



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

INSTITUTO DE TECNOLOGIA

FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

PAULO ANDRÉ DANTAS SILVA

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE SISTEMAS DE PRATELEIRA DE LUZ, COM O
USO DE PLACAS VAZADAS, EM CLIMA QUENTE E ÚMIDO EQUATORIAL.

Belém
2015

PAULO ANDRÉ DANTAS SILVA

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE SISTEMAS DE PRATELEIRA DE LUZ, COM O
USO DE PLACAS VAZADAS, EM CLIMA QUENTE E ÚMIDO EQUATORIAL.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo PPGAU/ITEC/UFPA, do curso de Mestrado Acadêmico em Arquitetura e Urbanismo como requisito para obtenção do título de mestre.

Área de Concentração: Conforto Térmico e Luminoso.

Linha de pesquisa: Desempenho ambiental e tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Irving Montanar Franco

Belém

2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Silva, Paulo André Dantas, 1988-

Análise comparativa entre sistemas de prateleira de luz, com o uso de placas vazadas, em clima quente e úmido equatorial / Paulo André Dantas Silva. - 2015.

Orientador: Irving Montanar Franco.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Belém, 2015.

1. Arquitetura e clima. 2. Iluminação. 3. Arquitetura e conservação de energia. 4. Luz na arquitetura. I. Título.

CDD 22. ed. 720.47

SILVA, Paulo André Dantas. **Análise comparativa entre sistemas de prateleira de luz, com o uso de placas vazadas, em clima quente e úmido equatorial.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo PPGAU/ITEC/UFPA, do curso de Mestrado Acadêmico em Arquitetura e Urbanismo como requisito para obtenção do título de mestre.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. Irving Montanar Franco (Orientador)

Instituição: UFPA

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. Paulo Sergio Scarazzato

Instituição: USP e UNICAMP

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dra. Maria Emilia de Lima Tostes

Instituição: UFPA

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. José Júlio Ferreira Lima

Instituição: UFPA

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Agradecimento

A Deus, pela vida, pela conclusão de mais uma etapa e por poder iniciar outras.

Aos meus pais, Mara e Antônio, a meu irmão, João, e a minha família em geral por continuarem a me apoiar e proporcionar o suporte necessário.

A meus amigos mais antigos e aos novos que fiz durante esse processo, e a minha namorada, que sempre fortaleceu a importância e o significado do meu empenho.

Ao professor Dr. Irving Montanar Franco, ao qual devo o despertar pelo interesse da pesquisa acadêmica, em especial ao conforto. Pelo acompanhamento, parceria e pelas diversas conversas e contribuições à minha pesquisa, durante todo o processo do mestrado.

Ao professor Dr. José Júlio Ferreira Lima, pela acolhida, apoio e por todo seu empenho em relação ao PPGAU.

Aos professores com os quais tive contato durante este programa. Aos professores Dr. Leonardo Marques Monteiro e Dra. Roberta Consentino Kronka-Mülfarth, pela receptividade durante o programa PROCAD.

Ao professor Dr. Paulo Scarazzato, por apresentar as diversas possibilidades do estudo da iluminação, despertando com isso o interesse por esta área, pela presteza em cada contato e pelos valiosos ensinamentos durante nossas conversas.

Ao LABCONF (Ceamazon) e ao LADEC (FAU/UFGA), pela estrutura física e pelo empréstimo dos equipamentos necessários para a realização dos experimentos.

Ao bolsista Avner Rolim e a Ma. Marcelle Vilar, por todas as contribuições a essa pesquisa.

À professora Dra. Lucieta Guerreiro Martorano, pelo incentivo em cada contato e pelo empréstimo dos equipamentos junto ao Laboratório de Agrometeorologia da EMBRAPA-PA Amazônia Oriental.

À CAPES e ao PPGAU, pelo fornecimento da bolsa de mestrado, fundamental para o desenvolvimento dessa pesquisa.

RESUMO

A necessidade de promover projetos arquitetônicos mais eficientes tem como principal estratégia a adequação da arquitetura às características climáticas do local. Uma vez que se identifique o potencial e as restrições de cada região deve-se investigar de que forma isto pode ser transposto para o projeto. Dentro desse panorama, a luz natural apresenta grande potencial, não só para a redução do consumo energético, mas, em uma avaliação mais abrangente, para adequar o ambiente a uma condição de conforto que atenda aspectos fisiológicos e psicológicos dos seres humanos. O presente estudo busca investigar o desempenho de prateleiras de luz com superfícies vazadas, em aspectos qualitativos e quantitativos, com o uso de modelos em escala reduzida. O estudo consiste em aproximações metodológicas experimentais para a avaliação do desempenho luminoso resultante da utilização de quatro variações de placas vazadas, em sistemas de prateleira de luz. Foram investigados aspectos quantitativos - relativos ao ganho luminoso e incremento de carga térmica, com o auxílio de Luxímetros digitais Homis, *Data Loggers* Hobo U12 - e qualitativos - relativos à distribuição da luz no ambiente, com o uso de imagens em grande alcance dinâmico (em inglês, *High Dynamic Range* – HDR). A avaliação foi feita por comparação em duas células de testes onde, na primeira, foi instalado o sistema convencional, com prateleira de luz opaca, e na segunda foram variados os sistemas de prateleiras vazadas a serem comparados com a primeira. As avaliações foram realizadas concomitantemente e os resultados apresentados de forma comparativa. Os resultados apontaram tendências relativas à distribuição luminosa para cada sistema investigado além de elucidar potenciais e limitações relacionados aos métodos utilizados.

Palavras-chave: Iluminação natural; Prateleiras de luz; HDR; Padrão de céu.

ABSTRACT

The main strategy to promote a more efficient architectural design is the integration of the architecture to the local climate. Once the potential and restrictions of each region are identified, there should be made an investigation on how it could be transposed into the project. This said, natural light presents great potential, not only to reduce electricity consumption, but, in a more thorough investigation, in order to adequate the ambient to a condition of comfort that meets physiological and psychological aspects of the human being. This study aims to investigate the performance of light shelves with perforated surfaces in qualitative and quantitative aspects, using reduced scale models. The study consists in experimental methodological approaches to the evaluation of the luminosity performance that results of the use of four different translucent materials, in light shelf systems. There have been investigated quantitative aspects, corresponding to the luminosity gain and heat increase, with the aid of a Homis digital lux meter, Hobo U12 data loggers, and qualitative ones, related to the light distribution through the ambient, using High Dynamic Range (HDR) images. The evaluation was made through comparing two test cells where, on the first, a conventional system of opaque light shelf was installed, and in the second, a variety of translucent light shelf systems were compared to the first one. The evaluations were made simultaneously and the results were presented in a comparative form. The results pointed to patterns corresponding to the luminosity distribution of each investigated system as well as clarifying potentials and limitations related to the used methods.

Keywords: Daylight; Light shelves; HDR; Sky pattern.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Comparação entre densidade populacional e temperatura superficial aparente.	17
Figura 2: Estudos da relação da forma com o ângulo de incidência dos raios solares.	21
Figura 3: Rosácea de <i>Sainte-Chapelle</i> , na cidade de Paris, França.	22
Figura 4: Iluminação natural no interior da capela de Notre Dame, de Le Corbusier, em Rochamp, França.	23
Figura 5: Vitral de <i>Avery Coonley Playhouse</i> , de Frank L. Wright, em Illinois, Estado Unidos.	23
Figura 6: Vitrais da Catedral de Brasília de Oscar Niemeyer, Brasil.	24
Figura 7: Exemplo de aplicação de muxarabi.	25
Figura 8: Ação da luz natural sobre a releitura dos muxarabís com os sistemas de diafragmas do Instituto do Mundo Árabe, na França.	25
Figura 9: Modelo de Cobogó.	27
Figura 10: Cobogós da Caixa D'água Modernista, em Olinda, projeto de Luis Nunes.	27
Figura 11: Chapas perfuradas na fachada do galpão garagem em Edogawa, Tokyo, no Japão.	28
Figura 12: Centro de Visitantes das Cataratas do Reno, em Zurique, na Suíça.	29
Figura 13: Zoneamento bioclimático brasileiro.	30
Figura 14: Segunda proposta para o Zoneamento Bioclimático do Brasil.	32
Figura 15: Classificação Bioclimática da cidade de Belém segundo o programa ZBBR.	34
Figura 16: Carta Bioclimática para a cidade de Belém extraída do <i>software</i> ABC.	35
Figura 17: Índices Máximos e Mínimos de Temperatura de Bulbo Seco (DBT – <i>Dry Bulb Temperature</i>) e Umidade Relativa média (RHavg) para a cidade de Belém.	36
Figura 18: Céu Encoberto Belém. Foto feita em 20/01/2015 às 15:28h.	38
Figura 19: Céu Claro Belém. Foto feita em 22/01/2015 às 13:29h.	38
Figura 20: Céu Parcialmente Encoberto Belém. Foto feita em 20/01/2015 às 16:45h.	39
Figura 21: : Indicação de elementos em uma plotagem METAR, relativos a uma determinada hora.	41
Figura 22: Ocorrência de Padrão de Céu em Belém, por mês.	43
Figura 23: Ocorrência Geral de Padrão de Céu por Mês.	44
Figura 24: Olho humano.	46
Figura 25: Representação esquemática de um olho humano.	47
Figura 26: Representação do campo de visão dos seres humanos.	48
Figura 27: Representação da câmara escura de Reinerus Gemma - Frisius.	54
Figura 28: Formação de imagem no olho e na câmera.	55
Figura 29: Tipos de sensores de câmeras digitais.	56
Figura 30: Lente olho-de-peixe <i>Lensbaby</i> 5.8mm f/3.5-22mm.	57
Figura 31: Diferentes ângulos de visão, tipos de objetivas e suas distâncias focais.	58

Figura 32: Analogia entre fluxo de água e valor de exposição.	60
Figura 33: Escala de pontos e meios pontos para velocidade e abertura.	61
Figura 34: Gradiente com taxa de contraste de 1:10.	62
Figura 35: Relação entre escalas de Alcance Dinâmico e EV para visão, filme, sensor, impressão em papel, imagem digital comum e imagem HDR.	63
Figura 36: Processo de geração de imagens HDR.	64
Figura 37: Diferenças na transmissão da luz.	66
Figura 38: Representação esquemática da resposta de uma superfície especular e uma superfície difusa.	67
Figura 39: Representação esquemática da transmissão direta e da transmissão difusa.	67
Figura 40: Regiões do Espectro Solar.	68
Figura 41: Espectro de radiação ponderado sobre diferentes aspectos.	69
Figura 42: Experimento de William Herschel.	70
Figura 43 Quadro de transmissão de Radiação Solar através de Vidros e Policarbonatos.	71
Figura 44: Luxímetro digital HOMIS, REF: H019-005 MOD: 204.	73
Figura 45: Curva de resposta visual, por comprimento de onda, para visão de seres humanos, durante a noite e o dia.	73
Figura 46: Luminancímetro LS-100 / LS-110 - Konica Minolta.	74
Figura 47: Mapa de cores falsas no WebHDR com valores em escala e pontuais. ...	75
Figura 48: Projeção da abertura de um ambiente sobre um Diagrama de Contribuição Relativa da Luz.	77
Figura 49: Representação esquemática de ambiente sem e com <i>brise</i>	79
Figura 50: Representação esquemática de ambiente com prateleira de luz.	81
Figura 51: Células de testes posicionadas lado a lado na área onde foram realizados os procedimentos experimentais.	83
Figura 52: Foto obtida com Lente Olho de Peixe demonstrando a obstrução de céu encontrada no deck experimental do CEAMAZON para três modelos com aberturas voltadas para a fachada norte.	85
Figura 53: Demarcação da área difusa para abertura norte.	86
Figura 54: Mascaramento total para as células de teste para o recorte horário de 8 às 16 horas durante o ano todo.	87
Figura 55: Corte esquemático do posicionamento das placas no arranjo de mascaramento da célula de testes.	88
Figura 56: Representação do arranjo de mascaramento aplicado na célula de testes.	88
Figura 57: Trama com fibra sintética em <i>nylon</i>	89
Figura 58: Chapas perfuradas fornecidas pela empresa Permetal.	90
Figura 59: <i>Data Logger</i> Hobo U12.	91
Figura 60: Câmera Nikon D60 + Lente Sigma 8mm F3.5 EX DG Circular <i>Fisheye</i> . Patrimônio do LADEC/ FAU/ ITEC/ UFPA.	92
Figura 61: Câmera Nikon D3100 + Lente <i>lensbaby</i> 5.8mm f/3.5 Circular <i>Fisheye</i> . Patrimônio particular.	92

Figura 62: Luxímetro digital HOMIS, REF: H019-005 MOD: 204.	93
Figura 63: Estrutura metálica da célula de testes sem fechamentos opacos.	94
Figura 64: Esquema gráfico dos fechamentos verticais das células de teste.	95
Figura 65: Quadro ilustrativo de ações realizadas na manutenção e preparação das células de testes.	96
Figura 66: Disposição dos quadros de papel no interior da sala. Foto feita com a câmera Nikon D60 com a lente Sigma.	99
Figura 67: Imagens obtidas com a câmera D60 + Lente Sigma 8mm F3.5 EX DG Circular Fisheye, como intervalos de 1EV.	100
Figura 68: Leitura de Luminâncias no interior da célula.	101
Figura 69: Captura de tela para registrar os valores de luminâncias indicados pelo software WebHDR.	102
Figura 70: Comparação de leituras e foto HDR da câmera D3100.	103
Figura 71: Comparação de leituras e foto HDR da câmera D60.	103
Figura 72: Posicionamento das Células de Teste para captura de fotos.	104
Figura 73: Representação esquemática das posições da câmera para obtenção das imagens em HDR.	105
Figura 74: Acionamento remoto das câmeras por meio de um computador.	105
Figura 75: Esquema gráfico do procedimento experimental de Análise de Luminâncias por HDR.	107
Figura 76: Hobos identificados de acordo com a célula e com a posição na mesma.	109
Figura 77: Interior de uma das células com os equipamentos de medição e coleta de dados posicionados.	110
Figura 78: Configuração dos aparelhos de medição e registro.	111
Figura 79: Exemplo de identificação do <i>data logger</i> com o numero de série seguido pela célula e por fim a posição na célula.	111
Figura 80: Gráfico da primeira aproximação do experimento de curva de aquecimento.	112
Figura 81: Etapas do ciclo experimental para avaliação da curva de aquecimento e iluminâncias.	114
Figura 82: Padrão de céu encoberto durante a realização do Fator de Luz Diurna.	115
Figura 83: Luxímetro externo (No: 080702168) fixado no teto da célula.	116
Figura 84: Luxímetros posicionados na célula.	117
Figura 85: Posições de medição interna.	117
Figura 86: Baterias de registros de valores de iluminâncias, para FLD, em função da posição do luxímetro interno.	118
Figura 87: Captura de tela por meio da tecla “ <i>print screen</i> ” para registro de valor de luminância.	120
Figura 88: Painel comparativo entre prateleira metálica opaca (célula 1) e prateleira metálica opaca (célula 2). Visão lateral.	121
Figura 89: Painel comparativo entre prateleira metálica opaca (célula 1) e prateleira metálica com 20% de área aberta (célula 2). Visão lateral.	122

Figura 90: Painel comparativo entre prateleira metálica opaca (célula 1) e prateleira metálica com 40% de área aberta (célula 2). Visão lateral.	123
Figura 91: Painel comparativo entre prateleira metálica opaca (célula 1) e prateleira metálica com 60% de área aberta (célula 2). Visão lateral.	124
Figura 92: Painel comparativo entre prateleira metálica opaca (célula 1) e prateleira de <i>nylon</i> (célula 2). Visão lateral	125
Figura 93: Painel comparativo entre prateleira metálica opaca (célula 1) e célula sem prateleira (célula 2). Visão lateral.	126
Figura 94: Painel comparativo entre prateleira metálica opaca (célula 1) e prateleira metálica opaca (célula 2). Visão do fundo.....	127
Figura 95: Painel comparativo entre prateleira metálica opaca (célula 1) e prateleira metálica com 20% de área aberta (célula 2). Visão do fundo.	128
Figura 96: Painel comparativo entre prateleira metálica opaca (célula 1) e prateleira metálica com 40% de área aberta (célula 2). Visão do fundo.	129
Figura 97: Painel comparativo entre prateleira metálica opaca (célula 1) e prateleira metálica com 60% de área aberta (célula 2). Visão do fundo.	130
Figura 98: Painel comparativo entre prateleira metálica opaca (célula 1) e prateleira de <i>nylon</i> (célula 2). Visão do fundo.	131
Figura 99: Painel comparativo entre prateleira metálica opaca (célula 1) e célula sem prateleira (célula 2). Visão do fundo.....	132
Figura 100: Explicação da avaliação quantitativa que gerou a tabela 6.....	133
Figura 101: Identificação dos pontos de medição a partir das imagens da posição 1.	135
Figura 102: Gráficos de temperatura e iluminância para prateleira opaca contra prateleira opaca.....	139
Figura 103: Gráficos de temperatura e iluminância para prateleira opaca contra situação sem prateleira.	140
Figura 104: Gráficos de temperatura e iluminância para prateleira opaca contra prateleira de <i>nylon</i>	141
Figura 105: Gráficos de temperatura e iluminância para prateleira opaca contra prateleira metálica com 20% de abertura.....	142
Figura 106: Gráficos de temperatura e iluminância para prateleira opaca contra prateleira metálica com 40% de abertura.....	143
Figura 107: Gráficos de temperatura e iluminância para prateleira opaca contra prateleira metálica com 60% de abertura.....	144

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Iluminâncias para a cidade de Belém nas 4 estações, Verão , Outono , Inverno e Primavera – Plano Horizontal (V.O.I.P –Horizontal).....	40
Tabela 2: Iluminâncias para a cidade de Belém – Planos Verticais.	40
Tabela 3: Tabela de correspondência de padrão de céu.	42
Tabela 4: Sensação de ofuscamento por DGI.....	53
Tabela 5: Configurações para geração de Imagens HDR.	98
Tabela 6: Diferença percentual entre o maior e o menor valor nas imagens geradas a partir da posição 2.....	134
Tabela 7: Comparação numérica entre valores encontrados nas imagens obtidas a partir da posição 1.....	136
Tabela 8: Tabela de desvios encontrados com ambas as células com prateleiras metálicas opacas.....	137
Tabela 9: Fator de luz diurna na posição 1-Janela.....	146
Tabela 10: Fator de luz diurna na posição 2-Centro.	146
Tabela 11: Fator de luz diurna na posição 3-Fundo.	146
Tabela 12: FLD por tipo de prateleira.	147

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CC	Componente de Céu
CCD	<i>Charge-Coupled Device</i> (Dispositivo de Carga Acoplada)
CEAMAZON	Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia
CF	Cores Falsas
CIE	<i>Commission Internationale d'Eclairage</i> (Comissão Internacional de Iluminação)
CIN	Contribuição de Iluminação Natural
CMOS	(<i>Complementary Metal Oxide Semiconductor</i>) (Semicondutor Metal-Óxido Complementar)
CRE	Componente Refletida Externa
CRI	Componente Refletida Interna
DGI	<i>Daylight Glare Index</i> (Índice de desconforto por ofuscamento)
DSLR	<i>Digital Single-Lens Reflex</i> (Câmera Digital de Reflexo por uma Lente)
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EV	<i>Exposure Value</i> (Valor de Exposição)
FLD	Fator de Luz Diurna
HDR	<i>High Dynamic Range</i> (Grande Alcance Dinâmico)

