou-se que o modelo em escala é representativo do ambiente real, com correlações superiores a 0,9. Na segunda etapa foram trocados os revestimentos das paredes do modelo em escala por outros com refletância diferentes, cada um com refletância visível e não visível semelhantes, totalizando 8 amostras. Por último, foram realizadas medições com materiais com a mesma refletância, mas texturas diferentes. Os resultados confirmam a relevância da componente refletida para a iluminação circadiana, principalmente para as paredes laterais e de fundos do modelo. Constatou-se que, das 8 cores testadas, 4 proporcionam o estado de alerta, enquanto 4 não. Por fim, percebe-se que a alteração de refletância teve um impacto mais significativo no ambiente que a troca de textura do revestimento, já que a troca de geometria não alterou a razão melanópica dos materiais.

**Palavras-chave:** ciclo circadiano; componente refletida; iluminância melanópica, efeito não visual da luz.



## ABSTRACT

For a long time, designers' main concerns regarding lighting were to meet a certain level of illuminance at the workspace, ensure energy efficiency of the system, and provide visual comfort to users. While these parameters are important, they do not encompass aspects related to the users' health within the space. This changed with the discovery of Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cells (ipRGCs), one of the main responsible for synchronizing the human circadian cycle. This corresponds to the approximately 24-hour period of light and darkness during which the body regulates its physiological and behavioral functions. Stimulus at the correct time can help increase alertness and, consequently, user productivity throughout the day. Thus, an architectural design should take into account not only the visual aspects of light but also the non-visual aspects responsible for this synchronization of the biological clock. This work aims to estimate the impact of materials with different reflective properties on the circadian lighting of the environment. For this, the study was divided into 3 stages: the first consisted of validating the use of a scaled model to represent a real environment for melanopic illuminance measurements, called a pilot study. In it, measurements were taken with a spectrophotometer adopting the same reflectances for both, where it was proven that the scaled model is representative of the real environment, with correlations exceeding 0.9. In the second stage, the wall coverings of the scaled model were replaced by others with different reflectance, each with similar visible and non-visible reflectance, totaling 8 samples. Finally, measurements were taken with materials with the same reflectance but different geometries. The results confirm the relevance of the reflected component for circadian lighting, especially for the lateral and back walls of the model. It was found that, out of the 8 colors tested, 4 provide alertness while 4 do not. Finally, it is noted that the change in reflectance had a more significant impact on the environment than the change in geometry of the covering, since the change in geometry did not alter the melanopic ratio of the materials.

**Keywords:** circadian cycle; reflected component; melanopic illuminance; non-visual effect of light.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de Resposta ao Estímulo Visual .....	21
Figura 2 – Curva de Sensibilidade Melanópica x Fotópica .....	22
Figura 3 - Nível de melatonina no plasma .....	23
Figura 4 - Espectros de diferentes fontes de luz (natural, halógena, fluorescente e LED) .....	25
Figura 5 - Luminâncias em diferentes condições de céu .....	26
Figura 6 - Composição espectral da luz natural ao longo do dia .....	27
Figura 7 - Classificação de padrões de transmissão e d reflexão.....	28
Figura 8 - Valores de Razão Melanópica (RME) para cada um dos materiais.....	30
Figura 9 - (a) Modelos em escala (b) Superfícies internas, (c) Corte longitudinal.....	31
Figura 10 – Luminária de mesa com iluminação circadiana colocada nas estações de trabalho .....	34
Figura 11 - Visualização anual da área efetiva circadiana (CEA) e avaliação de qualidade (A, B, C, D, E, F) .....	36
Figura 12 - Espectro do material no software ALFA .....	37
Figura 13 - (a) modelo em escala no céu artificial, (b) materiais das paredes (d) detalhe de conexão (d) sensor de iluminancia vertical (e) WWR=30%, (f) WWR=60% e (g)WWR=90%, .....	38
Figura 14 - Fluxograma da metodologia da dissertação .....	41
Figura 15 - Localização da sala no Departamento de Arquitetura e Urbanismo .....	42
Figura 16 - Isométrica do objeto de estudo.....	42
Figura 17 - Nova configuração da sala e posicionamento do modelo em escala .....	44
Figura 18 - Blackout dividindo a sala .....	44
Figura 19 - Aberturas para medição .....	44
Figura 20 – Espectrofotômetro utilizado para as medições .....	45
Figura 21 - Pontos de Medição da Etapa 1 do Método.....	46
Figura 22 - Aberturas para encaixe do espectrofotômetro na maquete .....	47
Figura 23 - Materiais escolhidos.....	52
Figura 24 – Comprimento de onda dos materiais .....	53
Figura 25 - Comprimento de onda separado por cor .....	54
Figura 26 - Ponto de medição para análise de refletância na segunda etapa do método	56

Figura 27 - Nova maquete com 6mm a mais em cada lado para o encaixa das chapas de revestimento (tampa removível) .....	56
Figura 28 - Abertura lateral nas chapas com revestimentos na segunda etapa do método .....	57
Figura 29 - Condições de céu para cada um dos dias de medição .....	58
Figura 30 - Textura plissada aplicada na maquete.....	60
Figura 31 - Materiais escolhidos para alteração de textura .....	60
Figura 32 - Gráfico de Dispersão para o dia 14/07 .....	62
Figura 33 - Gráficos de dispersão para o dia 21/07 .....	62
Figura 34 - Gráfico de Dispersão para os pontos A, E .....	63
Figura 35 - Gráfico de Dispersão para os pontos B, D, F, H .....	63
Figura 36 - Gráfico de Dispersão para os pontos C, G .....	64
Figura 37 - Gráfico de Dispersão para AE .....	65
Figura 38 - Gráfico de Dispersão para BDFH .....	65
Figura 39 - Gráfico de Dispersão para CG .....	65
Figura 40 - Iluminância Fotópica e Melanópica para o Ponto A (Parede Frontal) para diferentes revestimentos .....	67
Figura 41 - Iluminância Fotópica e Melanópica para o Ponto B (Parede Lateral) para diferentes revestimentos .....	69
Figura 42 - Iluminância Fotópica e Melanópica para o Ponto C (Parede Fundos) para diferentes revestimentos .....	70
Figura 43 - EML - Ponto A (Parede Frontal) para diferentes revestimentos.....	72
Figura 44 - EML - Ponto B (Parede Lateral) para diferentes revestimentos .....	72
Figura 45 - EML - Ponto C (Parede Fundos) para diferentes revestimentos.....	73
Figura 46 - Razão melanópica - Ponto A (Parede Frontal) para diferentes revestimentos .....	75
Figura 47 - Razão Melanópica - Ponto B (Parede Lateral) para diferentes revestimentos .....	75
Figura 48 - Razão Melanópica - Ponto C (Parede Fundos) para diferentes revestimentos .....	75
Figura 49 - Iluminância Fotópica e Melanópica - Ponto A (Parede Frontal) para diferentes texturas .....	78
Figura 50 - Iluminância Fotópica e Melanópica - Ponto B (Parede Lateral) para diferentes texturas .....	78

Figura 51 - Iluminância Fotópica e Melanópica - Ponto C (Parede Fundos) para diferentes texturas .....	79
Figura 52 - Razão melanópica para diferentes texturas .....	80
Figura 53 - Layout proposto para o objeto de estudo .....	81
Figura 54 - Propostas de Layout para diferentes dimensões de sala .....	82

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Medição no ambiente real - dia 14 de julho .....	91
Quadro 2 - Medição no modelo em escala - dia 14 de julho.....	94
Quadro 3 - Medição no ambiente real - dia 21 de julho .....	97
Quadro 4 - Medição no modelo em escala - dia 21 de julho.....	102
Quadro 5 - Valores de iluminância Fotópica e melanópica para a pintura azul lisa .....	107
Quadro 6 - Valores de iluminância Fotópica e melanópica para o papel de parede azul .....	109
Quadro 7 - Valores de iluminância Fotópica e Melanópica para a pintura vermelha lisa .....	111
Quadro 8 - Valores de iluminância Fotópica e Melanópica para o MDF Mogno 113	
Quadro 9 - Valores de iluminância Fotópica e Melanópica para o MDF Madeira Amarela .....	115
Quadro 10 - Valores de iluminância Fotópica e Melanópica para o papel de parede amarelo .....	117
Quadro 11 - Valores de iluminância Fotópica e Melanópica para o MDF Cinza 119	
Quadro 12 - Valores de iluminância Fotópica e Melanópica para pintura branca (original).....	121
Quadro 13 - Iluminância Fotópica e Melanópica para a pintura azul plissada .	124
Quadro 14 - Iluminância Fotópica e Melanópica para a pintura vermelha plissada .....	126

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Subdivisão do dia de acordo com o estímulo circadiano .....	22
Tabela 2 – Refletância Fotópica e Melanópica dos materiais presentes no estudo de caso.....	43
Tabela 3 - Força da Correlação Linear de Pearson .....	49
Tabela 4 - Dados de medição analisados referentes a etapa 01 do método .....	61
Tabela 5 - Iluminância Fotópica - Ponto A (Parede Frontal).....	66
Tabela 6 - Iluminância Melanópica - Ponto A (Parede Frontal).....	67
Tabela 7 - Iluminância Fotópica - Ponto B (Parede Lateral) .....	68
Tabela 8 - Iluminância Melanópica - Ponto B (Parede Lateral) .....	68
Tabela 9 - Iluminância Fotópica - Ponto C (Parede Fundos).....	69
Tabela 10 - Iluminância Melanópica - Ponto C (Parede Fundos).....	70
Tabela 11 - Valores de Iluminância Fotópica e Melanópica para o material liso e plissado.....	77

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Cálculo do EML .....	35
Equação 2 - Cálculo da Correlação Linear de Pearson .....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- AL – Revestimento pintura azul lisa
- ALFA - Adaptive Light for Alertness
- AP – Revestimento papel de parede amarelo
- BR – Revestimento Pintura Branca
- C ( $\lambda$ ) - Comprimento de Onda da Curva de Sensibilidade do Espectro não visual (nm)
- CI – Revestimento MDF cinza
- CIE – International Commission on Illumination (Comissão Internacional de iluminação)
- CL<sub>A</sub> – Circadian Light (Luz Circadiana)
- CMP - Complexo Prismático
- CS – Circadian Stimulus (Estímulo Circadiano)
- DIF - Difuso
- EML – Equivalent Melanopic Illuminance (Iluminância Melanópica Equivalente)
- HCL - Human Centric Lighting
- HDR - High Dynamic Range
- ipRGCs – Intrinsically photosensitive ganglion cells (Células Ganglionares da Retina intrinsecamente fotossensíveis)
- ISO - International organization for standardization
- L – Iluminância Vertical
- LabCon - Laboratório de Conforto Ambiental
- LED - Diodo Emissor de Luz
- MA – Revestimento MDF madeira amarela
- MDF - Medium Density Fiberboard
- MM – Revestimento MDF madeira mogno
- n - Número de pares de observação
- PA – Revestimento papel de parede azul
- R – Razão Melanópica
- r - Coeficiente de correlação linear de Pearson
- R<sup>2</sup> - Coeficiente de determinação
- RME – Relative Melanopic Efficacy (Eficácia Melanópica Relativa)
- SCA N - Scatter Narrow (disperso ângulo estreito)



SCA W - Scatter Wide (disperso ângulo amplo)

sDA - Spatial Daylight Autonomy (Autonomia de Luz Natural Espacial)

SPE – especular

TCC - Temperatura de Cor Correlata (K)

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

V ( $\lambda$ ) - Comprimento de Onda da Curva de Sensibilidade do Espectro visual (nm)

VL – Revestimento pintura vermelha lisa

WWR – Window-to-Wall-Ratio (Razão entre área de janela e de parede interna)

x - Variável independente

y - Variável dependente

$\lambda$  - Comprimento de Onda (nm)

$\rho_F$  - Refletância Fotópica

$\rho_M$  - Refletância Melanópica

$\rho_{\text{PAREDE}}$  - Refletância da parede

$\rho_{\text{TETO}}$  - Refletância do teto

$\rho_{\text{PISO}}$  - Refletância do piso

## LISTA DE SÍMBOLOS



Sentido da medição direcionado para cima



Sentido da medição direcionado para o lado esquerdo



Sentido da medição direcionado para o lado direito



Sentido da medição direcionado para baixo

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1	OBJETIVOS .....	19
1.1.1	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>19</b>
1.1.2	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>20</b>
2.1	IPRGCS E O ESTÍMULO CIRCADIANO.....	20
2.2	COMPOSIÇÕES DAS FONTES DE LUZ .....	24
2.3	REFLETÂNCIAS DOS MATERIAIS E O ESTÍMULO CIRCADIANO .....	27
2.4	MÉTODOS DE MEDIÇÃO DA ILUMINAÇÃO CIRCADIANA .....	32
2.5	CONCLUSÕES DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	39
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>40</b>
3.1	ETAPA 01- ESTUDO PILOTO: MODELO EM ESCALA REDUZIDA X AMBIENTE REAL .....	41
3.1.1	<b>Estudo de caso.....</b>	<b>41</b>
3.1.2	<b>Protocolo de Medição: Ambiente real x Modelo em Escala Reduzida .....</b>	<b>45</b>
3.1.3	<b>Análise dos dados da Etapa 01 do método .....</b>	<b>48</b>
3.2	ETAPA 02 - ESTUDO DAS REFLETÂNCIAS APLICADAS NO MODELO EM ESCALA REDUZIDA .....	51
3.2.1	<b>Materiais Escolhidos.....</b>	<b>51</b>
3.2.2	<b>Protocolo de Medição: Diferentes Refletâncias dos materiais.....</b>	<b>55</b>
3.2.3	<b>Análise dos dados da Etapa 02 do método .....</b>	<b>58</b>
3.3	ETAPA 03 - ESTUDO DE DIFERENTES TEXTURAS APLICADAS NO MODELO EM ESCALA REDUZIDA .....	59
3.3.1	<b>Texturas escolhidas.....</b>	<b>59</b>
3.3.2	<b>Análise dos Dados da Etapa 03 do método.....</b>	<b>60</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>61</b>
4.1	ESTUDO PILOTO: MODELO EM ESCALA REDUZIDA X AMBIENTE REAL	61
4.2	ESTUDO DAS REFLETÂNCIAS APLICADAS NO MODELO EM ESCALA REDUZIDA.....	66
4.2.1	<b>Análise de Iluminância Fotópica e Melanópica .....</b>	<b>66</b>
4.2.2	<b>Análise da Iluminância Melanópica Equivalente (EML) .....</b>	<b>71</b>

<b>4.2.3</b>	<b>Análise da Razão Melanópica.....</b>	<b>74</b>
4.3	ESTUDO DE DIFERENTES TEXTURAS APLICADAS NO MODELO EM ESCALA REDUZIDA .....	77
4.4	PROPOSIÇÃO DE LAYOUTS .....	81
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>84</b>
5.1	LIMITAÇÕES DO MÉTODO .....	85
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	85
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>87</b>
	<b>ANEXO A – RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DO AMBIENTE REAL X MODELO EM ESCALA .....</b>	<b>91</b>
	<b>ANEXO B – ANÁLISE DAS REFLETÂNCIAS NO MODELO EM ESCALA .....</b>	<b>107</b>
	<b>ANEXO C – ANÁLISE DE GEOMETRIA NO MODELO EM ESCALA ....</b>	<b>124</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A preocupação com as necessidades visuais humanas já é vista em prática no projeto de iluminação. Fatores como fluxo luminoso, temperatura de cor e potência luminosa são elementos-chaves para a escolha de determinada fonte de luz. Além da qualidade e quantidade da luz entrando em um ambiente, outros aspectos como a geometria do espaço, tamanho das aberturas e propriedades dos materiais também apresentam grande impacto na caracterização do ambiente luminoso (POTOČNIK; KOŠIR, 2020).

A iluminação de um ambiente pode ser dividida em duas parcelas: a direta e a indireta. A primeira vem diretamente da fonte, podendo causar ofuscamento em caso de alta intensidade. Já a segunda é ocasionada pelas reflexões das superfícies, que, além de reduzir as chances de ofuscamento, também podem auxiliar na iluminação de parcelas mais afastadas da abertura, no caso da iluminação natural (YAO et al., 2020).

Além do conforto do usuário, cada vez mais busca-se a sustentabilidade das edificações, e entre os requisitos abordados figura a redução do consumo energético. Para isso, estratégias de aproveitamento da luz natural são frequentemente adotadas, que, além de diminuir a necessidade da iluminação artificial e a demanda de pico, ainda é preferida pelos usuários do espaço (EDWARDS; TORCELLINI, 2002; MAYHOUB; CARTER, 2011).

Apesar dos argumentos citados acima, ainda é pouco explorado o papel da iluminação na saúde humana. Dependendo de suas características espectrais, a luz pode estimular o ciclo circadiano, ajudando a regular o relógio biológico. Houve um perceptível avanço nessa área com a descoberta das Células Ganglionares da Retina intrinsecamente fotossensíveis (ipRGCs). Ao contrário das demais células da retina, as ipRGCs não estão associadas à formação de imagem, e estão presentes inclusive em indivíduos cegos (ZAIDI et al., 2007), o que faz com que popularmente sejam conhecidas como não visuais.

O ritmo circadiano consiste em um ciclo de, em média, 24 horas de luz e escuridão em que o organismo realiza suas funções biológicas. A luz, tanto natural quanto artificial, quando incide na córnea no plano vertical, estimula a produção do fotopigmento das ipRGCs, que auxilia na sincronizar o relógio biológico do nosso corpo. (LUCAS et al., 2014). Konis (2019) elenca uma ampla gama de funções comportamentais e fisiológicas reguladas pelo ciclo circadiano, como sono e vigília, nível de alerta, humor, supressão e secreção de hormônios e a temperatura corporal central.

Entre os efeitos da luz no corpo humano pode-se listar o aumento da frequência cardíaca e temperatura interna corporal, supressão da melatonina pineal (hormônio que regula o sono) e produção de neuroestimulantes (LUCAS et al., 2014). Tais características contribuem

com o aumento no estado de alerta e diminuição do tempo de resposta de determinado indivíduo, conseqüentemente melhorando sua produtividade na realização de alguma tarefa. Dessa forma, a redução no desempenho de tarefas, bem como na saúde e na qualidade do sono podem derivar de uma exposição inadequada a luz. Tais aspectos salientam a importância de se explorar o aspecto não visível da luz no projeto arquitetônico, principalmente no período atual onde se passa a maior parte do dia dentro de edificações.

Cada fonte de luz possui uma composição espectral própria que pode estimular diferentes tipos de fotopigmentos, sejam estes os responsáveis pela resposta visual ou não visual. A luz natural apresenta uma variação espectral temporal específica, com o pico da composição espectral no comprimento de onda azul (446-477 nm) no período da manhã e uma diminuição significativa dessa faixa ao entardecer. Essa característica contribui para a manutenção do sono e do estado de alerta, pois a coevolução entre a espécie humana e a luz natural ao longo da história evolutiva resultou na adaptação do nosso sistema fisiológico a esse padrão de luz.

A luz natural, por vir principalmente de aberturas na parede, permite com que a luz chegue perpendicularmente na córnea (iluminância vertical) em comparação a fontes artificiais, que normalmente localizam-se no teto (iluminância horizontal). A luz natural não é uma fonte constante e seu espectro está sujeito a condicionantes externas como orientação da abertura, obstrução do entorno e condições climáticas (VELUX, 2019). Em um mesmo dia, alterações significativas podem ocorrer nas condições de céu, o que altera a quantidade de luz no ambiente. Tais condições são importantes de se considerar em um estudo da iluminação natural, já que pode alterar significativamente a luz que chega no ambiente. Nem todas as zonas de um edifício atingem condições de iluminação para o estímulo circadiano, que associados a um período de permanência prolongados, podem ocasionar a desregulação do ciclo (KONIS, 2017). Além de adequar as fontes de luz, sejam essas naturais ou artificiais, para prover um estímulo circadiano conveniente, é possível utilizar-se da componente refletida da luz.

É crescente a variedade de revestimentos disponíveis no mercado, sejam pinturas, cerâmicas, amadeirados ou pedras. Essas inúmeras opções permitem criar diversas composições no projeto de interiores, atendendo a distintas funções e preferências do usuário. Além do apelo estético, os revestimentos afetam o comportamento luminoso do ambiente, já que a componente refletida do projeto é definida pelas características do material. Este pode apresentar diferentes seletividades dependendo da sua composição espectral. Isso significa que a quantidade de energia refletida que impacta nossa percepção visual pode variar em relação à porção que influencia o ciclo circadiano.

Materiais diferentes podem gerar a mesma quantidade de energia refletida na porção visual ou não visual (POTOČNIK; KOŠIR, 2020). Um exemplo desse comportamento seria uma parede azul em comparação com parede vermelha, ambas com a mesmos valores de refletância fotópica (visual), mas com a azul apresentando valores melanópicos mais altos. O conhecimento das propriedades reflexivas de diferentes materiais possibilita a sua utilização para maximizar o potencial circadiano dos ambientes, criando uma arquitetura que favorece a manutenção do ritmo circadiano.

Um estudo relevante para a área foi o trabalho realizado por Yao et al. (2020) que verificou o impacto da componente refletida através de medições em um modelo em escala. Tais modelos foram utilizados para verificar o impacto da iluminação natural na iluminância melanópica. Os modelos em escala utilizados neste estudo permitiram aos autores replicarem de forma controlada as condições de iluminação natural em espaços internos, para investigar o impacto na eficiência circadiana da iluminação. Esta consiste na quantidade de luz adequada para proporcionar um estado de alerta no usuário.

Os resultados obtidos a partir dos modelos em escala foram usados para validar a equação proposta pelos autores e destacar a importância da refletância das superfícies internas dos espaços na eficiência circadiana da iluminação natural. O artigo traz uma abordagem inicial sobre a análise das propriedades reflexivas e sua ligação com a iluminância melanópica, focando somente em três cores: branco, cinza claro e cinza escuro.

Nesse contexto, esta pesquisa visa estudar o impacto que diferentes revestimentos e texturas causam na iluminação circadiana de um ambiente, utilizando um modelo em escala reduzida. Pesquisas indicam a alta correlação entre modelos em escala e análises de iluminação na faixa de sensibilidade visível (CASTAÑO, 2007; PEREIRA et. al, 2012). Além de obter dados representativos de um ambiente real, os modelos em escala reduzida também são uma ferramenta conhecida para a maioria dos arquitetos.

Diferente da maioria dos estudos realizados na área, foi desenvolvido uma análise com revestimentos disponíveis no mercado atual, como papeis de paredes, MDFs e pinturas. Além disso, procurou-se avaliar o impacto que o uso de um revestimento com textura 3d pode ter na iluminação circadiana, uma área ainda pouco explorada nos estudos atuais. Estes materiais foram submetidos a avaliações referentes aos seus índices de iluminância melanópica em distintas orientações espaciais, emulando diferentes configurações de layout do ambiente. Dessa forma, busca-se contribuir para uma compreensão mais aprofundada do potencial dos revestimentos como ferramentas para a otimização da iluminação circadiana, mediante o uso da componente refletida da luz.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o impacto de materiais com diferentes texturas e propriedades reflexivas na iluminação circadiana.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- a. Verificar se o modelo em escala é representativo do ambiente real no estudo de iluminância melanópica;
- b. Avaliar a iluminância melanópica em diferentes sentidos, voltado para a janela, para parede lateral e para os fundos, representando a visão do usuário, em caso de diferentes layouts;
- c. Verificar o impacto que diferentes cores de revestimentos têm em relação a distribuição espectral da luz que chega no usuário, através da componente refletida.
- d. Verificar o impacto que diferentes texturas de revestimentos têm em relação a distribuição espectral da luz que chega no usuário, através da componente refletida.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta os principais conceitos associados ao efeito não visual da luz, bem como os métodos para seu cálculo. Para isso foi utilizado quatro divisões do capítulo, onde primeiramente foi explicado o funcionamento das células ipRGCs, e como elas afetam o organismo humano. Posteriormente é mencionado o impacto da luz natural no estímulo circadiano, bem como as vantagens dela em relação a outras fontes. Na terceira parte trata-se de estudos envolvendo a componente refletida interna para otimização do estímulo circadiano. Por último, são explorados os métodos para quantificar o estímulo circadiano, incluindo as métricas mais usadas e as principais potencialidades ou fragilidades de cada uma delas.

### 2.1 IPRGCS E O ESTÍMULO CIRCADIANO

Na sociedade contemporânea, nota-se um crescente aumento no tempo em que o ser humano passa dentro de ambientes fechados. Segundo um estudo de Klepeis et. al (2001), ao longo da vida, esse período estaria em torno de 87%. Isso gerou uma grande preocupação com a qualidade desses espaços, com normas e certificações estabelecendo uma qualidade mínima de desempenho térmico, acústico e de acuidade visual. No Brasil, a norma de desempenho de edificações residenciais, ABNT NBR 15.575 (ABNT, 2021) visa assegurar uma quantidade mínima de luz no ambiente interno. Para tal análise, é verificada a iluminância horizontal no plano de trabalho, medida em lux.

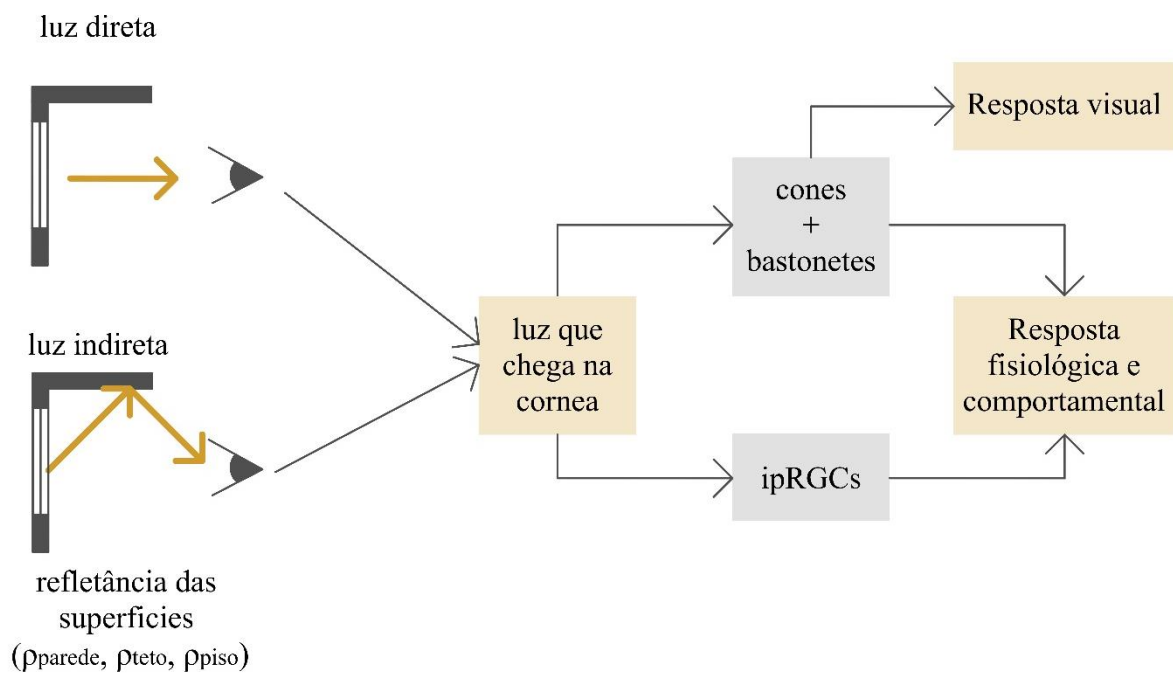
Outro aspecto cada vez mais procurado por profissionais da construção civil é a redução do consumo energético da edificação, criando alternativas como o uso de sensores de iluminação e o aproveitamento da luz natural. A quantidade da luz natural pode ser feita utilizando-se a simulação computacional anual baseada no clima. Uma de suas métricas mais difundidas é a autonomia de luz natural espacial (sDA), onde a edificação deve atender a 300 lux em 50% das horas do dia, entre 8:00 e 18:00 horas, no período de um ano (IES LM-83, 2012). Tal abordagem não leva em conta a composição espectral da luz, nem como esta pode afetar o sistema biológico humano (HALVERSON et al., 2014).

Uma nova preocupação com a saúde dos usuários surgiu nos últimos anos, com a descoberta das Células Ganglionares Intrinsecamente Fotossensíveis da Retina (ipRGCs) (BERSON, DUNN, & TAKAO, 2002). Enquanto os cones se especializam na visão detalhada e os bastonetes na percepção em ambientes de baixa luminosidade, as ipRGCs auxiliam na regulação do ciclo circadiano humano. Este consiste em um ciclo de em média 24 horas de luz e escuridão em que o organismo realiza suas funções biológicas (KONIS, 2017). Para isso, as

ipRGCs convertem o estímulo luminoso incidente na retina em sinais elétricos e os transmitem para o núcleo supraquiasmático do hipotálamo, que, por sua vez, sincroniza várias funções fisiológicas de comportamentais do corpo humano (CAJOCHEN et al., 2000).

O fotorreceptivo presente nessas células é a melanopsina, que, apesar de ser menos sensível que os fotorreceptivos dos cones e dos bastonetes, apresenta uma intensidade de resposta a luz bem maior e mais duradoura que estes (BERSON, DUNN, & TAKAO, 2002). Quando a córnea recebe um estímulo visual, seja ele pela componente direta da luz, vinda da fonte, ou indireta, através das refletâncias, ocorre a produção dos fotorreceptivos das células da retina, que por sua vez, gera uma resposta comportamental e fisiológica. Tal processo é indicado na Figura 01.

Figura 1 – Processo de Resposta ao Estímulo Visual



Fonte: elaborado pela autora

O sistema circadiano está ligado as funções fisiológicas e comportamentais do corpo humano. A exposição à luz no plano vertical, em contato com a córnea, pode auxiliar na sincronização do relógio biológico. Tal característica contribui com o aumento no estado de alerta e diminuição do tempo de resposta de determinado indivíduo, consequentemente melhorando sua produtividade na realização de alguma tarefa. Uma luz inadequada durante o dia ou a noite acarreta a desregulação do ciclo, e pode causar distúrbios no sono, diabetes e doenças cardiovasculares (FIGUEIRO; NAGARE; PRICE, 2018).

Algumas suposições são feitas sobre os períodos do dia em que há o ajuste do relógio biológico. Uma das abordagens mais aceitas é a de Andersen et. al (2012), que subdivide o dia

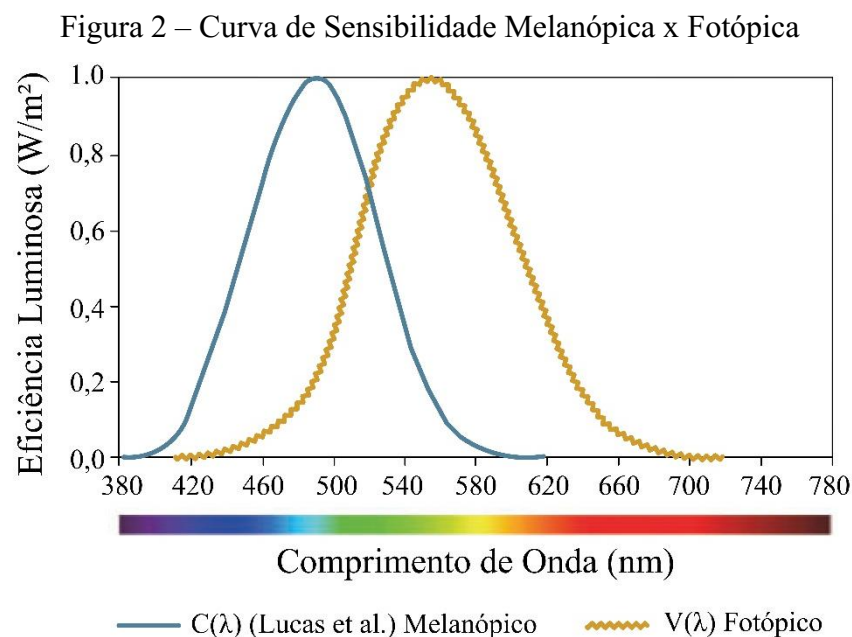
em 3 períodos, representado na Tabela 1. Tais dados não são absolutos, já que cada indivíduo apresenta a sua particularidade na regulação de seu ciclo circadiano, devido às diferenças entre cada organismo (idade, taxa metabólica etc.) e ao histórico de exposições a luz ao longo do dia.