IESNA	<i>Illuminating Engineering Society of North America</i> (Sociedade de Engenheiros de iluminação da América do Norte)
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Painel Intergovernamental para Alterações Climáticas)
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Normatização)
ITEC	Instituto de Tecnologia da UFPA
LABCONF	Laboratório de Conforto Ambiental
LADEC	Laboratório de Análise e Desenvolvimento do Espaço Construído
METAR	Conjunto de informações meteorológicas regulares, obtidas a cada hora, por observação em aeródromos
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
PROCAD	Programa Nacional de Cooperação Acadêmica
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RGB	<i>Red, Green, Blue</i> (vermelho, verde e azul)
UGR	Índice de Ofuscamento Unificado da CIE
UFPA	Universidade Federal do Pará

SUMÁRIO

1. Introdução.....	16
2. Objeto e Objetivos	20
2.1. Objeto.....	20
2.2. Objetivo Geral.....	20
2.3. Objetivos Específicos	20
3. Referencial Teórico	20
3.1. A Luz Natural e a Arquitetura.....	20
3.2. Arquitetura e Clima	29
3.2.1. O Clima na cidade de Belém.....	33
3.2.2. O clima e a luz natural	37
3.3. A Luz e a Visão	45
3.3.1. A Fisiologia da Visão.....	45
3.3.2. Conforto Visual	48
3.3.3. A Fotografia Na Avaliação De Iluminação Natural	53
3.4. Iluminação Natural	64
3.4.1. Fontes, Conceitos e Características	65
3.4.2. Métodos de Avaliação de Iluminação Natural	71
3.5. O Sol Como Fonte de Carga Térmica.....	77
3.5.1. Do <i>Brise</i> à Prateleira de Luz	79
4. Metodologia	82
4.2. Práticas Experimentais.....	97
4.2.1. Calibração para imagens em HDR	97
4.2.2. Análise de luminâncias por HDR.....	104
4.2.3. Análise de curva de aquecimento e iluminâncias	108
4.2.4. Fator de Luz Diurna	115
5. Discussão e Análise de Resultados	119
5.1. Resultados de luminâncias por HDR.....	119
5.2. Resultados de curva de aquecimento e iluminâncias	138
5.3. Resultados de Fator de Luz Diurna (FLD).....	145
6. Conclusão	148
6.1. Da pesquisa	148

6.2. Dos resultados obtidos	149
6.3. Limitações da Pesquisa.....	150
6.4. Recomendações Para Trabalhos Futuros.....	151
7. Referências e Bibliografia consultada	152

1. Introdução

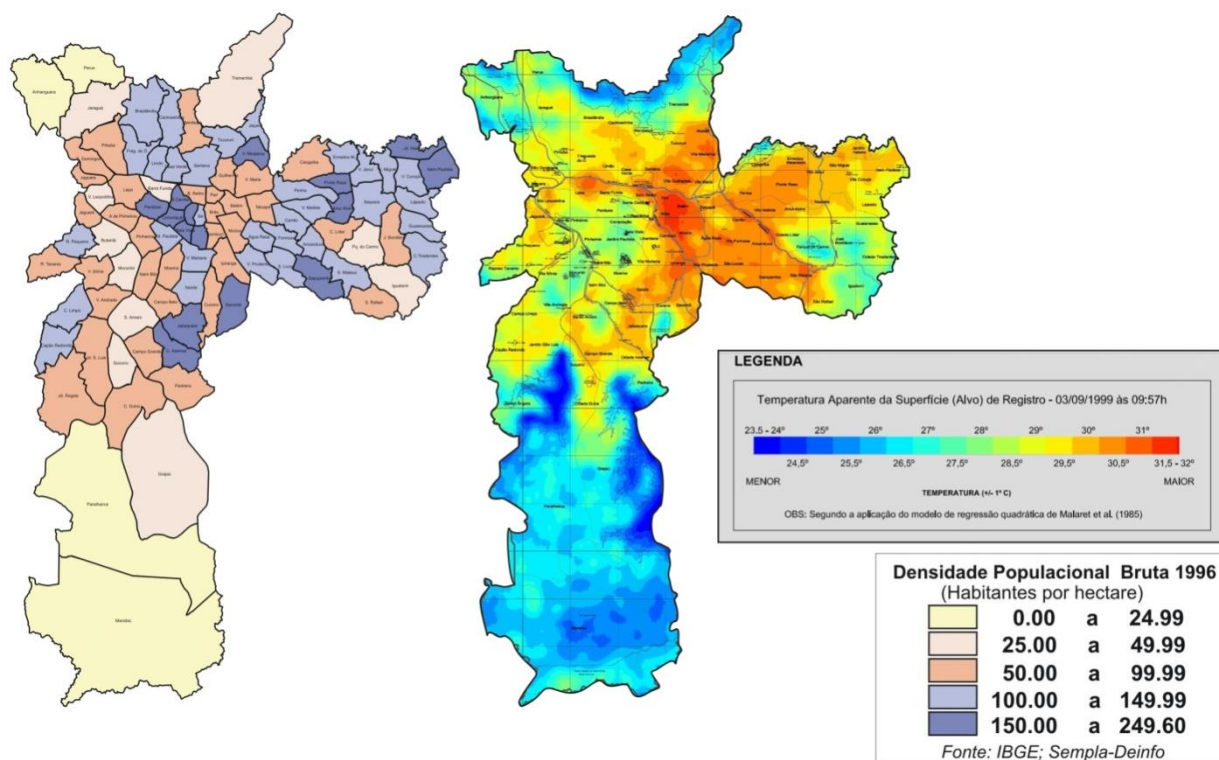
Há tempos que a discussão a respeito da eficiência energética, e da necessidade de incorporação de práticas sustentáveis, deixaram de figurar, na sociedade e no meio acadêmico, como um tema vanguardista para se estabelecer como um pressuposto básico em todos os aspectos da manutenção e desenvolvimento da vida do ser humano. Cada vez mais são apresentados subsídios técnicos que comprovam, com altos índices de confiabilidade, o prejuízo gerado, em uma escala global, do padrão de consumo estabelecido, principalmente, após a revolução industrial, até os dias atuais.

Segundo o quinto Relatório de Avaliação do IPCC¹: “*Climate Change 2013: The Physical Science Basis*”, apresentado pela ONU em 2013, os resultados encontrados reforçam a conclusão de que a influência antrópica sobre o clima tem desempenhado o papel dominante quanto ao aquecimento observado desde 1950. Este mesmo relatório classifica como sem precedentes as mudanças climáticas ocorridas neste período no que diz respeito, por exemplo, ao aquecimento da atmosfera e do oceano, elevação do nível do mar e do aumento das concentrações de gases de efeito estufa.

No panorama brasileiro, podemos verificar indicativos da participação do ser humano na alteração do perfil térmico de uma região comparando dois mapas extraídos do Atlas Ambiental do município de São Paulo. Na Figura 1, pode-se verificar certa concordância entre as áreas mais adensadas, com todos os aspectos inerentes a isto, e a concentração das áreas com os maiores valores de temperatura aparente de superfície.

¹Painel Intergovernamental para Alterações Climáticas, em inglês, *Intergovernmental Panel on Climate Change*.

Figura 1: Comparação entre densidade populacional e temperatura superficial aparente.



Fonte: Adaptado de Atlas Ambiental do município de São Paulo.

Deve-se destacar que a concentração populacional é apenas um dos aspectos relativos à participação do ser humano na promoção dos impactos ambientais registrados nas últimas décadas.

A figura do arquiteto se apresenta no âmbito da eficiência energética e da sustentabilidade como um agente potencial de transformação do espaço e das relações de uso entre o ser humano e seu ambiente de contato. Cada vez mais se fazem necessários a pesquisa e a aplicação desta dentro da arquitetura, para que se promovam as práticas adequadas de projeto que possam vir a gerar edificações e espaços mais eficientes. Segundo Lamberts (1997), “um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia”. Dentro dessa concepção, é importante ressaltar que devem ser atingidos os mesmos resultados necessários ao funcionamento do espaço, para que se possa avaliar se uma situação é mais ou menos eficiente que outra.

Um dos problemas enfrentados no Brasil, e em diversos outros países em desenvolvimento, se caracteriza pela relação entre a rápida ascensão econômica diretamente ligada a um súbito incremento no consumo energético. Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), em publicação no “Atlas de Energia Elétrica do Brasil”, de 1990 a 2007 foi registrado um crescimento acumulado de 69% em relação ao consumo global de energia (o que abrange derivados de petróleo, gás natural, energia elétrica, entre outros), passando de 127,596 milhões de tep (tonelada equivalente de petróleo) para 215,565 milhões de tep.

Considerando apenas a energia elétrica, o documento indica um incremento de aproximadamente 40% no consumo entre 1997 e 2007, indo de 25,333 a 35,443 milhões de tep. Há de se desvincular a relação de crescimento econômico e crescimento no consumo energético para que se promova um desenvolvimento sustentável, uma vez que os recursos naturais para obtenção de energia, como conhecemos hoje, não são infinitos.

Dentro de uma avaliação geral entre as diversas modalidades de consumo de energia no Brasil, o consumo das edificações se apresenta de forma extremamente relevante, principalmente em relação ao consumo de energia elétrica. De acordo com os dados do Ministério de Minas e Energia, no Plano Nacional de Eficiência Energética (2011), as edificações, residenciais, comerciais e públicas, em 2009, foram responsáveis por um consumo de 178TWh (Terawatts-hora), de um total de aproximadamente 426TW. Ainda de acordo com este documento, a implementação de ações de eficiência energética nos sistemas de iluminação, ar condicionado e intervenções arquitetônicas na envoltória possuem um potencial de redução do consumo energético de aproximadamente 30% para edificações existentes, elevando-se para 50% em edificações novas.

É de fundamental importância que qualquer intervenção que vise a eficiência energética seja aplicada em concordância com as características ambientais de cada região. Frota (2003) indica que a racionalização do uso da energia apresenta estreitos laços com a adequação da arquitetura ao clima. A necessidade do conhecimento do clima e das características do local, tem se apresentado desde os elementos mais peculiares da arquitetura vernácula até os sistemas mais avançados de adequação do espaço. Ainda segundo Frota (2003), em condições climáticas

muito rígidas pode não ser possível um desempenho térmico satisfatório apenas com o uso de recursos naturais; entretanto, devem-se procurar propostas que maximizem o desempenho térmico natural. Dentro dessa perspectiva, se destaca a necessidade da identificação do potencial de cada região.

As regiões próximas a latitude zero se destacam dentro do aspecto de oferta de radiação solar, tanto em intensidade, devido aos ângulos de incidência da mesma, quanto em termos de distribuição horas de insolação ao longo do ano. Considerando esse aspecto, o uso da iluminação natural, nestas regiões, se apresenta como um grande potencial a ser explorado e ao mesmo tempo como um fator que exige profunda análise para que a radiação solar seja tratada de forma a não incrementar fatores não desejáveis tanto em relação ao conforto visual quanto ao conforto térmico.

Segundo dados do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL 2002), um sistema de iluminação natural eficiente deve possuir proteção adequada contra incidência da radiação solar direta. Nessas condições, a luz natural pode representar uma redução de até 50% no consumo de energia elétrica com iluminação. Segundo Souza (2004), em sua análise dos dados da estação de medição de iluminação natural em Santa Catarina, entre os anos de 2002 e 2003 foi obtido uma variação de médias de iluminância global de 88.000 lux no verão, com maior ocorrência de céu claro, a 49.000 lux no inverno, com predominância de céu encoberto.

A importância desta pesquisa se estabelece nos princípios da avaliação experimental do uso de superfícies vazadas, como rebatedores de luz, associados a aberturas verticais. O estudo de rebatedores vazados busca a avaliação da iluminação natural sob, principalmente, o aspecto da distribuição da mesma, verificando níveis de luminância em cada arranjo proposto. A questão da distribuição de luminância é ponto fundamental na eficiência energética de um sistema de iluminação natural em que busca promover o conforto ao usuário. Mais que a maior intensidade luminosa deve-se buscar uma boa distribuição uma vez que, segundo Vianna (2001) “a acuidade visual é determinada pela relação de luminância entre as tarefas e seu entorno”.

Esta pesquisa busca verificar a otimização do uso da iluminação natural sob as características climáticas de regiões de clima equatorial quente e úmido, como as da cidade de Belém, focando-se nos aspectos relacionados ao conforto visual sem desconsiderar, em uma análise menos aprofundada, os aspectos relacionados ao incremento de carga térmica inerente ao uso da radiação solar.

2. Objeto e Objetivos

2.1. Objeto

Esta pesquisa tem por objeto a discussão dos efeitos resultantes do uso de materiais vazados², associados a um sistema de rebatimento da luz natural, identificado na bibliografia consultada como “prateleira de luz”.

2.2. Objetivo Geral

Avaliar o desempenho de prateleiras de luz com placas vazadas, de forma comparativa, quanto ao aproveitamento de iluminação natural (aspectos quantitativos e qualitativos) inerente aos diferentes arranjos estudados na pesquisa.

2.3. Objetivos Específicos

- Realizar experimentos de controle metrológico com os equipamentos a serem utilizados no procedimento experimental de avaliação das prateleiras de luz.
- Aplicar a técnica de imagens em HDR para a avaliação de iluminação natural no desempenho de prateleiras de luz.
- Recuperar e readequar as células de testes para a realização dos procedimentos experimentais de avaliação comparativa dos arranjos de prateleiras de luz com placas vazadas.

3. Referencial Teórico

3.1. A Luz Natural e a Arquitetura

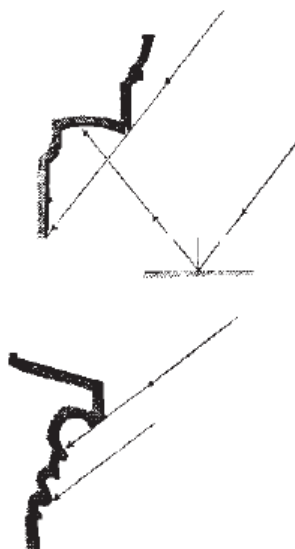
A luz natural sempre desempenhou um papel de importância na arquitetura sendo, por um lado, um veículo de informação sobre as características do exterior, de tempo, dia e noite, e, por outro, o elemento com o qual a forma do espaço edificado

² Nesta pesquisa, são considerados materiais vazados aqueles que permitem a passagem parcial da luz em proporções variadas.

vai interagir para ser apreendido, visualmente, pelo ser humano. Segundo Vianna e Gonçalves (2001) o homem é extremamente dependente da luz, uma vez que 70% da percepção humana é visual. Sendo o homem o principal usuário do espaço arquitetônico, a avaliação da luz não pode ser dissociada desse processo.

Na arquitetura clássica é possível identificar como os detalhes dos edifícios eram concebidos para gerar um resultado visual desejado a partir da relação de luz, sombra e tempo (considerando a capacidade mutável da luz natural ao longo do dia). As características construtivas direcionadas a um determinado resultado plástico, estético, também dependiam da oferta e do tipo de luz natural de cada localização. Segundo Ganslandt (1992), no que diz respeito à oferta de luz direta e o resultado plástico desta, as edificações localizadas mais ao norte, com predominância de luz difusa, exigiam detalhes mais profundos, ou pronunciados, para que se atingisse o mesmo resultado que, em países localizados mais a sul, se obteria com detalhes mais rasos. O autor também destaca a importância do conhecimento dos ângulos de incidência para o resultado visual da edificação (Figura 2).

Figura 2: Estudos da relação da forma com o ângulo de incidência dos raios solares.



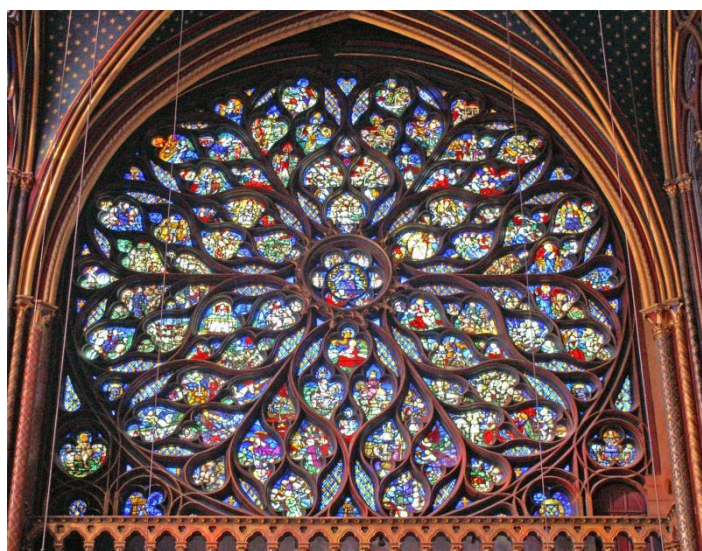
Fonte: Ganslandt e Hofmann (1992), p. 13.

A permeabilidade das construções em relação a luz advinda do exterior tem sido elemento explorado das formas mais variáveis durante toda a história da arquitetura sofrendo transformações relacionadas aos objetivos de cada época e necessidades de cada local. Dentro dessa premissa a arquitetura se apresenta como um reflexo

dessas condicionantes ao longo do tempo, tendo na envoltória do edifício o principal mediador da relação entre o interior e o exterior.

O desenvolvimento de materiais translúcidos³ trouxe para a arquitetura uma nova gama de possibilidades de aproveitamento e tratamento da luz natural, uma vez que não só as aberturas definiam a forma como a luz seria admitida, mas sim o material de fechamento desta. Os vitrais, oriundos da Europa Medieval, ganharam destaque na arquitetura gótica se valendo da luz natural associada a imagens translúcidas. Estes painéis iluminados constituíam o elemento principal de promoção da sensação visual das igrejas desse período. A rosácea de *Sainte-Chapelle* (Figura 3), em Paris, é um dos representantes do uso do vitral no período gótico.

Figura 3: Rosácea de *Sainte-Chapelle*, na cidade de Paris, França.



Fonte: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8f/Sainte_Chapelle_-_Rosace.jpg.

O uso desse elemento foi destaque também na arquitetura moderna ao redor do mundo, tendo representações, entre outras, nas obras de Le Corbusier (Figura 4), Frank Lloyd Wright (Figura 5) e, no Brasil, nas obras de Oscar Niemeyer (Figura 6).

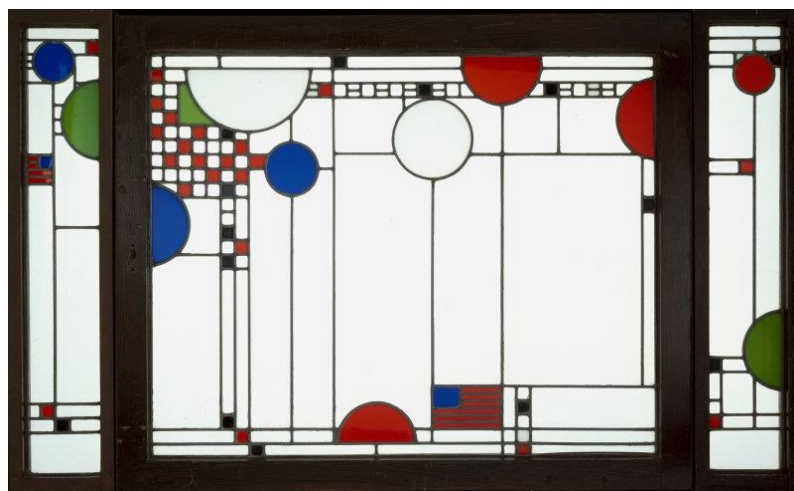
³ Meio translúcido segundo a CIE consiste naquele onde a transmissão da radiação visível se dá, em maior parte, de forma difusa, logo os objetos não são claramente distinguíveis através deste (fonte: e-ILV, disponível em <http://eilv.cie.co.at/> (acesso em 17/09/2015)).

Figura 4: Iluminação natural no interior da capela de Notre Dame, de Le Corbusier, em Rochamp, França.



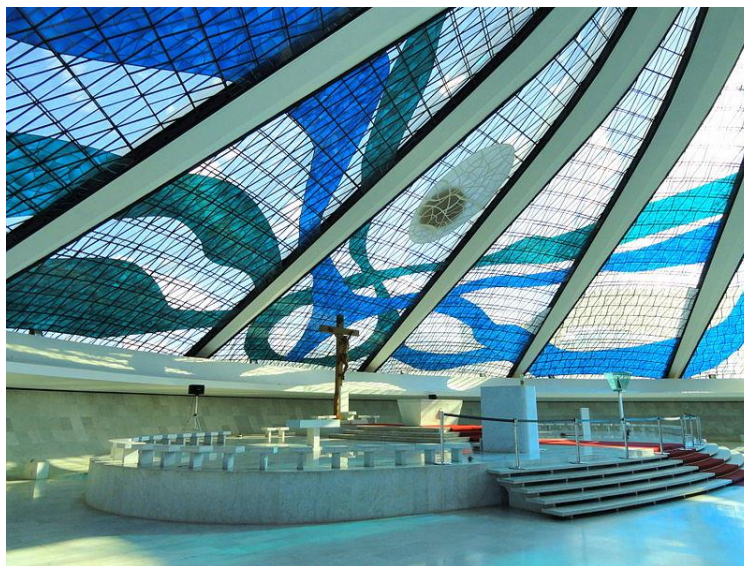
Fonte: Rory Hyde, disponível em <http://www.archdaily.com.br/br/01-16931/classicos-da-arquitetura-capela-de-ronchamp-le-corbusier/08-rory-hyde>.

Figura 5: Vitral de Avery Coonley Playhouse, de Frank L. Wright, em Illinois, Estado Unidos.



Fonte: <http://www.artic.edu/aic/collections/artwork/105203>.

Figura 6: Vitrais da Catedral de Brasília de Oscar Niemeyer, Brasil.



Fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Interior_of_the_Catedral_de_Bras%C3%ADlia_-_DSC00247.JPG.

As necessidades específicas de algumas regiões do globo terrestre fizeram com que surgissem outros sistemas de tratamento de aberturas que pudessem ser mais adequados, tanto ao clima, quanto aos aspectos culturais de uma determinada localidade. Os elementos vazados, como telas e treliçados, ganharam destaque inicialmente na arquitetura oriental, como soluções que permitiam a filtragem da luz natural, reduzindo sua admissão para o interior da edificação e ao mesmo tempo garantindo certa privacidade para quem habitava a mesma.

Os muxarabis (Figura 7) foram grandes exemplares de elementos vazados utilizados na arquitetura islâmica. Os mesmos consistiam basicamente em elementos treliçados de madeira, comumente ornados por entalhes diversos, instalados em sacadas permitindo a visão do interior para o exterior e evitando o inverso. Segundo Paulert (2012), o nome provém da evolução do termo árabe *maxarabiya*, passando por um afrancesamento até chegar à versão “muxarabi”.

Figura 7: Exemplo de aplicação de muxarabi.



Fonte: <http://www.anualdesign.com.br/blog/5887/a-origem-do-cobogo/>.

O potencial de controle térmico e luminoso dos muxarabis foram evidenciados com a releitura desse sistema no projeto do Instituto do Mundo Árabe (Figura 8), na França. O projeto de autoria de Jean Novel, Gilbert Lezenes, Pierre Soria e *Architecture Studio*, inaugurado em 1987, faz uso de fechamentos verticais com sistemas dinâmicos de diafragmas associados células fotossensíveis para controle de luz natural (Zakia, 2012). Esse sistema foi cuidadosamente disposto para que o resultado plástico funcionasse como referência visual aos muxarabís.

Figura 8: Ação da luz natural sobre a releitura dos muxarabís com os sistemas de diafragmas do Instituto do Mundo Árabe, na França.



Fonte: <http://moreaedesign.files.wordpress.com/2010/09/mlight6.jpg>.

O encontro cultural entre os povos da península ibérica com o mundo islâmico resultou em um processo de hibridismo que fez com que os muxarabis passassem a permear, com algumas transformações, a arquitetura portuguesa até a chegada deste elemento ao território brasileiro. A compatibilidade da função de filtro contra a radiação solar com a realidade climática do Brasil permitiu que este elemento construtivo não só fosse amplamente empregado como levou a criação de novas soluções construtivas baseadas no princípio do controle da iluminação natural e na permeabilidade da envoltória.

A grande contribuição brasileira dentro desse aspecto se deu com a criação do Cobogó (Figura 9), que consiste em elementos modulares vasados, comumente feitos em concreto ou cerâmico, com o objetivo de gerar fechamento permeável, com certo nível de proteção, à ventilação e à iluminação natural. Sua primeira aplicação se deu no projeto da Caixa D'água Modernista no ano de 1929 (Figura 10), na cidade de Recife - PE, cujo relato abaixo explicita as características do material e da origem de sua nomenclatura:

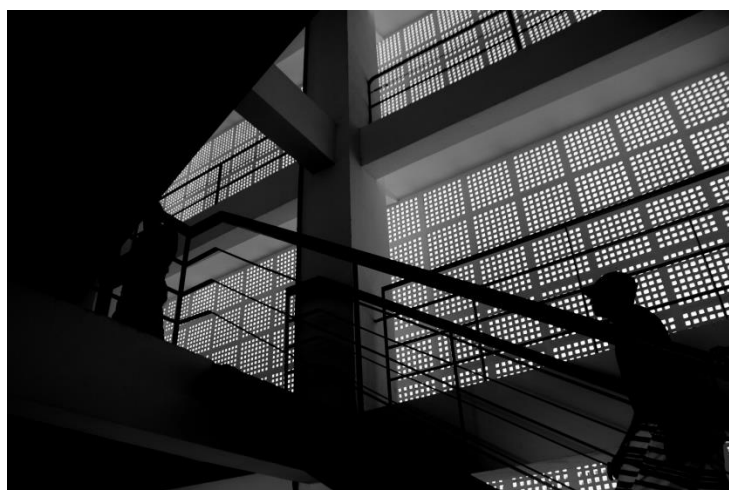
Um “quebra-sol”, que auxiliava na amenização do calor solar forte, incidente nas tubulações, preservando e resfriando também a temperatura das águas acumuladas no tanque superior — a caixa d'água. A revisita à proposta original dos três pioneiros que criaram originalmente o composto industrial, em 1929, e o patentearam nesse ano, incorpora novas formas de expressão arquitetônica e plástico-funcional, contribuindo para sua afirmativa útil. Nasceu assim o Cobogó de Pernambuco, nomeado pelas iniciais dos nomes de seus três inventores: CO de Coimbra (Amadeu Oliveira Coimbra), BO de Boeckman (Ernst August Boeckam) e GO de Góes (Antonio de Góes). (VIEIRA, 2012, p.18)

Figura 9: Modelo de Cobogó.



Fonte: <http://construindo.org/cobogo/>.

Figura 10: Cobogós da Caixa D'água Modernista, em Olinda, projeto de Luis Nunes.

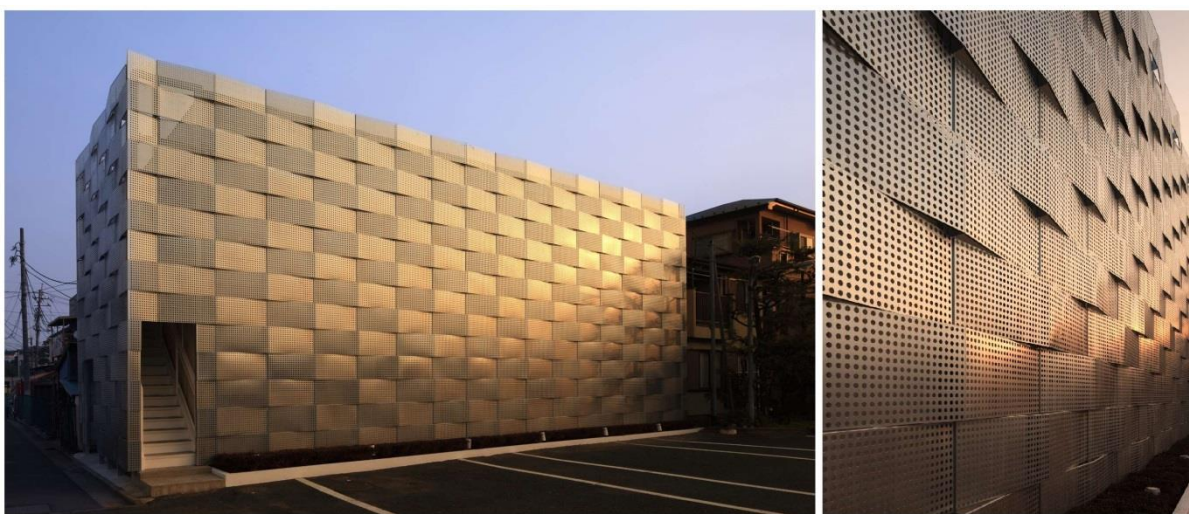


Fonte: Jan Ribeiro, disponível em <<http://kolekto.wordpress.com/>>.

Dentro desse parâmetro de tratamento e controle da luz natural é possível encontrar, na história mais recente da arquitetura, o uso de telas metálicas ou chapas perfuradas. A aplicação desses materiais tem mantido a essência de seus correspondentes históricos no que diz respeito ao tratamento da luz natural por meio de superfícies capazes de oferecer permeabilidade controlada pelo percentual de abertura e pelas características físicas dos materiais utilizados. O uso desses materiais permite, além do controle da luz admitida para interior, um tratamento estético dinâmico da fachada do edifício, uma vez que a reposta luminosa das telas ou chapas metálicas à incidência de luz irá variar de acordo com a posição do sol.

O projeto de restauro de um galpão em Edogawa, Tokyo, no Japão (Figura 11) promove o uso de chapas perfuradas como uma segunda fachada ao prédio antigo. A solução gerada pelo escritório *Jun'ichi Ito Architect & Associates* foi balizada pela necessidade de evitar o dano ambiental inerente a demolição de um prédio antigo e construção de um novo. As chapas perfuradas foram introduzidas como resposta a necessidade de se aliar ventilação e iluminação natural e segurança do prédio garagem.

Figura 11: Chapas perfuradas na fachada do galpão garagem em Edogawa, Tokyo, no Japão.



Fonte: Adaptado de <<http://www.archdaily.com/267316/edogawa-garage-club-renovation-junichi-ito-architect-associates/>>.

A associação de técnicas de desenho auxiliado por computador com as novas possibilidades de fabricação tem permitido a incorporação de chapas com furos estrategicamente determinados de acordo com o controle de luz e efeito estético pretendido para o ambiente. Essa aplicação fica evidente no projeto do Centro de Visitantes das Cataratas do Reno, em Zurique, na Suíça (Figura 12). O projeto do escritório *Leuppi & Schafroth Architekten* vale-se de elementos geométricos recortados em chapas de aço para garantir a filtragem e o efeito que a luz natural assumirá no interior do prédio.

Figura 12: Centro de Visitantes das Cataratas do Reno, em Zurique, na Suíça.



Fonte: Adaptado de < <http://www.archdaily.com.br/br/01-137059/centro-de-visitantes-das-cataratas-do-reno-leuppi-e-schafroth-architekten>>.

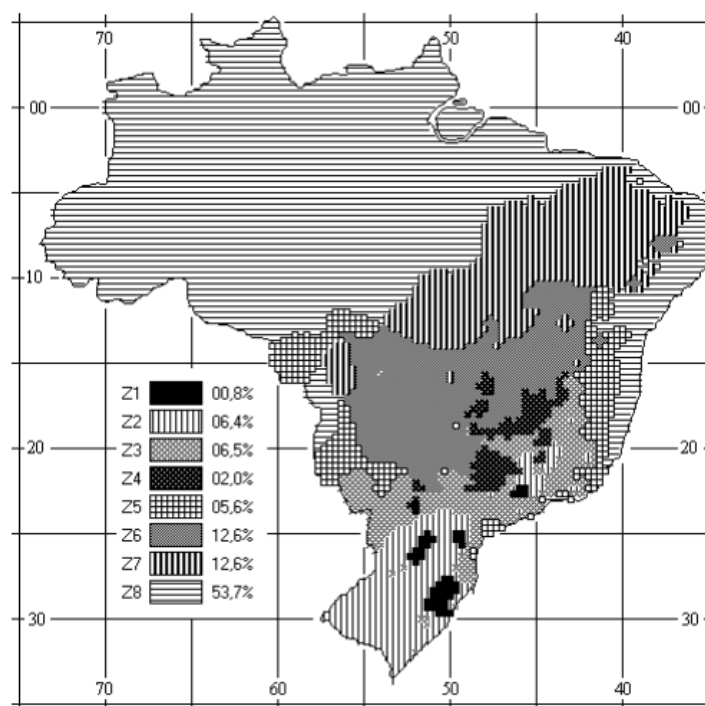
A luz natural associada a arquitetura envolve aspectos práticos relacionados aos índices quantitativos de energia a ser admitida pelo edifício, porém é inegável a importância das características semânticas que a luz pode vir a assumir dependendo da forma como esta é tratada. Subsidiar essas relações da luz com estudos científicos pode vir a auxiliar o arquiteto em suas decisões de projeto e ao mesmo tempo impulsionar o uso mais eficiente da luz natural.

3.2. Arquitetura e Clima

A arquitetura, bem como seu desempenho energético, está intrinsecamente ligada ao clima do local no qual esta está sendo praticada. Gurgel (2012) chama atenção para o conceito de Casa Passiva como base para uma arquitetura sustentável. Segundo a autora o conceito de “passivo” está ligado ao uso de meios naturais e consequentemente pouca energia elétrica para a promoção do conforto em ambientes projetados. Ainda segundo Gurgel (2012) o primeiro princípio do design passivo é que o projeto seja 100% adaptado ao clima local, logo, o conhecimento do clima e da forma como o edifício se relacionará como o mesmo durante o ciclo anual é fundamental.

Partindo do princípio de que o clima é fundamental para a arquitetura, há de se considerar como este será investigado e descrito dentre as diversas formas de caracterização climáticas existentes. Segundo Frota (2003), as distinções entre os tipos de climas poderiam ser tão diversificadas quanto as combinações entre os vários elementos climáticos. É importante ressaltar que os aspectos climáticos podem apresentar diferentes relações de relevância de acordo com a área de estudo, às quais estes aspectos estão direcionados. Diante disto, é necessário que se busque uma caracterização climática direcionada à arquitetura. A NBR 15220-3 (Desempenho térmico de edificações - Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social) estabelece, por meio de um mapa, uma divisão do território brasileiro em oito Zonas Climáticas (Figura 13).

Figura 13: Zoneamento bioclimático brasileiro.



Fonte: NBR 15220-3.

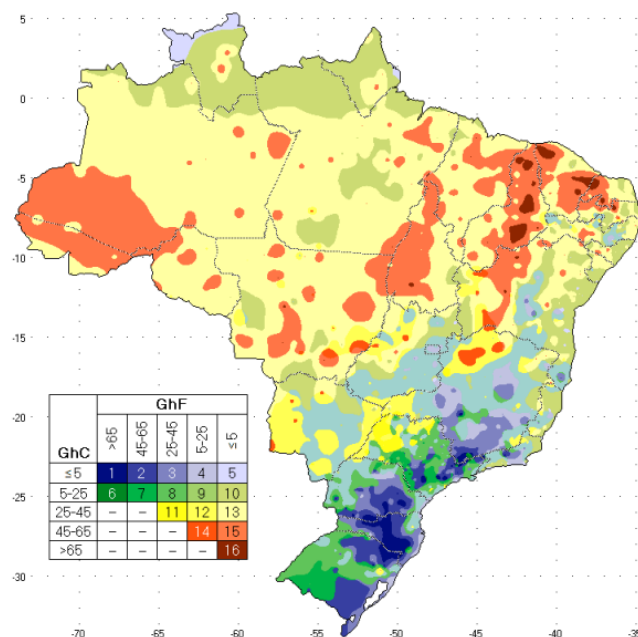
Cada uma dessas zonas possui um conjunto de diretrizes que devem ser seguidas no desenvolvimento dos projetos, a serem inseridos nas mesmas, visando a promoção do conforto térmico. Apesar de esta ferramenta funcionar como um parâmetro climático geral para as ações de projeto, é fundamental a consideração de que, ainda que inseridos em uma mesma zona, serão identificadas diferenças

entre o comportamento climático entre áreas relativamente próximas. Diante desta realidade, já existem projetos de revisão para este zoneamento buscando diminuir as disparidades encontradas. Entretanto, a definição da escala de divisão permanece como uma questão polêmica entre os pesquisadores deste campo.

Segundo Roriz (2012), em sua segunda proposta de revisão do zoneamento bioclimático do Brasil, o objetivo é dividir o território brasileiro em zonas que reflitam do melhor modo possível a diversidade climática do país em relação ao comportamento térmico e energético de edificações. O mesmo autor ressalta que o uso de critérios excessivamente rigorosos resultam em excessiva quantidade de zonas. Em contraposição a isso, critérios muito genéricos podem mascarar diferenças climáticas que seriam significativas para o comportamento térmico e energético de edificações.

A proposta de revisão apresentada por Roriz como substituição para o modelo atual aplica dois parâmetros para classificar os climas. O primeiro é proporcional ao total anual de graus-horas de calor (GhC) e o segundo, proporcional ao total anual de graus-horas de frio (GhF). Segundo o autor, a definição desses parâmetros foi baseada nos intervalos confortáveis de temperatura da Carta Bioclimática proposta por Givoni (1992) para países em desenvolvimento, onde os valores encontrados são 18 a 28 °C, sendo 18 °C o limite inferior da Zona de Conforto e 28 °C uma média entre os limites superiores para diferentes taxas de umidade. Foram definidas, com base nos resultados encontrados, 16 zonas bioclimáticas apresentadas na proposta de zoneamento da Figura 14.

Figura 14: Segunda proposta para o Zoneamento Bioclimático do Brasil.



Fonte: Roriz (2012).

Outra forma de avaliar o clima local é coletar dados dos elementos climáticos e avaliar que relações estes elementos irão promover no edifício. Com isso, é possível estabelecer, para uma situação específica, as estratégias arquitetônicas que serão incorporadas, dependendo das necessidades de uso da edificação e considerando o impacto gerado no entorno imediato.

Segundo Frota (2003) as variáveis climáticas que mais interferem no desempenho térmico dos espaços construídos são:

- Oscilação diária e anual da temperatura;
- Umidade relativa;
- Quantidade de radiação solar incidente;
- Grau de nebulosidade do céu;
- Predominância de época;
- Sentido dos ventos;
- Índices pluviométricos.

Já em relação ao desempenho luminoso de uma edificação, Majoros (1998) indica que a iluminação natural depende basicamente da luz que chega ao edifício, do sol

ou do céu. Segundo IESNA⁴ (2000) os movimentos diários e sazonais do Sol em relação a uma determinada localização geográfica gera um padrão previsível de quantidade e direção de luz natural disponível, sobrepondo-se a este padrão previsível, deve-se considerar a variação causada por mudanças no clima, temperatura e poluição do ar. Ainda segundo o IESNA (2000) a quantidade de energia visível utilizável no espectro de energia solar varia de acordo com a profundidade e a condição da atmosfera através da qual a luz atravessa.

É importante avaliar que, em se tratando de características climáticas, um aspecto pode ser positivo em uma aplicação e negativo em outra. Este fato pode ser entendido avaliando-se as áreas localizadas nas regiões tropicais onde a oferta de radiação solar se apresenta como um potencial positivo em relação a exploração da iluminação natural e negativo em relação ao incremento excessivo de carga térmica para o interior do edifício. Esta dualidade reforça a necessidade de estudos que permitam o aproveitamento do potencial natural de cada região para a promoção de edifícios com menor demanda energética em seu funcionamento.