Tabela 1- Subdivisão do dia de acordo com o estímulo circadiano

Horário	Período	Características
06:00 – 10:00	Período de reset	estímulo não visual pode adiantar o relógio biológico
10:00 – 18:00	Período de Alerta	altos níveis de iluminância melanópica tendem a aumentar a condição de alerta de um indivíduo sem atrasar ou adiantar o relógio biológico
18:00 – 06:00	Período Sem Estímulo	qualquer nível de estímulo deve ser evitado já que pode afetar o ciclo natural do sono

Fonte: (ANDERSEN; MARDALJEVIC; LOCKLEY, 2012)

Entre os principais fatores que influenciam na regulação do ciclo destaca-se a duração, período, composição espectral e histórico de exposição da luz (ANDERSEN; MARDALJEVIC; LOCKLEY, 2012). Quanto ao espectro, ao contrário da luz visível, que apresenta maior sensibilidade a 555nm (verde) (WYSZECKI & STILES, 1982), a do não visual apresenta seu pico em um comprimento de onda menor a 446-477nm (azul), baseado na sensibilidade espectral da melanopsina (AL ENEZI et al., 2011). A comparação da curva espectral de sensibilidade fotópica  $V(\lambda)$  e melanópica  $C(\lambda)$  é representada na Figura 02.

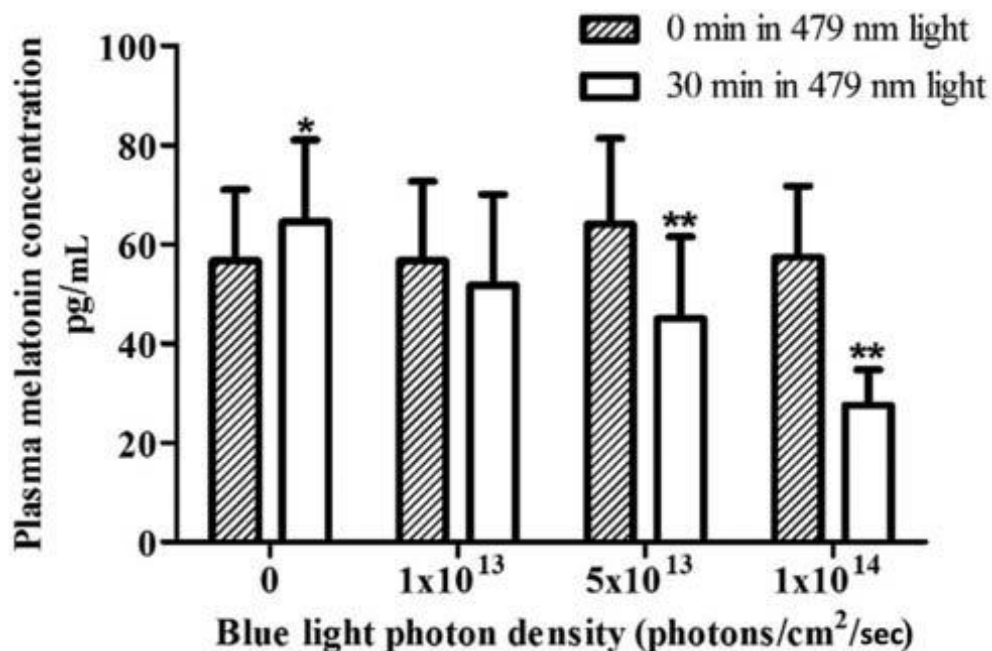


Fonte: Adaptada de (JUNG; INANICI, 2019)

Em um estudo de Papamichael et al. (2012), foi analisado o estado de alerta de indivíduos entre 18 e 35 anos, expostos a duas fontes de luz monocromáticas. Foram utilizadas uma luz azul, com comprimento de onda curto ( $\lambda_{\max}$  479nm) e outra vermelha, com comprimento de onda longo ( $\lambda_{\max}$  627nm). Medições dos níveis de melatonina no plasma foram realizadas antes e depois do estímulo visual, assim como a avaliação do nível de humor e alerta em intervalos regulares.

O estudo foi aplicado em participantes do sexo masculino, de 18 a 35 anos, em um ambiente de laboratório controlado. Todos eram saudáveis e não possuíam nenhum distúrbio do sono. O estudo confirmou uma significativa supressão de melatonina com a luz azul, comprimento de onda de 479nm, confirmando a maior sensibilidade das ipRGCs para comprimentos de onda menores. Na Figura 3, é indicada a concentração de melatonina no plasma antes e após o estímulo da luz azul e o aumento da irradiância. A condição sem controle de iluminação é indicada por 0.

Figura 3 - Nível de melatonina no plasma



Fonte: (PAPAMICHAEL ET AL., 2012)

Outros estudos avaliaram luzes policromáticas, com diferentes temperaturas de cor. Rea et al. (2018) verificaram a supressão de melatonina noturna em 3 diferentes ensaios, dois com Temperatura de Cor Correlata quente (TCC=2670K) e um com fria (TCC=6400K). No caso da temperatura de cor fria houve uma maior supressão de melatonina para a mesma

iluminância que a de cor quente. Vale ressaltar que a temperatura de cor não representa inteiramente a fonte de luz, sendo necessário a avaliação de toda a sua distribuição espectral (REA; FIGUEIRO, 2018).

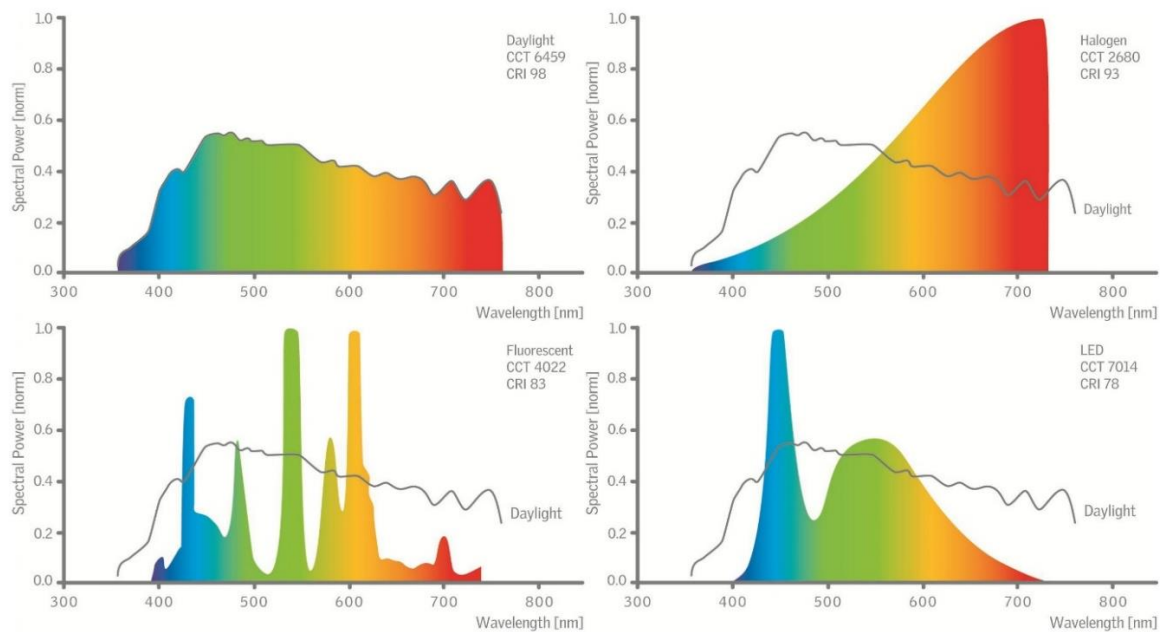
## 2.2 COMPOSIÇÕES DAS FONTES DE LUZ

Segundo Jung et al. (2019), os principais fatores arquitetônicos que influenciam o efeito não visual seriam: a composição espectral da fonte de luz, seja ela natural ou artificial, dos materiais de cada superfície (componente refletida) e a geometria do envoltório. Isso ocorre já que a iluminância na córnea é composta tanto pela luz direta, vinda diretamente da fonte, como das interreflexões que ocorrem no ambiente antes de chegar no olho.

Ao avaliar-se a preferência dos usuários entre fontes de luz, nota-se uma preferência pela iluminação natural em relação a artificial (EDWARDS; TORCELLINI, 2002; MAYHOUB; CARTER, 2011). Além das vantagens já conhecidas, a luz natural também oferece um estímulo não visual maior comparado com luminárias tradicionais (AMUNDADOTTIR; LOCKLEY; ANDERSEN, 2017), auxiliando na sincronização do ciclo. Isso é decorrente de anos de adaptação do ser humano, em que seu relógio biológico era primariamente regulado pelos períodos de claridade e escuridão do dia astronômico, em que a luz natural era a fonte primária de iluminação e, conseqüentemente marcação cronológica.

Entre as vantagens da luz natural pode-se citar sua distribuição espectral, onde há uma grande quantidade de energia na parcela de maior sensibilidade do sistema não visual (446-477nm) (CAI et al., 2018a). Na Figura 4 é comparado o espectro da luz natural com outras fontes de luz. Outro ponto de destaque é a propensão que uma luz vinda de uma janela entregar uma iluminância vertical (normal ao plano da córnea) mais efetiva em relação a uma iluminação presa no teto, como é o caso das maiorias das fontes artificiais (YAO et al., 2020).

Figura 4 - Espectros de diferentes fontes de luz (natural, halógena, fluorescente e LED)

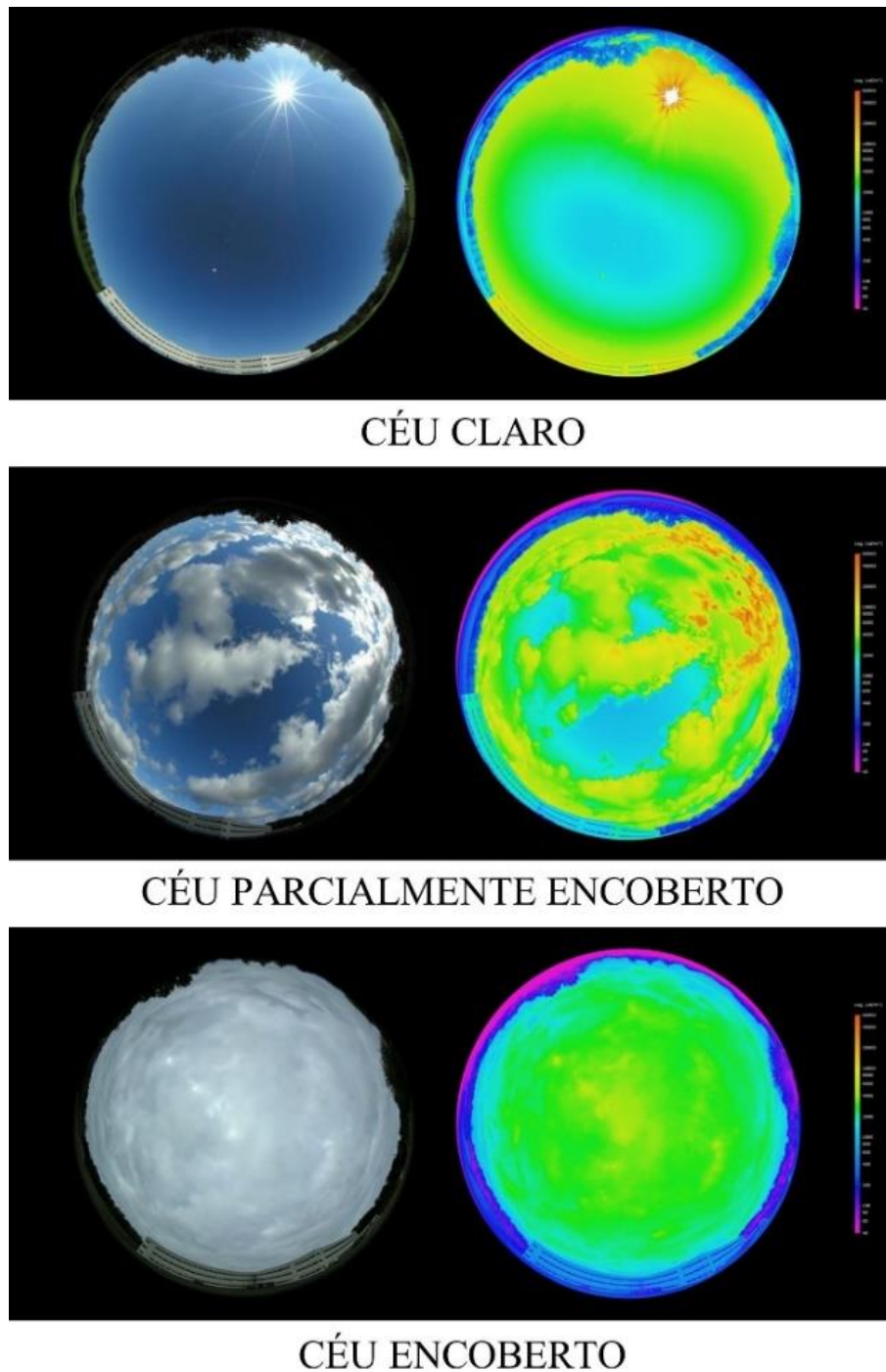


Fonte: Adaptado de <https://www.velux.com>

Os projetos luminotécnicos atuais buscam atender uma iluminância mínima estabelecida por norma, dependendo da atividade exercida. Tal iluminância está associada a iluminância horizontal, ou seja, a luz que chega no plano de trabalho, diferente da vertical, que seria a adequada para avaliar a iluminação circadiana. Isso pode gerar zonas biologicamente escuras, onde não há estímulo suficiente para ocasionar uma supressão de melatonina (KONIS, 2017). Caso ocorra a exposição prolongada de uma luz inadequada em um dos períodos citados na Tabela 01 (de reset ou de alerta), há riscos de afetar a saúde do usuário, podendo ocasionar problemas de foco no trabalho e distúrbios do sono.

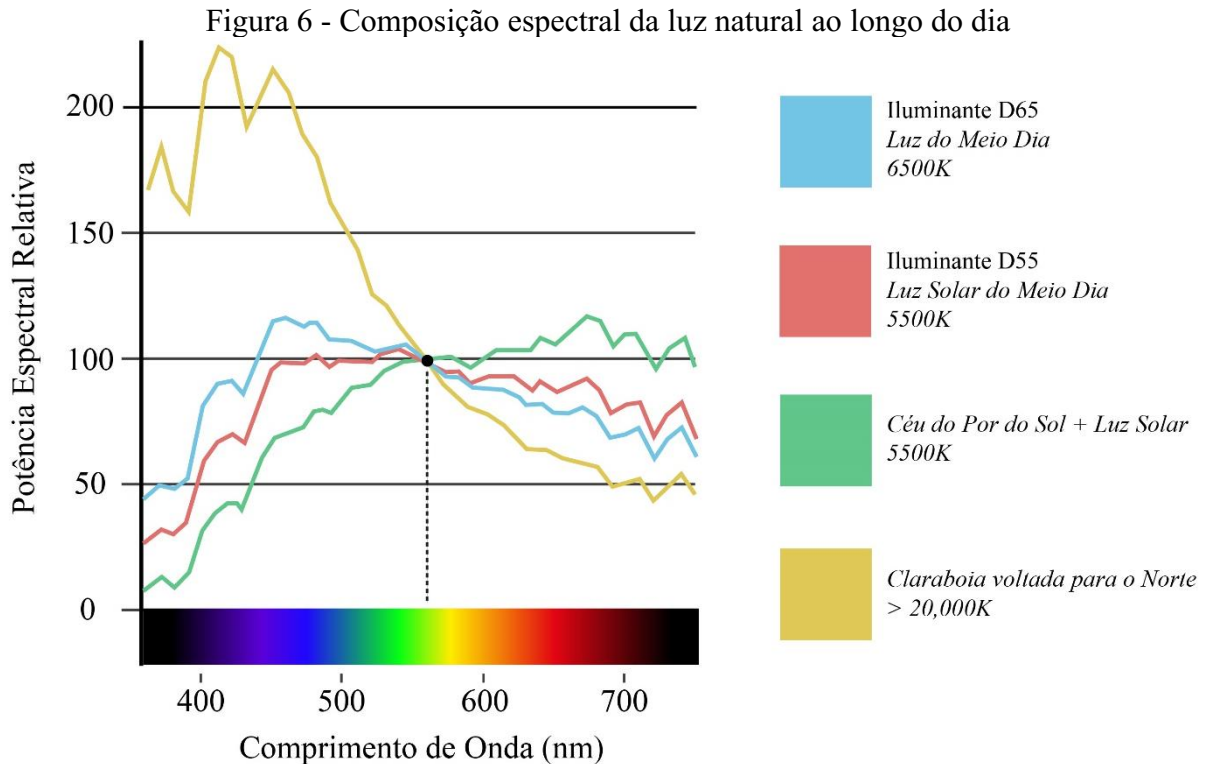
A luz natural não é uma fonte constante e seu espectro está sujeito a condicionantes externas como orientação da abertura, obstrução do entorno e condições climáticas (VELUX, 2022). Em um mesmo dia, alterações significativas podem ocorrer nas condições de céu, o que altera a quantidade de luz no ambiente. Na Figura 5 são indicadas as luminâncias dos 3 tipos de céu: claro, parcialmente encoberto e encoberto, obtidas através da fotografia HDR. Nas condições de céu encoberto nota-se uma distribuição da luz de forma homogênea, com pouca variação da luz comparado com o parcialmente encoberto. Tais condições são importantes de se considerar em um estudo da iluminação natural, já que pode alterar significativamente resultados de medições.

Figura 5 - Luminâncias em diferentes condições de céu



Fonte: Adaptado de <https://www.velux.com>

Na Figura 6 foi indicada a variação do espectro da luz natural ao longo do dia. Quando o Sol está em um ângulo mais baixo no céu durante o pôr do sol, a luz solar atravessa uma camada atmosférica mais extensa e densa lateralmente. Isso resulta no espalhamento predominante dos comprimentos de onda associados ao azul e ao verde, o que produz uma tonalidade característica de amarelo ou vermelho (WYSZECKI; STILES, 1982).



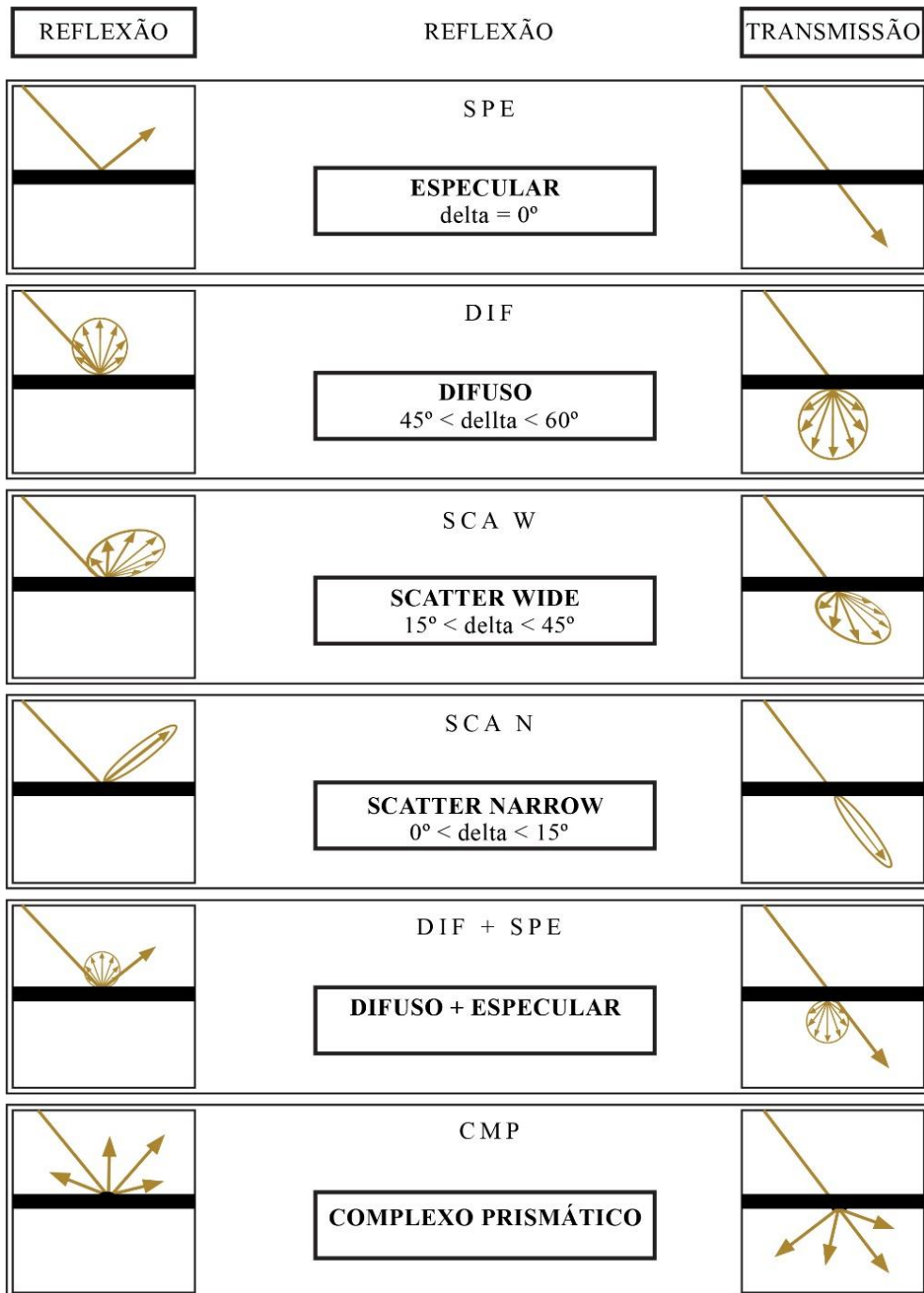
Fonte: Adaptado de (WYSZECKI; STILES, 1982).

### 2.3 REFLETÂNCIAS DOS MATERIAIS E O ESTÍMULO CIRCADIANO

A multiplicidade de revestimentos disponíveis no mercado abre um leque de possibilidades para a interação entre a luz e os materiais. Essa interação pode resultar tanto em uma dispersão diferente da luz pelo ambiente ou até mesmo na modificação de sua distribuição espectral (BAKER; FANCHIOTTI, STEEMERS, 1993). O entendimento do comportamento dos materiais é essencial para atender às condições de iluminação adequadas no projeto arquitetônico e criar um ambiente luminoso adequado. Na Figura 7 é indicado o comportamento da luz frente a diferentes tipos de materiais, onde delta é o ângulo de dispersão para metade da intensidade.



Figura 7 - Classificação de padrões de transmissão e de reflexão



Fonte: Adaptado de (BAKER; FANCHIOTTI, STEEMERS, 1993)

Como a luz vinda da iluminação natural fica concentrada principalmente próxima a abertura, o estímulo circadiano vindo dessa fonte também fica restrito a tais áreas, o que pode ser um problema em ambientes profundos. Uma das opções para aumentar o estímulo circadiano nas áreas mais profundas é o uso da componente indireta, ou seja: as reflexões internas das superfícies. Alterar o material das paredes, teto e piso é uma opção bem mais

prática do que aumentar a abertura para obter mais luz, além de diminuir as chances de desconforto devido ao ofuscamento. Estudos mostram que as reflexões dos materiais geram uma influência maior no estímulo circadiano que a distribuição de luminárias e tamanho de aberturas (CAI et al., 2018b; YAO et al., 2020).

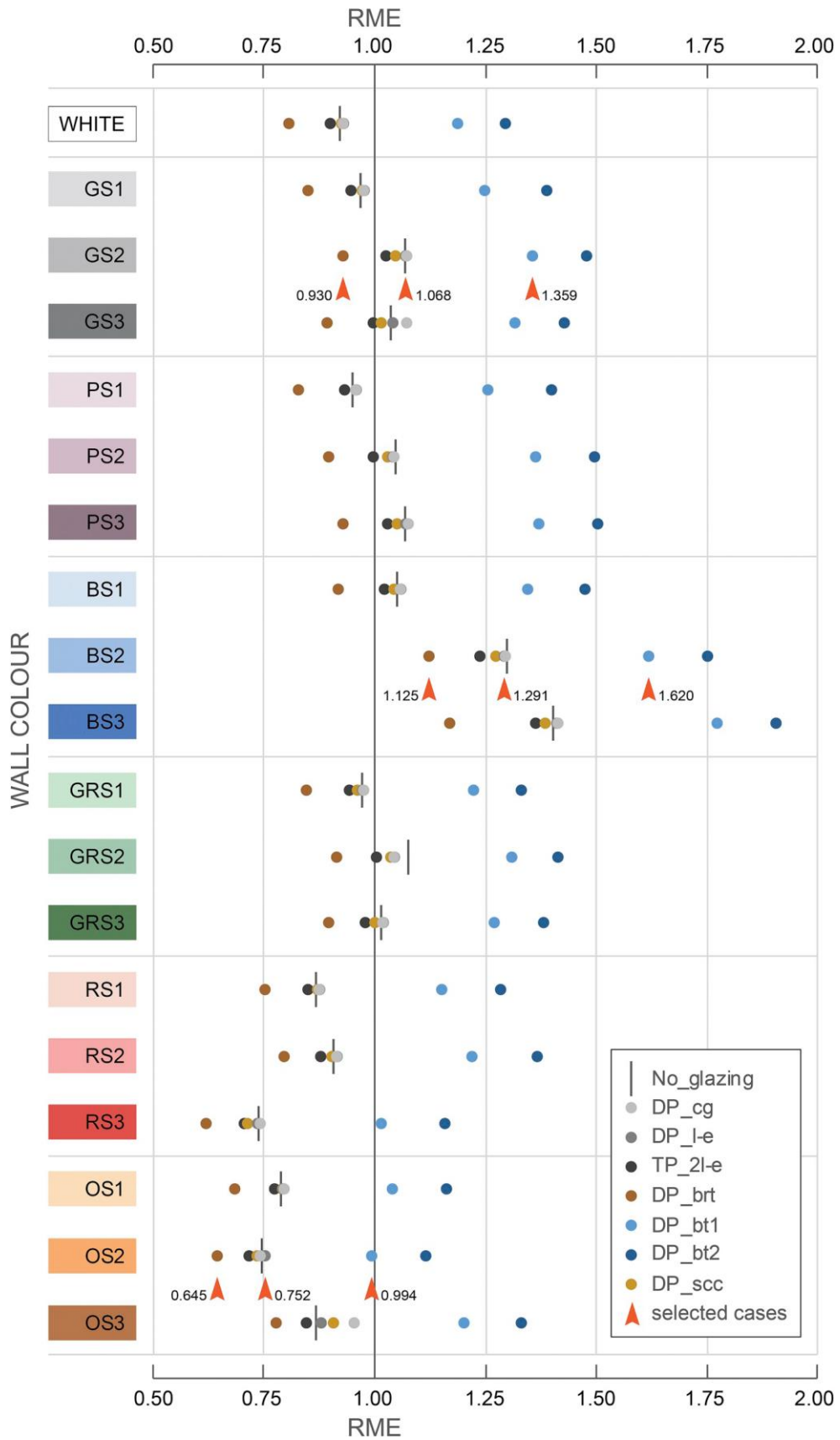
Usualmente, normas e certificações estabelecem refletâncias neutras de referência para aplicação no projeto de ambientes (European Committee for Standardization, 2021). Tal prática não considera o potencial circadiano que diferentes materiais podem oferecer quando aplicados a superfícies de um ambiente. Deve-se enfatizar que paredes de cores diferentes, mas com a mesma refletância visual geral, produzem um diferente estímulo melanópico (POTOČNIK; KOŠIR, 2020).

Potočnik e Košir (2020) realizaram um estudo que avaliou o impacto de diferentes tipos de vidro e revestimentos no potencial não visual da luz natural em um ambiente de escritório. No total, foram selecionados sete tipos de vidro e seis tipos de revestimento de parede, cada um com três níveis de refletância. As análises foram realizadas em duas etapas. A primeira etapa consistiu em medições com um espectrofotômetro StellarNet BLACK-Comet dos diferentes tipos de vidro e revestimentos de parede. A segunda etapa envolveu a simulação multiespectral dos mesmos materiais utilizando o software ALFA. As condições de céu claro e encoberto foram consideradas para a simulação.

Foram utilizados 3 critérios de avaliação: o estímulo circadiano (CS), a iluminância melanópica equivalente (EML) e o conforto visual do usuário, através da iluminância vertical na córnea. Também foi calculado o coeficiente de eficácia melanópica relativa (RME), dividindo-se o valor da iluminância melanópica pela iluminância fotópica.

Os valores RME para cada um dos materiais de parede, associados aos tipos de vidro, estão representados na Figura 8. O RME foi obtido através da divisão dos valores de iluminância melanópica pelos valores da iluminância fotópica. Foi constatado que o vidro Low-e, associado com a parede azul criou um ambiente mais propício para o estímulo não visual.

Figura 8 - Valores de Razão Melanópica (RME) para cada um dos materiais

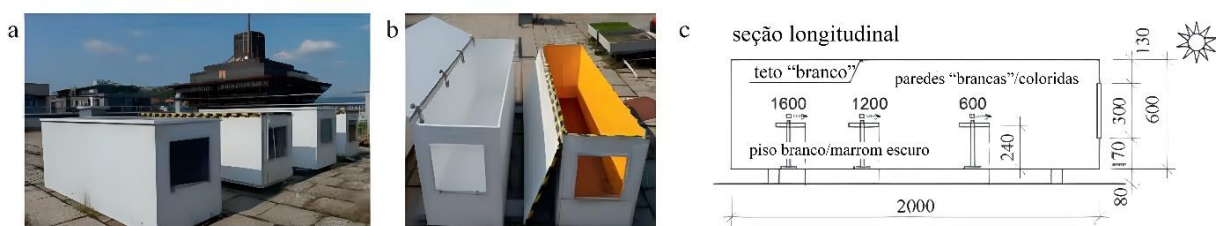


Fonte: Retirada de (POTOČNIK; KOŠIR, 2020)

Em outro estudo, Bellia et al. (2017) investigam o impacto de diferentes cores de parede na qualidade da iluminação interna. Para isso foram medidas as irradiâncias espectrais no nível do olho de um usuário sentado, substituindo a cor das paredes originalmente brancas por outras sete cores novas, de diferentes refletâncias. Tal procedimento foi combinado com a troca de temperatura de cor correlata da iluminação artificial da sala, que variou de 2700K para 6500K. Os resultados confirmam mudanças significativas na distribuição espectral no nível do olho com a aplicação de diferentes cores nas paredes. As maiores diferenças foram encontradas entre a cor original e a cor violeta, e entre azul pálido e amarelo. Também foi constatado que a maior variação das iluminâncias ocorreram devido à cor da parede frontal (direção do olhar do usuário) e da temperatura de cor da iluminação da sala.

Hartman et al. (2015) verificaram o possível efeito que a variação das cores das superfícies pode gerar na iluminação melanópica. Para isso foram desenvolvidos modelos em escala 1:5 representando um ambiente real. Cada um dos modelos teve os materiais de parede, teto e piso trocados com matérias de diferentes refletâncias, como indicado na Figura 9. Medições da luz natural foram realizadas com um espectrofotômetro CI 500A e depois comparadas entre si. Foi constatado que superfícies brancas a 6 metros de profundidade na sala modelada proporcionaram mais de 20% de estímulo circadiano adicional na direção da janela e mais de 50% na direção da parede, em comparação com cores amarela e laranja.

Figura 9 - (a) Modelos em escala (b) Superfícies internas, (c) Corte longitudinal



Fonte: Adaptada de (HARTMAN et al., 2015)

Cai et al. (2018) desenvolveram um método para guiar o projeto da iluminação circadiana. Para isso foi criado um modelo de sala e realizado simulações no plugin Honeybee e Ladybug, com conexão com o software Radiance para simulação de iluminação. Tais valores são aplicados em uma equação desenvolvida pelos autores, baseados no trabalho de Cuttle (CUTTLE, 2010), que avalia a iluminância vertical indireta. Esta tem como objetivo verificar o impacto que as superfícies da sala têm na iluminação do ambiente.

Foram simulados valores de refletância recomendados pela EN12464-1 2011 para parede, piso e teto. Dessa forma, selecionou-se três refletâncias para parede (0,4; 0,6 e 0,8), três para teto (0,4; 0,6 e 0,8) e duas para piso (0,2 e 0,4). Todas as combinações foram aplicadas em um ambiente sem janela, com iluminação artificial, e um com janela, somente com a luz natural.

O estudo comprovou que a troca da refletância do ambiente teve o maior impacto na iluminância vertical, ultrapassando a contribuição da luz direta em casos de refletâncias maiores. Em uma sala com refletância de parede de 0,8, atingiu-se o estímulo circadiano mesmo com uma abertura de 30% em relação a parede. Dessa forma, salienta-se as vantagens da componente refletida na iluminação circadiana.