3.2.1. O Clima na cidade de Belém

Ainda que o foco do presente estudo esteja direcionado para a análise do uso da iluminação natural, entender o clima local de uma forma geral é fundamental para ponderar quanto aos aspectos inerentes à radiação solar e à influencia da mesma na região de estudo.

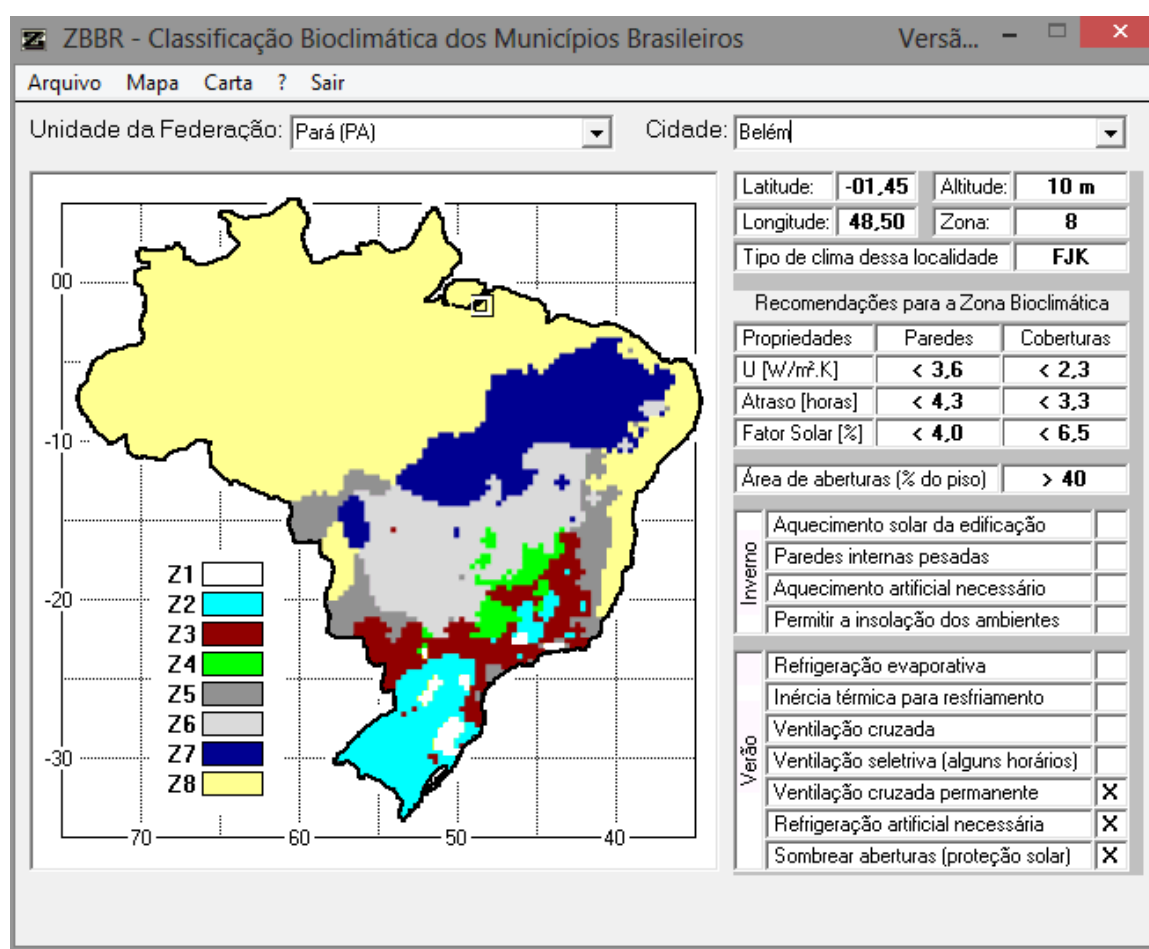
Para situar climaticamente o local onde serão desenvolvidos os experimentos, foram levantados os dados climáticos da cidade de Belém, com base no zoneamento bioclimático definido pela norma NBR 15220-3, nos dados da plataforma *online* do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), dados de características de céu do sistema METAR⁵ e em informações extraídas de *softwares* de avaliação climatológica.

⁴ Illuminating Engineering Society of North America

⁵ Segundo publicação Ministério da Defesa, Comando da Aeronáutica (2014), o METAR consiste em um conjunto de informações meteorológicas regulares, obtidas a cada hora, por observação em aeródromos.

De acordo com o *software* ZBBR⁶, a cidade de Belém está localizada a latitude -1,45°, longitude de 48,50° Oeste, a uma altitude de 10 metros acima do nível do mar e pertence a Zona 8 na classificação bioclimática brasileira. O programa ainda indica as recomendações de transmitância de carga térmica, atraso e fator solar para paredes e coberturas, percentual de aberturas em relação a área do piso e orientações quanto a ações indicadas para o verão e o inverno, conforme exposto na Figura 15.

Figura 15: Classificação Bioclimática da cidade de Belém segundo o programa ZBBR.



Fonte: Programa ZBBR.

A proximidade com a linha do equador indica para a cidade de Belém um comportamento climático sem grandes variações anuais no que diz respeito à influência da trajetória solar, uma vez que os limites máximos da trajetória ao sul são muito próximos, em termos de variação angular, dos limites máximos de trajetória ao

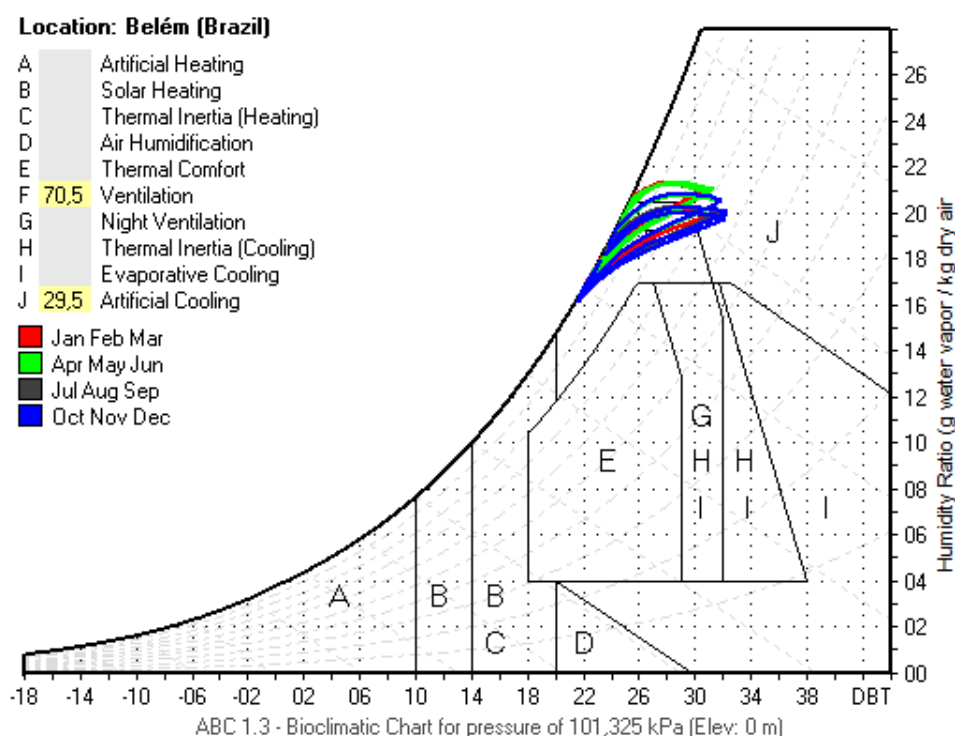
⁶Software de classificação bioclimática das sedes dos municípios brasileiros, conforme a ABNT NBR 15220-3, desenvolvido pelo Prof. Dr. Maurício Roriz, em São Carlos (SP) em Abril de 2004.

norte. Outro aspecto relevante quanto a posição próxima à linha do equador está no fato de que a quantidade de radiação solar recebida por um local é inversamente proporcional à latitude do mesmo (Frota, 2004).

Além da latitude e altitude de um local, as características de temperatura e umidade relativa do ar são fundamentais quando se pondera sobre o conforto térmico dos seres humanos. Uma das formas de se avaliar as condições de conforto em uma determinada localidade relacionando as diversas variáveis climáticas relevantes a este índice consiste na interpretação dos dados da carta bioclimática resultante dos estudos de Givoni em 1992 (Lamberts, 1997), baseado nos estudos de psicrometria.

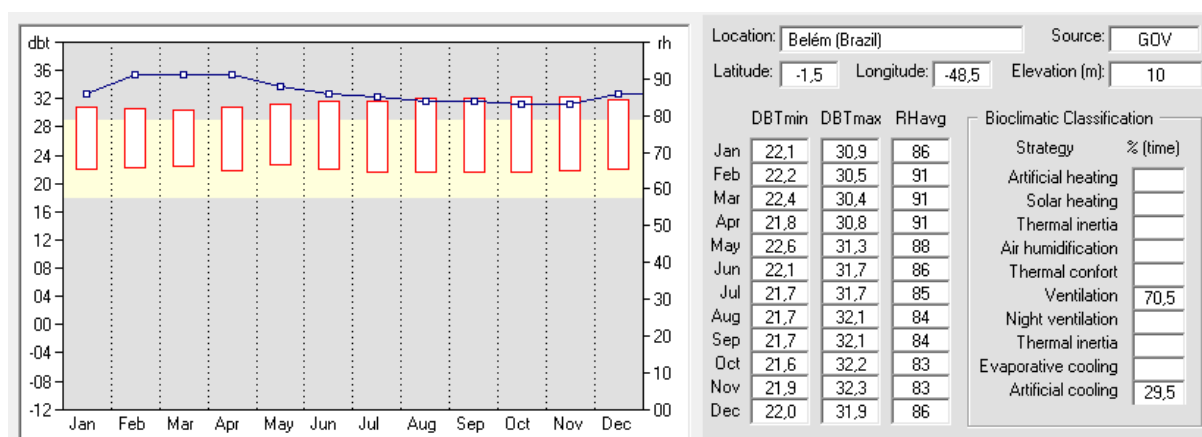
Esta carta bioclimática (Figura 16), também identificada como carta psicrométrica, relaciona os dados de Temperatura de Bulbo Seco e Úmido, Umidade Absoluta e Relativa. Com base nesses índices são plotados pontos relativos a cada dia, de um ano, de uma determinada região. A carta ainda apresenta uma divisão em zonas nas quais são identificadas as ações recomendadas para que se atinja o conforto térmico ou a constatação do mesmo.

Figura 16: Carta Bioclimática para a cidade de Belém extraída do *software* ABC.



Fonte: Programa ABC.

Figura 17: Índices Máximos e Mínimos de Temperatura de Bulbo Seco (DBT – *Dry Bulb Temperature*) e Umidade Relativa média (RHavg) para a cidade de Belém.



Fonte: Programa ABC.

O programa ABC indica, por meio da plotagem de pontos na carta psicrométrica, a condição anual para a cidade de Belém. Na Figura 17 são expostos os índices utilizados pelo *software* para a indexação dos pontos diários na carta. Pode-se perceber, com a análise da carta, que Belém não apresenta, segundo os parâmetros do *software*, horas de conforto térmico. Segundo esta análise, em 70,5% das horas do ano em Belém, é indicado o uso da ventilação como estratégia para atingir níveis de conforto, nas demais horas será necessário o resfriamento artificial.

O conhecimento da realidade climática da cidade de Belém indica a necessidade de se evitar ao máximo o incremento de carga térmica em ações que visem promover o conforto ambiental no interior da edificação. No que diz respeito ao uso da iluminação natural devem ser adotadas estratégias que priorizem a radiação difusa em relação à radiação direta.

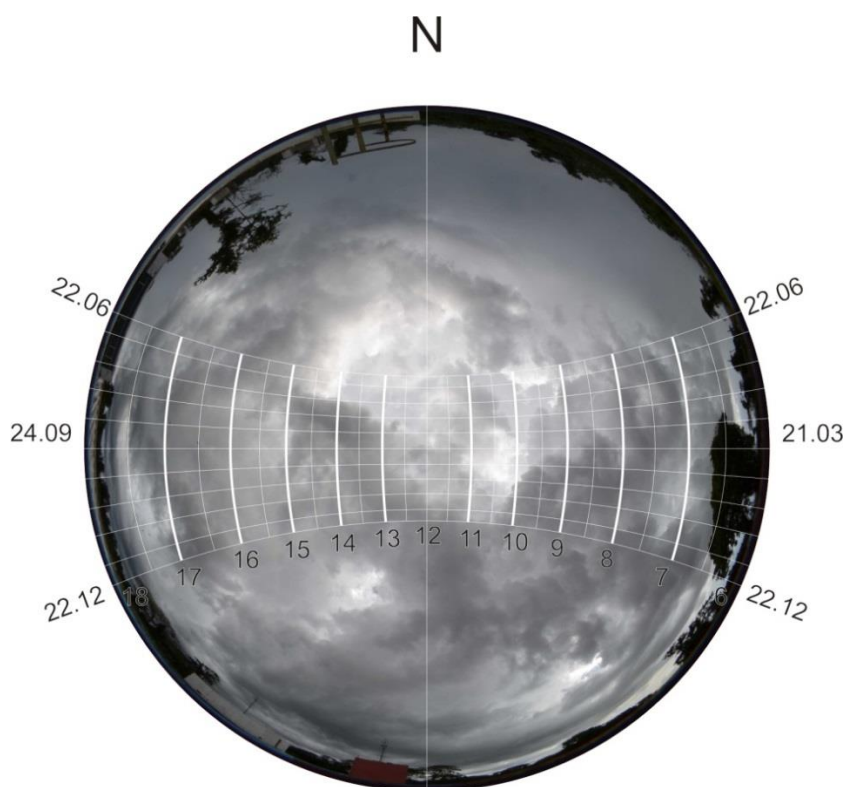
3.2.2. O clima e a luz natural

Quanto à disponibilidade de luz natural, os fatores que mais influenciam são a **sazonalidade**, variando a posição de incidência solar durante as horas do dia e época do ano; a **qualidade do ar**; as **características físicas e geográficas do local e o clima**, definindo basicamente o padrão de céu que ocorrerá no local de interesse (Vianna, 2001).

Para a análise de padrão de céu, nos estudos de iluminação natural indica-se que o mesmo seja classificado em três condições: Céu Claro, Parcialmente Nublado ou Parcialmente Encoberto e Encoberto (Brown, 2004; ABNT NBR 15215-2, 2005). De acordo com a NBR 15215 (2005) a caracterização das condições de céu é estimada visualmente pela observação do percentual de cobertura de nuvens. A mesma norma indica que 0% e 35% é considerado condição de céu claro, entre 35% e 75% é considerado céu parcial e entre 75% e 100%, céu encoberto.

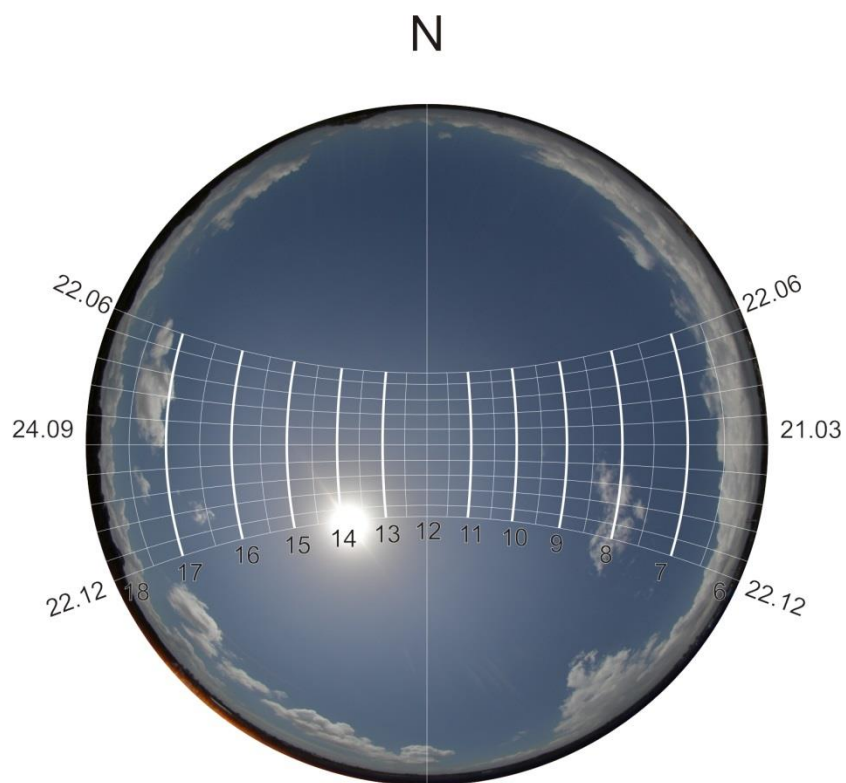
Segundo Brown (2004) o céu encoberto (Figura 18) é definido pela não definição da posição do sol na abóbada celeste devido intensidade da nebulosidade, apresentando com isso uma distribuição mais homogênea da luz natural. Para este céu, o zénite é o ponto mais brilhante, sendo até três vezes mais brilhante que o horizonte. Ainda segundo o mesmo autor, o céu claro (Figura 19) brilha menos que o céu encoberto, com exceção do sol e das áreas imediatas a ele. Nesse caso, a relação de brilho se inverte, em relação ao anterior, sendo até três vezes maior no horizonte que no zénite. Brown (2004) ainda indica que o componente de luz direta, por sua intensidade, pode vir a ser uma fonte de ofuscamento e calor indesejável, dependendo da situação local. Já o céu parcialmente encoberto (Figura 20) apresenta grande variação de luminosidade uma vez que apresenta características dos dois extremos, com áreas com presença de nuvens e outras livres, permitindo que o sol esteja, em alguns momentos, obstruído e em outros, exposto.

Figura 18: Céu Encoberto Belém. Foto feita em 20/01/2015 às 15:28h.



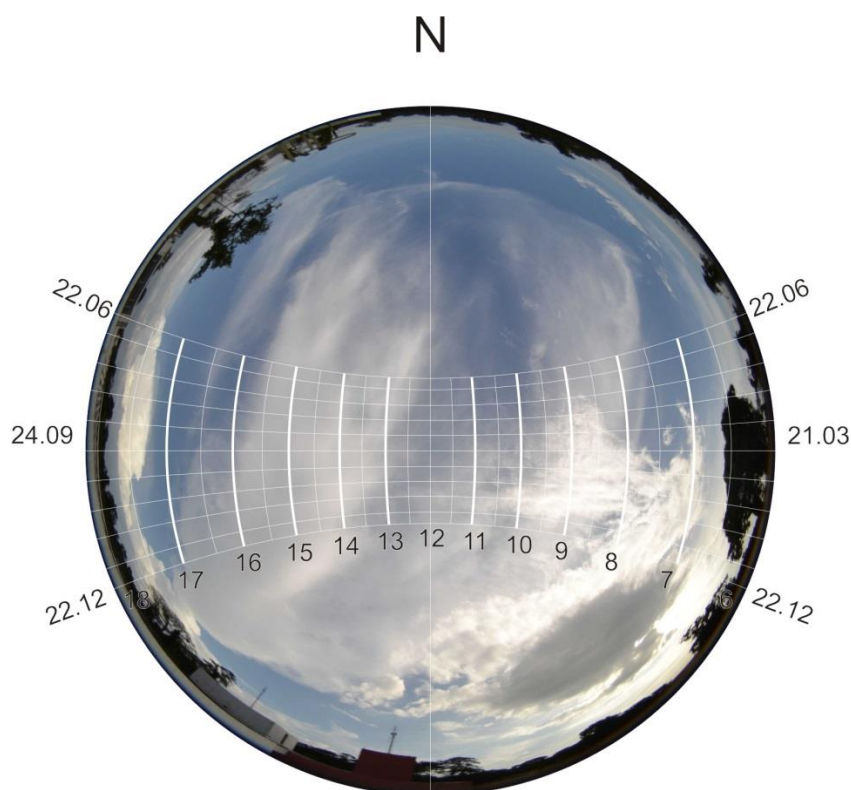
Fonte: Autor.

Figura 19: Céu Claro Belém. Foto feita em 22/01/2015 às 13:29h



Fonte: Autor.

Figura 20: Céu Parcialmente Encoberto Belém. Foto feita em 20/01/2015 às 16:45h



Fonte: Autor.

Quanto à caracterização da luz natural no território brasileiro, temos o estudo apresentado pelo professor Paulo Sérgio Scarazzato, em sua tese, no ano de 1995, na qual o mesmo apresenta as iluminâncias externas, em planos verticais e horizontais, para os tipos de céu claro, parcialmente nublado e encoberto, para todas as capitais. Scarazzato (1995) apresenta ainda, em sua pesquisa, o conceito de “dia típico”, no qual é definido o dia característico, quanto as condições de iluminação natural, com maior ocorrência durante o ano, para cada localidade. Segundo o referido estudo, o dia luminoso típico para a cidade de Belém é o dia **9 de janeiro, com padrão de céu encoberto**. Os índices de iluminâncias em KLux na cidade de Belém, para os planos verticais e plano horizontal, sob condição de céu parcialmente encoberto, são apresentados nas Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1: Iluminâncias para a cidade de Belém nas 4 estações, **Verão**, **Outono**, **Inverno** e **Primavera** – Plano Horizontal (**V.O.I.P**–Horizontal).

VALORES DE ILUMINÂNCIAS DIRETA E DIFUSA (Klux) PARA A CIDADE DE BELÉM CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO - PLANO HORIZONTAL				
HORA	V	O	I	P
8	23,4	29	25,6	34,5
9	47,6	52,8	49,1	58,6
10	71,1	74,3	71,1	79,2
11	88,9	89,3	87,1	92,7
12	98,2	95,6	94,8	97,2
13	97,9	92,6	93,1	92
14	87,9	80,4	82,3	78
15	69,7	60,9	63,8	56,9
16	95,9	37,3	40,7	32,8
17	22	15,6	18,3	12,3
18	5,7	2,2	3,8	0,3

Fonte: Scarazzato (1995).

Tabela 2: Iluminâncias para a cidade de Belém – Planos Verticais.

VALORES DE ILUMINÂNCIAS (Klux) PARA A CIDADE DE BELÉM CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO - PLANO VERTICAL																								
HORA	VERÃO								EQUINÓCIO								INVERNO							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
8	7,5	19,4	31,2	29	14,8	6,6	4,8	5,1	17,9	34,3	36,2	21,8	8,4	5,9	5,6	2,7	16,3	31,1	33	20,1	7,9	5,4	5,2	7,1
9	11	29	49	46,7	24,3	10,3	7,9	8,1	26,9	48,7	49,4	28,4	11,5	8,8	8,7	11,3	25,7	47,1	48,2	27,9	11,1	8,4	8,3	10,8
10	13,4	29,5	52	52,6	30,8	13,6	10,9	10,9	33	51,9	48,8	26,3	13,6	11,4	11,7	14,5	32,1	51,8	49,4	27	13,3	11,1	11,3	14,1
11	14,8	22,6	43	48,7	34,8	16,5	13,9	13,4	36,8	46,3	37,7	18,2	14,8	13,9	14,7	17,5	36,2	47,4	39,6	19,6	14,7	13,5	14,3	17,1
12	15,7	17,1	26,7	38	37,2	25	16,8	15,6	38,8	34,7	21,2	16,4	15,4	15,8	17,6	29,9	38,5	36,5	23,7	16,6	15,4	15,6	17,2	27,9
13	15,6	15,5	16,6	24	37,1	38,9	27,9	17,2	37,7	21,4	15,7	14,6	15,1	17,3	32,2	42,8	37,9	23,2	16,1	14,9	15,2	17,1	29,7	40,9
14	14,8	13,3	13,7	16,3	34,6	49,2	43,9	23,2	34,6	15,6	12,8	12,3	14,1	24	45,8	50,8	35	16	13,2	12,7	14,3	22,8	44,1	49,8
15	13,2	10,7	10,7	13,3	30,4	52,6	52,2	29,7	29,4	12,5	9,8	9,7	12,3	28,5	50,7	51,1	30,2	12,9	10,2	10,1	12,7	28,2	50,4	51,3
16	10,8	7,9	7,7	10	23,7	45,9	48,2	28,7	21,4	9	6,7	6,9	9,6	25,2	42,6	40,7	22,7	9,5	7,2	7,3	10,1	26,1	44,4	42,8
17	7,2	4,9	4,6	6,3	14,1	27,4	29,5	18,4	10,7	5,1	3,6	3,9	5,8	13,4	21	19,6	12,4	5,7	4,1	4,3	6,5	15,4	24,6	23
18	2,7	1,6	1,5	2,2	4	6,4	6,9	4,8	1,6	0,8	0,5	0,6	1	1,9	2,8	2,6	2,8	1,5	1	1,1	1,8	3,3	4,7	4,4

Fonte: Scarazzato (1995).

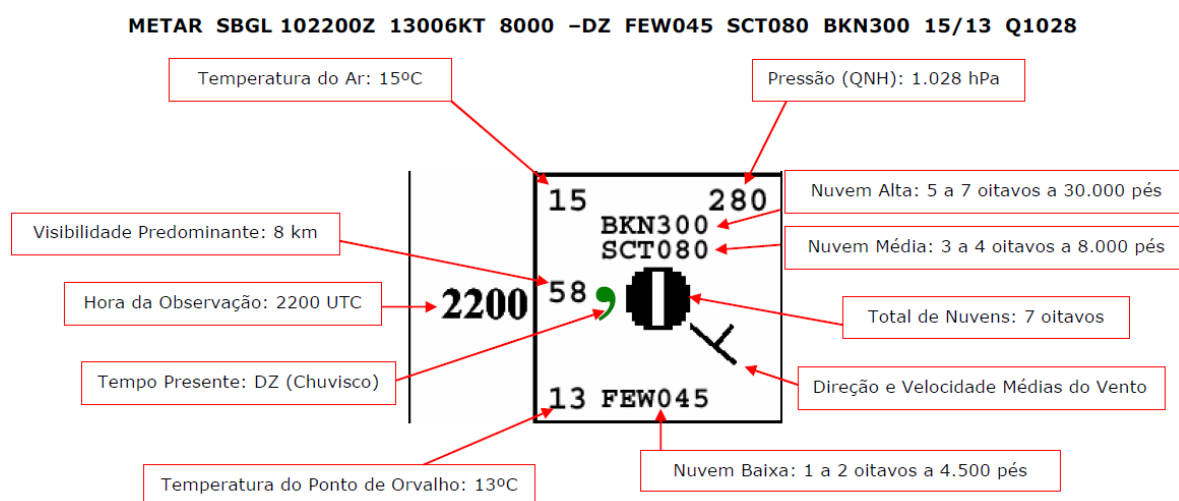
Ainda em relação à caracterização climática voltada para a iluminação natural, o sistema METAR, consiste em uma ferramenta potencial para a avaliação de uma determinada localidade, a partir do padrão de céu. Segundo publicação Ministério da Defesa, Comando da Aeronáutica, o METAR consiste em um conjunto de informações meteorológicas regulares, obtidas a cada hora, por observação em aeródromos. Ainda segundo a referida publicação, este informe regular, apresenta as seguintes informações:

- Grupos de identificação;
- Vento à superfície;
- Visibilidade horizontal;

- Alcance visual na pista (quando houver);
- Tempo presente;
- Nuvens;
- Temperatura do ar do ponto de orvalho;
- Pressão atmosférica;
- Informações suplementares de inclusão condicional sobre tempo recente, cortante de vento, temperatura da superfície do mar, estado do mar e, por Acordo Regional de Navegação Aérea, o estado da pista.

Segundo indicação do professor Dr. Paulo Sérgio Scarazzato, durante orientação dentro do programa PROCAD⁷, realizado entre julho e agosto de 2014, os dados relativos à presença de nuvens, disponibilizados no METAR, podem ser tomados como base para uma aproximação de caracterização da ocorrência de padrão de céu em Belém. O METAR divide a ocorrência de nuvens em 9 (de 0 a 8) possibilidades de densidade representadas por um ícone circular preenchido de acordo com um padrão internacional de representação (Figura 21).

Figura 21: : Indicação de elementos em uma plotagem METAR, relativos a uma determinada hora.



Fonte: http://www.redemet.aer.mil.br/consulta_msg/tabuleiro_online_ajuda.pdf.

A escala de 0 a 8 representa, segundo o METAR, as condições de céu sem nuvens (SKC = 0), com poucas nuvens (FEW = 1 a 2), com nuvens esparsas (SCT = 3 a 4), nublado (BKN = 5 a 7) e encoberto (OVC = 8). Para a conversão dos dados de

⁷Programa Nacional de Cooperação Acadêmica. Tem por objetivo apoiar projetos conjuntos de pesquisa utilizando-se de recursos humanos e de infraestrutura disponíveis em diferentes IES, estimulando a cooperação entre Programas de Pós-Graduação.

padrão de céu obtidos pelo sistema METAR, em Belém, foi utilizada a correspondência do padrão de caracterização de céu do METAR para o padrão CIE (Comissão Internacional de Iluminação), indicada por Souza (2014), em sua tese de doutorado (Tabela 3).

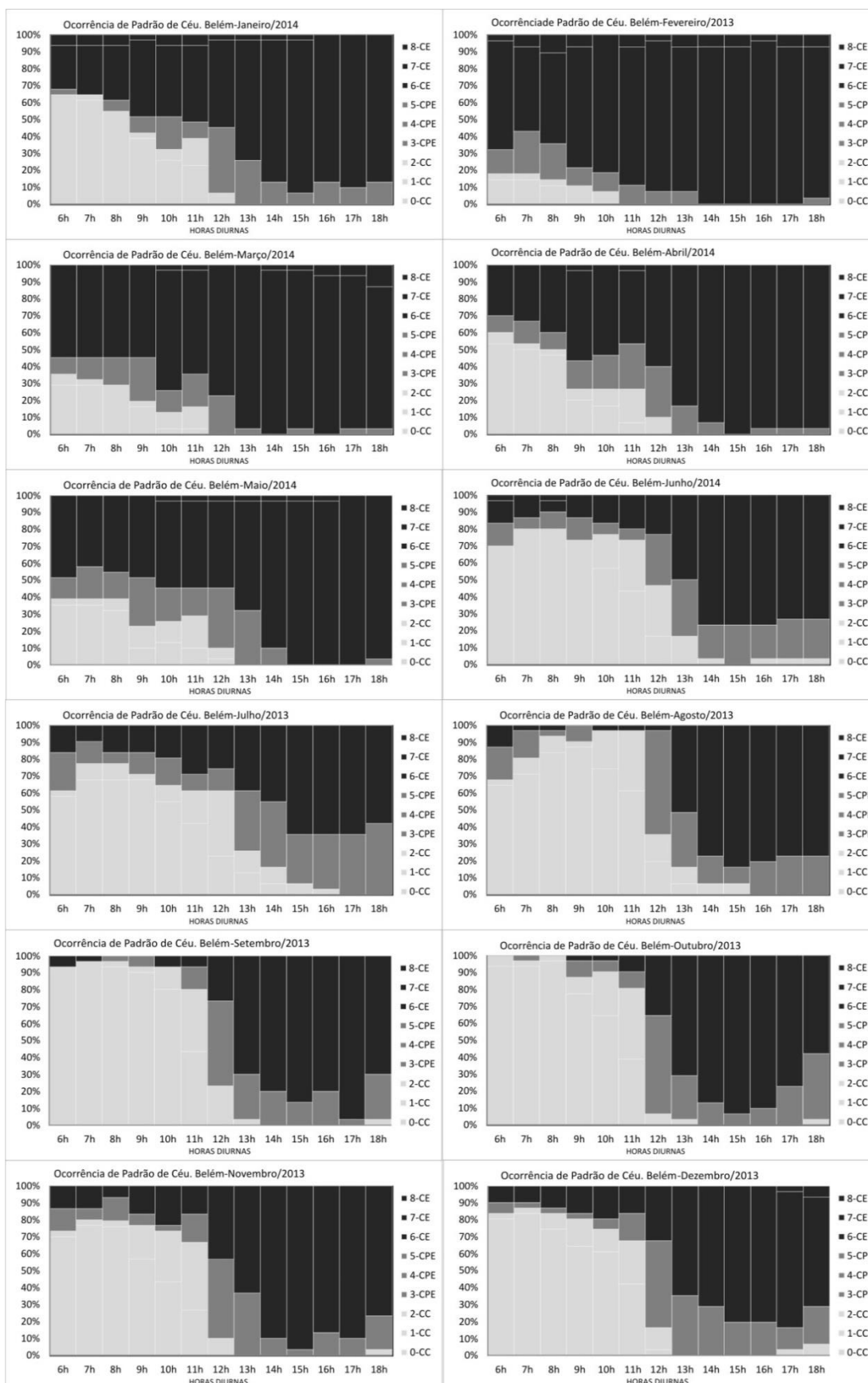
Tabela 3: Tabela de correspondência de padrão de céu.

Okta	Porcentagem	Condição do céu (METAR)	Grupo de preferência
 0	$0\% \leq CC < 6,25\%$	Céu Claro, sem nuvens (SKC)	Céus Claros, CIE 11 a 15
 1	$6,25\% \leq CC < 18,75\%$	Céu Claro, com poucas nuvens (FEW)	
 2	$18,75\% \leq CC < 31,25\%$		
 3	$31,25\% \leq CC < 43,75\%$	Céu Parcialmente Encoberto, com nuvens esparsas (SCT)	Céus Parcialmente Encobertos, CIE 6 a 10
 4	$43,75\% \leq CC < 56,25\%$		
 5	$56,25\% \leq CC < 68,75\%$	Céu Parcialmente Encoberto, muitas nuvens (BKN)	
 6	$68,75\% \leq CC < 81,25\%$		
 7	$81,25\% \leq CC < 93,75\%$		
 8	$93,75\% \leq CC \leq 100\%$	Céu Encoberto (OVC)	

Fonte: Adaptado de Souza (2014).

Com base nas referências citadas foram coletados os dados de padrão de céu, em um período de um ano, para a cidade de Belém. Os dados de referência foram coletados no site http://www.redemet.aer.mil.br/consulta_msg/tabuleiro_online.php?ID_REDEMETS=qqs2f5ibo6qntbh98kc2nebl47 com base em observações feitas no Aeroporto Internacional Val de Cans. Foram organizados os dados diários do período entre os meses de julho de 2013 e junho de 2014. Cada mês gerou um gráfico e uma tabela, o gráfico apresenta o percentual de cada padrão de céu (CC-Claro, CPE-Parcialmente Encoberto e CE-Encoberto) e o horário no qual o mesmo ocorreu, na tabela pode-se verificar, em uma leitura geral, o percentual de horas diurnas, de ocorrência de cada padrão de céu. O resultado das análises pode ser verificado nas figuras a seguir (Figura 22 e Figura 23).

Figura 22: Ocorrência de Padrão de Céu em Belém, por mês.



Fonte: Silva e Franco. Arquivo: OCORRÊNCIA DE PADRÃO DE CÉU – BELÉM.xls

Figura 23: Ocorrência Geral de Padrão de Céu por Mês.

Ocorrência mensal geral (Janeiro-2014)			Ocorrência mensal geral (Fevereiro-2014)			Ocorrência mensal geral (Março-2014)		
CÉU	%	CIE	CÉU	%	CIE	CÉU	%	CIE
8-CE	3,72%	63,77%	8-CE	6,04%	85,16%	8-CE	2,98%	78,66%
7-CE	60,05%		7-CE	79,12%		7-CE	75,68%	
6-CE	0,00%		6-CE	0,00%		6-CE	0,00%	
5-CPE	0,00%	12,90%	5-CPE	0,00%	8,52%	5-CPE	0,00%	10,17%
4-CPE	12,90%		4-CPE	8,52%		4-CPE	10,17%	
3-CPE	0,00%		3-CPE	0,00%		3-CPE	0,00%	
2-CC	2,73%	23,33%	2-CC	0,82%	5,22%	2-CC	2,73%	11,17%
1-CC	0,00%		1-CC	0,00%		1-CC	0,00%	
0-CC	20,60%		0-CC	4,40%		0-CC	8,44%	
Ocorrência mensal geral (Abril-2014)			Ocorrência mensal geral (Maio-2014)			Ocorrência mensal geral (Junho-2014)		
CÉU	%	CIE	CÉU	%	CIE	CÉU	%	CIE
8-CE	0,51%	68,21%	8-CE	1,74%	69,48%	8-CE	0,51%	41,54%
7-CE	67,69%		7-CE	67,74%		7-CE	41,03%	
6-CE	0,00%		6-CE	0,00%		6-CE	0,00%	
5-CPE	0,00%	12,31%	5-CPE	0,00%	14,89%	5-CPE	0,00%	17,69%
4-CPE	12,31%		4-CPE	14,89%		4-CPE	17,69%	
3-CPE	0,00%		3-CPE	0,00%		3-CPE	0,00%	
2-CC	4,62%	19,49%	2-CC	4,96%	15,63%	2-CC	8,46%	40,77%
1-CC	0,00%		1-CC	0,00%		1-CC	0,00%	
0-CC	14,87%		0-CC	10,67%		0-CC	32,31%	
Ocorrência mensal geral (Julho-2013)			Ocorrência mensal geral (Agosto-2013)			Ocorrência mensal geral (Setembro-2013)		
CÉU	%METAR	CIE	CÉU	%	CIE	CÉU	%	CIE
8-CE	0,00%	35,98%	8-CE	0,00%	36,72%	8-CE	0,00%	41,03%
7-CE	35,98%		7-CE	36,72%		7-CE	41,03%	
6-CE	0,00%		6-CE	0,00%		6-CE	0,00%	
5-CPE	0,00%	23,57%	5-CPE	0,00%	17,87%	5-CPE	0,00%	14,10%
4-CPE	23,57%		4-CPE	17,87%		4-CPE	14,10%	
3-CPE	0,00%		3-CPE	0,00%		3-CPE	0,00%	
2-CC	9,68%	40,45%	2-CC	9,43%	45,41%	2-CC	6,67%	44,87%
1-CC	0,00%		1-CC	0,00%		1-CC	0,00%	
0-CC	30,77%		0-CC	35,98%		0-CC	38,21%	
Ocorrência mensal geral (Outubro-2013)			Ocorrência mensal geral (Novembro-2013)			Ocorrência mensal geral (Dezembro-2013)		
CÉU	%	CIE	CÉU	%	CIE	CÉU	%	CIE
8-CE	0,00%	40,69%	8-CE	0,00%	48,97%	8-CE	0,74%	43,67%
7-CE	40,69%		7-CE	48,97%		7-CE	42,93%	
6-CE	0,00%		6-CE	0,00%		6-CE	0,00%	
5-CPE	0,00%	15,63%	5-CPE	0,00%	15,38%	5-CPE	0,00%	17,62%
4-CPE	15,63%		4-CPE	15,38%		4-CPE	17,62%	
3-CPE	0,00%		3-CPE	0,00%		3-CPE	0,00%	
2-CC	7,94%	43,67%	2-CC	8,72%	35,38%	2-CC	6,95%	38,71%
1-CC	0,00%		1-CC	0,00%		1-CC	0,00%	
0-CC	35,73%		0-CC	26,67%		0-CC	31,76%	

Fonte: Silva e Franco. Arquivo: OCORRÊNCIA DE PADRÃO DE CÉU – BELÉM.xls

De acordo com a análise apresentada pode-se inferir, ainda que apenas como uma aproximação devido ao recorte temporal, que Belém apresenta na maior parte do ano uma predominância de horas com céu encoberto, com uma média de 54% das horas diurnas do ano com esse padrão. O mês com maior percentual de horas diurnas com padrão de céu encoberto, entre julho de 2013 e junho de 2014, foi fevereiro, com 85%, já o menor percentual foi encontrado em julho ainda que com quase 36%.