Amanda et.al (2023) realizaram um estudo avaliando o efeito das dimensões dos ambientes e das refletâncias das superfícies no desempenho da iluminação circadiana. Foi utilizada para as simulações o software ALFA (Solemma, 2022), analisando seis tipos de materiais diferentes. Concluiu-se no trabalho que certos materiais, como a pintura violeta e o reboco propiciaram o estado de alerta, enquanto o amarelo alaranjado, induzia ao estado de relaxamento.

Compreender as propriedades dos materiais juntamente com o entendimento do impacto deles na iluminação circadiana é um ponto de relevância na elaboração do projeto arquitetônico. Considerando que o estímulo circadiano está diretamente ligado a direção do olhar do observador (LUCAS et al., 2014), é possível criar um ambiente propício a esse estímulo tanto com a escolha do layout como a posição dos revestimentos.

## 2.4 MÉTODOS DE MEDIÇÃO DA ILUMINAÇÃO CIRCADIANA

Atualmente a eficiência luminosa das fontes de luz são medidas em lumens fotópicos por potência elétrica (lm/W) e a iluminância em lumens fotópicos por unidade de área (lm/m<sup>2</sup>) (REA; FIGUEIRO, 2018). Tentativas de quantificar o estímulo circadiano ainda estão sendo explorados, normalmente tomando como base a composição espectral e a iluminância vertical. Para isso, dois modelos são os mais adotados: o Estímulo Circadiano (CS) e a Iluminância Melanópica Equivalente (EML).

O CS foi proposto por Rea et al. (2005), e consiste em um modelo que atribui um valor hipotético de supressão de melatonina para cada comprimento de onda, baseado em dados experimentais coletados de fontes de luz (LED, fluorescente e lâmpada de mercúrio). Além da melanopsina, outros fotopigmentos também são considerados, já que estes também são

responsáveis por enviar estímulos para as IPRGCs e, conseqüentemente, auxiliar na regulação do relógio biológico (LUCAS et al., 2014). Entre eles constam a rodopsina, fotopigmentos dos bastonetes, e as três opsinas dos cones, ambas responsáveis também pela visão em cores.

Para o cálculo do estímulo circadiano é utilizada a distribuição espectral da luz na córnea para obter um valor de luz circadiana (CLA), assumindo uma dilatação da pupila de 2,3 mm e uma hora de exposição. Utilizando dessa métrica, estudos estipulam que, para um estímulo circadiano nas primeiras horas do dia, é indicado uma exposição a luz com CS de 0.3 ou mais por pelo menos uma hora. Isso corresponde a uma supressão de melatonina e 3% e seria o suficiente para a melhora no humor, comportamento e padrão de sono da maioria dos indivíduos (REA; FIGUEIRO, 2018). Figueiro et al. (2014), obtiveram resultados favoráveis ao expor pacientes com Alzheimer de 14 casas de repouso a uma iluminação branco- azulada, com CS de 0,3 ou maior durante a tarde e baixo estímulo durante a noite pelo período de 4 semanas. O resultado mostrou uma melhora na qualidade do sono e redução em quadros de depressão e agitação.

Figueiro et al. (2017) realizaram um estudo onde implementou-se uma luminária que fornecia iluminação circadiana,  $CS \geq 0.3$ , em prédios de escritório, como indicado na Figura 10. O objetivo era verificar se a iluminação auxiliava na redução do sono e aumento do estado de alerta dos usuários do espaço. Um medidor de luz (Daysimeter), foi utilizado para medir os níveis de CS de cada um dos participantes do estudo, juntamente com a aplicação de questionários durante o período da intervenção.

Figura 10 – Luminária de mesa com iluminação circadiana colocada nas estações de trabalho



Fonte: Retirada de (FIGUEIRO et al., 2017)

O estudo mostrou que os participantes foram expostos a uma quantidade significativamente maior de estímulo circadiano no trabalho. Os questionários também indicaram uma redução na sonolência durante o experimento, com relatos de aumento de vitalidade e de produtividade pelos participantes. Dessa forma, os autores concluem que uma iluminação com  $CS \geq 0.3$  pode aumentar o estado de alerta dos usuários do espaço.

Já o EML foi proposto por Lucas et al. (2014), e utiliza de um fator de conversão da iluminância fotópica para gerar a iluminância melanópica, baseado nas respectivas curvas de sensibilidade. Ao contrário do CS, o EML apresenta uma correlação linear com a iluminância fotópica. Tal métrica prevê o efeito não visual da sensibilidade espectral de uma melanopsina (ZENG, 2021), e estipula um mínimo de intensidade luminosa melanópica. A Iluminância Melanópica Equivalente foi utilizada como base para diretrizes tanto da CIE (CIE S 026/E:2018) como da certificação WELL (International WELL Building Institute).

Para o cálculo da EML é multiplicada a iluminância vertical (L) pela razão melanópica  $r$  como descrito na Equação 1. A razão melanópica ( $R$ ), por sua vez, é a iluminância melanópica dividida pela iluminância fotópica.

Equação 1 – Cálculo do EML

$$EML = L \times R$$

Os valores recomendados de razão melanópica e de EML já estão tabelados na certificação WELL e podem ser obtidos através de um espectrômetro (WELL, 2023). Com o enfoque na saúde e bem-estar humano, o WELL estabelece valores mínimos de EML para ambientes internos, visando garantir a sincronização do ciclo. Para escritórios, são exigidos 200 EML em pelo 75% das estações de trabalho, por quatro horas por dia (09:00 às 13:00 hrs). Tais valores de iluminância melanópica equivalente devem ser medidos no plano vertical, a 1,2 m do piso, simulando a altura do olho de um usuário sentado. Todas as medições devem ser executadas com um espectrofotômetro, com valores medidos de EML com  $\pm 5\%$  de erro.

Tanto a EML como o CS são baseados principalmente em parâmetros estáticos, sem contar com as particularidades de cada usuário do espaço. Dessa forma, o efeito do estímulo circadiano de tais modelos pode não ser representativo de uma situação real, onde o indivíduo está exposto a uma gama de condicionantes que podem afetar seu relógio biológico. Estudos em andamento tentam suprir essa lacuna conciliando medidas estáticas estabelecidas com outros parâmetros biológicos e psicológicos.

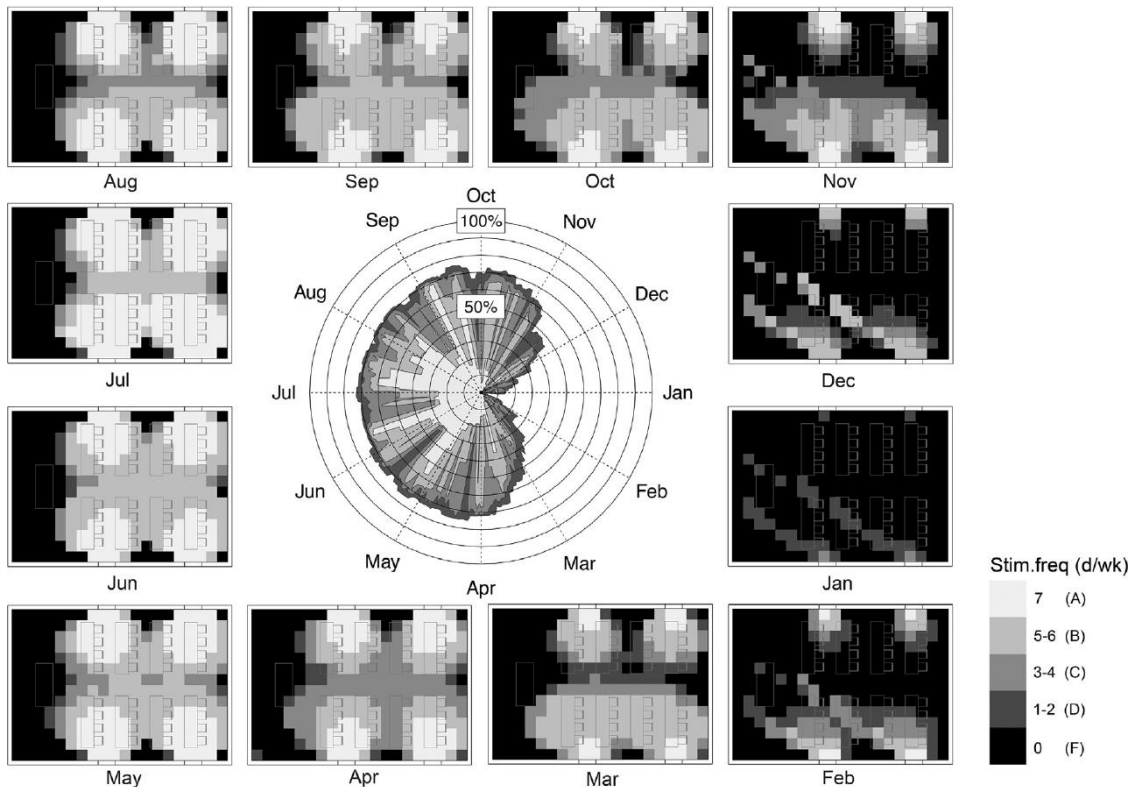
Konis (2016), analisou o estímulo circadiano de diferentes alternativas de projeto, utilizando o EML juntamente com outros parâmetros como período, intensidade, duração, histórico de exposição a luz e idade. Tais parâmetros foram suposições feitas pelo autor baseadas em outras literaturas. Outro ponto interessante do estudo foi o uso de softwares de análise de iluminâncias anuais por hora (Daysim, 2006), para cada uma das direções da visão. Foi utilizado um fator de conversão de lux fotópico para lux melanópico equivalente, permitindo verificar o estímulo não visual ao longo do ano para diferentes espaços de um edifício.

O autor desenvolveu um sistema de avaliação de qualidade da iluminação para o objetivo de estudo, variando de A ao F. Em um ponto considerado A, a iluminação ao longo do ano pode ser considerada circadiana. Já nos pontos F são pontos da sala biologicamente escuros. Na Figura 11 foi indicado a Área Efetiva Circadiana, de 0 a 100 % juntamente com



essa avaliação de qualidade, para cada dia do ano, em um modelo de sala de aula no clima de Helsinki.

Figura 11 - Visualização anual da área efetiva circadiana (CEA) e avaliação de qualidade (A, B, C, D, E, F)



Fonte: Retirada de (KONIS, 2016)

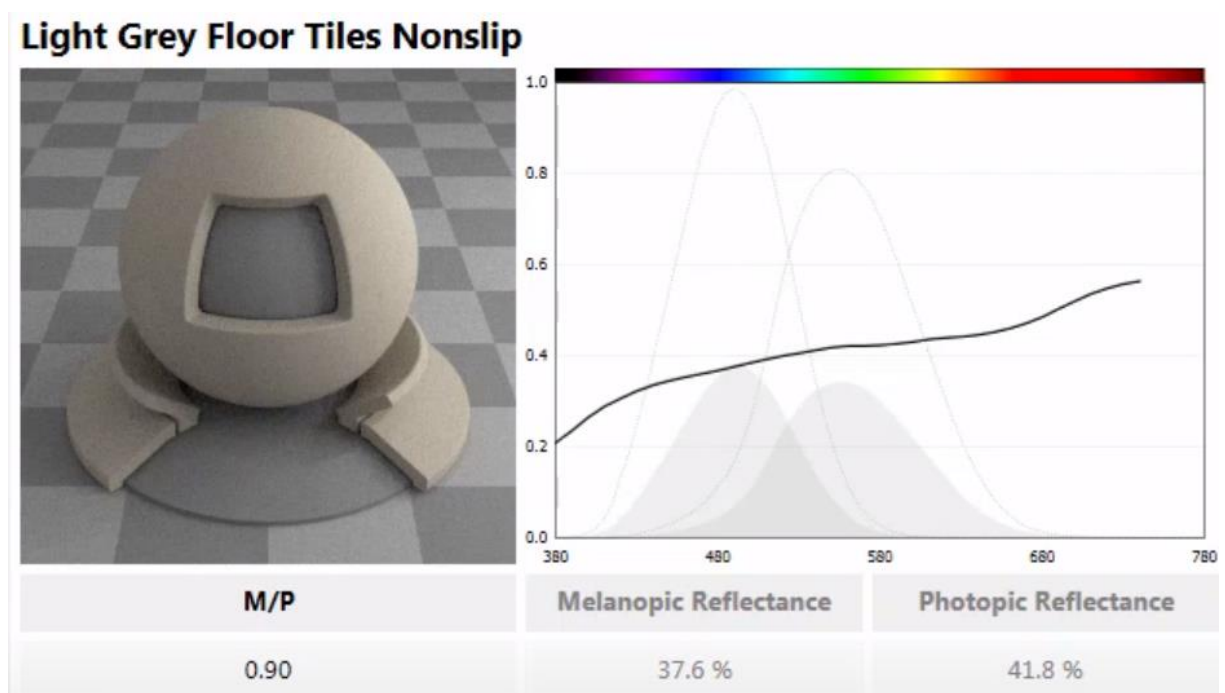
Posteriormente o artigo trata de opções arquitetônicas e de layout como opções para otimizar a iluminação circadiana. Os resultados podem ser usados para identificar e examinar zonas da edificação biologicamente escuras, onde não há estímulo circadiano adequado. Uma opção sugerida foi complementar tais zonas com uma iluminação artificial que forneça tal estímulo.

Outra temática de destaque nos últimos anos são as simulações multiespectrais, onde são considerados mais do que os 3 canais de cores tradicionais (vermelho, verde e azul). O software Adaptive Light for Alertness, ALFA (Solemna, 2022), usa 81 canais espectrais para verificar a quantidade de iluminância melanópica (EML) de determinada posição e direção da visão. O céu é simulado através de cálculos feitos pela biblioteca de transferência radioativa da

atmosfera: LibRadtran (MAYER; KYLLING, 2005). Uma das limitações do software é a capacidade de fazer simulações em apenas uma data e horário por vez.

Também é possível definir diferentes materiais para cada uma das superfícies do modelo, o que permite a análise do impacto da componente refletida no estímulo não visual. O software possui um catálogo com mais de 500 materiais, baseados nas medidas de um espectrofotômetro de materiais reais. Estes apresentam tanto sua refletância melanópica quanto fotópica indicadas (Figura 12).

Figura 12 - Espectro do material no software ALFA



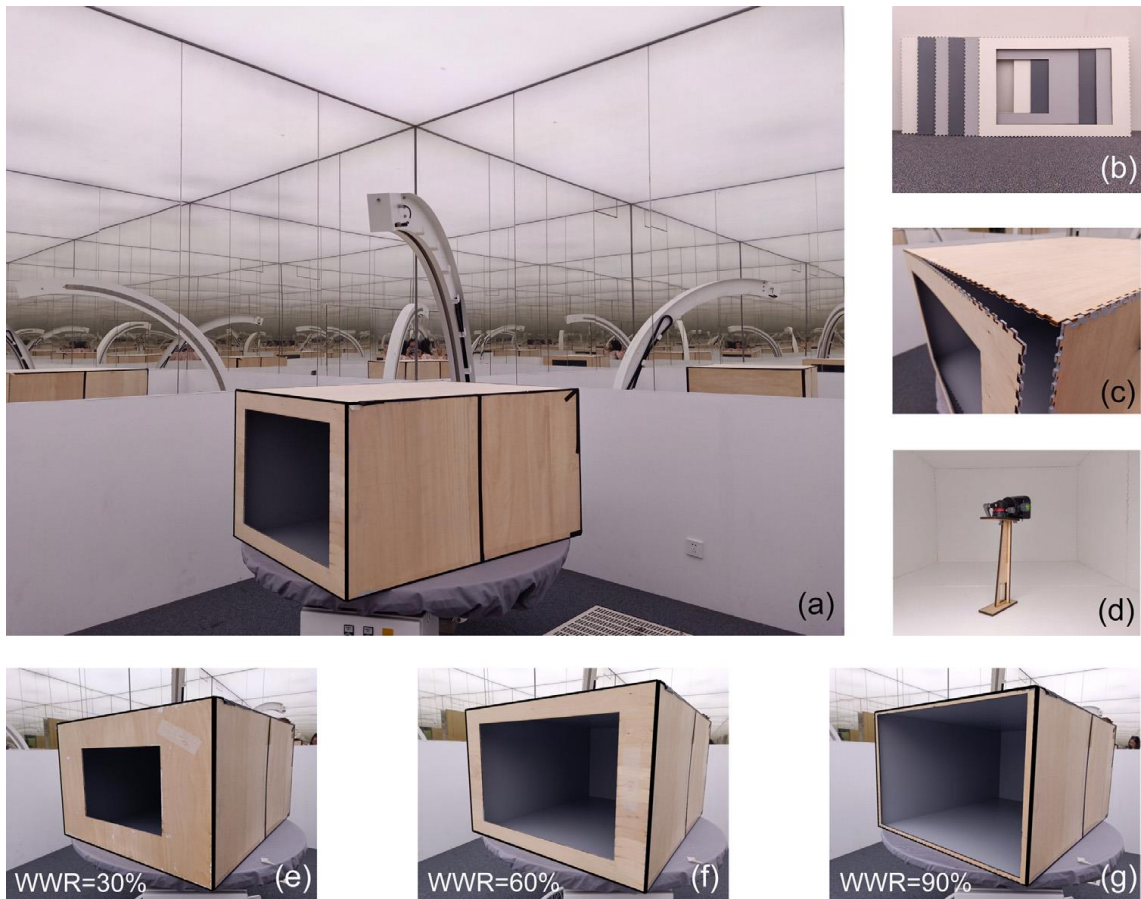
Fonte: Retirada do Software ALFA (SOLEMMA, 2022)

Diversas tentativas de mensurar o efeito circadiano em ambientes internos estão sendo desenvolvidas. Cai et. al. (2018) produziram uma equação para estabelecer a iluminância indireta na córnea e, assim, servir como guia para futuros projetos. A proposta avalia tanto a luz natural como artificial e foi validada utilizando dados simulados no programa computacional Daysim (Daysim, 2006).

Yao et al. (2020) também desenvolveram uma equação na tentativa de estabelecer a iluminância na córnea, mas com o enfoque somente na luz natural. Foram criados diversos modelos em escala, com diferentes refletâncias e razões entre abertura e parede (WWR), e realizadas medições com um sensor de iluminância em um ambiente de céu artificial, como indicado na Figura 13. Foram criadas chapas de madeira para encaixar na maquete com

refletâncias de 87%, 48% e 17% (Figura 13b). As medições ocorreram em um céu artificial tipo caixa de espelhos, para simular a condição de céu encoberto estabelecido pela CIE.

Figura 13 - (a) modelo em escala no céu artificial, (b) materiais das paredes (d) detalhe de conexão (d) sensor de iluminância vertical (e) WWR=30%, (f) WWR=60% e (g)WWR=90%,



Tais valores foram posteriormente convertidos em estímulo circadiano (CS) e comparados com os resultados da equação proposta. Foi comprovado que a equação pode ser usada para estimar o quanto a iluminância vertical indireta pode melhorar no ambiente, dependendo do revestimento escolhido. O trabalho indica que a escolha do material para as paredes pode ser mais significativa para a iluminação circadiana que o aumento da abertura, dependendo da posição do usuário do espaço. Tanto Cai et al. (2018) Como Yao et al. (2020) ressaltam a importância da componente refletida para a análise da iluminação circadiana.

Jung et al (2019), utilizaram fotografias de alto alcance dinâmico (HDR) para capturar a intensidade e o estímulo fotópico nos 3 canais de cor (vermelho, verde e azul), usando posteriormente um conversor para verificar a iluminância melanópica equivalente. Para validar seu estudo, o resultado das fotos foi comparado com valores obtidos por um espectrofotômetro.

A medição da potência espectral de uma fonte pode ser um dos caminhos para se avaliar o seu impacto visual e não-visual.

## 2.5 CONCLUSÕES DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Como conclusão das bibliografias analisadas, nota-se a contribuição da pesquisa elaborada através da elaboração de um estudo crítico sobre o impacto de diferentes revestimentos na iluminação circadiana.

Os trabalhos avaliados nessa bibliografia investigam como diferentes materiais e cores de superfície afetam a iluminação circadiana. Resultados demonstram que as reflexões dos materiais têm um impacto significativo no estímulo circadiano, sendo mais relevante do que a luz direta ou o tamanho das aberturas. Além disso, a troca da refletância dos materiais pode influenciar significativamente a iluminância vertical. Um exemplo seria o uso de um revestimento de parede de alta refletância que permita um estímulo circadiano adequado mesmo com menos luz natural. A compreensão dessas interações é fundamental para criar ambientes propícios ao estímulo circadiano, podendo ser alcançada através da escolha adequada dos materiais e do layout do espaço.

Nos estudos com modelo em escala, normalmente há uma limitação quanto a quantidade de revestimentos aplicados na maquete, como é o caso do trabalho desenvolvido por Hartman et al. (2015) e de Yao et al. (2020). Dessa forma, como diferencial da pesquisa, pode-se listar o uso de revestimentos disponíveis no mercado atual para a análise, como papeis de paredes, MDFs e pinturas. Além disso, procurou-se avaliar o impacto que o uso de um revestimento com textura 3d pode ter na iluminação circadiana, uma área ainda pouco explorada nos estudos atuais.

### 3 METODOLOGIA

O método utiliza de medições em loco de um modelo em escala reduzida, baseado nas certificações WELL (WELL, 2023) e nos artigos citados. Este consiste em avaliar o impacto que diferentes refletâncias de materiais possuem no estímulo circadiano, na faixa de comprimento de onda onde há uma maior sensibilidade dele. Para isso, foram seguidas as seguintes etapas:

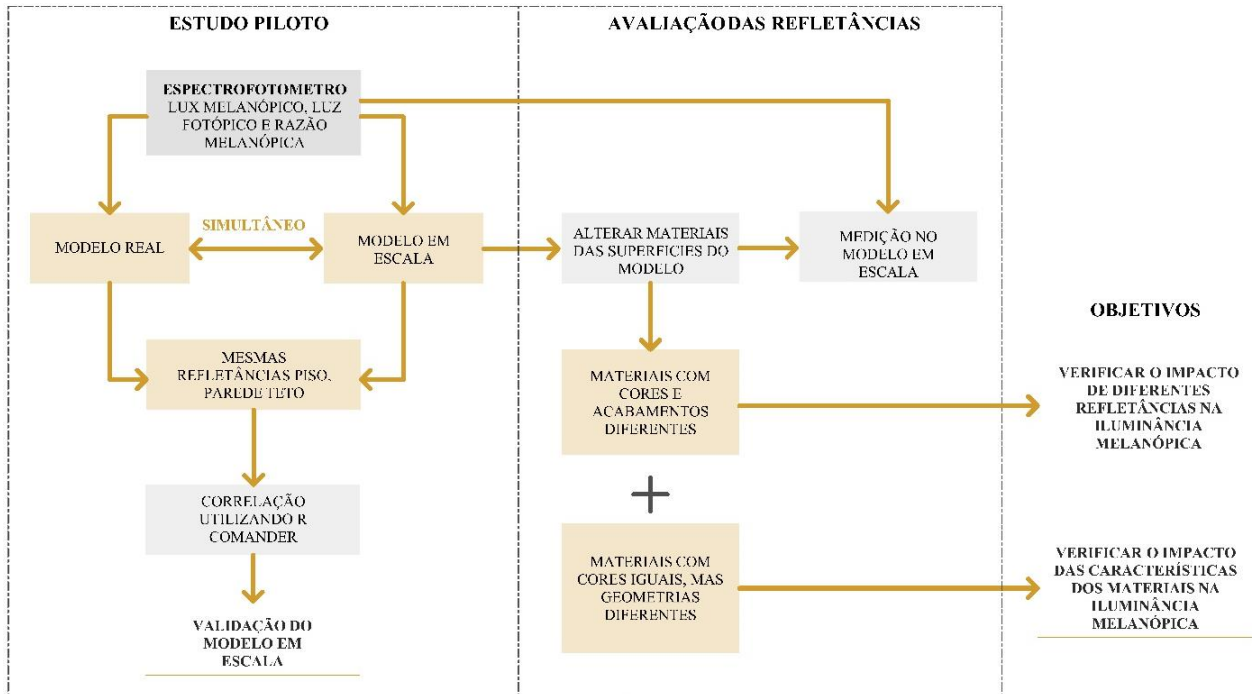
**a) Etapa 01 | Verificação da relação entre modelo em escala e ambiente real:** foi realizado um estudo piloto. Nesse estudo, medições foram realizadas simultaneamente tanto em um ambiente real quanto no modelo em escala, utilizando as mesmas refletâncias. O objetivo era verificar se o comportamento da luz no ambiente em escala era representativo do que ocorria no ambiente real.

**b) Etapa 02 | Avaliação de materiais com diferentes refletâncias:** foram trocados os materiais das paredes do modelo em escala, com outros de diferentes refletâncias. Além disso, foram utilizados também materiais com refletâncias fotópicas e melanópicas distintas de forma a estabelecer o impacto que a aplicação de diferentes revestimentos teria na distribuição espectral da luz em cada um desses parâmetros (visual x não visual). Isso tinha como objetivo verificar o impacto da cor na iluminação circadiana.

**c) Etapa 03 | Avaliação de materiais com texturas diferentes:** realizar medições trocando as superfícies do modelo em escala por revestimentos com a mesma cor, mas diferentes texturas. Assim será possível verificar o impacto que tais características tem na iluminação circadiana, o que agrega na escolha dos materiais em um projeto arquitetônico.

Os procedimentos descritos anteriormente são descritos no fluxograma da Figura 14.

Figura 14 - Fluxograma da metodologia da dissertação



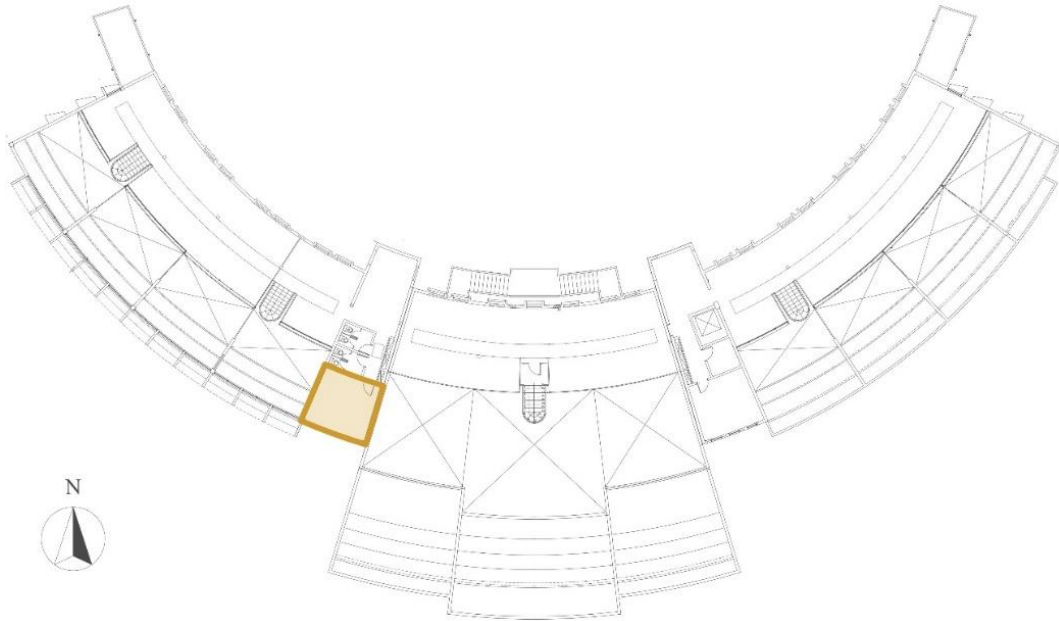
Fonte: Autora

### 3.1 ETAPA 01- ESTUDO PILOTO: MODELO EM ESCALA REDUZIDA X AMBIENTE REAL

#### 3.1.1 Estudo de caso

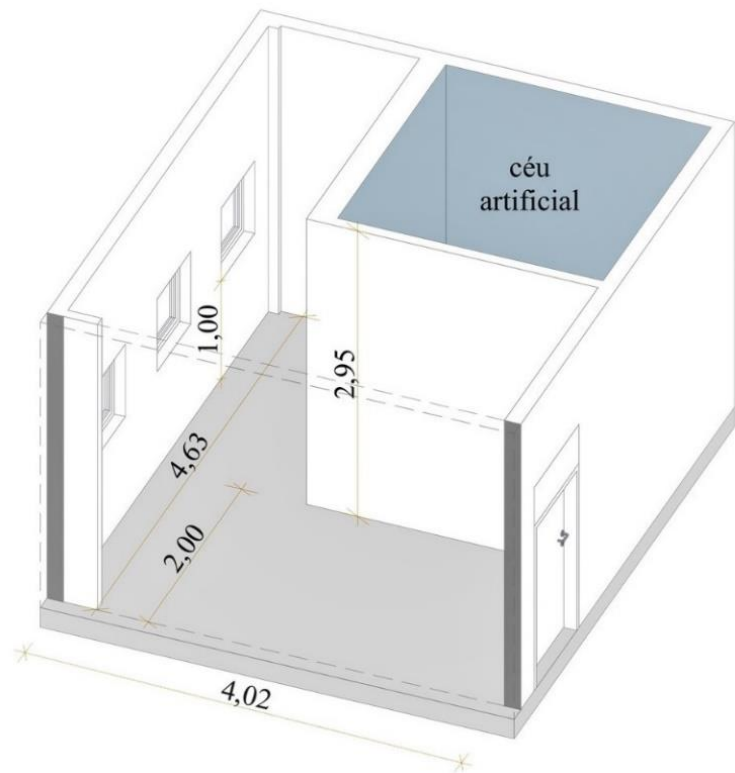
Para o estudo de caso desse trabalho foi escolhida a sala onde se encontra o céu artificial, pertencente ao Laboratório de Conforto Ambiental (LABCON) do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, localizado na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em Florianópolis. Na Figura 15 é indicada a posição da sala em relação ao quinto andar. A sala possui três aberturas voltadas para o sudoeste, com 1m de peitoril. Seu formato é de um L, com largura de 4,02 m, comprimento de 4,63 m e pé-direito de 2,95 m, conforme indicado na Figura 16.

Figura 15 - Localização da sala no Departamento de Arquitetura e Urbanismo



Fonte: Planta baixa fornecida pelo Departamento de Projetos de Arquitetura e Engenharia (DPAE)

Figura 16 - Isométrica do objeto de estudo



Fonte: Autora

Como as refletâncias não eram conhecidas, utilizou-se um método recomendado em literaturas para obter um valor aproximado através do uso de um luxímetro digital MLM-1011 Minipa (FONTOYNONT, 1999; CARTANA, 2018). A Tabela 2 apresenta os valores de refletância fotópicas ( $\rho_f$ ) e melanópicas ( $\rho_m$ ) para parede, piso e teto do ambiente. As refletâncias melanópicas foram determinadas utilizando o espectrofotômetro MK350S Premium (UPRTEK, 2010).

Elaborou-se uma maquete em madeira balsa na escala 1:10, representando o ambiente real, com as mesmas características reflexivas dos materiais indicados na Tabela 2.

Tabela 2 – Refletância Fotópica e Melanópica dos materiais presentes no estudo de caso

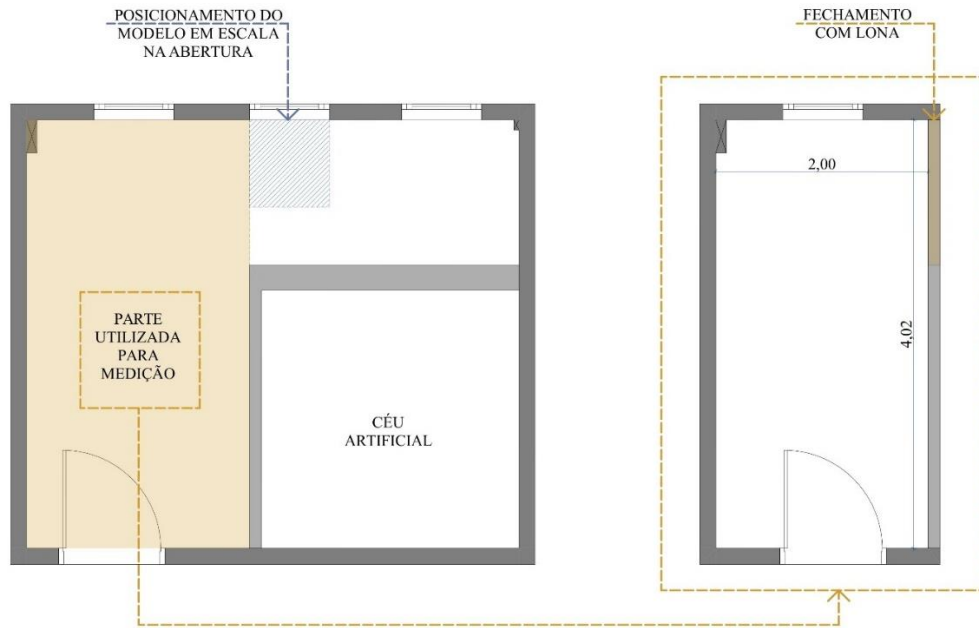
Superfície	Revestimento	Refletância Fotópica	Refletância
		( $\rho_f$ )	Melanópica ( $\rho_m$ )
Parede	Pintura Branca	60%	60%
Teto	Concreto Cinza	30%	25%
Piso	Porcelanato Bege	55%	50%

Utilizou-se apenas uma parte da sala, com somente uma abertura, facilitando a análise do comportamento luminoso, ver Figura 17. O acesso à outra parte do ambiente foi coberto por um tecido blecaute branco, com refletância semelhante às paredes, conforme ilustrado na Figura 18. O mesmo tecido foi aplicado na parede correspondente da maquete, visando manter o rigor da representação do ambiente. Na outra parte da sala, posicionou-se o modelo em escala reduzida em uma das aberturas, de forma a possibilitar medições simultâneas. O esquema de divisão do ambiente e posicionamento do modelo é indicado na Figura 17.