Em outra análise, voltada para os gráficos, pode-se perceber uma tendência, durante todos os meses, da ocorrência do padrão de céu encoberto a partir das 12 horas, período da tarde. Essa constatação reflete o senso comum da região onde a chuva é presença constante nas tardes dos paraenses. Esse tipo de verificação permite a avaliação de sistemas de iluminação natural associando as tomadas de decisão relativas a orientação de aberturas e elementos rebatedores com base em ciclos diários e anuais, uma vez que as características do céu podem ser estimadas.

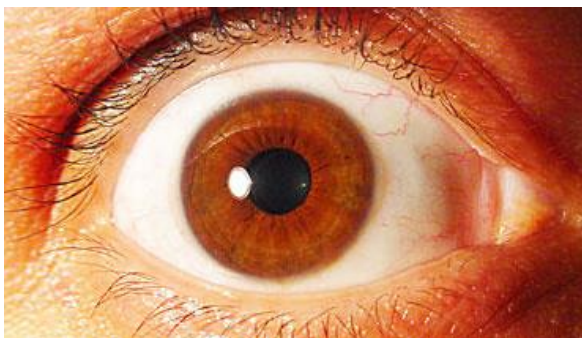
3.3. A Luz e a Visão

No estudo da iluminação natural é fundamental o posicionamento do homem como foco para o qual os espaços deverão servir, uma vez que o conceito de luz está diretamente ligado à percepção visual do ser humano para se diferenciar essa energia das demais.

3.3.1. A Fisiologia da Visão

A visão é um dos cinco sentidos por meio dos quais os seres humanos se relacionam e interagem com o seu ambiente. A visão consiste basicamente no processo de apropriação visual de imagens através do olho (Figura 24), principal órgão desse sistema. Os principais elementos do olho estão identificados na representação esquemática apresentada na Figura 25.

Figura 24: Olho humano.



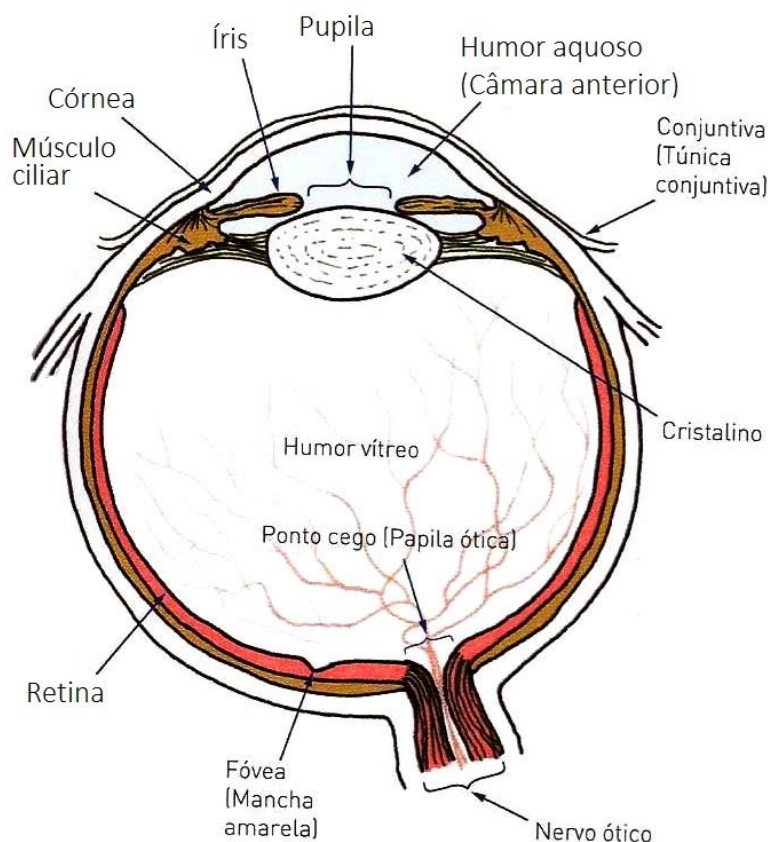
Fonte: <http://hypescience.com/wp-content/uploads/2011/08/olho.jpg>.

O processo de visão se inicia com a admissão de luz através da pupila. Com isso, a imagem vista pelo observador é formada de maneira invertida sobre a retina, no fundo do globo ocular, onde estão presentes as células receptoras. Segundo Vianna (2001) a retina consiste em um tecido nervoso delicado, constituído por cone e bastonetes, órgãos sensíveis a luz nos quais a energia luminosa é transformada em impulsos nervosos.

A contração muscular da Íris é responsável pelo controle da quantidade de luz admitida pelo olho, respondendo de forma adaptativa a luminosidade do ambiente, os músculos ao redor do cristalino permitem que imagens em diferentes distâncias possam ser focalizadas sobre as células receptoras sensíveis à luz, na retina, onde serão transformadas em impulsos elétricos para serem enviados ao córtex visual por meio do nervo ótico (Innes, 2014). O cristalino funciona como uma lente biconvexa, por isso a imagem é projetada de forma invertida sobre a retina (Vianna, 2001).

Segundo Innes (2014), apesar da complexidade dos elementos que compõe o olho, o mesmo ainda possui grandes limitações físicas como: a área de visão colorida nítida estar restrita a fóvea; a sensibilidade a luz fraca estar concentrada na área da retina como menores níveis de “alta definição” e a limitação de abertura da íris, logo a limitação da capacidade adaptativa a intensidade de luz; presença de um ponto cego na retina. O autor ressalta que essas limitações são superadas devido às compensações e correções feitas no cérebro após a “aquisição da imagem” pelos dois olhos. Com isso, apesar da necessidade do entendimento do processo físico da visão não se deve desconsiderar que a o entendimento final da imagem será resultante das associações que o cérebro fará entre o que esta sendo visto e o repertório imagético do observador.

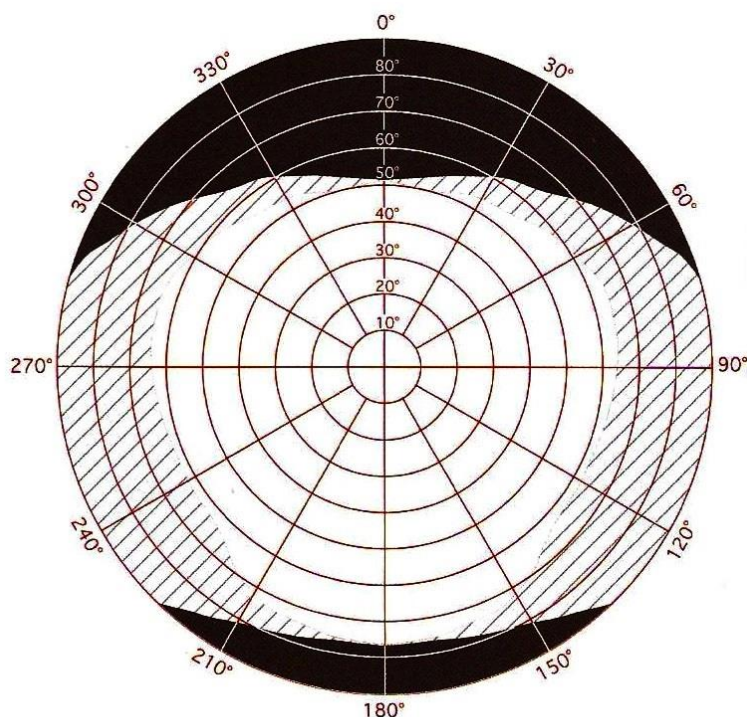
Figura 25: Representação esquemática de um olho humano.



Fonte: Innes, 2014.

A localização e a existência de dois olhos representa outro fator de importância para o entendimento da visão, principalmente no que diz respeito a percepção do espaço e posicionamento dos objetos no mesmo. Segundo Innes (2014) o ser humano tem uma sobreposição de cerca de 120° em um campo de visão total de cerca de 180° representado na Figura 26. A área de sobreposição das imagens captadas por cada um dos olhos é conhecida como visão estereoscópica, representada pela área mais clara da figura abaixo, a área hachurada representa a visão obtida por apenas um dos olhos enquanto que a área escura consiste na área obstruída pelos elementos da face como testa, nariz e bochechas. É através da relação entre as imagens sobrepostas, visão estereoscópica, que o cérebro humano consegue definir a relação de profundidade entre os diversos elementos que compõem a imagem obtida pela visão.

Figura 26: Representação do campo de visão dos seres humanos.



Fonte: Innes, 2014.

3.3.2. Conforto Visual

No que diz respeito ao conforto visual é importante que se encare o processo de visão sob as diversas características e capacidades adaptativas o olho humano. Dentro desse aspecto deve-se entender que, apesar de todo o potencial e escala de abrangência do olho, algumas situações podem exigir maior ou menor esforço, o que impactará diretamente no potencial de trabalho, resultando em fadiga ou, em longo prazo, na redução da capacidade visual.

Vianna (2001) indica, para o olho humano, sete propriedades características no que diz respeito a seu funcionamento:

- 1- **Seletividade:** A capacidade de ser sensível a apenas uma parte no espectro eletromagnético, na faixa definida como visível, com variações dentro da mesma.
- 2- **Maior e menor Sensibilidade:** Área de maior sensibilidade no comprimento de onda de 0,550 microns (μ), e menor sensibilidade nas extremidades do espectro.

- 3- Percepção das cores:** A capacidade de perceber cores associadas às diferentes sensações provocadas pelas frequências do espectro visível.
- 4- Acomodação:** Capacidade de ajustar a distancia focal de acordo com a variação da curvatura do cristalino podendo, com isso, enxergar com nitidez objetos em diferentes distâncias. O autor ainda pondera quanto a relação entre distância e nível de Iluminância indicando a necessidade do incremento desta em função da primeira.
- 5- Acuidade:** Capacidade de reconhecer com nitidez e precisão os objetos. A acuidade depende de diversos fatores, entre eles pode-se citar o contraste entre o objeto e o entorno, tamanho, nível de iluminação e qualidade da luz.
- 6- Cores:** O autor indica que o olho humano percebe diferentes luminosidades entre as cores do espectro visível.
- 7- Adaptação:** A capacidade que o olho tem de se ajustar a diferentes níveis de iluminação, indo, por exemplo, de 0,25Lux, em uma noite de lua cheia, até 100.000Lux em situação de céu claro, no verão.

O processo de adaptação da visão a diferentes níveis luminosos em curtos espaços de tempo é fundamental para que a visão ocorra nos diversos cenários aos quais o ser humano pode vir a ser exposto. Apesar disso, segundo Vianna (2001), a adaptação a luz e cores depende do estado dos olhos em si, no momento da visão e das experiências visuais realizadas. Outro aspecto relevante está no fato de que o olho leva mais tempo para se adaptar de um local mais iluminado para um local menos iluminado, em uma relação aproximada de 60 para 1(Vianna, 2001).

Dentro do aspecto da percepção visual, Gonçalves *et al.* (2011) considera como requisitos de uma boa visão os seguintes elementos:

- Níveis de iluminância e sua distribuição;
- Luminância e contrastes;
- Tamanho da tarefa visual;
- Tempo de sua realização.

Quanto aos níveis de iluminação, A NBR ISO/CIE 8995-1:2013⁸ fixa valores recomendados para diferentes tipos de atividades, baseados numa iluminação constante e uniforme sobre um plano de trabalho. Apesar disso, é importante avaliar

⁸ Iluminação de ambientes de trabalho, Parte 1: Interior.

que a distribuição da luz natural no ambiente, luminância das superfícies, está relacionada a diversos fatores e, dependendo de como ocorre esta interação, serão gerados resultados positivos ou negativos quanto ao conforto visual.

Uma vez que a luminância pode ser percebida pelo olho humano, Hopkinson, *apud* Garrocho, considera necessário que se faça a distinção entre o “brilho físico” de um objeto, obtido com o uso de um fotômetro, e o “brilho subjetivo” do mesmo, visto pelos olhos adaptados ao ambiente. Logo, luminâncias de mesmo brilho físico e provenientes do mesmo material podem ser percebidas pelo observador de formas variadas dependendo do contexto luminoso do ambiente gerando ou não contraste excessivo.

O contraste é um dos principais aspectos qualitativos da avaliação luminosa de um ambiente. Segundo Bertolotti (2007) este é definido como a diferença relativa de brilho entre o objeto e seu entorno, podendo ser expresso em termos de luminância, luminância e refletividade entre as superfícies. O contraste é um elemento de extrema importância para a percepção visual, uma vez que por meio dele são percebidos os limites entre os diversos elementos físicos dentro do campo de visão.

Apesar da importância deste elemento, quando em excesso, o contraste pode gerar ofuscamento⁹. Para Vianna (2001) a relação entre os níveis de luminância e a capacidade adaptativa do olho humano é o princípio no qual se baseia a condição de desconforto causada por contrastes excessivos. Segundo este autor, deve-se evitar a necessidade de adaptação muito rápida dentro de uma faixa ampla de luz.

Ainda segundo Vianna (2001), o contraste excessivo e o desconforto causado pelo mesmo são aspectos pelos quais a maioria das legislações para salas de aulas proíbe a incidência de insolação direta no plano de trabalho. De acordo com o manual do IESNA (2000) o uso de iluminação artificial pode ser necessário para equilibrar o efeito de ofuscamento proveniente do contraste excessivo com o uso da luz natural o que por fim aumentaria o uso de energia elétrica.

⁹ Condição visual na qual existe desconforto ou redução na capacidade de ver detalhes ou objetos, em função de uma distribuição inadequada, gama de luminância, ou por contrastes extremos (fonte: e-ILV, disponível em <http://eilv.cie.co.at/> (acesso em 17/09/2015)).

Para a NBR ISO/CIE 8995 (2013) o ofuscamento é a sensação visual produzida por áreas brilhantes dentro do campo visual podendo ser “ofuscamento desconfortável” ou “ofuscamento inabilitador”.

O ofuscamento, segundo Vianna (2001) pode ocorrer de duas formas:

1. Diretamente, pela presença da fonte luminosa no campo visual;
2. Indiretamente, por reflexão.

O mesmo autor ainda indica que o ofuscamento não é uma condição mensurável por si só, entretanto pode ser verificado em função da: luminância da fonte; luminância do fundo; tamanho aparente da fonte; número de fontes presentes no campo visual; posição relativa da fonte em relação à direção de visão.

Lamberts (1997) define que haverá ofuscamento quando a relação de contraste entre as luminâncias de objetos dentro do campo visual for maior que 10:1, ou, por saturação, quando a luminância média da cena excede 25.000cd/m².

A NBR ISO/CIE 8995 (2013) propõe o cálculo do ofuscamento desconfortável com base no método tabular do Índice de Ofuscamento Unificado da CIE (UGR). Este método é definido pela fórmula abaixo:

$$UGR = 8 \cdot \log \left(\frac{0,25}{L_b} \cdot \sum \frac{L^2 \cdot \omega}{p^2} \right) \quad (1)$$

Onde:

- L_b é a luminância de fundo (cd/m²);
- L é a luminância da parte luminosa de cada luminária na direção do olho do observador (cd/m²);
- ω é o ângulo sólido da parte luminosa de cada luminária junto ao olho do observador (esferorradiano);
- p é o índice de posição Guth de cada luminária, individualmente relacionado ao seu deslocamento a partir da linha de visão (valor encontrado em tabelas).

A NBR ISO/CIE 8995 (2013) ainda indica uma escala onde apresenta os valores para avaliação do índice de ofuscamento unificado. Nesta escala, o índice 13 representa o ofuscamento desconfortável menos perceptível e acima de 28, intolerável.

Segundo a referida norma a escala UGR, em ordem crescente de ofuscamento, é: 13 – 16 – 19 – 22 – 25 – 28

Apesar de este método ser aceito pela comissão internacional de iluminação (CIE), segundo Nascimento (2008), o mesmo só se aplica a avaliação de ofuscamento por iluminação artificial. A NBR ISO/CIE 8995 (2013), quanto às limitações do uso do método UGR, define ainda, de forma mais específica, que o mesmo não deve ser aplicado em situações de grandes fontes de luz (ângulo sólido > 1sr) ou pequenas fontes de luz (ângulo sólido < 0,0003 sr), a norma também indica que grandes fontes de luz podem ser luminárias com áreas maiores que 1,5m² ou tetos com pelo menos 15% dos painéis iluminados. A presença de aberturas, janelas com iluminação natural, muitas vezes, se enquadram em situações nas quais o método UGR não deve ser aplicado. Nascimento (2008) indica para avaliação de desconforto causado por iluminação natural o método DGI (*Daylight Glare Index*, em português, índice de desconforto por ofuscamento). Este método é descrito por Faria (2009) segundo a fórmula abaixo:

$$DGI = 10 \cdot \log_{10} \left(0,48 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{L_s^{1,6} \cdot \Omega_s^{1,8}}{L_b + 0,07 \cdot \omega_s^{0,5} \cdot L_s} \right) \quad (2)$$

Onde:

- L_b é a luminância de fundo (cd/m²);
- L_s é a luminância da fonte de ofuscamento (cd/m²);
- ω_s é o ângulo sólido subentendido pela fonte (sr);
- Ω é o ângulo sólido subentendido pela fonte, modificado pela posição da fonte (sr).

O resultado do DGI pode ser avaliado de acordo com a tabela abaixo para classificar o índice de desconforto causado pela cena em estudo:

Tabela 4: Sensação de ofuscamento por DGI.

Ofuscamento	DGI (Fonte Natural)
Imperceptível	<18
Perceptível	18-24
Perturbador	24-31
Intolerável	>28

Fonte: Adaptado de Borisui (2013).

Apesar de os métodos utilizados estarem subsidiados e consolidados por normas e procedimentos experimentais a sua aplicação prática para a determinação da condição de conforto visual pode-se configurar como uma tarefa complexa dependendo principalmente da diversidade de luminâncias passíveis de serem encontradas em uma cena. Faria (2009) indica que a necessidade do mapeamento de luminâncias entre superfícies e fontes, com o luminômetro, considerando a possível variação pontual, bem como a impossibilidade de levantar valores médios por unidade de área e a posterior necessidade de associar os valores obtidos com coordenadas de posição, para o uso das fórmulas descritas, se apresentam como uma tarefa difícil e sujeita a erros. Considerando essa questão, a análise de luminâncias com por meio de fotografias associadas a modelos computacionais vem ganhando força dentro da pesquisa do conforto visual.

Diante desta temática, é importante ressaltar que a análise quantitativa da luz é apenas um aspecto dentro da promoção do conforto visual e que deve sempre ser correlacionado a questões qualitativas, como a distribuição da luz no ambiente, para que este seja alcançado.