Com essa nova divisão, a sala passa a ter largura de 2 m e comprimento de 4,02 m, com uma abertura frontal de 0,75 x 0,75 m e peitoril de 1 m. Como as medições foram somente da luz natural, não foram posicionadas as luminárias no modelo em escala.



Figura 17 - Nova configuração da sala e posicionamento do modelo em escala



Fonte: Autora

O acesso ao interior da maquete foi feito através de aberturas do tamanho do equipamento, de 10x4 cm, nas paredes laterais do modelo. Estas foram fechadas por dobradiças e abertas apenas durante as medições, como indicado na Figura 19.

Figura 18 - Blackout dividindo a sala



Figura 19 - Aberturas para medição



### 3.1.2 Protocolo de Medição: Ambiente real x Modelo em Escala Reduzida

Para as medições tanto no ambiente real quanto no modelo em escala foi utilizado o espectrofotômetro MK350S Premium (UPRTEK, 2010), fornecido pelo Laboratório de Conforto Ambiental da UFSC (LabCon). O aparelho tem 8 cm de largura por 15 cm de comprimento e uma espessura de 3 cm. Um fotosensor de imagem linear CMOS localiza-se na parte frontal, permitindo medições na faixa de comprimento de onda de 380 a 780 nm.

O espectrofotômetro (UPRTEK, 2010) é um aparelho que oferece múltiplos parâmetros de medição, como a iluminância, temperatura correlata de cor e espectro da luz. O aparelho fornece métricas relacionadas aos efeitos não visuais da luz (Human Centric Lighting – HCL). Baseada na Iluminância Melanópica Equivalente estabelecida por Lucas et al. (2014) e adotada pela certificação WELL (International WELL Building Institute) e pela CIE TN 003-2015, o espectrofotômetro informa quantidade fotométrica da luz que irá afetar o fotopigmento da melanopsina, no comprimento de onda de 480nm, conhecido como lux melanópico. Com o aparelho é possível realizar medições in loco, e, assim, avaliar o estímulo circadiano proporcionado por um ambiente real, não hipotético, como ocorre na maioria dos estudos. O Aparelho é indicado na Figura 20.

Figura 20 – Espectrofotômetro utilizado para as medições



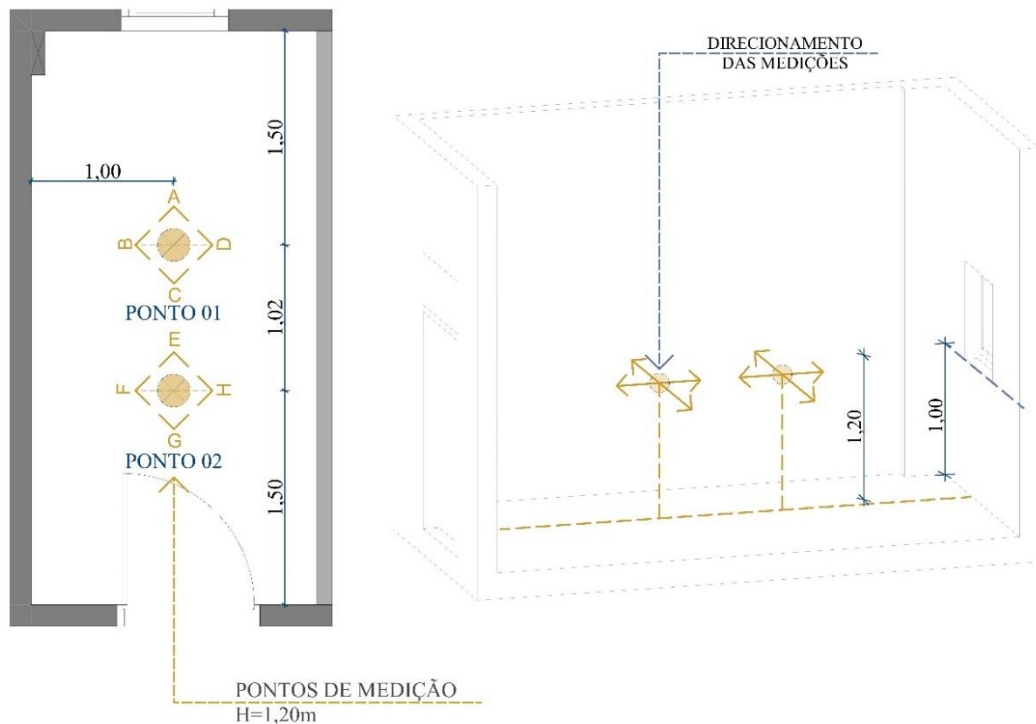
Fonte: <https://www.uprtek.com>

Além disso, o equipamento também informa a razão entre a iluminância melanópica e a fotópica, bem como a iluminância de outros fotopigmentos da retina, através de uma equação de acordo com cada uma das curvas de sensibilidade. Como a maior parcela do estímulo circadiano é devido ao fotopigmento das ipRGCs (BERSON; DUNN; TAKAO, 2002), as métricas consideradas para posterior análise foram: Iluminância Melanópica (luxm), Iluminância fotópica (luxf) e Razão Melanópica (luxm/luxf).

Foram estabelecidos dois pontos de medição: um a 1,50 m da abertura e outro a 1,50 m da parede dos fundos, distribuídos a 1 m das paredes laterais. Cada um desses pontos possui quatro sentidos de medição: frente, fundos e as duas paredes laterais, correspondendo a possíveis direções do olhar de um usuário do espaço, como indicado na Figura 21.

Tal distribuição ocorreu devido ao tamanho do aparelho (15x8x3 cm), que exige uma distância de pelo menos 15 cm no modelo em escala, que, convertendo à escala 1:10, corresponde a 1,50 m. A altura da medição foi estipulada a 1,20 m do piso, altura da visão de uma pessoa sentada segundo o protocolo de medição estabelecido pelo WELL (International WELL Building Institute). Para suporte do equipamento foi utilizado um tripé tanto no ambiente real quanto no modelo em escala reduzida.

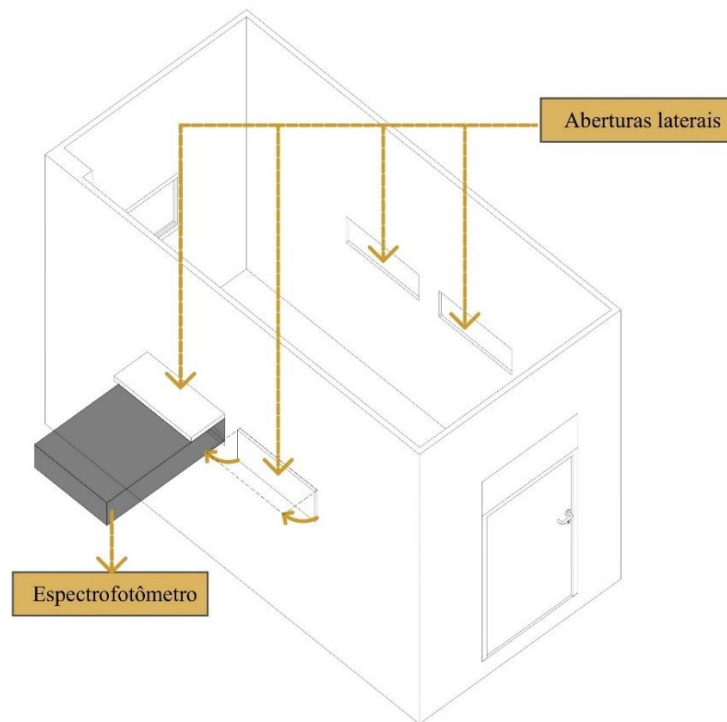
Figura 21 - Pontos de Medição da Etapa 1 do Método



Fonte: Autora

Como a sala possui 2 m de largura, foram feitas 4 aberturas na maquete, duas em cada uma das laterais, para posicionar o sensor na mesma posição que no ambiente real (1m). Além disso, elas permitiram o manuseio do espectrofotômetro, já que existiu a necessidade de apertar o botão em sua lateral para realizar as medições. Tais aberturas foram fechadas quando não usadas durante a medição, de forma a diminuir o impacto das mesmas nos resultados (Figura 22).

Figura 22 - Aberturas para encaixe do espectrofotômetro na maquete



Fonte: Autora

As medições foram realizadas ao longo de um período de duas semanas, dentro do intervalo temporal das 8h às 18h, correspondendo aos estágios de fase de repouso e alerta do ciclo circadiano (ANDERSEN; MARDALJEVIC; LOCKLEY, 2012). Estas foram realizadas com a janela aberta, já que dificilmente seria possível replicar as características do vidro no modelo em escala reduzida. A iluminância do céu, bem como o seu espectro foram medidos no início e no fim de cada intervalo de medição. As condições de céu variaram de encoberto para céu claro durante o período do experimento. O objetivo dessa etapa foi verificar a correlação entre modelo em escala e o ambiente real, a relevância maior encontrava-se em manter as condições de céu iguais apenas no intervalo entre duas medições equivalentes, ou seja, no mesmo período de 2 horas em que uma sequência de medições estava ocorrendo.

Durante o processo, primeiramente eram medidas as iluminâncias verticais fotópicas e melanópicas dos quatro pontos frontais do ambiente real para depois medir os quatro pontos frontais do modelo em escala reduzida (a, b, c, d). Posteriormente eram medidos os 4 pontos do fundo no ambiente real, e os correspondentes na maquete (f, g, h, i). Tal abordagem foi adotada para minimizar a diferença entre os pontos de medição equivalentes de ambos os modelos. O intervalo entre a medição entre o ambiente real e a maquete foi de 4 minutos.

### 3.1.3 Análise dos dados da Etapa 01 do método

Os dados obtidos após esse levantamento foram organizados em uma planilha onde foram indicados:

- i. A data e hora em que ocorreram as medições;
- ii. A iluminância do céu inicial e final;
- iii. O ponto e a direção de cada medição;
- iv. A iluminância vertical fotópica (luxF);
- v. A iluminância vertical melanópica (luxM);
- vi. A razão melanópica (luxM / luxF).

Foram feitas 3 análises do conjunto de dados, baseados nos pontos de medição:

- a) Comparativo entre iluminância fotópica e melanópica do ambiente real e da maquete para todos os pontos de medição agrupados (a, b, c, d, e, f, g, h), separados pelos dias de medição.
- b) Comparativo entre iluminância fotópica e melanópica do ambiente real e da maquete para cada um dos pontos de medição separados, com os dias de medição agrupados.
- c) Comparativo entre iluminância fotópica e melanópica do ambiente real e da maquete para pontos de medição voltados para a mesma direção: para janela (pontos a, e), paredes laterais (pontos b, d, f, h) e para os fundos (c, g) com os dias de medição agrupados.

Com os dados levantados, utilizou-se o software R 4.2.1 para Windows (R, 2022) para análise de correlação através do pacote R Commander. Primeiramente, foi executado um diagrama de dispersão tanto para a iluminância fotópica quanto para a melanópica para cada

uma das análises acima, onde foi possível verificar se os dados possuíam correlação e qual a sua direção (correlação negativa ou positiva).

Posteriormente, foi calculada a força da correlação através da Correlação Linear de Pearson (MUKAKA, 2012), representado pela seguinte equação:

Equação 2 - Cálculo da Correlação Linear de Pearson

$$r = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (x_i \times y_i) - \sum_{i=1}^n x_i \times \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left[ n \times \sum_{i=1}^n (x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2 \right] \times \sqrt{\left[ n \times \sum_{i=1}^n (y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2 \right]}}$$

Fonte: (MUKAKA, 2012)

Onde:

r = coeficiente de correlação linear de Pearson;

n = número de pares de observação;

x = variável independente;

y = variável dependente.

Considerou-se como a variável x independente os valores de iluminância vertical do ambiente real, e como a variável y dependente os valores de iluminância no modelo em escala. Para os valores de correlação foram adotados os parâmetros estabelecidos por Mukaka (2012), descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Força da Correlação Linear de Pearson

<b>Força da Correlação</b>	<b>Interpretação</b>
0,9 a 1,00	Correlação muito forte
0,7 a 0,9	Correlação forte
0,5 a 0,7	Correlação moderada
0,3 a 0,5	Correlação baixa
0,0 a 0,3	Correlação desprezível

Foi utilizado o modelo de regressão linear simples para verificar o grau de confiabilidade da base de dados, através do coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Foram elaboradas as seguintes hipóteses:

**H0** = não existe relação linear entre a iluminância da maquete e do ambiente real e;

**H1** = existe relação linear entre a iluminância da maquete e do ambiente real, ao nível de 5% de significância.

Após a confirmação da relação entre as iluminâncias (rejeitada a hipótese H0) uma equação matemática foi desenvolvida para modelar essa relação entre as variáveis. A análise dos resíduos dos dados verificou a normalidade da distribuição e a presença de pontos influentes no modelo de regressão. Caso existissem pontos de influência (identificados pela distância de Cook), estes eram removidos e a análise era refeita.

## 3.2 ETAPA 02 - ESTUDO DAS REFLETÂNCIAS APLICADAS NO MODELO EM ESCALA REDUZIDA

Como o modelo em escala apresentou uma correlação acima de 0,9 na etapa do estudo piloto (item 3.1 da metodologia) foi possível considerar o modelo em escala representativo de um ambiente real. Dessa forma, a alteração do comportamento luminoso do modelo em escala reduzida com a troca das refletâncias de suas superfícies corresponderia a um comportamento próximo ao real, levando em consideração o efeito da escala.

### 3.2.1 Materiais Escolhidos

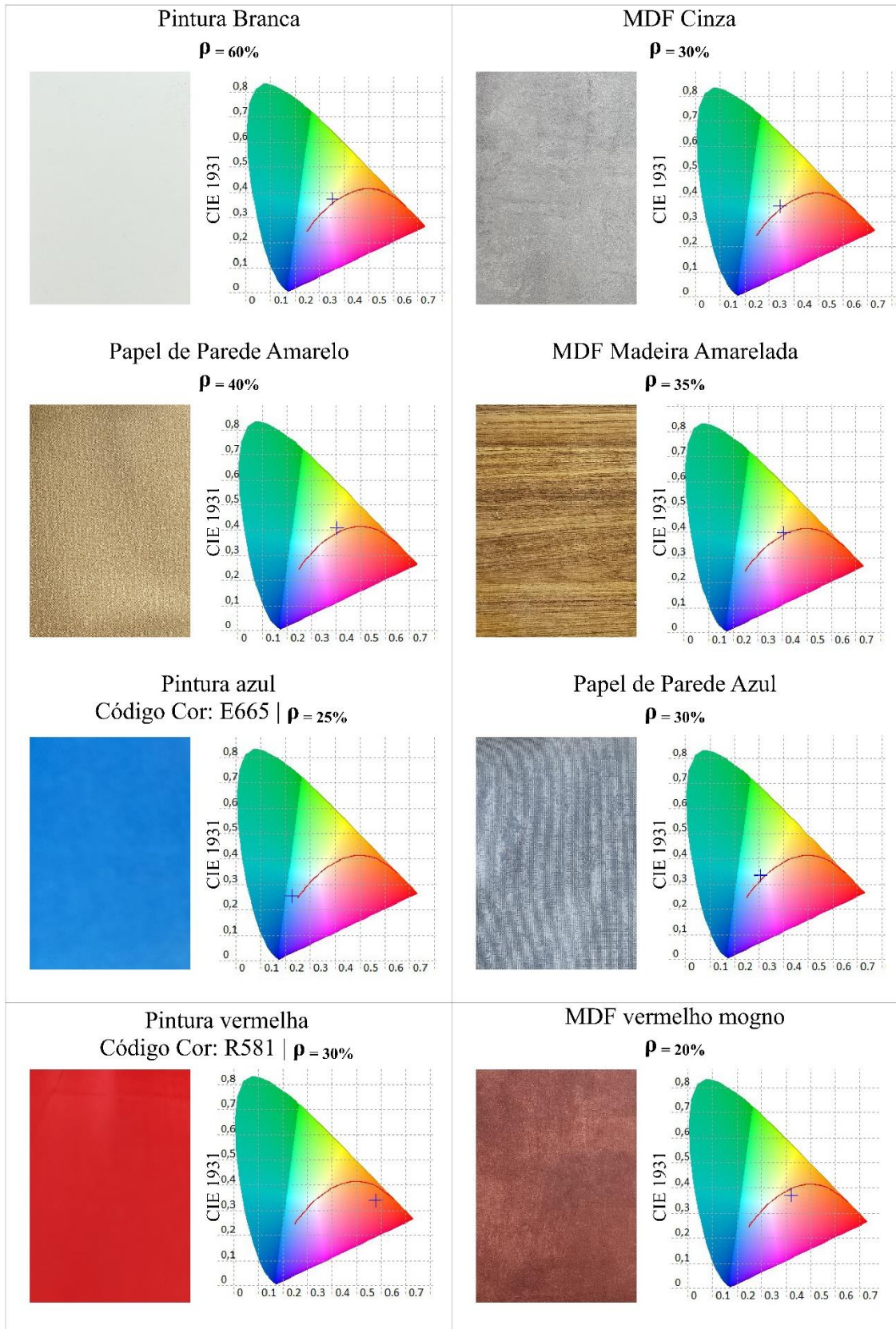
Para verificar o impacto da componente refletida na iluminância melanópica serão realizadas medições no modelo em escala, substituindo os materiais de suas superfícies por outros com variação nas propriedades óticas e espectrais.

Para a escolha dos revestimentos que seriam estudados realizou-se um levantamento preliminar de 16 materiais, entre eles constando pinturas, papel de parede e mdfs, cujas amostras foram fornecidas por um escritório de arquitetura em Florianópolis, SC. Foram medidos os espectros luminosos de cada um dos materiais com o auxílio do espectrofotômetro. Posteriormente analisou-se cada curva no software uSPECTRUM (UPRTEK, 2019). A medição ocorreu no mesmo ambiente da maquete, no quinto andar do Departamento de Arquitetura da UFSC. Foi posicionado no centro do ambiente em uma mesa uma amostra por vez, onde ocorreu as medições de cada uma isoladamente. As medições ocorreram sem nenhuma luz artificial ligada, para não afetar o espectro dos materiais.

Posteriormente, realizou-se um filtro nas amostras analisadas para aquelas que possuíam diferenças significativas em suas curvas espectrais, totalizando 8 revestimentos. Essa redução foi necessária devido ao tempo de pesquisa disponível e para um melhor controle amostral. Na Figura 23, estão indicados cada um dos materiais escolhidos, com as refletâncias indicados por seus respectivos fornecedores e a indicação de cor de acordo com a CIE 1931. A cor de parede branca, diferente das demais, foi a mesma utilizada nas paredes do modelo em escala original, cuja cor possui a mesma refletância da parede do ambiente real.



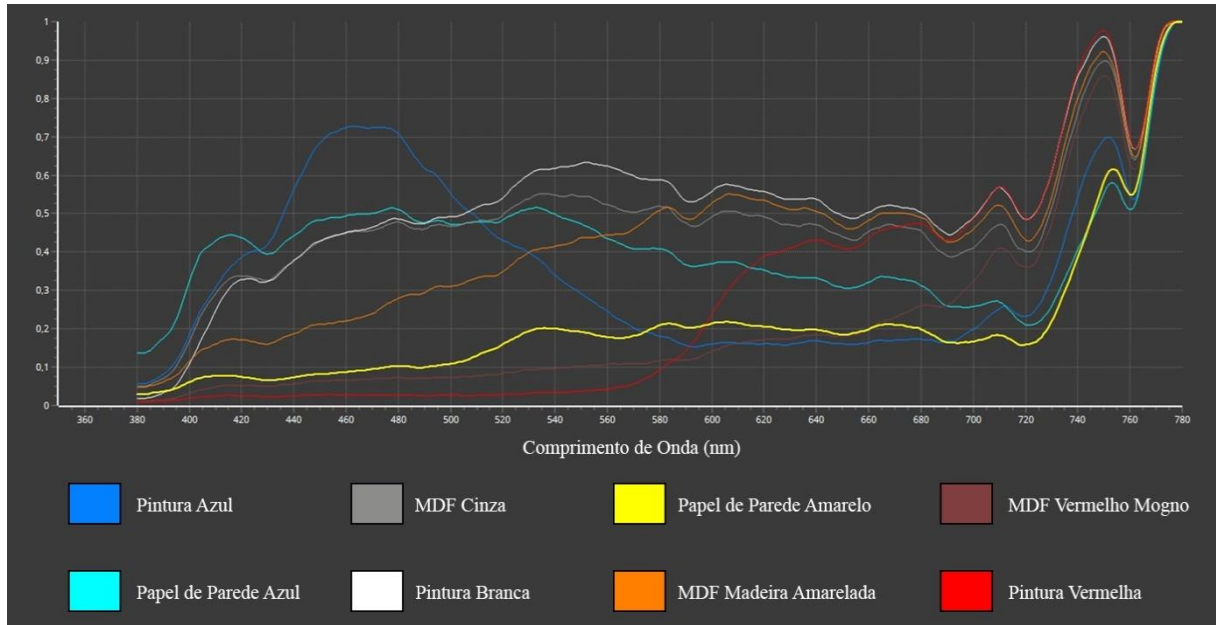
Figura 23 - Materiais escolhidos



Fonte: Adaptada do uSPECTRUM

Tanto a pintura vermelha quanto a azul tem acabamento brilhoso, o que aumenta a especularidade do material. Os demais materiais possuem acabamento fosco. Na Figura 24 foi indicado a curva de espectro luminoso de cada um dos revestimentos escolhidos.

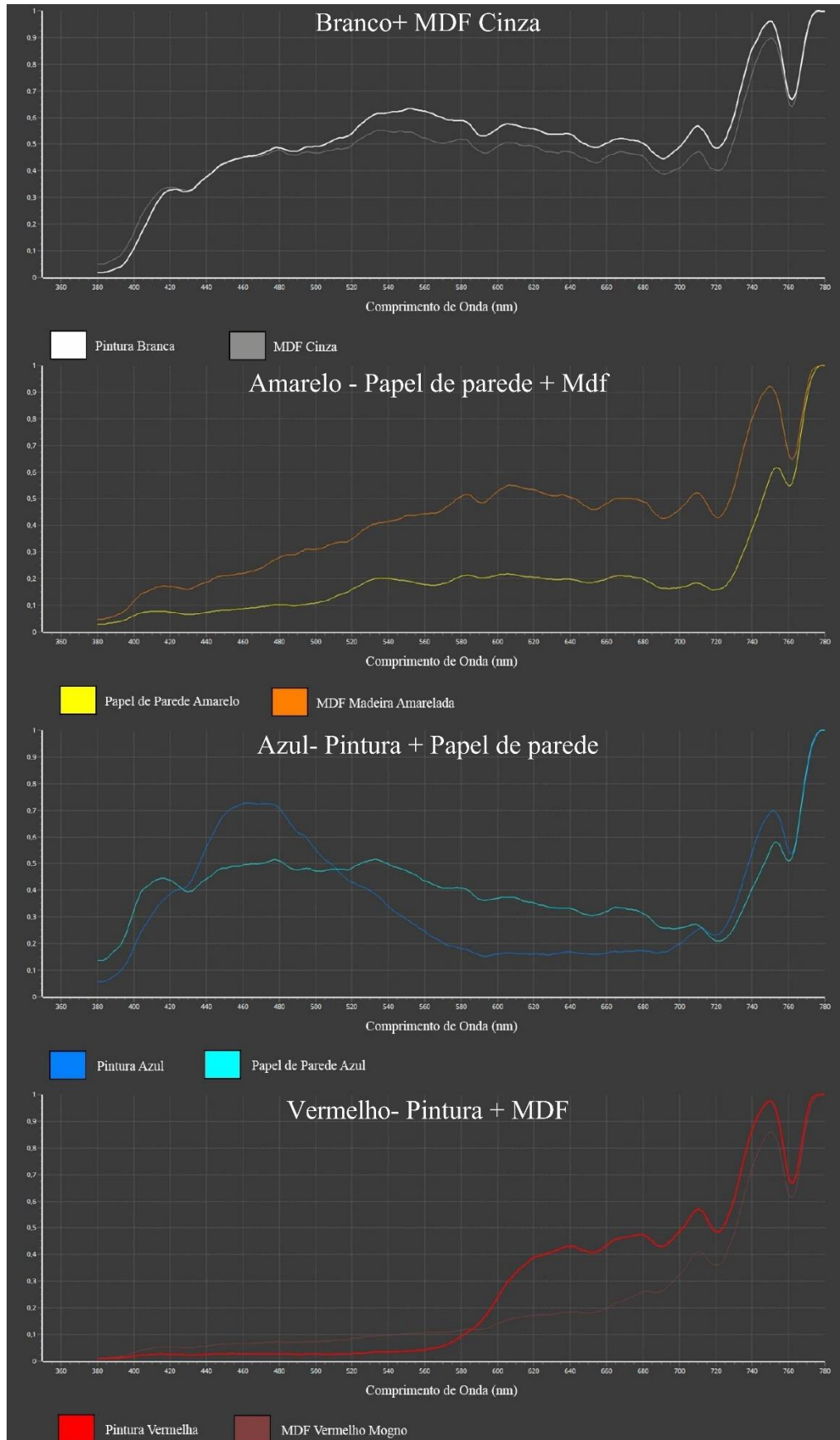
Figura 24 – Comprimento de onda dos materiais



Fonte: Autora

Na Figura 25, agrupou-se as curvas semelhantes, separadas em azul, vermelho, amarelo e branco com cinza, para facilitar a visualização do comportamento espectral de cada uma. A cor cinza e a cor branca foram agrupadas considerando a similaridade de ambas, apesar de possuírem cores diferentes.

Figura 25 - Comprimento de onda separado por cor



Fonte: Autora

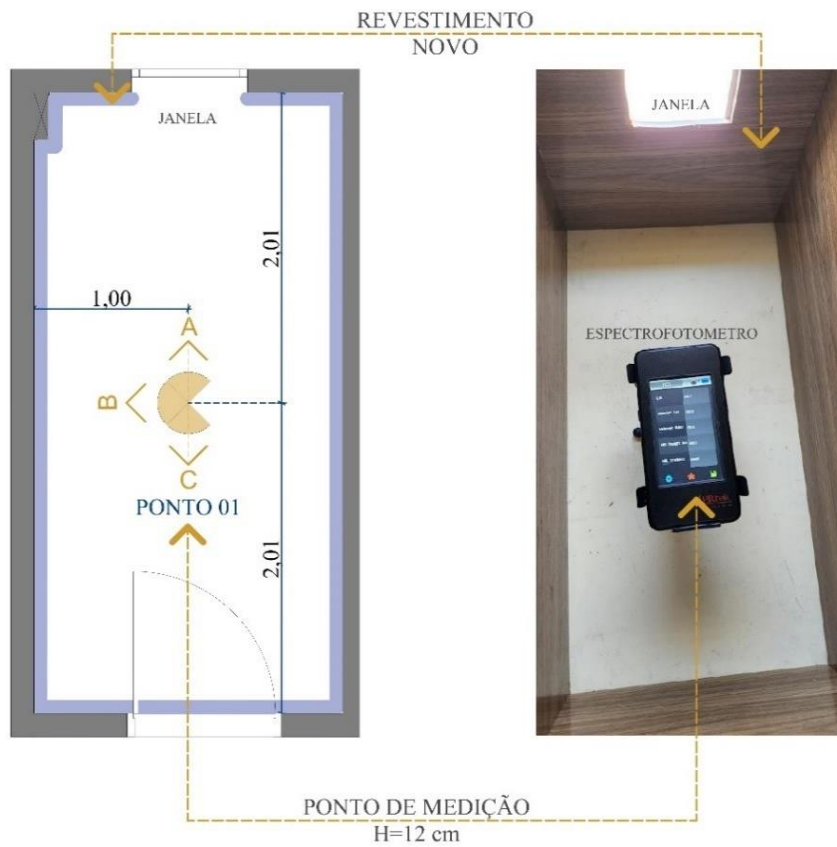
### **3.2.2 Protocolo de Medição: Diferentes Refletâncias dos materiais**

Após a análise do modelo em escala na primeira etapa de medição, foi possível chegar a algumas conclusões que foram consideradas na elaboração do protocolo de medição desta segunda etapa do método. Primeiramente, verificou-se que os valores de iluminância, tanto melanópica quanto fotópica, apresentavam valores similares em ambas as paredes laterais. Diante disso, optou-se por manter medições na direção de somente uma parede lateral, visando simplificar o processo.

Outra simplificação feita nessa etapa foi considerar somente um ponto de medição no meio do ambiente, com três sentidos de medição: frente (a), lateral (b) e fundos (c). Tal processo é descrito na Figura 26.

Criou-se chapas de 6mm de espessura com diferentes revestimentos para encaixar-se na maquete e, assim, realizar as medições no modelo em escala. Devido a esse acréscimo de espessura, uma nova maquete foi criada, visando suprir essa diferença que o revestimento causou (Figura 27). Dessa forma, as medidas internas da sala continuam sendo as mesmas, 4,02m x 2m. Os revestimentos do piso e do teto mantiveram-se iguais aos estabelecidos originalmente, ver Tabela 02. A altura de medição foi de 12 cm, correspondendo a 1,2m no ambiente real, como recomendado pela WELL.

Figura 26 - Ponto de medição para análise de refletância na segunda etapa do método



Fonte: Autora

Figura 27 - Nova maquete com 6mm a mais em cada lado para o encaixa das chapas de revestimento (tampa removível)

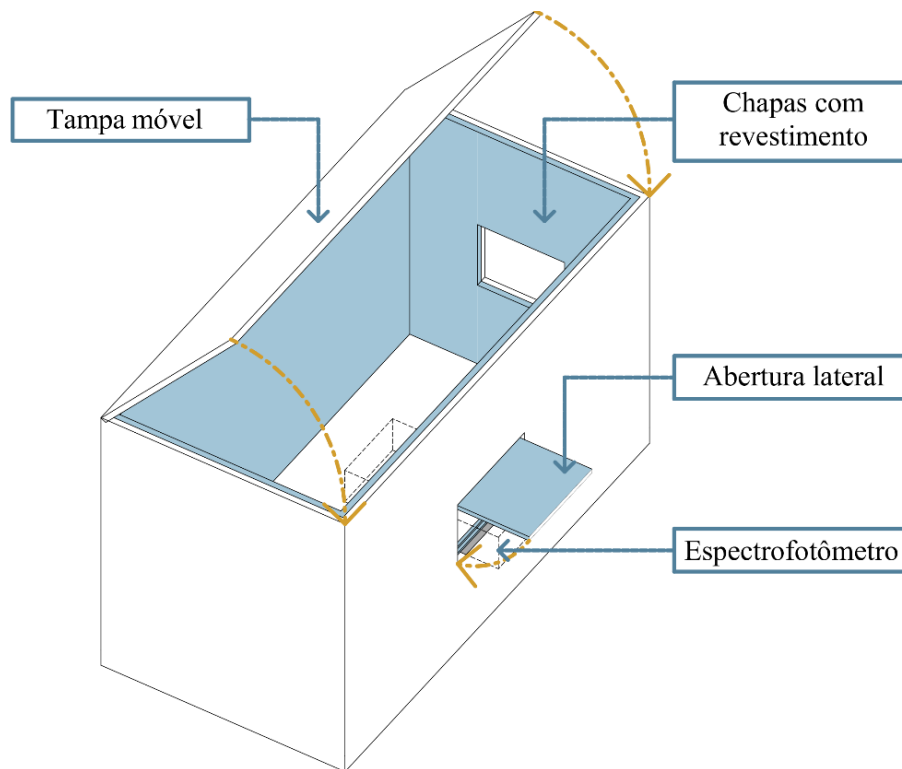


Fonte: Autora



Uma abertura na lateral da maquete, bem como em cada uma das chapas de revestimento, foi executada para realização das medições e manusear o espectrofotômetro com mais facilidade. Em cada uma das chapas, a abertura poderia ser fechada com dobradiças, de forma a diminuir o impacto dela no resultado. O esquema representando esse processo está indicado na Figura 28.

Figura 28 - Abertura lateral nas chapas com revestimentos na segunda etapa do método

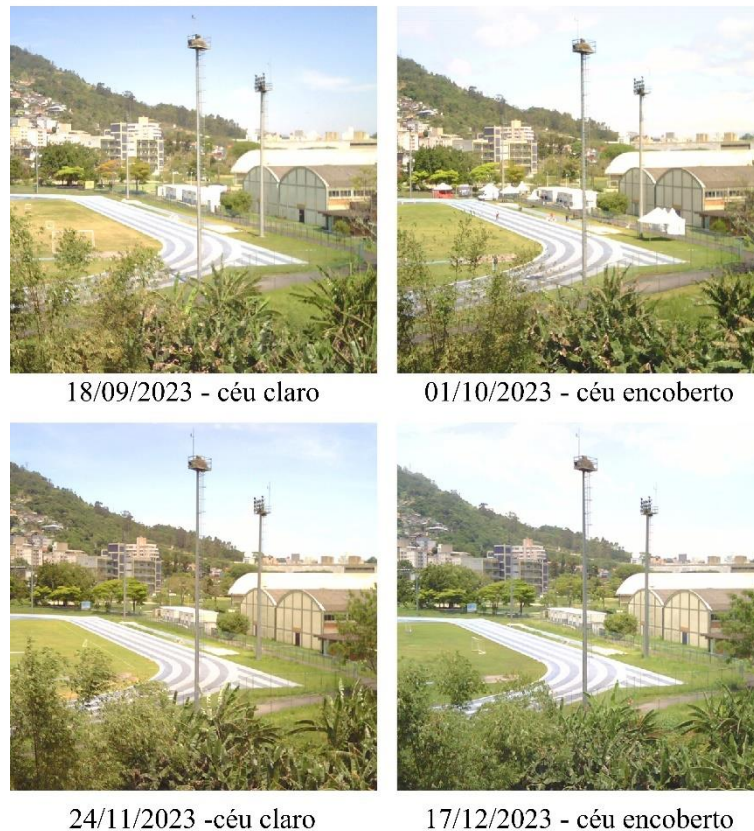


Fonte: Autora

As medições ocorreram no intervalo de quatro meses, entre o período das 11:00 às 13:00 hrs, dentro do período estabelecido pela certificação WELL para medições de iluminação circadiana para escritórios. A iluminância do céu bem como o seu espectro foram medidos no início e no fim de cada troca de chapas de revestimento.

No final, foram escolhidos 4 dias representativos, onde não houve alterações significativas nas condições de céu externas ou de iluminâncias ao longo do processo de medição. As condições de céu de cada um dos dias estão indicadas na Figura 28. As imagens foram geradas pelo espectrofotômetro e indicam a vista do entorno no momento das medições.

Figura 29 - Condições de céu para cada um dos dias de medição



Fonte: autora

Durante o processo, primeiramente eram colocadas as chapas com um revestimento em todas as paredes do modelo em escala. Posteriormente eram medidas as iluminâncias verticais fotópicas e melanópicas dos 3 pontos da maquete indicados na Figura 25 (a,b,c). Para cada revestimento eram realizadas duas rodadas de medições, trocando depois para outro.

### 3.2.3 Análise dos dados da Etapa 02 do método

Os dados obtidos após esse levantamento foram organizados em uma planilha onde foram indicados:

- a. A data e hora em que ocorreram as medições;
- b. O material avaliado
- c. A iluminância do céu inicial e final para intervalo de medição;
- d. O ponto e a direção de cada medição;
- e. A iluminância vertical fotópica (luxF);
- f. A iluminância vertical melanópica (luxM);

- g. A razão melanópica ( $\text{luxM} / \text{luxF}$ ).

Foram feitas 2 análises do conjunto de dados, baseados nos pontos de medição:

- a. Verificação de quais pontos atingiam a iluminância melanópica equivalente mínima de 200 EML no plano vertical a 1,2m acima do nível do piso.
- b. Avaliação de quais revestimentos favorecem a iluminação circadiana, considerando a razão melanópica e a direção de visão.

Com os dados levantados, criou-se gráficos de barra com todos os dias de medição agrupados, com gráficos diferentes de acordo com cada direção do olhar (a,b,c). Essa divisão se fez necessária devido aos valores relativamente superiores das medições de iluminância voltadas para a janela (a), em comparação com as outras duas direções.

Os gráficos mostram a média aritmética dos valores medidos, indicando o desvio padrão de cada. Optou-se pela média por ser a que menos distorcia os valores do conjunto de dados, já que a mediana ignorava os valores de maior e menor iluminância.

### 3.3 ETAPA 03 - ESTUDO DE DIFERENTES TEXTURAS APLICADAS NO MODELO EM ESCALA REDUZIDA

Nessa etapa foi aplicado no modelo em escala o mesmo revestimento, com texturas diferentes, buscando verificar o impacto que essa condicionante tem na iluminação circadiana.

Quanto o protocolo de medição utilizou-se o mesmo do item 3.2.2 do método, já que essas medições ocorreram simultaneamente a etapa anterior. A separação dos dados foi realizada posteriormente, para facilitar a análise.

#### 3.3.1 Texturas escolhidas

Optou-se por utilizar duas das mesmas cores da etapa anterior, 3.2 do método, criando chapas com o mesmo material, mas a geometria plissada como indicado na Figura 30. As cores escolhidas foram a pintura vermelha e pintura azul brilhante, como indicado na Figura 31. Também é fornecido o gráfico da CIE 1931, juntamente com as refletâncias. Como é a mesma cor, esses parâmetros não alteram.



Figura 30 - Textura plissada aplicada na maquete

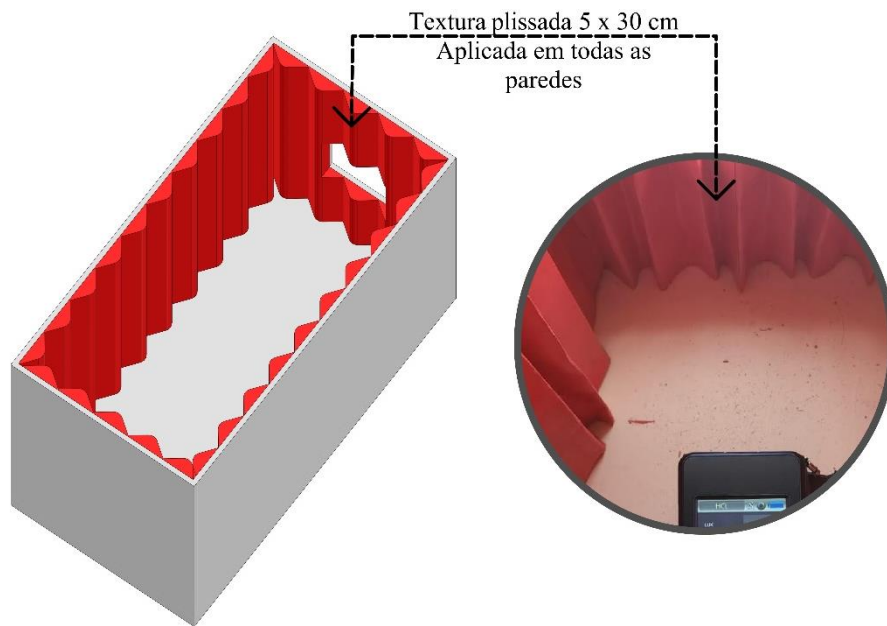
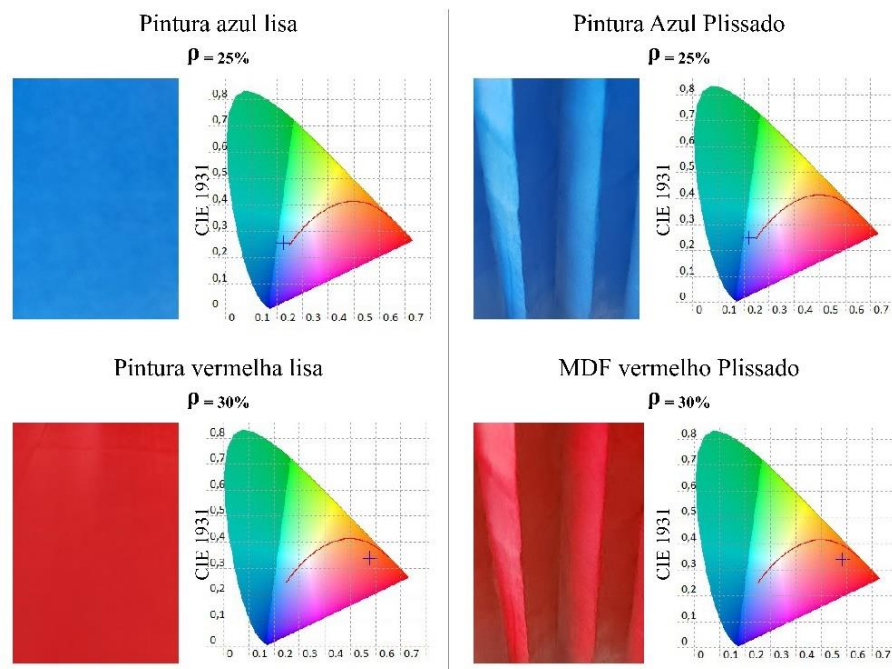


Figura 31 - Materiais escolhidos para alteração de textura



Fonte: autora

### 3.3.2 Análise dos Dados da Etapa 03 do método

Os dados obtidos após esse levantamento foram organizados da mesma forma que o item 3.2.3 do método.

Foram feitas 3 análises do conjunto de dados, baseados nos pontos de medição:

- a. Verificar se existe impacto da troca de textura no comportamento luminoso do ambiente.
- b. Avaliar quais texturas favorecem a iluminação circadiana, a lisa ou a plissada, considerando a razão melanópica e a direção de visão.
- c. Análise crítica das possíveis formas de layout para estimular a iluminação circadiana, baseado nos resultados das medições.

A representação dos dados foi realizada da mesma forma que o item 3.2.3 do método.

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 ESTUDO PILOTO: MODELO EM ESCALA REDUZIDA X AMBIENTE REAL

Os dados obtidos através de medições com o espectrofotômetro MK350S Premium (UPRTEK, 2010), fornecido pelo Laboratório de Conforto Ambiental da UFSC (Labcon) tanto para o ambiente real quanto para o modelo em escala encontram-se no ANEXO A.

Foram escolhidos dois dias representativos para a análise. No dia 14 foram feitos três ciclos completos de medição, totalizando 24 pontos. Já no dia 21, foram feitos cinco ciclos completos de medição, totalizando 40 pontos. O protocolo de medição citado foi referenciado na Figura 12 do item 3.1.1 do método. Os valores de iluminância do início e do final das medições contam na Tabela 4.

Tabela 4 - Dados de medição analisados referentes a etapa 01 do método

<b>Dia 14/07 – 24 pontos de medição</b>		<b>Horário</b>
Iluminância inicial	5193,5 lx	13:59
Iluminância final	1591lx	15:51
<b>Dia 21/07 – 40 pontos de medição</b>		<b>Horário</b>
Iluminância inicial	22063,7	09:30
Iluminância final	25705,6	11:30

Os diagramas de dispersão e o índice de correlação tanto para a iluminância fotópica (lux F) quanto para melanópica (lux M) para o dia 14 e 21, para os pontos agrupados, estão representados nas Figuras 32 e 33, respectivamente.

Figura 32 - Gráfico de Dispersão para o dia 14/07

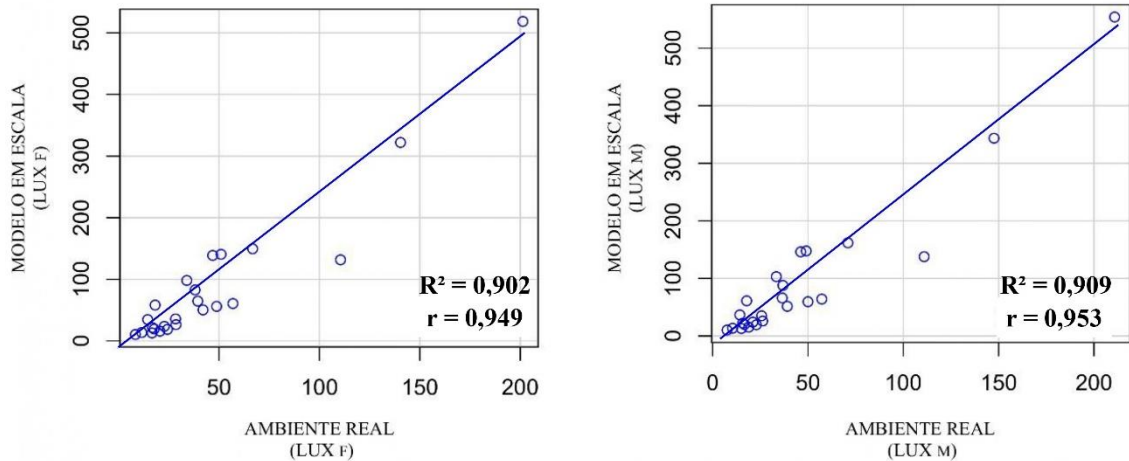
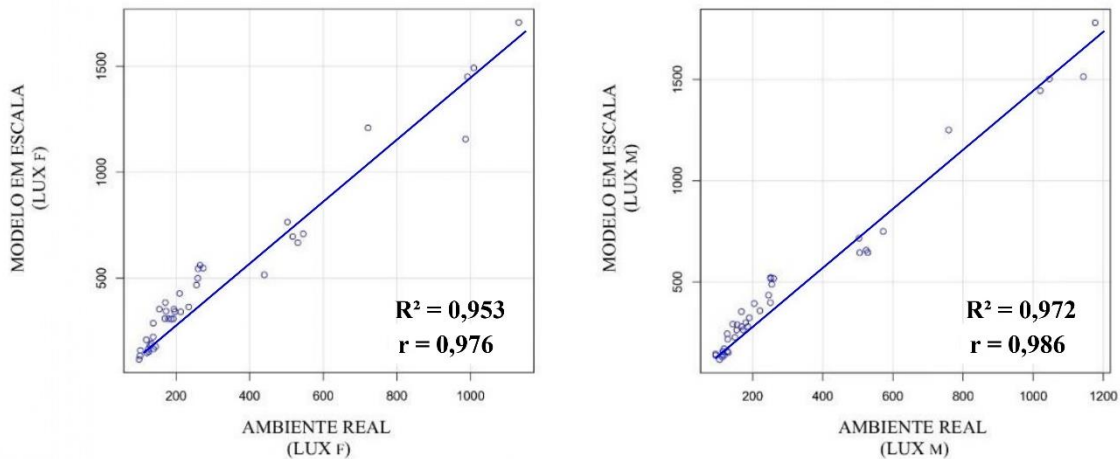


Figura 33 - Gráficos de dispersão para o dia 21/07



Fonte: Autora

Tanto na Figura 32 como na 33 os valores de coeficiente de correlação entre o ambiente real com o do modelo em escala deram superiores a 0,9, o que indica uma correlação muito forte. No dia 21 de julho, tanto os valores de correlação da iluminância melanópica quanto os da fotópica foram melhores do que os do dia 14, o que pode decorrer de uma maior amostra (40 pontos no dia 21 e 24 pontos no dia 14).

Ao fazer a análise de regressão linear para os dias separados se nota que em ambos os casos se rejeita a hipótese  $H_0$  ao nível de 5% de significância, comprovando a relação linear entre a iluminância da maquete e do ambiente real. Apesar disso, ao avaliar-se os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) nota-se uma redução nos valores, principalmente no dia 14, onde o  $R^2$  deu próximo de 0,9 para iluminância melanópica e fotópica. Os dados também não

apresentam distribuição normal, devendo ser tratados de forma não paramétrica. Um dos motivos para tal comportamento pode-se dar devido a grande diferença entre a iluminância dos pontos voltados para janela em relação aos pontos laterais e de fundos.

Dessa forma, foi realizada uma análise de regressão linear para cada um dos pontos de medição, com os dias agrupados. Os gráficos de dispersão e seus respectivos coeficientes de determinação, estão indicados nas Figuras 34, 35 e 36.

Figura 34 - Gráfico de Dispersão para os pontos A, E

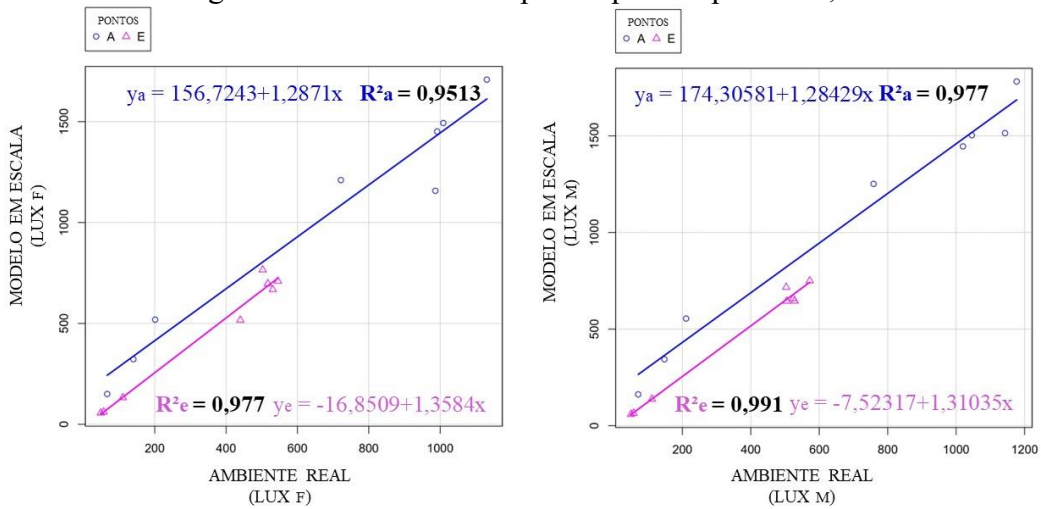


Figura 35 - Gráfico de Dispersão para os pontos B, D, F, H

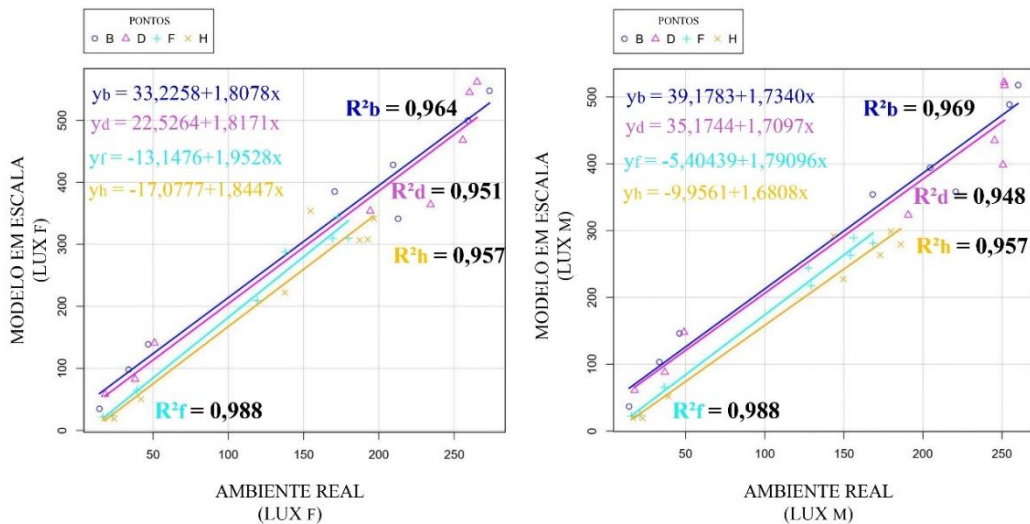
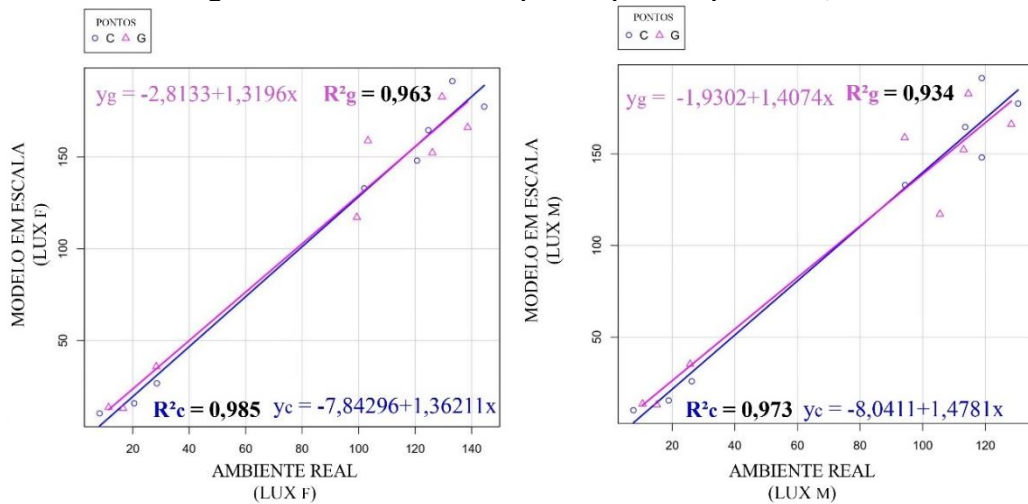


Figura 36 - Gráfico de Dispersão para os pontos C, G



Fonte: Autora

Em todos os pontos rejeita-se a hipótese  $H_0$ , ao nível de 5% de significância, e comprova-se a correlação dos valores de iluminância da maquete em relação ao ambiente real. Os valores de  $R^2$  de todos os pontos deram superiores a 0,93, representando uma correlação mais forte do que quando considerados os pontos agrupados e dias separados (Figura 8 e 9). No caso da iluminância melanópica, os melhores resultados foram para os pontos E, com  $R^2$  igual a 0,991, e F com  $R^2$  igual a 0,988.

Observa-se que a maioria dos pontos mais afastados da abertura apresentam uma correlação mais forte do que seus correspondentes posicionados a 1,50m da janela. Sendo a única exceção os pontos voltados para o fundo da sala, onde o C possui uma correlação mais forte do que o G. Tal característica pode ser explicada pela menor variação da iluminância decorrente do afastamento da abertura, que reduz a influência da luz direta.

Como a análise de regressão com pontos individuais possui uma amostra reduzida, somente 8 medidas por ponto, seria necessário um grupo amostral mais robusto para maior confiabilidade dos resultados. Dessa forma, foi realizada uma terceira análise, agrupando pontos voltados para mesma direção: AE, voltados para janela (Figura 37), o BDFH, para as paredes laterais (Figura 38) e o CG, para os fundos (Figura 39).

Figura 37 - Gráfico de Dispersão para AE

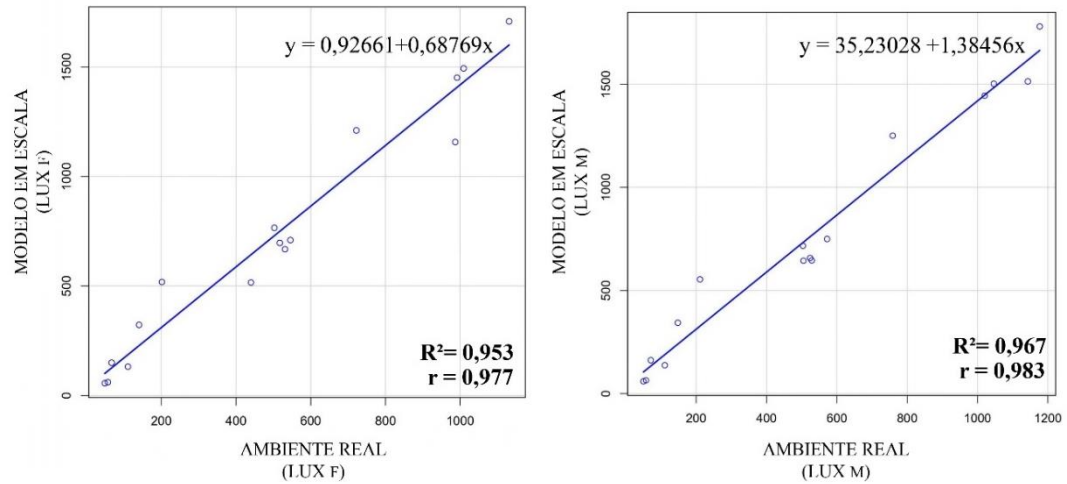


Figura 38 - Gráfico de Dispersão para BDFH

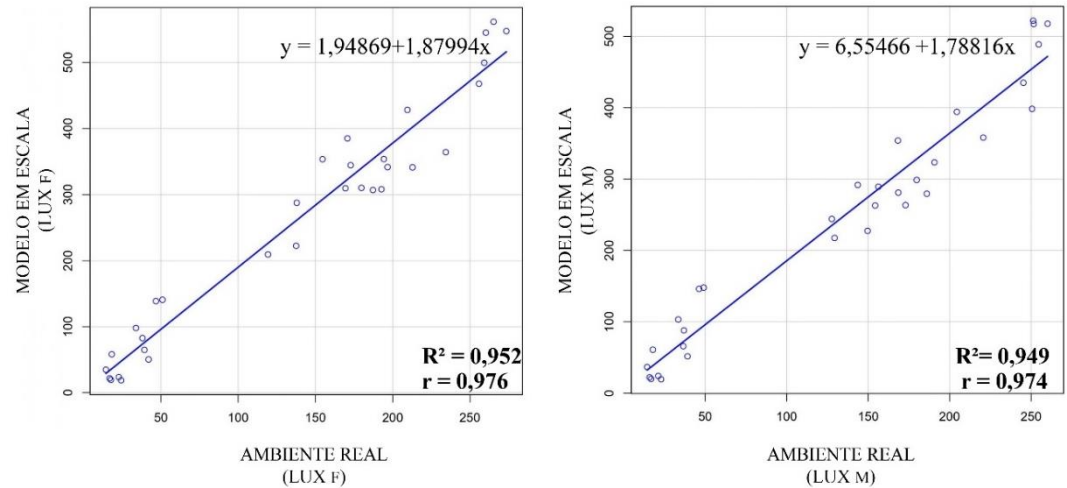
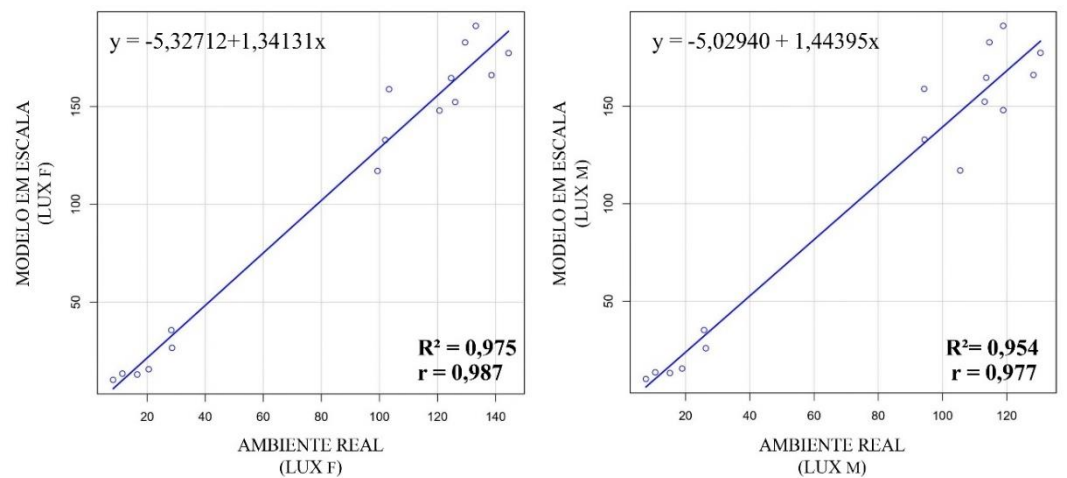


Figura 39 - Gráfico de Dispersão para CG



Em todas as regressões rejeitou-se a hipótese  $H_0$ , ao nível de 5% de significância, comprovando-se a correlação dos valores de iluminância da maquete em relação

ao ambiente real. Todos os valores de  $R^2$  deram superiores a 0,94, constituindo-se na correlação mais forte dentre todas as análises desta dissertação.

As correlações menos fortes ocorreram nos pontos direcionados para as paredes laterais, com  $R^2$  igual a 0,949 para iluminância melanópica. Apesar disso, ainda pode-se argumentar que a iluminância melanópica do modelo em escala é representativo do ambiente real.

Ao avaliar os dados obtidos através das medições pode se perceber que o modelo em escala superestima os valores de iluminância tanto melanópica quanto fotópica. Entre os fatores que podem explicar essa diferença é o efeito da escala, onde o equipamento usado (espectrofotômetro) e seu respectivo sensor possui um tamanho significativamente grande quando posicionado na maquete. Outros motivos poderiam ser nas diferenças entre os materiais reais (parede rebocada e piso cerâmico) com os utilizados na maquete (pintura da madeira), mesmo que se tenha tentado aproximar o máximo possível das características reflexivas reais.

O resultado mostrou que seria possível continuar o estudo com o modelo em escala, já que ele é representativo do ambiente real.

## 4.2 ESTUDO DAS REFLETÂNCIAS APLICADAS NO MODELO EM ESCALA REDUZIDA

### 4.2.1 Análise de Iluminância Fotópica e Melanópica

Como referenciado no item 3.2, todos os materiais foram medidos duas vezes por dia, totalizando 24 medidas por revestimento. Estas foram divididas por direção de medição, devido as iluminâncias superiores dos pontos voltados para a janela.

A tabela 5 e 6 indicam os valores de média e mediana da iluminância fotópica e melanópica para cada um dos revestimentos, no Ponto A.

Tabela 5 - Iluminância Fotópica - Ponto A (Parede Frontal)

<b>Sigla</b>	<b>AL</b>	<b>PA</b>	<b>VL</b>	<b>MM</b>	<b>MA</b>	<b>AP</b>	<b>CI</b>	<b>BR</b>
Material	Azul liso	Azul papel parede	vermelha lisa	MDF madeira mogno	MDF madeira amarela	amarelo papel parede	cinza	branco
Mediana	687,6	524,55	846,35	921,65	824,25	752	829,25	1172
<b>Média</b>	<b>984,36</b>	<b>555,93</b>	<b>991,02</b>	<b>979,78</b>	<b>989,05</b>	<b>867,92</b>	<b>889,31</b>	<b>1155,43</b>

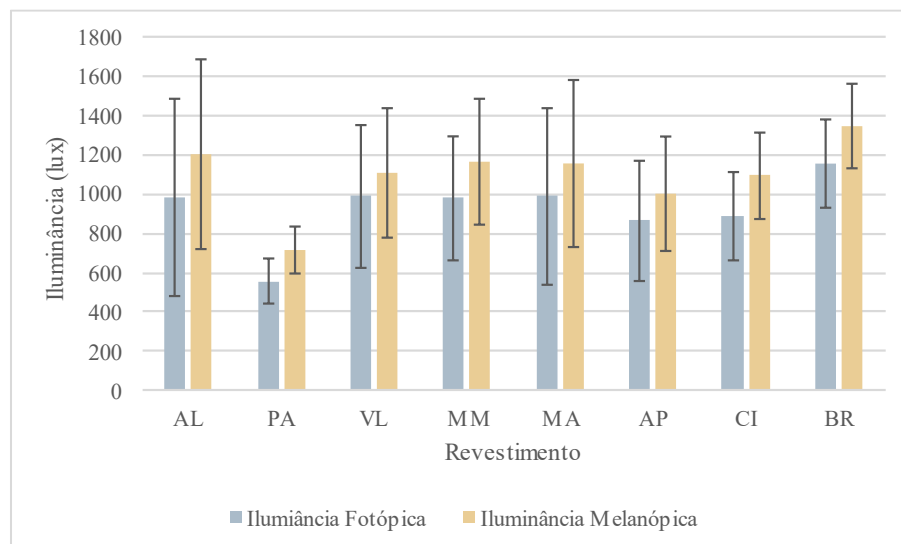
Desvio Padrão	505,6	116,1	366,2	318,5	451,7	307,3	225,4	223,1
---------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabela 6 - Iluminância Melanópica - Ponto A (Parede Frontal)

Sigla	AL	PA	VL	MM	MA	AP	CI	BR
Material	Azul liso	Azul papel parede	vermelha lisa	MDF madeira mogno	MDF madeira amarela	amarelo papel parede	cinza	branco
Mediana	923,15	692,4	1001,55	1112,7	1023,12	918,3	1064	1373
<b>Média</b>	<b>1207,42</b>	<b>718,45</b>	<b>1112,05</b>	<b>1166,4</b>	<b>1157,16</b>	<b>1004,46</b>	<b>1095,5</b>	<b>1345</b>
Desvio Padrão	483,1	120,0	330,2	317,9	428,9	294,9	221,9	214,2

O gráfico em barra da iluminância melanópica e fotópica para o ponto A está representado nas Figuras 40.