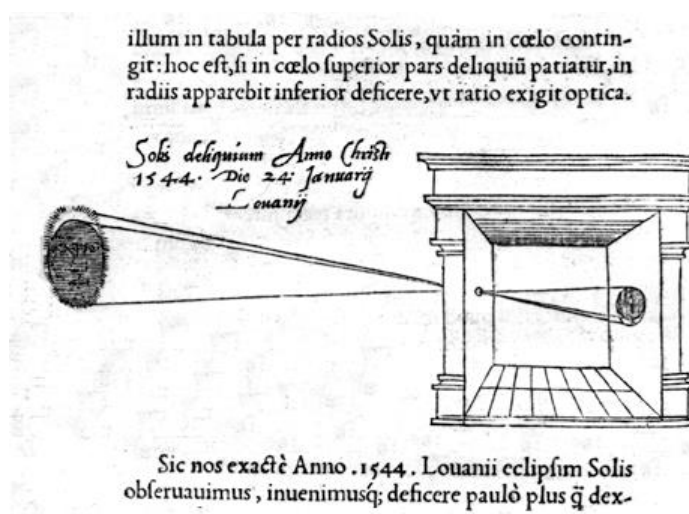
3.3.3. A Fotografia Na Avaliação De Iluminação Natural

Desde o seu surgimento, a fotografia tem funcionado como ferramenta de diversas atividades da sociedade. A aplicação desta prática tem evoluído historicamente de acordo com a difusão da técnica e dos equipamentos. Conforme a possibilidade de fotografar passou a ser acessível, o seu uso atingiu ainda mais possibilidades, estando hoje presente em registros de momentos casuais, espaços, pessoas, fatos históricos, funcionando como expressão artística e etc. Além dessas aplicações,

atividades relacionadas à pesquisa científica tem se valido dos avanços da fotografia para suprir necessidades específicas de cada área de estudo, uma dessas aplicações é a avaliação de luminâncias por imagem de grande alcance dinâmico (em inglês, *High Dynamic Range* – HDR).

A fotografia consiste basicamente em uma técnica de obtenção de imagem e surgiu por meio do conceito de “câmara escura”. Segundo Souza (2010) o conceito de câmara escura surgiu das observações do matemático e cartógrafo Reinerus Gemma - Frisius, durante um eclipse solar na cidade de Lovaina, Bélgica, em 24 de Janeiro de 1544 (Figura 27), onde a luz, ao entrar em um ambiente escuro por um pequeno orifício, projetou na parede oposta uma imagem invertida.

Figura 27: Representação da câmara escura de Reinerus Gemma - Frisius.



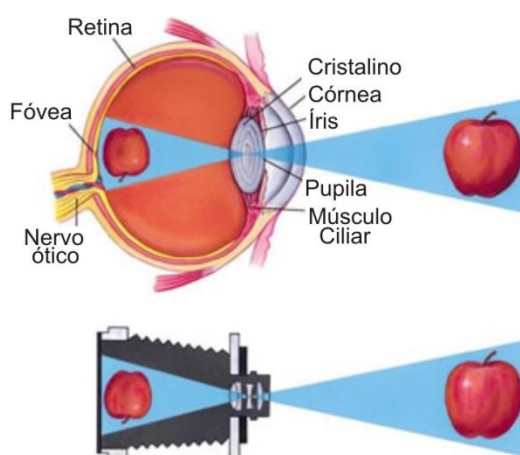
Fonte: Souza (2010).

Segundo Hedgecoe (2013) a técnica de projeção de imagens a partir do conceito físico do comportamento da luz encontrado na câmara escura foi amplamente utilizada por artistas e desenhista ao longo dos séculos como auxílio, porém só após a invenção do filme¹⁰, a “câmara escura” foi capaz produzir sua própria imagem de forma mais permanente. Pode-se dizer que a fotografia resultou da junção das descobertas físicas do comportamento da luz com os avanços químicos no desenvolvimento de películas fotossensíveis capazes de registrar a imagem produzida na câmara escura.

¹⁰ O filme fotográfico consiste basicamente em uma película plástica fina e flexível composta por uma ou mais camadas revestidas por produtos químicos sensíveis a luz. (HEDGECOE, 2013)

Souza (2010) indica que, em uma análise superficial o funcionamento de uma câmara escura serve como base para uma explicação aceitável da formação da imagem dentro do globo ocular existindo certa correspondência entre elementos básicos do olho e de uma câmera fotográfica (Figura 28). Apesar dessa correspondência em alguns aspectos entre o olho e a câmera, uma vez que se busque a aplicação da fotografia para a análise de iluminação natural, voltada ao ser humano, devem-se entender os limites e as diferenças entre esses dois sistemas.

Figura 28: Formação de imagem no olho e na câmera.



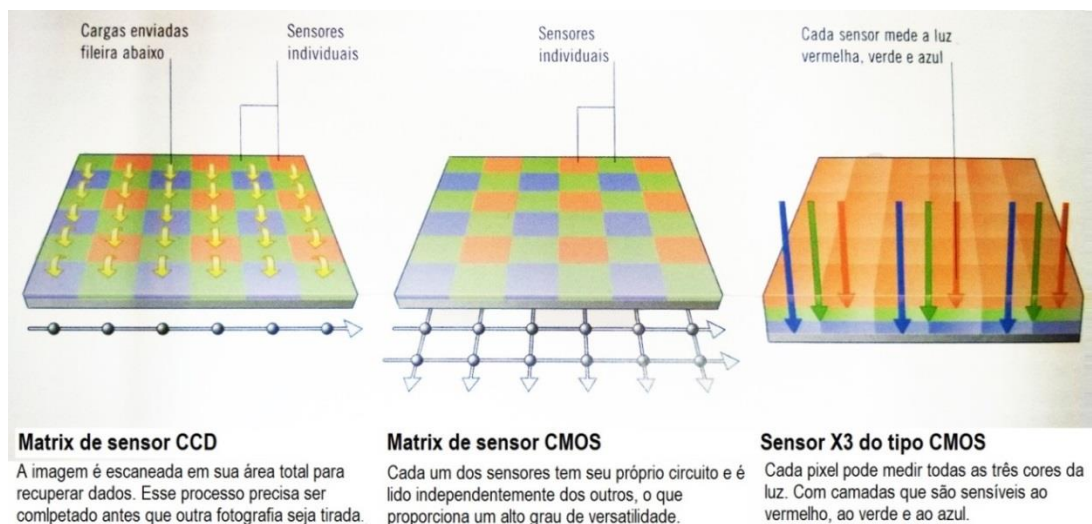
Fonte: Adaptado de <https://olhohumanond.files.wordpress.com/2014/03/olho_humano.jpg>.

Atualmente existe uma variedade considerável de câmeras fotográficas dentre as quais se pode fazer uma divisão geral baseada na forma como a imagem é registrada: Câmeras Analógicas ou convencionais, nas quais a imagem é registrada em um filme para ser revelada posteriormente; e Câmeras Digitais onde as fotos são registradas por um sensor eletrônico transformadas em sinal elétrico e armazenadas em um chip ou cartão de memória podendo ser apagadas para liberar espaço para novas fotografias.

Segundo Hedgecoe (2013) os sensores mais comuns em câmeras digitais são o CCD e o CMOS. Nos sensores CCD (*charge-coupled device*) as informações gravadas em cada pixel são lidas pela câmera uma linha por vez enquanto que nos sensores CMOS (*complementary metal oxide semi conductor*) cada pixel possui um circuito próprio para a leitura das informações. Nesses dois sensores cada pixel lê apenas uma das três cores primárias da luz, de acordo com o sistema RGB (vermelho, verde e azul, em inglês, *Red, Green, Blue*). Hedgecoe (2013) indica ainda a existência dos sensores que utilizam a tecnologia X3, menos comum que os

anteriores, consegue medir ou ler todas as três cores em cada um dos pixels. O autor apresenta um esquema gráfico de funcionamento dos três tipos de sensores na imagem abaixo:

Figura 29: Tipos de sensores de câmeras digitais.



Fonte: Hedgecoe, 2013.

Outro aspecto importante quanto aos sensores está relacionado aos diferentes formatos dos mesmos. Os sensores digitais conhecidos como *full frame* (quadro cheio) são aqueles que seguem o padrão do filme 35mm, este filme, apesar do nome, apresenta uma área 36 x 24mm. Uma vez que o sensor seja menor que o padrão 35mm o resultado da área da imagem a ser capturada será diferente de uma câmera para outra ainda que a lente seja a mesma.

Com exceção das diferenças entre o sensor eletrônico e o filme analógico, pode-se dizer que desde as primeiras câmeras fotográficas a forma de obtenção de imagens mudou pouco. Segundo Hedgecoe (2013), o funcionamento das câmeras, em geral, envolvem os seguintes elementos abaixo:

- Objetivas;
- Elemento de controle de abertura (diafragma);
- Obturador;
- Plano focal;
- Distância Focal;
- Tempo de Exposição.

As objetivas, comumente chamadas apenas de “lentes”, são a primeira interface de contato da câmera com o objeto a ser fotografado e podem ser compostas por um conjunto de elementos óticos (lentes) e pelo elemento de controle de abertura, o diafragma. As objetivas são responsáveis pelo ajuste do foco do objeto, isto é, qual o elemento da imagem estará nítido na fotografia. Esta relação de nitidez está diretamente ligada a distância focal. Segundo Hedgecoe (2013) a distância focal é a distância em milímetros do ponto nodal da objetiva até o plano focal, onde está posicionado o filme (em câmeras analógicas) ou o sensor eletrônico (em câmeras digitais).

Diferentemente da visão humana, nas câmeras, pode-se variar o ângulo de visão, com ajustes na objetiva ou com a substituição desta. A relação entre o ângulo de visão da objetiva e a distância focal também implicará em quão próximo os elementos da imagem aparecerão no enquadramento. Quanto maior a distância focal, menor será o campo de visão. Hedgecoe (2013) propõe uma divisão das objetivas em três categorias principais de acordo com o ângulo de visão, objetiva padrão, teleobjetiva e grande angular. Dentro das grande angulares existem as lentes olho-de-peixe (Figura 30) que permitem ângulos de visão mais próximos ou até superiores ao campo de visão do olho humano, que pode chegar a 180°, considerando a visão periférica.

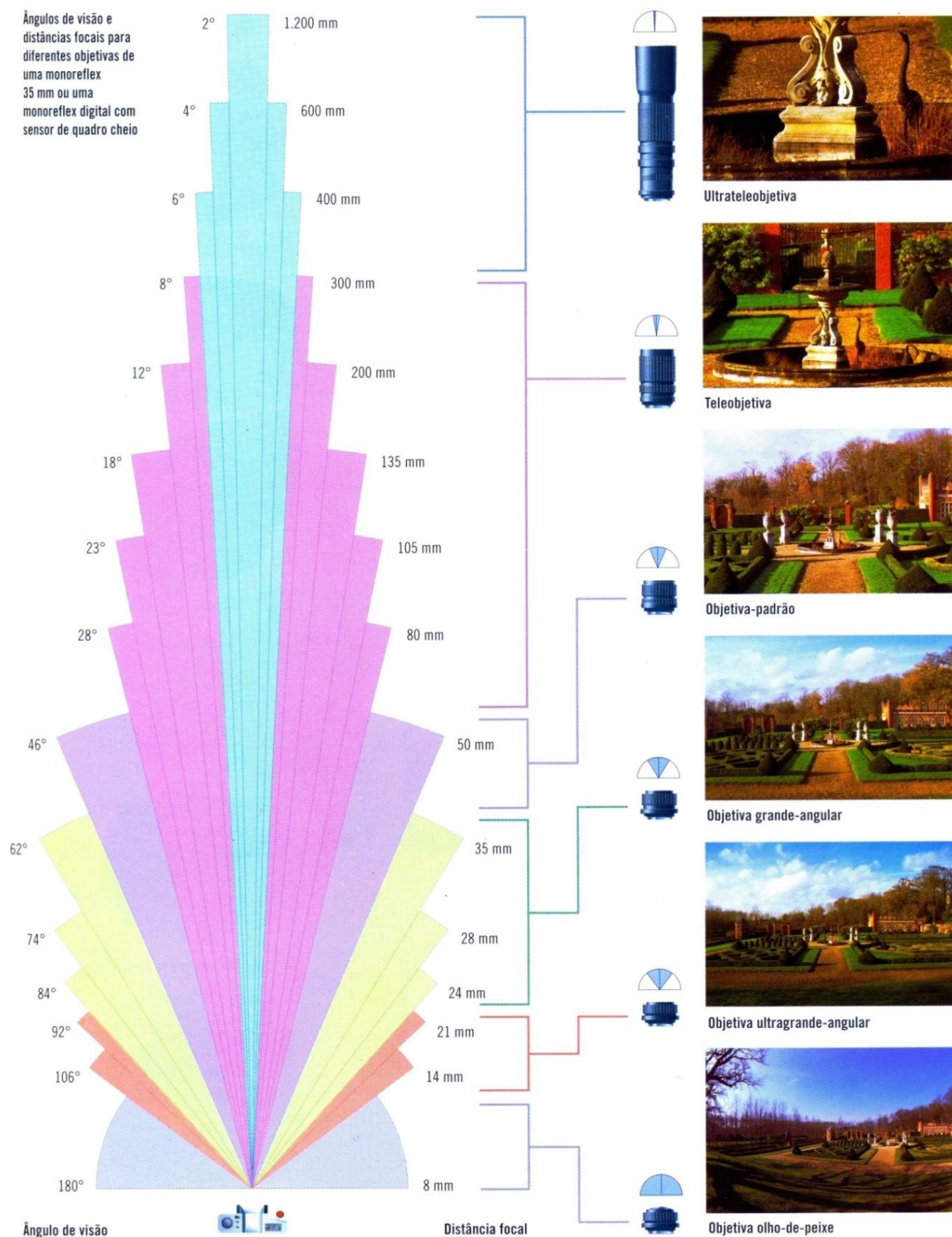
Figura 30: Lente olho-de-peixe *Lensbaby* 5.8mm f/3.5-22mm.



Fonte: <http://lensbaby.com/lenses-circular-fisheye>.

Na Figura 31 pode-se verificar a relação entre os tipos de lente, suas distancias focais e o enquadramento resultante destas, em uma mesma cena, em um filme de 35mm ou sensor correspondente.

Figura 31: Diferentes ângulos de visão, tipos de objetivas e suas distâncias focais.



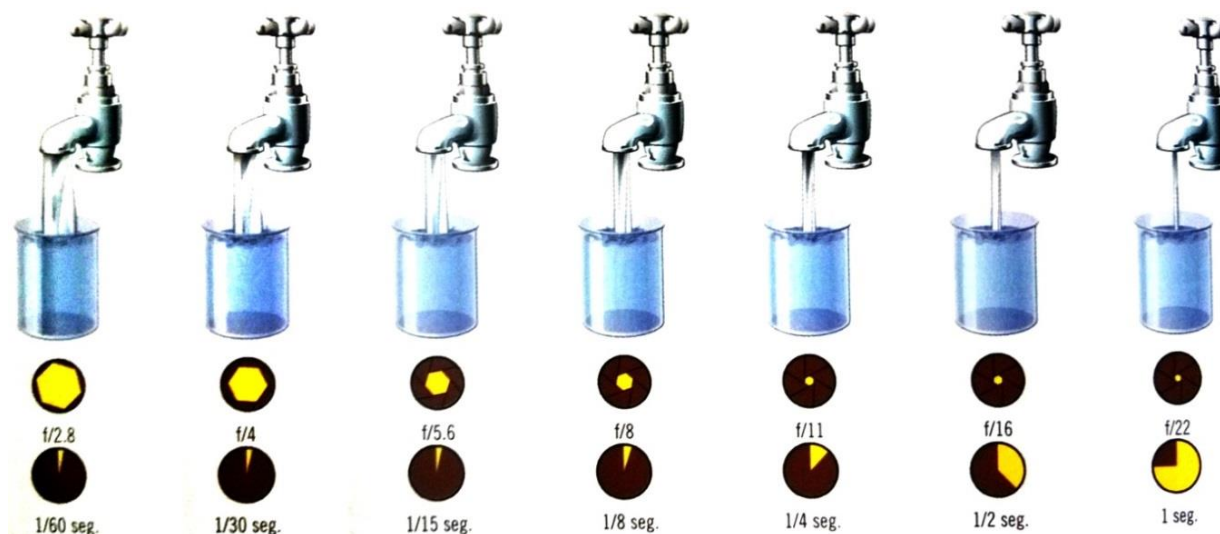
Fonte: Hedegecoe, 2013.

Outro aspecto importante relacionado a obtenção das imagens em uma câmera fotográfica diz respeito à quantidade de luz que será admitida. Segundo Hedgecoe (2013) a quantidade exata necessária para registrar uma imagem é conhecida como exposição. O valor de exposição é dado por EV (em inglês *Exposure Value*) e pode ser positivo ou negativo, mais ou menos exposto respectivamente.

Para que se defina corretamente o valor de EV deve-se considerar o índice de sensibilidade do filme, esse índice é conhecido como ISO. Segundo Hedgecoe (2013) a escala ISO foi definida pela *International Standards Organization* (ISO) e quanto maior o valor, maior será a sensibilidade do filme a luz. Um aspecto importante em relação ao ISO está no fato de que ao se utilizar um filme com maior sensibilidade, se aumentará também o nível de granulações na imagem, esse efeito também acontece no sensor digital ao se aumentar a sensibilidade do mesmo.

Uma vez selecionada a sensibilidade ISO, deve-se relacionar a **velocidade do obturador**, isto é, o tempo em que o sensor ou o filme ficará exposto a luminosidade, e a **abertura**, o tamanho da entrada de luz. Com o controle desses dois fatores é possível compensar uma pequena abertura com um maior tempo de exposição ou aumentar a abertura quando um registro mais rápido for necessário. Hedgecoe (2013) propõe uma analogia entre a exposição e o fluxo de água em uma torneira para exemplificar as relações entre velocidade e abertura (Figura 32).

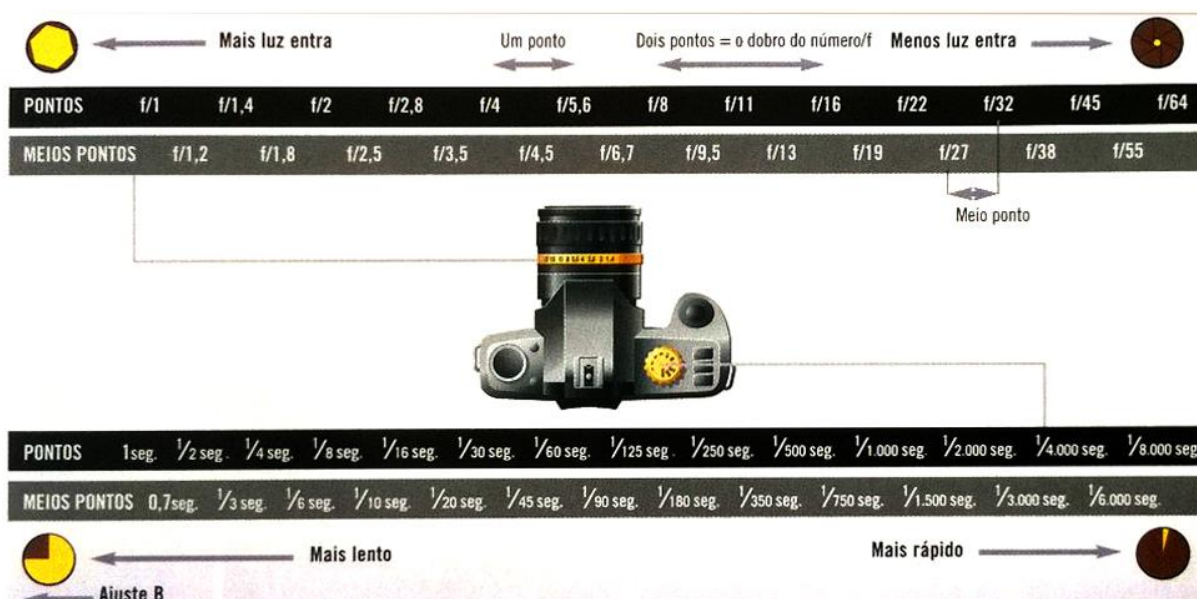
Figura 32: Analogia entre fluxo de água e valor de exposição.



Fonte: Hedgecoe, 2013.