Figura 40 - Iluminância Fotópica e Melanópica para o Ponto A (Parede Frontal) para diferentes revestimentos



A tabela 7 e 8 indicam os valores de média e mediana da iluminância fotópica e melanópica para cada um dos revestimentos, no Ponto B.



Tabela 7 - Iluminância Fotópica - Ponto B (Parede Lateral)

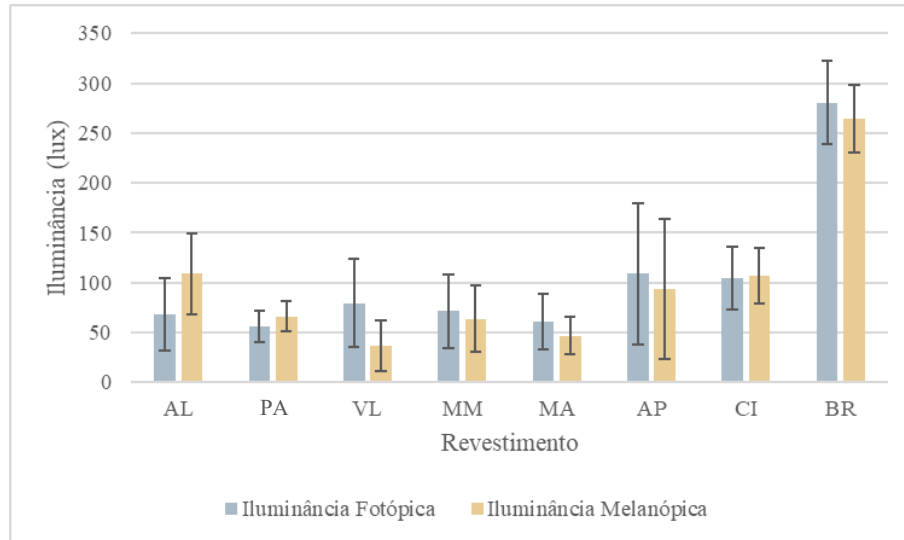
<b>Sigla</b>	<b>AL</b>	<b>PA</b>	<b>VL</b>	<b>MM</b>	<b>MA</b>	<b>AP</b>	<b>CI</b>	<b>BR</b>
Material	Azul liso	Azul papel parede	vermelha lisa	MDF madeira mogno	MDF madeira amarela	amarelo papel parede	cinza	branco
Mediana	46,78	49,30	51,90	52,71	47,07	73,12	107,22	287,70
<b>Média</b>	<b>67,95</b>	<b>55,59</b>	<b>79,30</b>	<b>71,41</b>	<b>60,88</b>	<b>108,79</b>	<b>104,22</b>	<b>280,54</b>
Desvio Padrão	36,3	15,6	44,5	37,1	28,1	70,9	31,6	41,56

Tabela 8 - Iluminância Melanópica - Ponto B (Parede Lateral)

<b>Sigla</b>	<b>AL</b>	<b>PA</b>	<b>VL</b>	<b>MM</b>	<b>MA</b>	<b>AP</b>	<b>CI</b>	<b>BR</b>
Material	Azul liso	Azul papel parede	vermelha lisa	MDF madeira mogno	MDF madeira amarela	amarelo papel parede	cinza	branco
Mediana	85,39	60,03	20,98	48,31	38,42	57,67	106,26	262,8
<b>Média</b>	<b>108,76</b>	<b>65,90</b>	<b>36,55</b>	<b>63,59</b>	<b>46,87</b>	<b>93,44</b>	<b>107,1</b>	<b>264,15</b>
Desvio Padrão	40,8	15,2	25,2	33,4	19,1	70,2	27,9	33,5

O gráfico em barra da iluminância melanópica e fotópica para o ponto B está representado nas Figuras 41.

Figura 41 - Iluminância Fotópica e Melanópica para o Ponto B (Parede Lateral) para diferentes revestimentos



A tabela 9 e 10 indicam os valores de média e mediana da iluminância fotópica e melanópica para cada um dos revestimentos, no Ponto C.

Tabela 9 - Iluminância Fotópica - Ponto C (Parede Fundos)

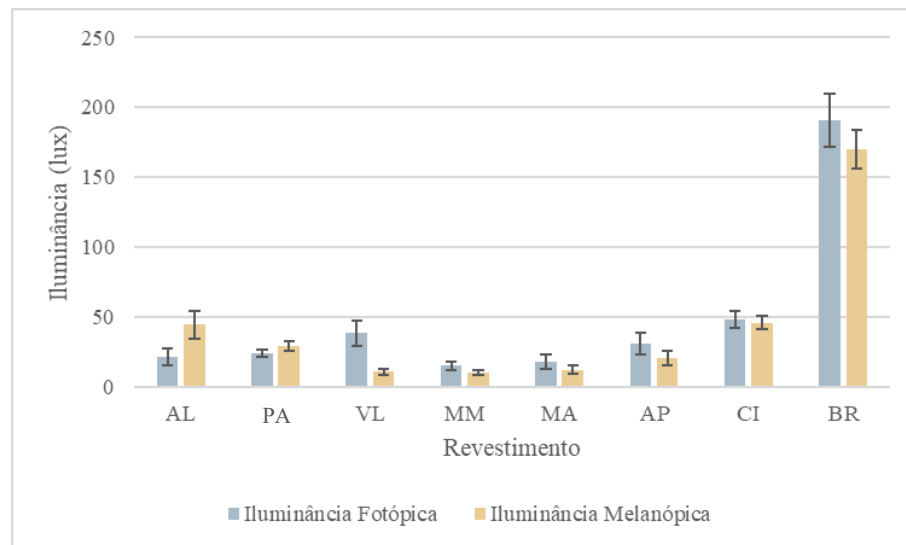
<b>Sigla</b>	<b>AL</b>	<b>PA</b>	<b>VL</b>	<b>MM</b>	<b>MA</b>	<b>AP</b>	<b>CI</b>	<b>BR</b>
Material	Azul liso	Azul papel parede	vermelha lisa	MDF madeira mogno	MDF madeira amarela	amarelo papel parede	cinza	branco
Mediana	19,71	24,82	33,86	14,2	16,26	31,74	45,6	185,9
<b>Média</b>	<b>21,65</b>	<b>24,52</b>	<b>38,72</b>	<b>15,71</b>	<b>18,61</b>	<b>31,52</b>	<b>48,29</b>	<b>191,12</b>
Desvio Padrão	6	2,9	9,21	2,9	5,1	7,6	6,1	18,9

Tabela 10 - Iluminância Melanópica - Ponto C (Parede Fundos)

<b>Sigla</b>	<b>AL</b>	<b>PA</b>	<b>VL</b>	<b>MM</b>	<b>MA</b>	<b>AP</b>	<b>CI</b>	<b>BR</b>
Material	Azul liso	Azul papel parede	vermelha lisa	MDF madeira mogno	MDF madeira amarela	amarelo papel parede	cinza	branco
Mediana	42,72	30,14	10,81	9,35	11,48	21,25	44,78	165,6
<b>Média</b>	<b>44,67</b>	<b>29,54</b>	<b>11,46</b>	<b>10,34</b>	<b>12,70</b>	<b>20,89</b>	<b>46,21</b>	<b>170,01</b>
Desvio Padrão	<b>9,8</b>	<b>3,3</b>	<b>2,2</b>	<b>1,9</b>	<b>3,1</b>	<b>5,0</b>	<b>4,8</b>	<b>13,8</b>

O gráfico em barra da iluminância melanópica e fotópica para o ponto B está representado nas Figuras 42.

Figura 42 - Iluminância Fotópica e Melanópica para o Ponto C (Parede Fundos) para diferentes revestimentos



Em todas as medições do ponto A, voltado para abertura (Figura 40), nota-se os valores de iluminância fotópica menor que os da iluminância melanópica, independente dos revestimentos aplicados. Isso ocorre devido às propriedades da luz natural, cujo espectro é rico na faixa de onda azul de manhã e início da tarde (AL ENEZI et al. 2011), período em que ocorreram as medições. Isso indica que, quando a direção do olhar é voltada para a abertura, a componente direta da luz tem um impacto maior no estímulo circadiano que a componente refletida.

Ainda avaliando o ponto A, nota-se que o desvio padrão da média é superior aos demais pontos de medição. Isso ocorre devido à grande variação dos valores de iluminância próximo as aberturas, que é relacionada com as condições do céu externas. Os maiores valores de iluminância ocorreram no dia 17 de dezembro, para o revestimento pintura azul, com 2249 lux, enquanto o menor ocorreu no dia 18 de setembro com 572,1 lux. Nas demais direções os valores apresentavam maior homogeneidade.

Tanto no ponto B como no C nota-se que o revestimento branco, cor do ambiente real estudado, possui valores de iluminância consideravelmente maiores que os demais revestimentos, tanto para iluminação fotópica como melanópica. Isso se deve principalmente aos valores de refletância superiores desse revestimento, de 60%. Ressalta-se a importância da componente refletida para iluminação indireta do ambiente, principalmente do fundo da sala, onde obteve-se valores superiores a 160 lux com o revestimento branco.

Para os demais revestimentos, no Ponto B, nota-se que nenhum valor de iluminância fotópica ultrapassou 160 lux, enquanto para melanópica obteve-se 201,3 lux com o revestimento azul liso em um dos dias de medição (verificar Anexo B). Para o fundo da sala, no ponto C, considerando a iluminância fotópica, todos os valores ficaram abaixo de 50 lux. O revestimento que menos propiciou o estado de alerta foi o MDF madeira mogno, seguido pelo MDF madeira amarela. Quando se avalia a Iluminância Melanópica, percebe-se que além da cor mogno, um dos casos que mais propicia o estado de relaxamento é a pintura vermelha lisa. Ambas são cores ricas no espectro vermelho, o que as torna inadequadas para o estímulo de alerta.

#### **4.2.2 Análise da Iluminância Melanópica Equivalente (EML)**

Nessa etapa verificou-se de quais pontos atingem a iluminância melanópica equivalente mínima de 200 EML no plano vertical a 1,2m acima do nível do piso, como estabelecido pela certificação WELL para ambientes de escritório. Os valores de EML para cada um dos valores de medição e seus respectivos materiais, para os pontos A, B e C, estão indicados na Figura 43, 44 e 45, respectivamente.

Figura 43 - EML - Ponto A (Parede Frontal) para diferentes revestimentos

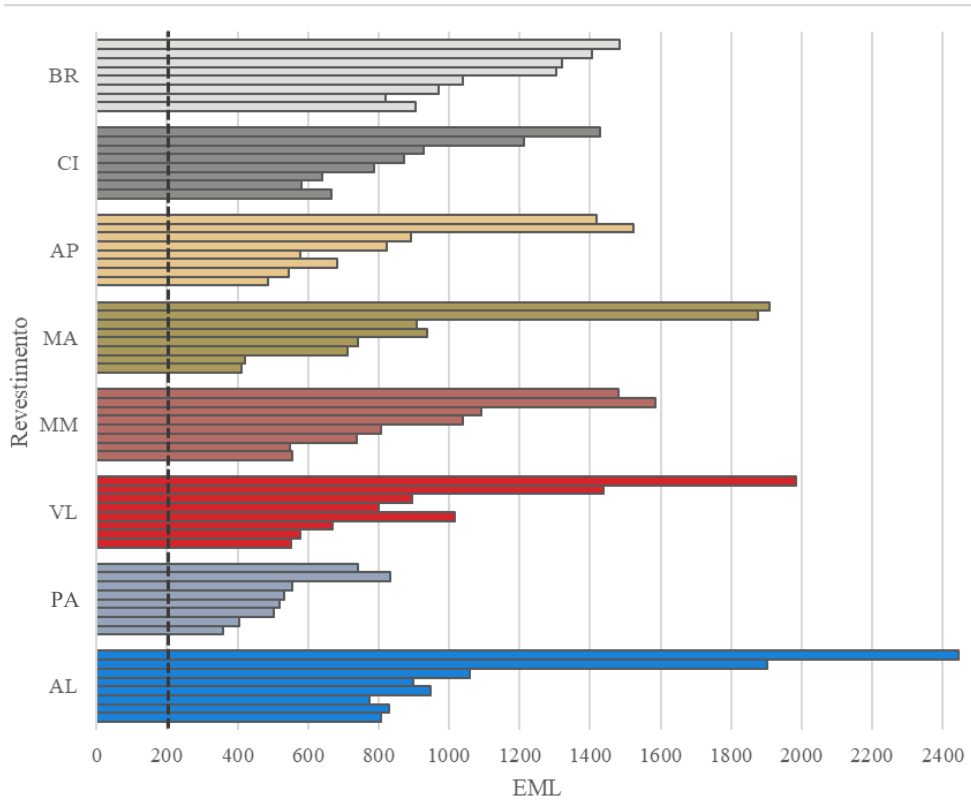


Figura 44 - EML - Ponto B (Parede Lateral) para diferentes revestimentos

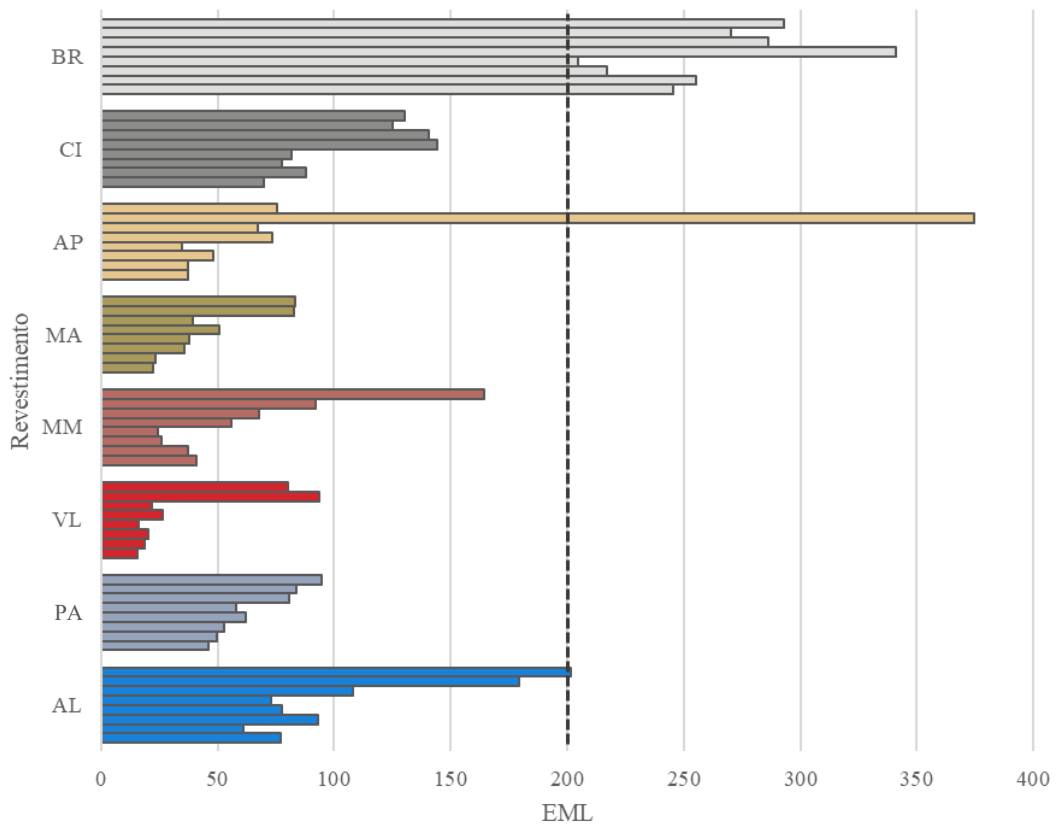
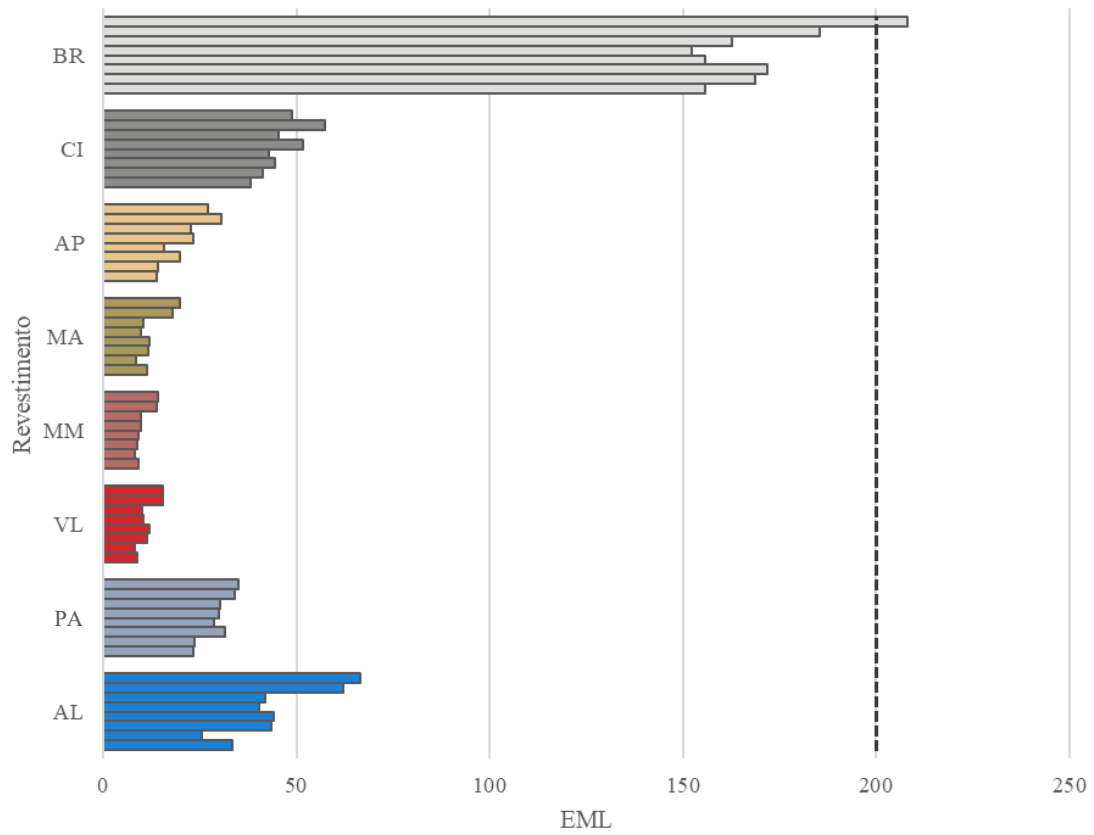


Figura 45 - EML - Ponto C (Parede Fundos) para diferentes revestimentos



No ponto A, todos os valores de iluminância melanópica equivalente foram superiores a 200 EML, mesmo aqueles cujo revestimento não é propício para o estado de alerta, como o vermelho. Isso ocorre devido a influência da luz direta vinda da abertura. Todos os resultados foram superiores a 400 EML.

Ao analisar os pontos voltados para a parede lateral (B), somente três materiais conseguiram atingir o EML acima de 200: a pintura azul lisa, o papel de parede amarelo e a pintura branca. Entre estes, somente a cor branca atendeu em todos os dias de medição, com no mínimo 204,2 EML.

Os outros três revestimentos citados só atenderam em uma medição, a do dia 17 de dezembro, onde a iluminância externa era superior em relação aos outros dias, na condição de céu encoberto. Em alguns casos, como quando o valor do papel de parede amarelo foi superior a 200 EML, a causa pode estar relacionada a um aumento da iluminância geral externa no momento da medição, mais do que ao revestimento em si. Isso indica que não é possível atender ao estabelecido pela WELL somente com iluminação natural.

O MDF cinza e o papel de parede azul possuem valores de iluminância melanópica semelhantes entre si, com em média 80 EML, não atingindo o mínimo estabelecido pela

certificação. Caso fosse aplicado esses revestimentos em um ambiente real, seria necessária a complementação de uma iluminação artificial, para não causar problemas na regulação do ciclo.

Os valores da pintura vermelha, MDF mogno e MDF amarelo foram inferiores comparados ao restante, sendo o pior a pintura vermelha, com 15,3 EML. Isso é explicado ao analisar as curvas espectrais destes materiais, que são pobres na faixa de sensibilidade do não visual. Recomenda-se não utilizar materiais com espectro semelhante em ambientes de trabalho, já que eles não forneceriam um ambiente próprio para o estímulo circadiano. Caso aplicados, seria necessária uma avaliação do layout do ambiente, de preferência deixando as estações de trabalho próximas as aberturas ou implementando uma iluminação artificial rica em luz azul.

Na direção do fundo da sala (C), somente a pintura branca alcança o EML de 200, em uma medição somente. Os demais revestimentos tiveram valores inferiores a 60 EML. Os piores resultados foram com a pintura vermelha lisa e o MDF mogno, com valores inferiores a 16 EML. O MDF cinza e o papel de parede azul permanecem na média dos revestimentos avaliados, assim como na parede lateral.

Vale ressaltar que pelo estudo de caso ser uma sala profunda, com uma janela correspondendo a 10% da área de parede e 6% da área do piso, a iluminação natural não consegue alcançar as partes mais afastadas da abertura. Um estudo maior, com outras tipologias de sala seria necessário para entender de forma mais efetiva o comportamento dos materiais escolhidos.

Para o efeito do trabalho, foram analisados somente os dados medidos in loco no modelo em escala. Para saber o real efeito da luz no ambiente real, seria necessário aplicar as equações desenvolvidas na etapa 4.1 do método.

### **4.2.3 Análise da Razão Melanópica**

A razão melanópica é um valor gerado pela divisão da Iluminância melanópica pela fotópica. Caso os valores sejam superiores a 0,9 considera-se que a iluminação proporciona um estado de alerta, enquanto resultados inferiores a 0,35 ensejam o estado de relaxamento (ALFA, 2022). Nas Figuras 46, 47 e 48 são indicadas a razão melanópica de cada material, para os pontos A, B e C, respectivamente.

Figura 46 - Razão melanópica - Ponto A (Parede Frontal) para diferentes revestimentos

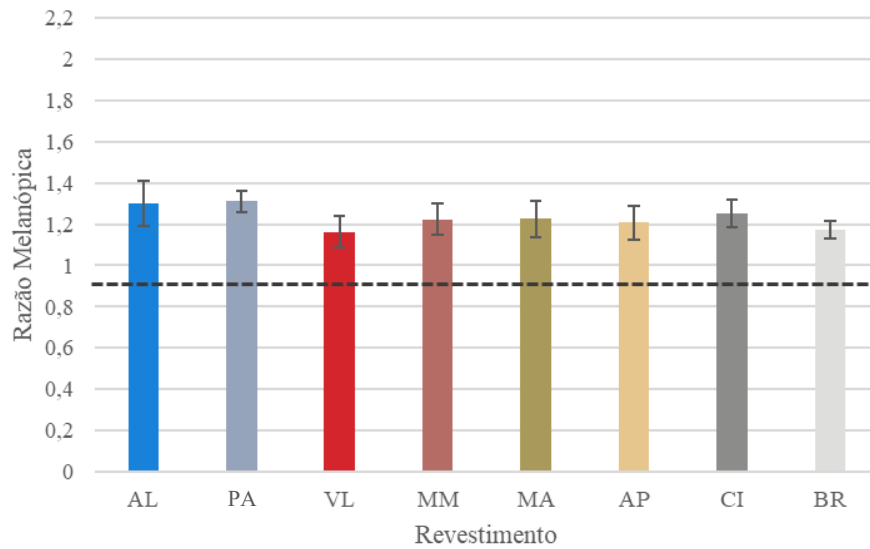


Figura 47 - Razão Melanópica - Ponto B (Parede Lateral) para diferentes revestimentos

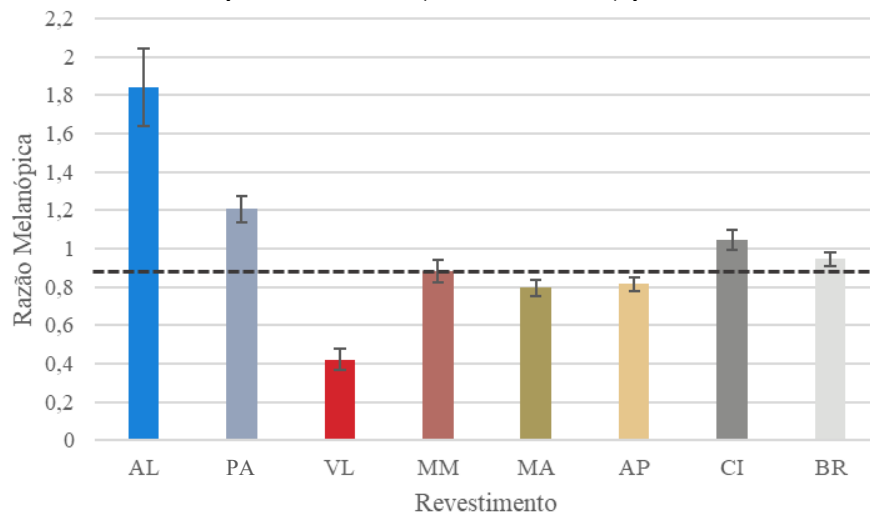
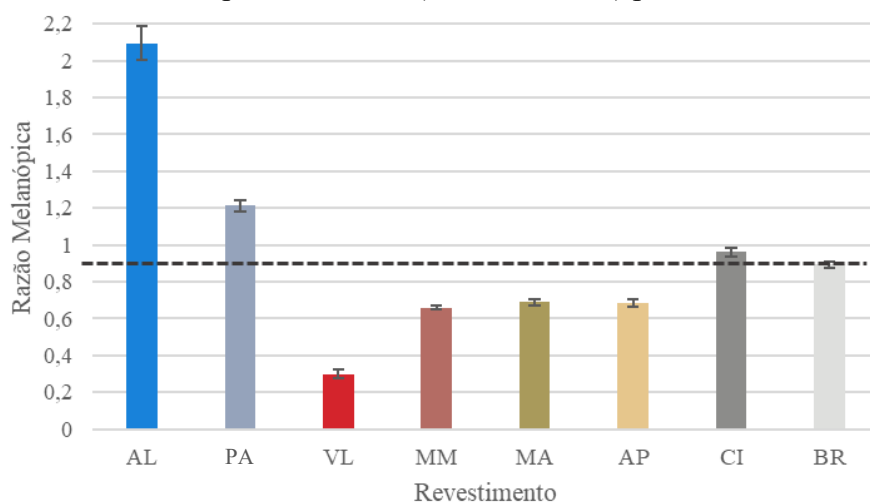


Figura 48 - Razão Melanópica - Ponto C (Parede Fundos) para diferentes revestimentos





Nas medições dos pontos voltado para a janela nota-se uma uniformidade dos valores de razão melanópica em todos os materiais. Como comentado nos tópicos anteriores, tal comportamento ocorre devido a iluminação natural vinda da janela. Considerando que todos os valores deram superiores a 0,9 pode-se concluir que, independentemente do material, tal posição forneceria o estímulo circadiano requerido, sendo ideal para o posicionamento do layout. Vale ressaltar que ao posicionar a estação de trabalho próxima a abertura, deve-se cuidar com o ofuscamento do usuário.

Nos pontos voltados para a parede nota-se a influência da componente refletida da luz nos valores da razão. A pintura azul lisa possui a média consideravelmente acima dos demais materiais, alcançando 1,8. Isso ocorre devido ao comprimento de onda do revestimento, que é rico na faixa de sensibilidade de 446-477nm, como indicado na Figura 24 do método. Dessa forma, pode-se afirmar que esse revestimento estimularia o estado alerta dos usuários do espaço.

Além da pintura azul, o papel de parede azul, a pintura branca e o MDF cinza também possuem a média dos valores acima de 0,9. Isso indica o potencial circadiano de tais revestimentos, quando aplicados nas paredes laterais. Os demais revestimentos encontram-se entre 0,9 e 0,35, indicando um estado neutro. Entre eles, o menor resultado foi o da pintura vermelha, com 0,39.

Quanto os resultados das medições voltadas para o fundo, percebe-se que a pintura azul apresenta valores que se sobressaem aos demais, semelhante aos resultados vistos na parede lateral. A razão melanópica para esse material fica em média 2,1, ou seja, a iluminância melanópica chega a dobrar em relação a iluminância fotópica.

Assim como a parede lateral, na parede de fundos o papel de parede azul, a pintura branca e o MDF cinza também possuem a média dos valores acima de 0,9. O MDF madeira mogno, MDF madeira amarela e papel de parede amarelo possuem valores entre 0,9 e 0,35, indicando um estado neutro. No caso da pintura vermelha, seu valor de razão deu inferior a 0,35, indicando um estado de relaxamento.

É importante destacar que os valores de iluminância das paredes do fundo, tanto para a melanópica quanto para a fotópica, apresentam baixos índices, devido à profundidade da sala. Essa condição pode gerar incoerências nos resultados, tornando necessária a realização de mais estudos de caso para comprovar o comportamento da luz em ambientes com essa configuração espacial.

#### 4.3 ESTUDO DE DIFERENTES TEXTURAS APLICADAS NO MODELO EM ESCALA REDUZIDA

Os valores para as diferentes texturas aplicadas no modelo em escala encontram-se no ANEXO C. Como referenciado no item 4.2, tanto os materiais lisos como os plissados foram medidos no mesmo dia, um seguido do outro, totalizando 24 medidas por revestimento. Estas foram divididas por direção de medição. A tabela 11 indica os valores de média e mediana da iluminância fotópica e melanópica para cada um dos revestimentos, nos 3 pontos de medição.

Tabela 11 - Valores de Iluminância Fotópica e Melanópica para o material liso e plissado

<b>PONTO A – Parede Frontal</b>				
<b>Iluminância Fotópica</b>				
	Azul liso	Azul plissado	Vermelha lisa	Vermelha plissado
Mediana	687,6	684,65	846,35	673,2
<b>Média</b>	<b>984,36</b>	<b>915,16</b>	<b>991,03</b>	<b>851,75</b>
Desvio Padrão	505,56	458,91	366,23	347,13
<b>Iluminância Melanópica</b>				
	Azul liso	Azul plissado	Vermelha lisa	Vermelha plissada
Mediana	923,15	865,2	1001,55	840,75
<b>Média</b>	<b>1207,42</b>	<b>1091,97</b>	<b>1112,05</b>	<b>970,33</b>
Desvio Padrão	483,04	441,26	330,21	313,83
<b>PONTO B – Parede Lateral</b>				
<b>Iluminância Fotópica</b>				
	Azul liso	Azul plissado	Vermelha lisa	Vermelha plissada
Mediana	46,78	49,85	51,895	46,875
<b>Média</b>	<b>67,95</b>	<b>60,41</b>	<b>79,30</b>	<b>64,90</b>
Desvio Padrão	36,33	34,43	44,47	34,78
<b>Iluminância Melanópica</b>				
	Azul liso	Azul plissado	Vermelha lisa	Vermelha plissada
Mediana	85,38	85,16	20,97	21,61
<b>Média</b>	<b>108,76</b>	<b>92,99</b>	<b>36,55</b>	<b>38,83</b>
Desvio Padrão	40,77	39,66	25,24	27,43
<b>PONTO C – Parede Fundos</b>				
<b>Iluminância Fotópica</b>				
	Azul liso	Azul plissado	Vermelha lisa	Vermelha plissada
Mediana	19,71	17,41	33,86	23,15
Média	21,65	17,95	38,72	22,96
Desvio Padrão	6,00	6,00	9,22	5,82
<b>Iluminância Melanópica</b>				
	Azul liso	Azul plissado	vermelha lisa	Vermelha plissada
Mediana	42,72	39,34	10,81	5,64

Média	44,68	38,36	11,46	5,80
Desvio Padrão	9,79	11,74	2,15	1,459

O gráfico em barra da iluminância melanópica e fotópica para os pontos A, B e C estão representados pelas Figuras 49, 50 e 51, respectivamente.

Figura 49 - Iluminância Fotópica e Melanópica - Ponto A (Parede Frontal) para diferentes texturas

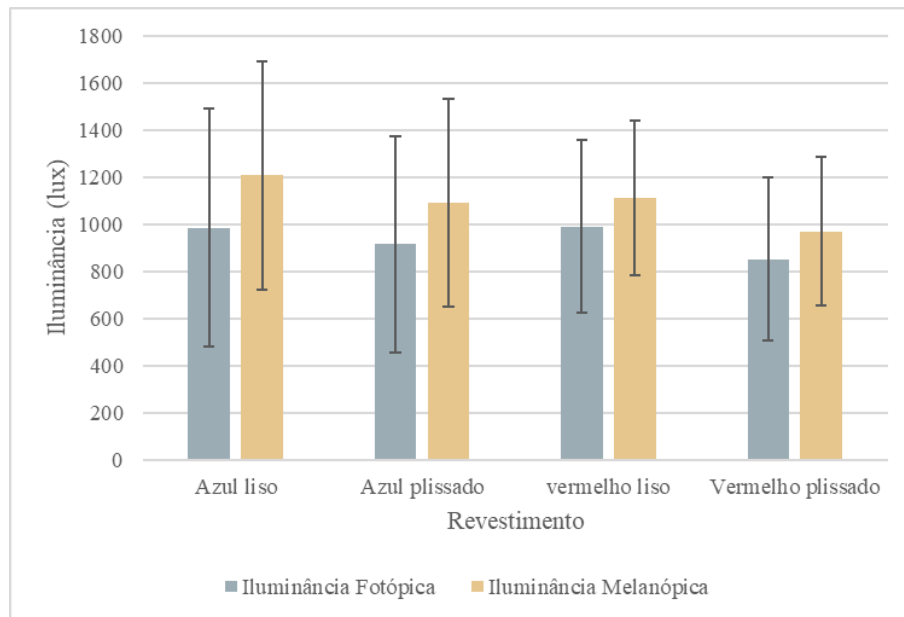


Figura 50 - Iluminância Fotópica e Melanópica - Ponto B (Parede Lateral) para diferentes texturas

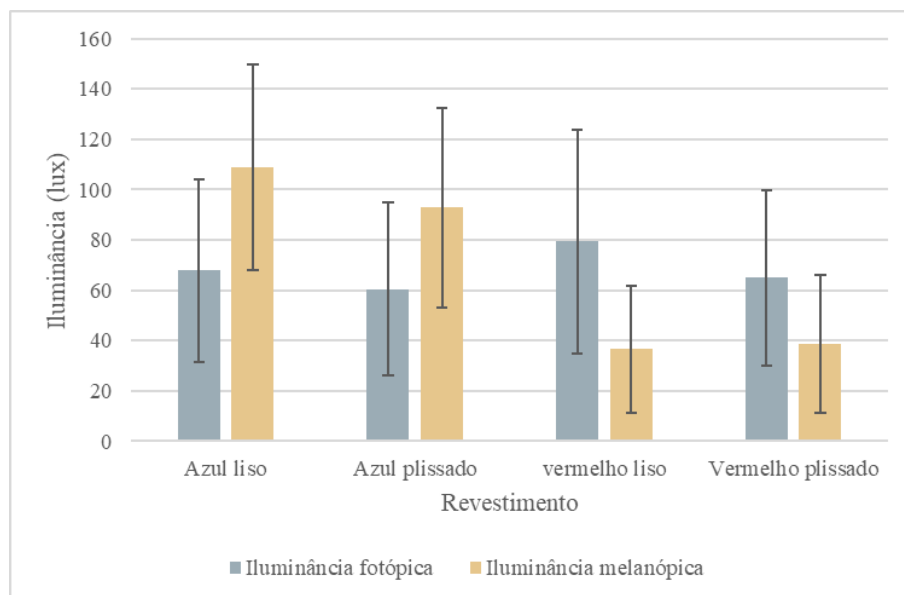
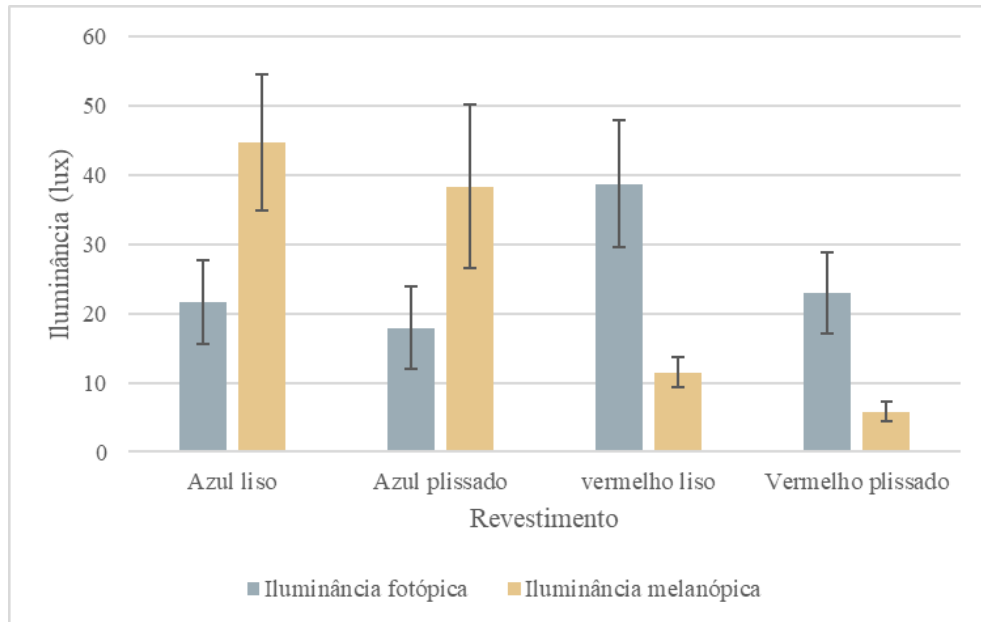


Figura 51 - Iluminância Fotópica e Melanópica - Ponto C (Parede Fundos) para diferentes texturas



Ao avaliar o gráfico dos valores voltados para janela, Ponto A, nota-se pouca diferença entre os valores de iluminância da chapa lisa em relação a chapa plissada. Comparando-se os tipos de iluminância, pode-se concluir que a iluminância melanópica apresenta maior divergência de valores, de em média 200 lux. Tal diferença é mínima, considerando que as iluminâncias das janelas chegam até a 1200 lux.

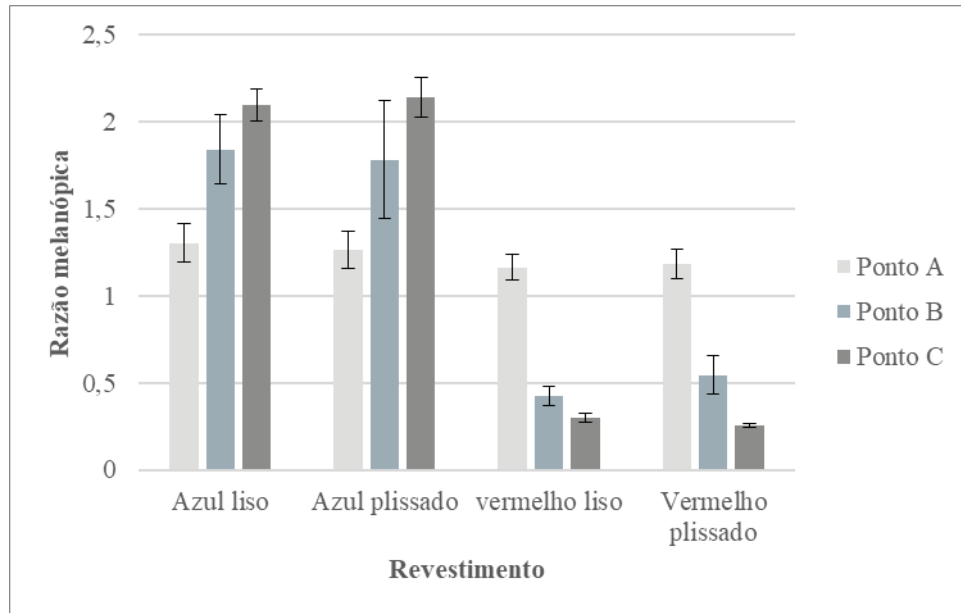
Na parede lateral e de fundos, Ponto B e C, os valores de iluminância melanópica da parede azul lisa foram superiores aos valores da plissada, enquanto na cor vermelha a iluminância fotópica apresentou uma maior diferença entre si. Ambos os casos podem ser explicados pelas interreflexões que ocorrem de forma diferenciada em uma geometria complexa, como é o caso da chapa plissada.

No caso da chapa azul, os valores da iluminância melanópica são maiores, já que a cor é rica na faixa de sensibilidade do circadiano, o que pode ser um dos motivos da diferença entre texturas ter dado superior. Já no caso da cor vermelha o comportamento é o oposto, associado aos valores de iluminância fotópica serem superiores em relação a melanópica.

Na maioria dos casos analisados a geometria plissada piorou a iluminação do ambiente, seja esta visual ou não visual.

Nas Figura 52 é indicada a razão melanópica de cada geometria, para os pontos A, B e C.

Figura 52 - Razão melanópica para diferentes texturas



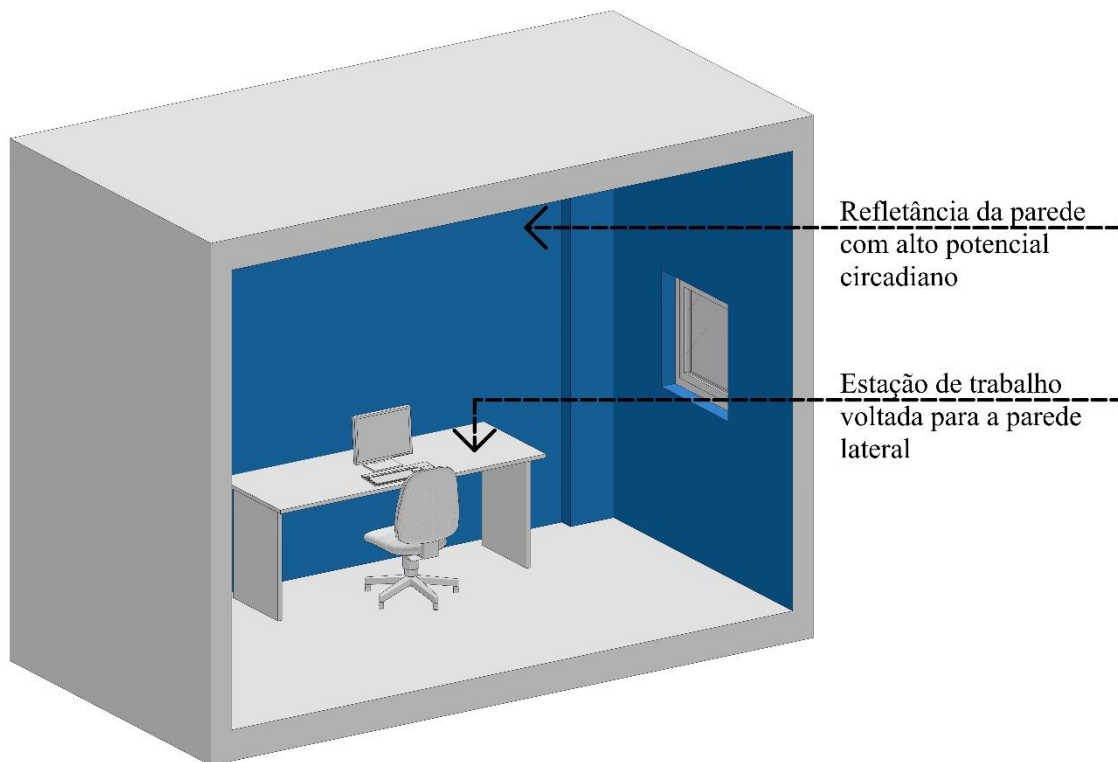
Quando analisado a razão melanópica, nota-se valores similares entre a chapa lisa e a plissada, em ambas as cores. A maior diferença encontra-se no ponto b da cor vermelha, com valores menores na chapa lisa do que na chapa plissada. Apesar disso, pode-se dizer que não existe diferença significativa entre texturas nesse parâmetro.

Considerando as etapas anteriores desse trabalho, pode-se constatar que, para iluminação circadiana, o impacto maior é na alteração da cor do revestimento do que em sua geometria. Uma análise mais robusta, com mais estudos de caso e revestimentos é necessária para validar tal afirmação.

#### 4.4 PROPOSIÇÃO DE LAYOUTS

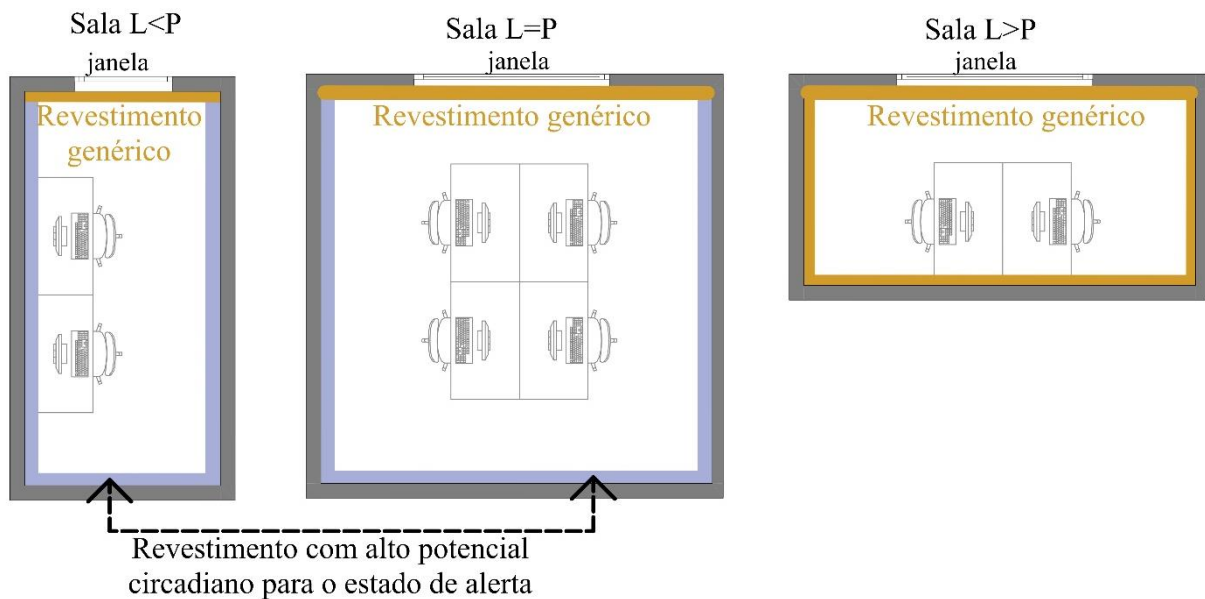
Com as informações analisadas anteriormente foi avaliado a melhor opção de layout para o estudo de caso. Neste caso, a estação de trabalho estaria posicionada para uma das paredes laterais, como indicado na Figura 53. Como neste caso a componente refletida tem um papel fundamental na iluminação circadiana, opta-se por revestir as paredes com um material de alto potencial circadiano. Das opções estudadas, este poderia ser a pintura azul, a pintura branca, o papel de parede azul e o MDF cinza. Todas essas opções possuem uma razão melanópica superior a 0,9, recomendáveis para o estímulo do estado de alerta.

Figura 53 - Layout proposto para o objeto de estudo



Baseados nas análises feitas nesse trabalho, pode-se estipular algumas diretrizes de layout, considerando um ambiente de escritório, indicados na Figura 54. As propostas são para ambientes genéricos, divididas em três cenários: um ambiente de largura menos que a profundidade ( $L < P$ ), de largura igual a profundidade ( $L = P$ ) e de largura maior que a profundidade ( $L > P$ ).

Figura 54 - Propostas de Layout para diferentes dimensões de sala



No caso em que a largura é menor que a profundidade, semelhante ao estudo de caso, posiciona-se as estações de trabalho em algumas das paredes laterais, sendo a opção adequada tanto para a iluminação circadiana, quanto para a iluminação fotópica. Isso porque, por ser um ambiente profundo, quanto mais afastado da abertura, menos luz disponível para realização da tarefa, sendo necessária alguma complementação com luminárias.

Tanto no primeiro como no segundo caso, onde a profundidade do ambiente em relação a abertura é elevada, busca-se implementar revestimentos com alto potencial circadiano para o estado de alerta. Isso decorre do papel da componente refletida para tal estímulo nas partes do ambiente afastadas da abertura. Na parede da abertura poderia ser implementado qualquer tipo de revestimento, já que, como visto nesse trabalho, a janela já fornece a iluminação própria para um estímulo visual e não visual.

Em todos os casos, evitou-se posicionar as estações de trabalho diretamente voltadas para a abertura. Mesmo que a luz natural propicie o estado de alerta, ao direcionar o usuário para a janela, problemas como ofuscamento podem ocorrer. Tal opção é viável de acordo com a preferência do usuário do espaço, já que muitos preferem a vista externa.

Quando ambiente possui a largura maior que sua profundidade, no terceiro caso, quaisquer revestimentos poderiam ser aplicados no ambiente, já que abertura seria a fonte primária de iluminação. Vale ressaltar que um estudo maior seria necessário para validar o

tamanho de abertura necessário para fornecer a iluminação adequada tanto para a o aspecto visual, como não visual.

Tais modelos mostram o potencial do uso dos materiais para um design voltado a iluminação circadiana que estimule o estado de alerta. A adaptação do layout para otimizar o espaço nesse aspecto pode trazer uma melhora na qualidade de vida de seus usuários, aumentar a produtividade auxiliar a regulação de seus ciclos circadianos. Cada situação deve ser avaliada individualmente antes de se propor um layout, pensando em aspectos como geometria do espaço, tamanho e orientação das aberturas e tarefa a ser exercida.



## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o impacto dos materiais com diferentes propriedades reflexivas e geométricas na iluminação circadiana, por meio de medições in loco de um modelo em escala reduzida.

Para alcançar os objetivos propostos, a metodologia foi dividida em três etapas principais: a avaliação de um estudo piloto representando um ambiente real, a análise de diferentes cores aplicadas no modelo e a comparação de diferentes texturas. Todos esses aspectos foram avaliados com base nos dados de iluminância melanópica equivalente e razão melanópica.

Concluiu-se com o estudo piloto que, embora a maquete apresentasse valores de iluminância relativamente maiores que o ambiente real, ela ainda é representativa deste, desde que seja aplicado um fator de ajuste proveniente da equação de regressão. Isso evidencia que o modelo em escala pode ser um instrumento para a avaliação da iluminância melanópica, tanto quanto a fotópica, auxiliando os arquitetos a considerarem a iluminação circadiana em suas análises.

É importante ressaltar que apenas um ambiente foi utilizado, sendo necessária uma análise mais abrangente em outros estudos de caso, com diferentes texturas, geometrias, tamanhos de abertura e revestimentos, para uma compreensão mais completa da correlação entre o ambiente real e o modelo em escala.

Nas demais análises, foi observado que o uso de diferentes revestimentos pode fornecer um estímulo de alerta ao usuário, principalmente nas paredes laterais e de fundo, onde a componente refletida tem mais influência na luz que chega ao plano ocular. Isso sugere que, em ambientes onde se busca maior produtividade, como escritórios, a escolha de cores com alto potencial circadiano, como o azul e o branco, pode ser fundamental como elemento de design.

Nos casos em que o olhar estava direcionado para a abertura, o revestimento não teve um papel significativo no estado de alerta, sendo a maior influência da iluminação proveniente da luz natural da janela. Isso indica que próximos às aberturas, podem-se aplicar revestimentos diversos, de acordo com o gosto do usuário, sem que isso afete o estímulo circadiano.

Observou-se de maneira geral que a cor exerceu uma influência maior na iluminação melanópica do que a textura dos revestimentos. Consequentemente, pode-se inferir que a variação das texturas não afetará substancialmente a iluminação do ambiente em comparação com outras propriedades óticas. Reforça-se a necessidade de avaliar mais texturas para obter uma conclusão mais precisa.

O objetivo deste trabalho foi verificar o impacto que a componente refletida gera na iluminação do espaço, tendo em vista a ampla gama de revestimentos adotados no mercado atual. Espera-se, assim, criar um entendimento inicial do uso da refletância como estratégia de projeto para auxiliar na regulação do ciclo circadiano. Esta visão é de extrema importância para a realização de projetos arquitetônicos que considerem o bem-estar e a saúde de seus usuários, uma vez que decisões como layout e acabamentos podem criar panoramas luminosos totalmente diferentes.

## 5.1 LIMITAÇÕES DO MÉTODO

O método realizado possui uma série de limitações, decorrentes do tempo de pesquisa e da escolha do próprio modelo em escala.

Um deles foi a quantidade limitada de revestimentos escolhidos. Como as amostras foram fornecidas por um escritório de arquitetura, as opções foram restritas as opções existentes. O tempo de preparo das chapas e a adaptação da maquete para essa nova etapa de medição também reduziu a quantidade de amostras a serem medidas. Isso também se aplicou na execução das chapas com diferentes texturas, onde optou-se por manter somente o comparativo entre dois materiais.

Só um estudo de caso foi desenvolvido no trabalho, o que limita a aplicação do estudo em ambientes de características diferentes. Em ambientes com diferentes tamanhos de aberturas e dimensões os resultados apresentariam divergências em relação ao trabalho atual.

Por ser um trabalho com medições em loco, os dados estavam sujeitos as condições climáticas do dia, como as condições de céu, chuvas e mudanças significativas de iluminação. Isso fez com que uma série de dados fossem descartados, visando uma análise dos dados mais precisa. As iluminâncias externas foram constantemente medidas ao longo do processo, apesar disso, alguns dados ainda apresentaram comportamentos divergentes de uma situação real, o que fez com que também tivessem que ser descartados.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Dando continuidade a essa pesquisa, sugere-se um aprofundamento maior do tema estudado, principalmente em questão das amostras analisadas. Uma quantidade maior de revestimentos deveria ser analisada, incluindo outros elementos além de cor e geometria, como especularidade e textura.

Além disso, seria ideal avaliar outros tipos de estudos de caso, com proporções de largura e profundidade diferentes da estudada. Outro ponto seria verificar o impacto que a porcentagem da abertura em relação a parede causa na iluminação circadiana.

Um possível passo para futuras pesquisas é correlacionar as medições realizadas no modelo em escala com simulação computacional.

## REFERÊNCIAS

AL ENEZI, J. et al. A “melanopic” spectral efficiency function predicts the sensitivity of melanopsin photoreceptors to polychromatic lights. **Journal of Biological Rhythms**, v. 26, n. 4, p. 314–323, 2011.

AMUNDADOTTIR, M. L.; LOCKLEY, S. W.; ANDERSEN, M. Unified framework to evaluate non-visual spectral effectiveness of light for human health. **Lighting Research and Technology**, v. 49, n. 6, p. 673–696, 2017.

ANDERSEN, M.; MARDALJEVIC, J.; LOCKLEY, S. W. A framework for predicting the non-visual effects of daylight-Part I: Photobiology-based model. **Lighting Research and Technology**. SAGE Publications Ltd, 2012.

ANDERSEN, M.; REINHART, C. F. DAYSIM: Dynamic Daylight Simulation Software. Golden, CO: NREL, 2006. Versão 3.1.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-1**: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

BAKER, N.V., FANCHIOTTI, A., & STEEMERS, K. **Daylighting in Architecture: A European Reference Book** (1st ed.). Routledge. 1993.

BELLIA, L.; PEDACE, A.; FRAGLIASSO, F. Indoor lighting quality: Effects of different wall colours. **Lighting Research and Technology**, v. 49, n. 1, p. 33–48, 2017.

BERSON, D. M., DUNN, F. A., & TAKAO, M. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. **Science**, v. 295, pp. 1070 – 1073, 2002.

CAI, W. et al. The impact of room surface reflectance on corneal illuminance and rule-of-thumb equations for circadian lighting design. **Building and Environment**, v. 141, p. 288–297, 2018a.

CAI, W. et al. The impact of room surface reflectance on corneal illuminance and rule-of-thumb equations for circadian lighting design. **Building and Environment**, v. 141, p. 288–297, 2018b.

CAJOCHEN, C. et al. Dose-response relationship for light intensity and ocular and electroencephalographic correlates of human alertness. **Behavioural Brain Research**, v.115, n. 1, p.75-83, 2000.

CARTANA, Rafael Prado. **Desempenho térmico e lumínico de elementos de controle solar para fachadas desenvolvidos com modelagem paramétrica e fabricação digital**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. 2018.

CUTTLE, C. Towards the third stage of the lighting profession. **Lighting Research and Technology**, v. 42, p. 73–93, 2010.

DE QUADROS, A. C.; DA FONSECA, R. W.; PEREIRA, F. R. Efeitos não visuais da luz e variáveis de projeto: geometria e refletância. **Encontro nacional de conforto no ambiente construído**, v. 17, p. 1-10, 2023.

EDWARDS, L.; TORCELLINI, P. A Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupants. **National Renewable Energy Lab**, Nova York, 2002.

European Committee for Standardization. **Lighting of Work Places- Part 1: Indoor Work Places**. London: CEN, 2021.

FIGUEIRO, M. G. et al. Tailored lighting intervention improves measures of sleep, depression, and agitation in persons with Alzheimer’s disease and related dementia living in long-term care facilities. **Clinical Interventions in Aging**, v. 9, p. 1527–1537, 2014.

FIGUEIRO, M. G. et al. Circadian-effective light and its impact on alertness in office workers. **Lighting Research & Technology**, v. 51, n. 2, p. 171-183, 2017.

FIGUEIRO, M. G.; NAGARE, R.; PRICE, L. L. A. Non-visual effects of light: How to use light to promote circadian entrainment and elicit alertness. **Lighting Research and Technology**, v. 50, n. 1, p. 38–62, 2018.

FONTOYNONT, M. (Ed.). **Daylight Performance of Buildings** (1st ed.). Routledge. 1999.

HARTMAN, P. et al. Variation in internal space surface colors and its possible effect on human biological responses in daylight conditions. **Energy Procedia. Anais...Elsevier Ltd**, 2015.

JUNG, B.; INANICI, M. Measuring circadian lighting through high dynamic range photography. **Lighting Research and Technology**, v. 51, n. 5, p. 742–763, 2019.

KLEIPES, N., NELSON, W., OTT, W., ROBINSON, J., TSANG, A., SWITZER, P., ENGELMANN, W. The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. **Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology**, v.11, pp. 231 – 252, 2001.

KONIS, K. A novel circadian daylight metric for building design and evaluation. **Building and Environment**, v. 113, p. 22–38, 2017.

KONIS, K. A circadian design assist tool to evaluate daylight access in buildings for human biological lighting needs. **Solar Energy**, v. 191, p. 449–458, 2019.

LM, I. Approved method: IES spatial Daylight autonomy (sDA) and annual sunlight exposure (ASE). **Illuminating Engineering Society**. <https://www.ies.org/product/ies-spatial-daylight-autonomy-sda-and-annual-sunlight-exposure-ase>, 2013.

LUCAS, R. J. et al. Measuring and using light in the melanopsin age. **Trends in Neurosciences**, v. 37, n.1, p. 1-9, 2014.

MAYER, B.; KYLLING, A. Technical note: The libRadtran software package for radiative transfer calculations-description and examples of useAtmos. **Chem. Phys.** 2005.

MAYHOUB, M. S.; CARTER, D. J. The costs and benefits of using daylight guidance to light office buildings. **Building and Environment**, v. 46, n. 3, p. 698–710, 2011.

MUKAKA, M. M. Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**. 2012.

PAPAMICHAEL, C.; SKENE, D. J.; REVELL, V. L. Human nonvisual responses to simultaneous presentation of blue and red monochromatic light. **Journal of Biological Rhythms**, v. 27, n. 1, p. 70–78, 2012.

PEREIRA, F. O. R. P.; CASTAÑO, A. G. Quão confiáveis podem ser os modelos físicos em escala reduzida para avaliar a iluminação natural em edifícios? How reliable are small-scale physical models in the evaluation of daylight in buildings? A. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 131–147, 2012a.

POTOČNIK, J.; KOŠIR, M. Influence of commercial glazing and wall colours on the resulting non-visual daylight conditions of an office. **Building and Environment**, v. 171, 15, 2020.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2022.

REA, M. S. et al. A model of phototransduction by the human circadian system. **Brain Research Reviews** Elsevier, 2005.

REA, M. S. et al. Modelling the spectral sensitivity of the human circadian system. **Lighting Research and Technology**, v. 44, n. 4, p. 386–396, 2012.

REA, M. S.; FIGUEIRO, M. G. Light as a circadian stimulus for architectural lighting. **Lighting Research and Technology**, v. 50, n. 4, p. 497–510, 2016.

SOLEMMA. ALFA. 2023. Disponível em: <https://www.solemma.com/welcome-to-alfa>. Acesso em: 20/02/2022.

UPRTEK. United Power Research and Technology. **Espectrofotometro MK350S Premium**. Taiwan, 2010.

VELUX. Daylight and energy efficient design. Disponível em:<<https://www.velux.com/what-we-do/research-and-knowledge/deic-basic-book/daylight/daylight>>. Acesso em: 12 de agosto de 2022.

VELUX. Parameters influencing daylighting performance. Disponível em:<<https://www.velux.com/what-we-do/research-and-knowledge/deic-basic-book/daylight/parameters-influencing-daylighting-performance>>. Acesso em: 12 de agosto de 2022.

WELL. Circadian Lighting Design. V2, 2023. Disponível em:<<https://v2.wellcertified.com/en/wellv2/light/feature/3>>. Acesso em: 07 de junho 2022.

WYSZECKI, G., & STILES, W. **Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae, 2nd Edition**. Nova York: John Wiley and Sons, 1982.

ZAIDI, F. H. et al. Short-Wavelength Light Sensitivity of Circadian, Pupillary, and Visual Awareness in Humans Lacking an Outer Retina. **Current Biology**, v. 17, n. 24, p. 2122–2128, 2007.









ZENG, Yunyi et al. Non-visual effects of office light environment: Field evaluation, model comparison, and spectral analysis. **Building and Environment**, v. 197, p. 107859, 2021.

YAO, Q. et al. Efficient circadian daylighting: A proposed equation, experimental validation, and the consequent importance of room surface reflectance. **Energy and Buildings**, v. 210, 1 mar. 2020.









### ANEXO A – Resultados das Medições do Ambiente real x Modelo em Escala

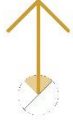







Nesse anexo estão indicados os dados obtidos através de medições com o espectrofotômetro MK350S Premium (UPRTEK, 2010), fornecido pelo Laboratório de Conforto Ambiental da UFSC (Labcon) tanto para o ambiente real quanto para o modelo em escala. Os pontos de medição foram indicados na Figura 12, do item 3.1.2. Na tabela são indicados os valores de iluminância fotópica (IF) e a iluminância melanópica (IM).

Quadro 1- Medição no ambiente real - dia 14 de julho





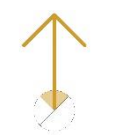



MODELO REAL						
MEDIÇÃO	DIREÇÃO	PONTOS	HORÁRIO	I <sub>F</sub> (lux)	I <sub>M</sub> (lux)	RAZÃO MELANÓPICA
1ª MEDIÇÃO	PONTO 01 (1,50m DA JANELA)					
		<b>a</b>	14:16	201,3	210,8	1,047
		<b>b</b>	14:17	46,81	46,18	0,986
		<b>c</b>	14:18	28,56	26,27	0,92
		<b>d</b>	14:19	50,96	49,07	0,963
	PONTO 02 (1,50m DA PAREDE DO FUNDO)					
		<b>e</b>	14:30	110,5	110,9	1,01
		<b>f</b>	14:31	39,37	36,51	0,927
		<b>g</b>	14:33	28,33	25,73	0,908
		<b>h</b>	14:34	42,04	39,18	0,932

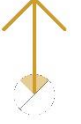

















MEDIÇÃO	DIREÇÃO	PONTOS	HORÁRIO	$I_F$ (lux)	$I_M$ (lux)	RAZÃO MELANÓPICA
2ª MEDIÇÃO	PONTO 01 (1,50m DA JANELA)					
		<b>a</b>	14:44	140,4	147,6	1,052
		<b>b</b>	14:45	33,85	33,49	0,989
		<b>c</b>	14:46	20,54	18,9	0,92
		<b>d</b>	14:47	38,07	36,92	0,969
	PONTO 02 (1,50m DA PAREDE DO FUNDO)					
		<b>e</b>	14:58	48,76	49,99	1,025
		<b>f</b>	14:59	16,78	15,86	0,945
		<b>g</b>	15:00	11,44	10,52	0,919
		<b>h</b>	15:01	17,64	16,77	0,95

MEDIÇÃO	DIREÇÃO	PONTOS	HORÁRIO	I <sub>F</sub> (lux)	I <sub>M</sub> (lux)	RAZÃO MELANÓPICA
<b>3ª MEDIÇÃO</b>	<b>PONTO 01 (1,50m DA JANELA)</b>					
		<b>a</b>	15:11	66,69	70,97	1,064
		<b>b</b>	15:12	14,43	14,37	0,995
		<b>c</b>	15:13	8,29	7,64	0,922
		<b>d</b>	15:14	18,16	17,84	0,983
	<b>PONTO 02 (1,50m DA PAREDE DO FUNDO)</b>					
		<b>e</b>	15:26	56,92	57,3	1,007
		<b>f</b>	15:27	22,74	21,16	0,93
		<b>g</b>	15:28	16,58	15,1	0,91
		<b>h</b>	15:29	24,29	22,95	0,945







Quadro 2 - Medição no modelo em escala - dia 14 de julho









MODELO EM ESCALA						
MEDIÇÃO	DIREÇÃO	PONTOS	HORÁRIO	LUX	LUX MELANÓPICO	RAZÃO MELANÓPICA
1ª MEDIÇÃO	PONTO 01 (1,50m DA JANELA)					
		<b>a</b>	14:21	518,2	554,1	1,069
		<b>b</b>	14:25	138,7	146,1	1,053
		<b>c</b>	14:27	26,66	25,86	0,97
		<b>d</b>	14:28	140,72	147,9	1,051
	PONTO 02 (1,50m DA PAREDE DO FUNDO)					
		<b>e</b>	14:36	131,8	137,6	1,045
		<b>f</b>	14:38	64,74	65,83	1,017
		<b>g</b>	14:40	35,73	35,21	0,985
		<b>h</b>	14:42	50,3	51,52	1,024









MEDIÇÃO	DIREÇÃO	PONTOS	HORÁRIO	LUX	LUX <sub>MELANÓPICO</sub>	RAZÃO MELANÓPICA
2ª MEDIÇÃO	PONTO 01 (1,50m DA JANELA)					
		<b>a</b>	14:50	322,1	343,4	1,066
		<b>b</b>	14:53	97,98	103,2	1,053
		<b>c</b>	14:55	15,75	15,39	0,977
		<b>d</b>	14:57	82,64	87,88	1,063
	PONTO 02 (1,50m DA PAREDE DO FUNDO)					
		<b>e</b>	15:03	55,92	59,4	1,06
		<b>f</b>	15:06	21,67	22,22	1,025
		<b>g</b>	15:08	13,51	13,52	1,001
		<b>h</b>	15:10	19,38	19,94	1,028

MEDIÇÃO	DIREÇÃO	PONTOS	HORÁRIO	I <sub>F</sub> (lux)	I <sub>M</sub> (lux)	RAZÃO MELANÓPICA
3ª MEDIÇÃO	PONTO 01 (1,50m DA JANELA)					
		<b>a</b>	15:16	149,5	161,9	1,082
		<b>b</b>	15:18	34,76	36,64	1,054
		<b>c</b>	15:20	10,27	10,09	0,983
		<b>d</b>	15:25	58,25	60,87	1,045
	PONTO 02 (1,50m DA PAREDE DO FUNDO)					
		<b>e</b>	15:31	60,8	64,28	1,057
		<b>f</b>	15:33	23,6	24,21	1,026
		<b>g</b>	15:34	13,06	13,11	1,004
		<b>h</b>	15:36	18,66	19,4	1,04

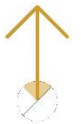







Quadro 3 - Medição no ambiente real - dia 21 de julho









MODELO REAL							
MEDIÇÃO	DIREÇÃO	PONTOS	HORÁRIO	I <sub>F</sub> (lux)	I <sub>M</sub> (lux)	RAZÃO MELANÓPICA	
1ª MEDIÇÃO	PONTO 01 (1,50m DA JANELA)						
		<b>a</b>	9:24	721,8	758,9	1,05	
			<b>b</b>	9:25	170,7	168,3	0,98
			<b>c</b>	9:26	102	94,4	0,92
			<b>d</b>	9:27	194,3	190,7	0,98
	PONTO 02 (1,50m DA PAREDE DO FUNDO)						
		<b>e</b>	09:45	531	505	0,953	
			<b>f</b>	09:46	137,9	127,7	0,926
			<b>g</b>	09:47	103,3	94,27	0,91
			<b>h</b>	09:48	154,6	143,6	0,929

MEDIÇÃO	DIREÇÃO	PONTOS	HORÁRIO	I <sub>F</sub> (lux)	I <sub>M</sub> (lux)	RAZÃO MELANÓPICA
2ª MEDIÇÃO	PONTO 01 (1,50m DA JANELA)					
		<b>a</b>	10:00	1009	1046	1,04
		<b>b</b>	10:01	209,5	204,5	0,98
		<b>c</b>	10:02	124,7	113,6	0,911
		<b>d</b>	10:03	255,8	245,3	0,959
	PONTO 02 (1,50m DA PAREDE DO FUNDO)					
		<b>e</b>	10:13	517	523,9	1,01
		<b>f</b>	10:14	169,4	154,3	0,91
		<b>g</b>	10:15	126,1	113,1	0,89
		<b>h</b>	10:16	187,2	173	0,92









MEDIÇÃO	DIREÇÃO	PONTOS	HORÁRIO	I <sub>F</sub> (lux)	I <sub>M</sub> (lux)	RAZÃO MELANÓPICA
<b>3ª MEDIÇÃO</b>	<b>PONTO 01 (1,50m DA JANELA)</b>					
		<b>a</b>	10:21	991,6	1020	1,03
		<b>b</b>	10:22	273,6	260,2	0,95
		<b>c</b>	10:23	133,2	118,9	0,893
		<b>d</b>	10:24	265,3	251,6	0,94
	<b>PONTO 02 (1,50m DA PAREDE DO FUNDO)</b>					
		<b>e</b>	10:33	502,6	503,5	1,002
		<b>f</b>	10:34	172,8	156,3	0,91
		<b>g</b>	10:35	129,5	114,6	0,88
		<b>h</b>	10:36	196,7	179,8	0,91





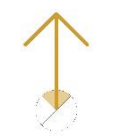













MEDIÇÃO	DIREÇÃO	PONTOS	HORÁRIO	I <sub>F</sub> (lux)	I <sub>M</sub> (lux)	RAZÃO MELANÓPICA
4ª MEDIÇÃO	PONTO 01 (1,50m DA JANELA)					
		<b>a</b>	10:42	1131	1177	1,04
		<b>b</b>	10:43	259,2	254,7	0,98
		<b>c</b>	10:44	144,5	130,5	0,9
		<b>d</b>	10:45	260,3	251,3	0,96
	PONTO 02 (1,50m DA PAREDE DO FUNDO)					
		<b>e</b>	10:52	545,5	572,2	1,05
		<b>f</b>	10:53	179,8	168,5	0,93
		<b>g</b>	10:54	138,6	128,3	0,93
		<b>h</b>	10:55	192,7	186	0,96









MEDIÇÃO	DIREÇÃO	PONTOS	HORÁRIO	$I_F$ (lux)	$I_M$ (lux)	RAZÃO MELANÓPICA
5ª MEDIÇÃO	PONTO 01 (1,50m DA JANELA)					
		<b>a</b>	11:01	986,6	1143	1,16
		<b>b</b>	11:02	212,8	220,7	1,04
		<b>c</b>	11:03	120,7	118,9	0,985
		<b>d</b>	11:04	234,4	250,6	1,069
	PONTO 02 (1,50m DA PAREDE DO FUNDO)					
		<b>e</b>	11:09	440	528,4	1,2
		<b>f</b>	11:10	119,3	129,4	1,08
		<b>g</b>	11:12	99,38	105,5	1,06
		<b>h</b>	11:13	137,5	149,7	1,09

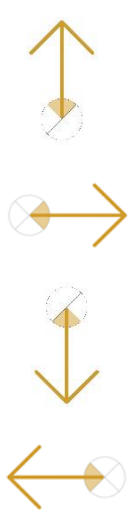

Quadro 4 - Medição no modelo em escala - dia 21 de julho

MODELO EM ESCALA						
MEDIÇÃO	DIREÇÃO	PONTOS	HORÁRIO	I <sub>F</sub> (lux)	I <sub>M</sub> (lux)	RAZÃO MELANÓPICA
1ª MEDIÇÃO	PONTO 01 (1,50m DA JANELA)					
		<b>a</b>	09:40	1210	1251	1,03
		<b>b</b>	09:41	385	354	0,91
		<b>c</b>	09:42	132,9	144,8	0,86
		<b>d</b>	09:43	353,7	323,3	0,913
	PONTO 02 (1,50m DA PAREDE DO FUNDO)					
		<b>e</b>	09:55	667,7	644,7	0,966
		<b>f</b>	09:56	287,4	244,2	0,8498
		<b>g</b>	09:57	158,9	137,4	0,86
		<b>h</b>	09:58	353,6	291,8	0,82

MEDIÇÃO	DIREÇÃO	PONTOS	HORÁRIO	$I_F$ (lux)	$I_M$ (lux)	RAZÃO MELANÓPICA
2ª MEDIÇÃO	PONTO 01 (1,50m DA JANELA)					
		<b>a</b>	10:07	1493	1503	1,007
		<b>b</b>	10:08	428,1	394,1	0,92
		<b>c</b>	10:09	164,6	141,6	0,86
		<b>d</b>	10:10	467,9	434,9	0,92
	PONTO 02 (1,50m DA PAREDE DO FUNDO)					
		<b>e</b>	10:18	696,8	657,7	0,94
		<b>f</b>	10:19	309,4	262,9	0,85
		<b>g</b>	10:21	152,3	129,5	0,85
		<b>h</b>	10:22	306,8	263,4	0,85

MEDIÇÃO	DIREÇÃO	PONTOS	HORÁRIO	$I_F$ (lux)	$I_M$ (lux)	RAZÃO MELANÓPICA
3ª MEDIÇÃO	PONTO 01 (1,50m DA JANELA)					
		<b>a</b>	10:29	1451	1445	0,99
		<b>b</b>	10:31	547,6	517,7	0,945
		<b>c</b>	10:32	191,3	170,6	0,89
		<b>d</b>	10:33	561,6	517,4	0,92
	PONTO 02 (1,50m DA PAREDE DO FUNDO)					
		<b>e</b>	10:39	765,4	716,7	0,93
		<b>f</b>	10:40	344,4	289,2	0,84
		<b>g</b>	10:41	182,8	158	0,86
		<b>h</b>	10:42	341,6	298,7	0,87




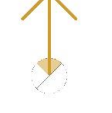


MEDIÇÃO	DIREÇÃO	PONTOS	HORÁRIO	$I_F$ (lux)	$I_M$ (lux)	RAZÃO MELANÓPICA
4ª MEDIÇÃO	PONTO 01 (1,50m DA JANELA)					
		<b>a</b>	10:51	1708	1781	1,043
		<b>b</b>	10:52	499,6	488,6	0,98
		<b>c</b>	10:53	177,4	151,5	0,85
		<b>d</b>	10:54	545	521,9	0,96
	PONTO 02 (1,50m DA PAREDE DO FUNDO)					
		<b>e</b>	11:02	709,4	750	1,06
		<b>f</b>	11:03	310	281	0,90
		<b>g</b>	11:04	166,1	157,5	0,95
		<b>h</b>	11:05	308	279,5	0,91

MEDIÇÃO	DIREÇÃO	PONTOS	HORÁRIO	LUX	LUX <sub>MELANÓPICO</sub>	RAZÃO MELANÓPICA	
<b>5ª MEDIÇÃO</b>	<b>PONTO 01 (1,50m DA JANELA)</b>						
		<b>a</b>			1157	1514	1,3
		<b>b</b>			341,2	358,1	1,05
		<b>c</b>			148	138,4	93,47
		<b>d</b>			364,1	398,4	1,09
	<b>PONTO 02 (1,50m DA PAREDE DO FUNDO)</b>						
		<b>e</b>			516	645,5	1,25
		<b>f</b>			209,3	217,4	1,04
		<b>g</b>			117,1	116,9	1
		<b>h</b>			222,4	227,4	1,02







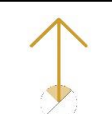





### ANEXO B – Análise das Refletâncias no Modelo em Escala

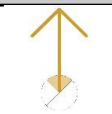

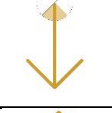


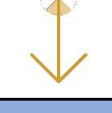
Nesse anexo estão indicados os dados referentes ao item 4.2 dos resultados. Na tabela são indicados os valores de iluminância fotópica (IF) e a iluminância melanópica (IM).

Quadro 5 - Valores de iluminância Fotópica e melanópica para a pintura azul lisa



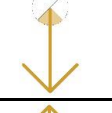
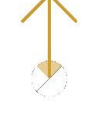

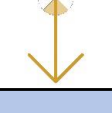
COR AZUL - LISO						
MEDIÇÃO	DIREÇÃO	PONTOS	HORÁRIO	LUX	LUX MELANÓPICO	RAZÃO MELANÓPICA
1ª MEDIÇÃO	lux inicial - 9636					
		a	12:18	572,1	807,4	1,41
		b	12:19	39,84	76,81	1,93
		c	12:20	15,39	33,26	2,16
2ª MEDIÇÃO	lux final - 9659					
		a	12:21	583,2	828,8	1,42
		b	12:22	29,55	60,93	2,06
		c	12:23	12,04	25,56	2,12

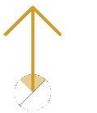













3ª MEDIÇÃO	lux inicial - 9610					
		a	12:14	549,7	772,9	1,41
		b	12:15	53,47	93,07	1,74
		c	12:15	20,26	43,6	2,15
4ª MEDIÇÃO	lux final - 9681					
		a	12:16	678,9	947,4	1,39
		b	12:17	40,09	77,7	1,94
		c	12:18	20,41	44,22	2,16
5ª MEDIÇÃO	lux inicial - 12156					
		a	11:17	696,3	898,9	1,291
		b	11:17	32,75	73,06	2,23
		c	11:18	18,63	40,39	2,168
6ª MEDIÇÃO	lux final -13734					
		a	11:19	803,7	1057	1,316
		b	11:20	66,7	107,9	1,617
		c	11:21	19,15	41,84	2,185

		lux inicial - 21078				
7ª MEDIÇÃO		a	11:24	1742	1901	1,091
		b	11:25	129,6	179,3	1,383
		c	11:26	32,31	61,94	1,917
8ª MEDIÇÃO		a	11:26	2249	2446	1,088
		b	11:27	151,6	201,3	1,824
		c	11:27	35,01	66,61	1,902
		lux final -20995				

Quadro 6 - Valores de iluminância Fotópica e melanópica para o papel de parede azul




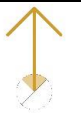








COR AZUL - PAPEL DE PAREDE						
MEDIÇÃO	DIREÇÃO	PONTOS	HORÁRIO	LUX	LUX MELANÓPICO	RAZÃO MELANÓPICA
		lux inicial - 9797				
1ª MEDIÇÃO		a	12:50	358,2	493,7	1,38
		b	12:50	36,58	46	1,26
		c	12:51	19,12	23,29	1,22
2ª MEDIÇÃO		a	12:51	405,2	562,9	1,39
		b	12:52	39,02	49,59	1,27
		c	12:52	19,37	23,51	1,25
		lux final -9745				

		lux inicial - 10952				
3ª MEDIÇÃO		a	12:27	502,9	670,8	1,33
		b	12:28	41,22	52,93	1,28
		c	12:28	24,68	31,62	1,28
4ª MEDIÇÃO		a	12:29	518,4	687,8	1,33
		b	12:30	48,31	62,11	1,29
		c	12:30	23,58	28,66	1,22
		lux final -10257				
		lux inicial - 13228				
5ª MEDIÇÃO		a	11:36	530,7	697	1,313
		b	11:36	50,28	57,94	1,152
		c	11:37	24,95	29,96	1,201
6ª MEDIÇÃO		a	11:38	555,8	735,7	1,324
		b	11:38	70,19	80,55	1,148
		c	11:39	24,95	30,32	1,215
		lux final -14063				

		lux inicial - 16773				
7ª MEDIÇÃO		a	12:10	833,8	1006	1,207
		b	12:11	75,48	83,7	1,109
		c	12:11	28,71	33,88	1,18
8ª MEDIÇÃO		a	12:12	742,5	893,7	1,204
		b	12:13	83,65	94,44	1,129
		c	12:13	30,86	35,09	1,137
		lux final -16358				

Quadro 7 - Valores de iluminância Fotópica e Melanópica para a pintura vermelha lisa




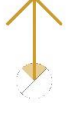


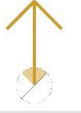





COR VERMELHA - LISO						
MEDIÇÃO	DIREÇÃO	PONTOS	HORÁRIO	LUX	LUX MELANÓPICO	RAZÃO MELANÓPICA
		lux inicial - 9881				
1ª MEDIÇÃO		a	12:41	551,8	710	1,29
		b	12:42	43,37	15,3	0,35
		c	12:42	29,91	8,77	0,29
2ª MEDIÇÃO		a	12:43	576,4	743,1	1,29
		b	12:43	46,91	18,69	0,39
		c	12:44	29,87	8,171	0,27
		lux final - 9797				



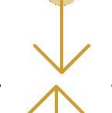



		lux inicial - 9681				
3ª MEDIÇÃO		a	12:20	669,3	783,2	1,17
		b	12:21	47,66	20,31	40,43
		c	12:22	34,9	11,36	0,33
4ª MEDIÇÃO		a	12:23	1016	1170	1,15
		b	12:23	46,22	16,15	0,35
		c	12:24	36,41	12,02	0,33
lux final - 10952						
		lux inicial - 13734				
5ª MEDIÇÃO		a	11:23	799	939,1	1,175
		b	11:24	57,64	26,21	0,4548
		c	11:24	32,82	10,25	0,3122
6ª MEDIÇÃO		a	11:25	893,7	1064	1,192
		b	11:25	56,13	21,64	0,3856
		c	11:26	31,58	10,13	0,3207
lux final - 13519						

		lux inicial - 20995				
7ª MEDIÇÃO		a	11:30	1437	1449	1,008
		b	11:30	170,6	93,8	0,55
		c	11:31	54,56	15,55	0,285
8ª MEDIÇÃO		a	11:32	1985	2038	1,027
		b	11:32	165,9	80,27	0,4839
		c	11:33	59,75	15,41	0,2579
lux final - 21259						



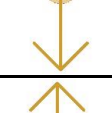



Quadro 8 - Valores de iluminância Fotópica e Melanópica para o MDF Mogno

COR VERMELHA - MOGNO						
MEDIÇÃO	DIREÇÃO	PONTOS	HORÁRIO	LUX	LUX MELANÓPICO	RAZÃO MELANÓPICA
		lux inicial - 9659				
1ª MEDIÇÃO		a	12:26	554,1	745,7	1,35
		b	12:27	42,39	40,74	0,96
		c	12:27	13,07	9,03	0,69
2ª MEDIÇÃO		a	12:28	547,3	738,6	1,35
		b	12:29	40,01	37,41	0,93
		c	12:29	12,43	8,25	0,66
lux final - 9949						







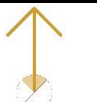


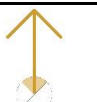


		lux inicial - 11398				
3ª MEDIÇÃO		a	12:48	738,6	939,50	1,272
		b	12:49	31,84	26,05	0,8181
		c	12:49	13,53	8,77	0,6483
4ª MEDIÇÃO		a	12:50	805,3	970,39	1,205
		b	12:50	31,54	24,17	0,7662
		c	12:51	14,09	9,07	0,6435
lux final - 11444						
		lux inicial - 13031				
5ª MEDIÇÃO		a	12:01	1038	1255,00	1,208
		b	12:02	63,02	55,87	0,8866
		c	12:03	14,32	9,64	0,6731
6ª MEDIÇÃO		a	12:03	1092	1315,00	1,204
		b	12:04	72,6	67,96	0,9361
		c	12:04	14,93	9,85	0,6597
lux final - 13910						

		lux inicial - 21250				
7ª MEDIÇÃO		a	11:50	1584	1729,00	1,092
		b	11:51	112,8	92,21	0,8177
		c	11:52	21,73	13,89	0,639
8ª MEDIÇÃO		a	11:52	1479	1638,00	1,108
		b	11:53	177,1	164,30	0,9275
		c	11:53	21,56	14,28	0,6626
		lux final - 18355				

Quadro 9 - Valores de iluminância Fotópica e Melanópica para o MDF Madeira Amarela

MADEIRA AMARELA ENVERNIZADA						
MEDIÇÃO	DIREÇÃO	PONTOS	HORÁRIO	LUX	LUX MELANÓPICO	RAZÃO MELANÓPICA
1ª MEDIÇÃO	lux inicial - 9745					
		a	12:55	410,7	539,9	1,31
		b	12:56	27,37	22,27	0,81
2ª MEDIÇÃO		c	12:57	15,56	11,19	0,72
		a	12:58	419,8	564,6	1,35
		b	12:58	28,73	23,49	0,82
2ª MEDIÇÃO		c	12:59	12,21	8,64	0,71
	lux final - 8845					







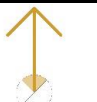


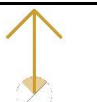




		lux inicial - 11030				
3ª MEDIÇÃO		a	12:42	710,7	945,23	1,33
		b	12:43	42,05	35,65	0,85
		c	12:43	16,96	11,77	0,69
4ª MEDIÇÃO		a	12:44	739,8	939,55	1,27
		b	12:46	45,44	37,62	0,83
		c	12:47	17,59	12,07	0,69
lux final - 11398						
		lux inicial - 14627				
5ª MEDIÇÃO		a	11:49	937,7	1137,00	1,21
		b	11:50	61,26	50,90	0,83
		c	11:50	14,37	9,78	0,68
6ª MEDIÇÃO		a	11:51	908,7	1101,00	1,21
		b	11:52	48,7	39,22	0,81
		c	11:52	14,69	10,25	0,70
lux final - 13948						

		lux inicial - 21749				
7ª MEDIÇÃO		a	11:44	1876	1975,00	1,05
		b	11:45	115,6	82,49	0,71
		c	11:46	27,73	17,94	0,65
8ª MEDIÇÃO		a	11:46	1909	2055,00	1,08
		b	11:47	117,9	83,33	0,71
		c	11:48	29,74	19,96	0,67
		lux final - 21250				

Quadro 10 - Valores de iluminância Fotópica e Melanópica para o papel de parede amarelo

COR AMARELA- PAPEL DE PAREDE						
MEDIÇÃO	DIREÇÃO	PONTOS	HORÁRIO	LUX	LUX MELANÓPICO	RAZÃO MELANÓPICA
1ª MEDIÇÃO	LUX INICIAL - 8845					
		a	13:03	485	610,2	1,26
		b	13:04	45,17	37,19	0,82
2ª MEDIÇÃO		c	13:05	19,58	13,71	0,7
		a	13:06	543,6	698,3	1,29
		b	13:07	45,03	37,08	0,82
		c	13:08	20	14,18	0,71
		lux final - 9499				

		LUX INICIAL - 10257				
3ª MEDIÇÃO		a	12:35	682,2	862,9	1,27
		b	12:36	59,4	48,01	0,81
		c	12:37	30,96	19,89	0,71
4ª MEDIÇÃO		a	12:38	577,8	697,6	1,33
		b	12:38	47,13	34,44	0,81
		c	12:39	25	15,74	0,69
lux final - 11030						
		LUX INICIAL - 13948				
5ª MEDIÇÃO		a	11:55	821,80	973,7	1,19
		b	11:55	93,66	73,38	0,78
		c	11:56	33,68	23,16	0,69
6ª MEDIÇÃO		a	11:57	892,98	1068	1,20
		b	11:58	86,84	67,32	0,78
		c	11:58	32,52	22,61	0,70
lux final - 13031						

		LUX INICIAL - 18355				
7ª MEDIÇÃO		a	11:55	1523,00	1594	1,05
		b	11:57	392,50	374,4	0,95
		c	11:57	48,03	30,61	0,64
8ª MEDIÇÃO		a	11:58	1417,00	1531	1,08
		b	11:59	100,60	75,67	0,75
		c	11:59	42,41	27,22	0,64
	lux final - 17010					

Quadro 11 - Valores de iluminância Fotópica e Melanópica para o MDF Cinza



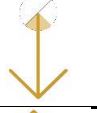


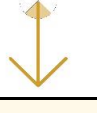




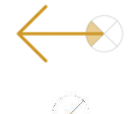
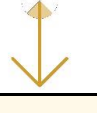
MDF CINZA FOSCO						
MEDIÇÃO	DIREÇÃO	PONTOS	HORÁRIO	LUX	LUX MELANÓPICO	RAZÃO MELANÓPICA
lux inicial - 9949						
1ª MEDIÇÃO		a	12:32	664,9	879,1	1,32
		b	12:33	67,82	69,87	1,03
		c	12:34	39,78	38,1	0,96
2ª MEDIÇÃO		a	12:34	582,2	765,5	1,32
		b	12:35	83,72	87,62	1,05
		c	12:36	42,9	41,41	0,97
lux final - 9881						







3ª MEDIÇÃO	lux inicial - 9636					
		<b>a</b>	12:05	639,3	817,7	1,28
		<b>b</b>	12:06	68,03	77,74	1,14
		<b>c</b>	12:07	44,3	44,32	1
4ª MEDIÇÃO	lux final - 9610					
		<b>a</b>	12:08	786,1	1070	1,36
		<b>b</b>	12:09	70,92	81,52	1,15
		<b>c</b>	12:10	43,32	42,91	0,99
5ª MEDIÇÃO	lux inicial - 14063					
		<b>a</b>	11:42	872,4	1058	1,21
		<b>b</b>	11:43	140,5	144,4	1,03
		<b>c</b>	11:43	53	51,55	0,97
6ª MEDIÇÃO	lux final - 14627					
		<b>a</b>	11:44	927,6	1139	1,23
		<b>b</b>	11:45	137,5	140,5	1,02
		<b>c</b>	11:45	46,9	45,23	0,96

		lux inicial - 17010				
7ª MEDIÇÃO		a	12:01	1213	1386	1,14
		b	12:02	130,5	124,9	0,96
		c	12:02	63,08	57,4	0,91
8ª MEDIÇÃO		a	12:03	1429	1649	1,15
		b	12:03	134,8	130,2	0,97
		c	12:04	53,09	48,78	0,92
		lux final - 15801				

Quadro 12 - Valores de iluminância Fotópica e Melanópica para pintura branca (original)

COR BRANCA - ORIGINAL						
MEDIÇÃO	DIREÇÃO	PONTOS	HORÁRIO	LUX	LUX MELANÓPICO	RAZÃO MELANÓPICA
1ª MEDIÇÃO	lux inicial - 9556					
		a	13:19	903,1	1102	1,22
		b	13:21	261,1	245,6	0,94
2ª MEDIÇÃO		c	13:21	174,9	155,8	0,89
		a	13:22	818,6	987,7	1,21
		b	13:22	270,3	255,3	0,94
2ª MEDIÇÃO		c	13:23	190,5	168,6	0,88
	lux final - 10160					

		lux inicial - 9708				
3ª MEDIÇÃO		a	11:58	968,8	1166	1,21
		b	11:58	214,6	217,2	1,01
		c	11:59	188,3	171,9	0,91
4ª MEDIÇÃO		a	12:00	1039	1268	1,22
		b	12:00	209,9	204,7	0,98
		c	12:01	170,3	155,6	0,91
		lux final - 9636				
		lux inicial - 13910				
5ª MEDIÇÃO		a	12:06	1305	1478	1,13
		b	12:07	346,7	340,8	0,98
		c	12:08	163,7	152,1	0,93
6ª MEDIÇÃO		a	12:08	1319	1506	1,14
		b	12:09	306,8	286,3	0,93
		c	12:09	183,5	162,6	0,88
		lux final - 13379				




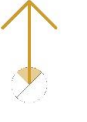


		lux inicial - 15801				
7ª MEDIÇÃO		<b>a</b>	12:06	1405	1573	1,12
		<b>b</b>	12:06	305,1	270,3	0,89
		<b>c</b>	12:07	214	185,4	0,87
8ª MEDIÇÃO		<b>a</b>	12:07	1485	1680	1,13
		<b>b</b>	12:08	329,8	293	0,89
		<b>c</b>	12:09	243,7	208,1	0,86
		lux final - 16733				










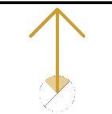




### ANEXO C – Análise de Geometria no Modelo em Escala

Nesse anexo estão indicados os dados referentes ao item 4.3 dos resultados. Na tabela são indicados os valores de iluminância fotópica (IF) e a iluminância melanópica (IM).

Quadro 13 - Iluminância Fotópica e Melanópica para a pintura azul plissada




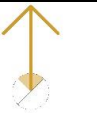


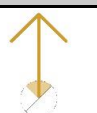


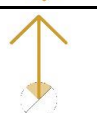


COR AZUL - PLISSADO						
MEDIÇÃO	DIREÇÃO	PONTOS	HORÁRIO	LUX	LUX MELANÓPICO	RAZÃO MELANÓPICA
1ª MEDIÇÃO	lux inicial - 9394					
		a	12:01	477,2	690,3	1,45
		b	12:02	16,39	37,68	2,29
		c	12:03	10,05	21,5	2,13
2ª MEDIÇÃO		a	12:04	351,7	499,8	1,42
		b	12:05	16,28	37,49	2,3
		c	12:06	6,315	12,19	1,93
	lux final - 9636					

3ª MEDIÇÃO	lux inicial - 13541					
		a	13:02	718,2	882,5	1,229
		b	13:02	32,17	62,59	1,946
		c	13:03	19,08	42,18	2,21
4ª MEDIÇÃO		a	13:03	829	1038	1,253
		b	13:04	39,08	75,54	1,933
		c	13:04	20,49	44,82	2,188
	lux final - 14064					
5ª MEDIÇÃO	lux inicial - 12822					
		a	11:10	651,1	847,9	1,302
		b	11:11	74,57	111,5	1,495
		c	11:12	15,75	36,28	2,303
6ª MEDIÇÃO		a	11:13	628,1	828,3	1,319
		b	11:13	60,62	94,79	1,564
		c	11:14	15,69	36,5	2,326
	lux final - 12156					

		lux inicial - 21865				
7ª MEDIÇÃO		a	11:19	1879	2018	1,074
		b	11:20	155,4	194,1	1,25
		c	11:20	28,92	59,65	2,062
8ª MEDIÇÃO		a	11:21	1787	1931	1,08
		b	11:22	88,8	130,2	1,466
		c	11:22	27,32	53,74	1,967
		lux final - 21078				

Quadro 14 - Iluminância Fotópica e Melanópica para a pintura vermelha plissada

MEDIÇÃO	DIREÇÃO	PONTOS	HORÁRIO	LUX	LUX MELANÓPICO	RAZÃO MELANÓPICA
lux inicial - 9499						
1ª MEDIÇÃO		a	13:12	461,1	584,8	1,27
		b	13:12	27,23	10,65	0,39
		c	13:13	13,7	3,65	0,27
2ª MEDIÇÃO		a	13:14	532,9	692,4	1,3
		b	13:15	32,98	16,02	0,49
		c	13:16	14	3,77	0,27
lux final -9556						

		lux inicial - 9499				
3ª MEDIÇÃO		a	12:55	593,8	694,15	1,17
		b	12:56	48,96	19,80	0,40
		c	12:57	25,05	6,11	0,24
4ª MEDIÇÃO		a	12:57	787,8	913,85	1,16
		b	12:58	44,79	23,41	0,52
		c	12:58	27,97	7,51	0,27
lux final -13541						
		lux inicial - 13519				
5ª MEDIÇÃO		a	11:29	652,2	805,00	1,23
		b	11:30	31,42	14,52	0,46
		c	11:30	21,24	5,16	0,24
6ª MEDIÇÃO		a	11:31	694,2	876,50	1,26
		b	11:32	76,84	59,80	0,78
		c	11:32	19,65	4,82	0,25
lux final -13288						