A velocidade do obturador é dada em frações de segundos, por exemplo, $1/4$ s. Normalmente as câmeras definem os pontos de variação de velocidade do obturador dividindo ao meio, ou multiplicando por dois, o tempo. A abertura da objetiva é apresentada em números divididos pela distância focal “f”, logo uma abertura de $f/2$ significa que o diâmetro da abertura corresponde a metade da distancia focal de uma determinada lente (Hedgecoe, 2013). Na imagem abaixo (Figura 33) é apresentada uma escala de pontos e meios pontos para abertura e velocidade do obturador.

Figura 33: Escala de pontos e meios pontos para velocidade e abertura.



Fonte: Hedgecoe, 2013.

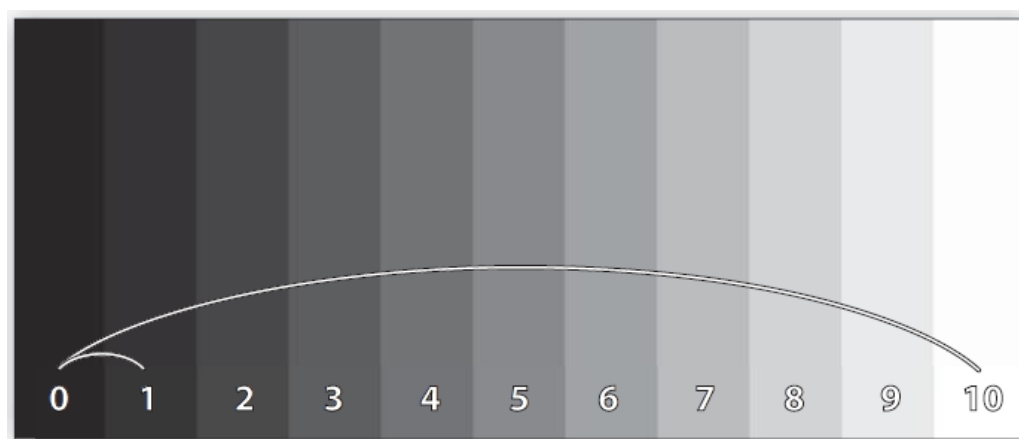
Segundo Souza (2010) o valor de exposição é uma medida utilizada para representar o Alcance Dinâmico, que por sua vez diz respeito à taxa de contraste de uma imagem. No alcance dinâmico encontramos umas das principais limitações da fotografia em relação ao olho humano. Segundo Jacobs (2007), o olho humano é capaz de se adaptar a um alcance dinâmico de 10,000:1 enquanto que as câmeras apresentam normalmente um alcance menor que 1000:1, dessa forma, em uma fotografia digital convencional, o valor de um pixel não está relacionado a luminância da cena real, ele indica apenas se um objeto é mais claro que o outro.

É importante ressaltar que por definição da *International Standards Organization*, o valor base de 0EV corresponde a abertura de uma objetiva (N) de valor 1, com tempo de exposição (t) 1segundo, com uma sensibilidade ISO 100, de acordo com a fórmula abaixo. Sendo uma relação logarítmica de base 2, aumentar ou diminuir 1 EV significar dobrar ou reduzir pela metade, respectivamente, a quantidade de luz que chega ao sensor (Souza, 2010):

$$EV = \log_2 \left(\frac{N^2}{t} \right) \quad (3)$$

Souza (2010) explica que para o entendimento do conceito de Alcance Dinâmico é necessário entender a distância entre os pontos mais claros e mais escuros de uma imagem e a quantidade de pontos intermediários. O autor ainda indica a imagem abaixo (Figura 34) como exemplo de gradiente com taxa de contraste de 1:10, onde o preto é o ponto de referencia zero, indo até o ponto mais claro em 10 variações. Segundo Bloch (2007) o preto, na escala, não conta, pois não podemos comparar nada com o preto absoluto, logo um gradiente de 500:1 significa que o ponto mais escuro é 500 vezes menor que o ponto de maior brilho.

Figura 34: Gradiente com taxa de contraste de 1:10.



Fonte: BLOCH, 2007.

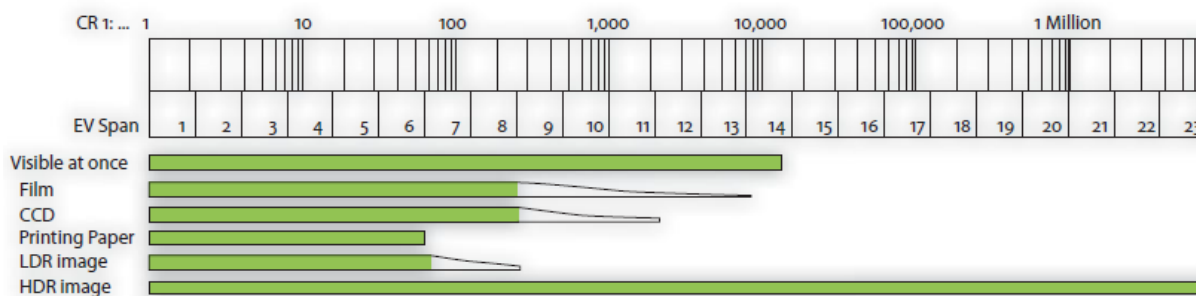
Uma vez identificada a limitação das imagens geradas com as câmeras fotográficas perante a capacidade do olho humano, é necessário entender a equivalência desses sistemas e verificar de que forma pode-se se aproximar da visão a ponto de poder utilizar esse recurso para a avaliação de iluminação natural.

A resposta encontrada para o uso de imagens digitais na avaliação de luminância se deu por meio do uso de imagens em HDR. Segundo Souza (2010) as imagens HDR se apresentam como um novo campo na análise da distribuição da luz em imagens digitais. Esta técnica possibilita análises quantitativas e qualitativas a partir de fotos digitais, dessa forma é possível analisar quantitativamente os níveis de luminância de cada pixel e qualitativamente os índices de contraste por meio de escalas de cores falsas.

A relação entre a capacidade de reprodução de uma gama dinâmica na imagem HDR vai depender da capacidade de registro de fotos com diferentes valores de exposição, logo, teoricamente se não houvesse limite de EV não se teria limite para

o alcance da HDR resultante. Essa ideia, bem como diferentes alcances dinâmicos em diversos meios, é exposta por Bloch (2007) na imagem abaixo.

Figura 35: Relação entre escalas de Alcance Dinâmico e EV para visão, filme, sensor, impressão em papel, imagem digital comum e imagem HDR.



Fonte: Bloch, 2007.

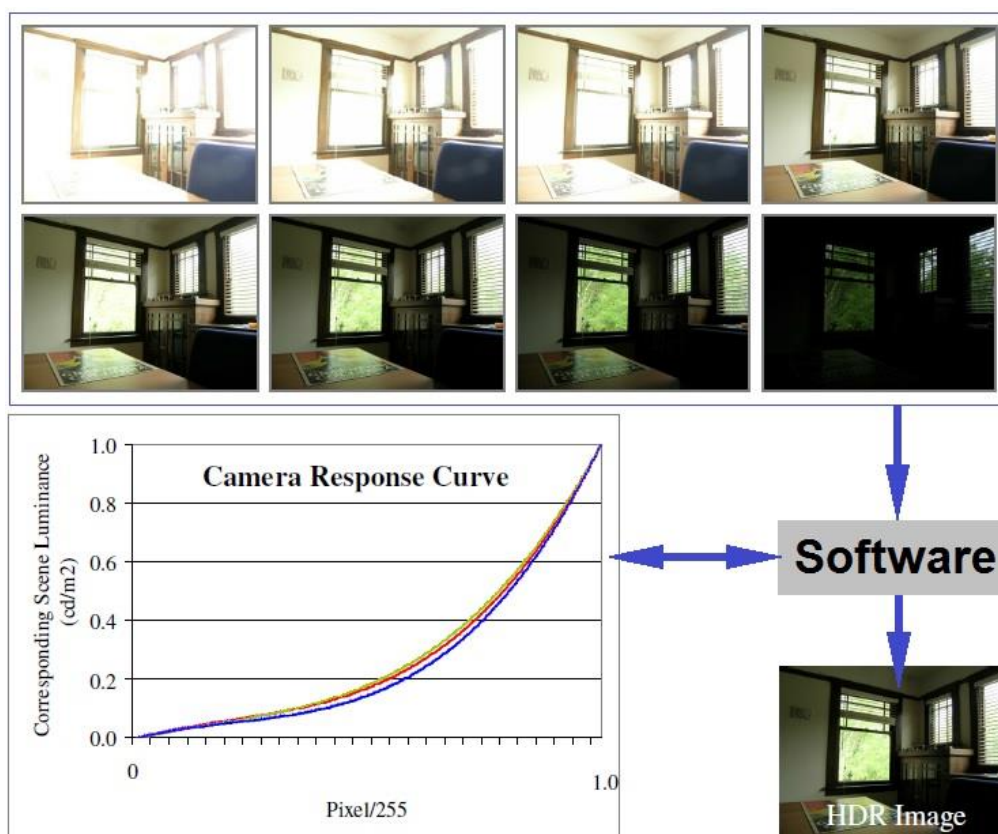
O uso do HDR se baseia na ideia de gerar uma imagem com uma escala de contraste (alcance dinâmico) compatível com a cena real a partir de várias imagens obtidas com diferentes EV. Segundo Inanici e Galvin (2004) esta técnica é válida para a avaliação de iluminação apresentando uma margem de erro de 10% em uma grande gama de luminâncias, os autores ainda ressaltam que mesmo os melhores equipamentos de medição física apresentam desvios.

Souza (2010) indica que apesar da existência de tecnologias mais avançadas de captura e visualização de imagens em HDR, devido ao alto custo destes, a forma mais comum de geração desse tipo de imagem se dá por meio da compilação de fotos tiradas a partir de câmeras digitais convencionais, isto se apresenta como um grande potencial em termos de disseminação da técnica.

Inanici e Galvin (2004) explicam o procedimento passo a passo, indicando que primeiramente são feitas fotografias com diferentes valores de exposição para, com isso, abranger uma grande gama de luminâncias, a partir dessas imagens, com o uso de um *software* é possível extrair a curva de resposta da câmera, a qual será usada para compilar as imagens em uma única foto HDR. A curva de resposta da câmera consiste na forma como a câmera entende a luz representada numericamente. A curva de resposta é gerada por grande parte dos *softwares* para poder atribuir valor de luminância aos pixels da imagem. O método de derivação da curva de resposta também irá variar de acordo com o *software* escolhido. Segundo Jacobs (2006) a curva de resposta é uma importante ferramenta para a calibração

das imagens HDR. Para isso, deve-se fazer fotos de uma cena com grande contraste, a curva de resposta da situação controlada da calibração deve então ser usada nas compilações de imagens posteriores. O processo de geração de imagens em HDR foi representado de forma esquemática na Figura 36.

Figura 36: Processo de geração de imagens HDR.



Fonte: Adaptado de Inanici e Galvin (2004).

Atualmente esse processo pode ser realizado com o uso de diversos programas dependendo da compatibilidade com o sistema operacional do computador e do tipo de análise a qual se destina a investigação. O site “<http://www.jaloxa.eu/webhdr/software.shtml>” indica uma lista de programas para este fim, indicando a compatibilidade e o custo de seu uso.

3.4. Iluminação Natural

A luz natural está inserida dentro do panorama da arquitetura não só como um potencial elemento de promoção da eficiência energética de um edifício, mas também, como um fator decisivo na construção de ambientes confortáveis e

adequados aos seus usuários. Segundo Majoros (1998) a Luz natural se apresenta como uma forma de garantir o contato com o meio externo e com isso satisfazer uma necessidade psicológica do usuário do espaço. A necessidade que o ser humano apresenta em relação à luz natural justifica-se quando se analisa que o mesmo, desde o surgimento do *Homo sapiens*, teve a maior parte de sua evolução, até os dias atuais, em um ambiente dominado predominantemente por esta fonte.

Segundo Innes (2014): “Apesar de nossa incrível capacidade de adaptação, a evolução dotou física e mentalmente os seres humanos para a vida em um mundo com iluminação natural”. De acordo com Innes (2014) entender a relação do ser humano com a luz natural, com seus padrões característicos, é fundamental para a geração de ambientes mais confortáveis do ponto de vista luminoso.

Em outro aspecto Garrocho (2005) indica que a luz natural pode ajudar a evitar, em alguns indivíduos, uma condição conhecida como “Desordem Emocional Sazonal”, onde a exposição diária a ambientes climatizados e iluminados artificialmente geram, nessas pessoas, em algum grau, mudanças sazonais de humor ou de comportamento. A mesma autora também expõe que em localidades de altas latitudes, durante o inverno, estes sintomas surgem de forma mais severa.

De maneira geral, é inegável a necessidade que o arquiteto, enquanto projetista, tem de entender os requisitos humanos quanto à luz natural, para isto é fundamental que os conceitos básicos estejam consolidados.

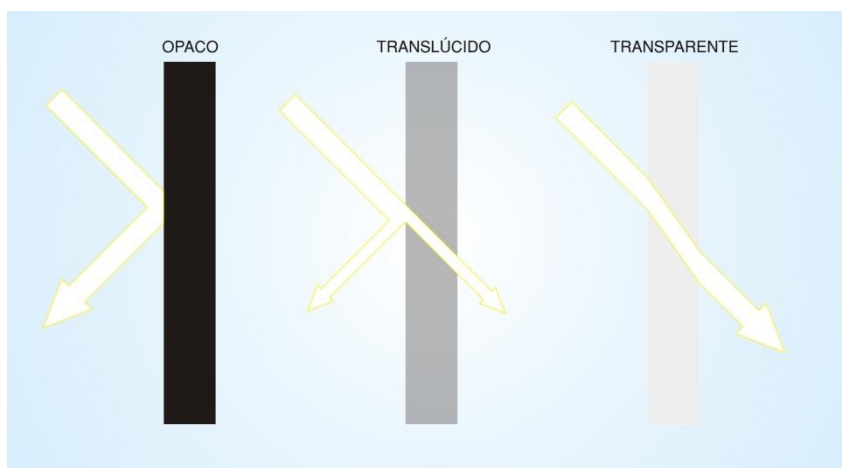
3.4.1. Fontes, Conceitos e Características

Anterior ao próprio conceito de “Luz Natural” é necessário que se entenda o conceito de luz como onda eletromagnética, que como tal está sujeita a interações baseadas nas leis da física. Segundo Innes (2014) a luz se propaga em linha reta como um feixe luminoso, invisível até que incida sobre um material. Ao incidir sobre um material as interações da luz são diversas e os resultados destas irão variar de acordo tanto com o material em si quanto com a fonte de luz.

Quanto a permeabilidade do material a luz, o mesmo pode ser classificado como opaco, quando a luz não pode atravessá-lo, como transparente, quando são praticamente invisíveis a luz e como translúcidos quando estes se apresentam com semitransparentes deixando um percentual de luz atravessar o mesmo (Figura 37).

Segundo Innes (2014) o feixe luminoso pode ter sua direção afetada ao atravessar materiais transparentes de diferentes densidades óticas (como ao sair do ar e atravessar um vidro), este fenômeno é conhecido como refração. A refração é utilizada como um importante recurso tanto para redirecionar o feixe luminoso quanto para decompor a luz branca nas cores que formam a mesma.

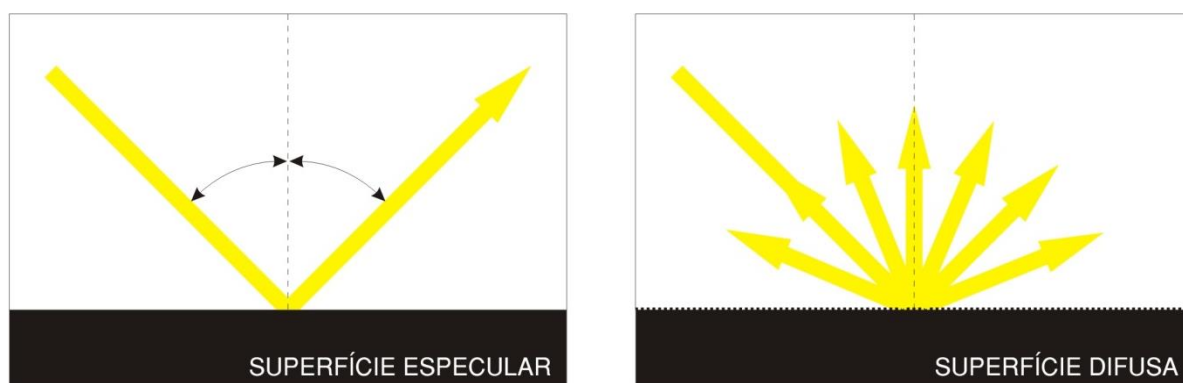
Figura 37: Diferenças na transmissão da luz.



Fonte: Autor.

Em relação às características superficiais dos materiais, estes podem ser especulares (brilhantes) ou foscos (difusos). Os materiais especulares apresentam superfícies polidas, as quais tendem a não distorcer o feixe luminoso. Estas superfícies tenderão a se comportar como um espelho. As superfícies difusas tenderão a apresentar superfícies foscas. Para explicar a diferença de resposta desses dois tipos de superfície frente a luz, há que se recorrer ao conceito de reflexão, o qual designa como tal a resposta luminosa de cada corpo quando atingido por um feixe luminoso. Segundo Innes (2014) “sem a luz as superfícies permanecem invisíveis, e sem uma superfície que interrompa um feixe luminoso, a própria luz é invisível”. Considerando a reflexão como a resposta luminosa do material em relação a luz, pode-se indicar que um material especular refletirá um feixe luminoso, com o mesmo ângulo de incidência, na direção oposta, enquanto que um material perfeitamente difuso refletirá a luz igualmente em todas as direções, como representado no esquema gráfico abaixo (Figura 38):

Figura 38: Representação esquemática da resposta de uma superfície especular e uma superfície difusa.

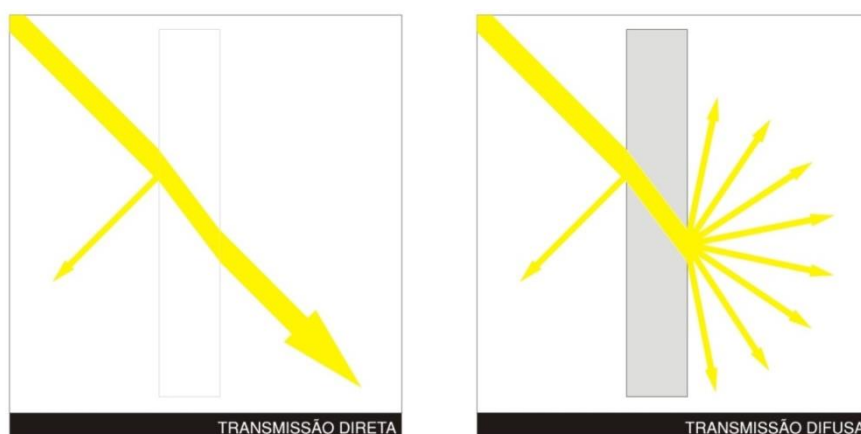


Fonte: Autor.

Segundo Innes (2014) é um equívoco pensar que as superfícies brilhantes, refletem mais luz em comparação com as superfícies difusas, a diferença está justamente na direção para a qual elas refletem. O domínio das respostas superficiais em relação a incidência de luz é fundamental para o correto desenvolvimento de sistemas de aproveitamento da mesma, como no caso da prateleira de luz na arquitetura.

De forma análoga ao que acontece com a reflexão, a transmissão também pode ocorrer de duas formas, segundo Souza (2010) “a transmissão da luz por materiais translúcidos e transparentes pode acontecer, à semelhança do processo de reflexão, de forma difusa ou direta”. Essa característica de transmissão pode ser representada de acordo com a imagem abaixo (Figura 39):

Figura 39: Representação esquemática da transmissão direta e da transmissão difusa.

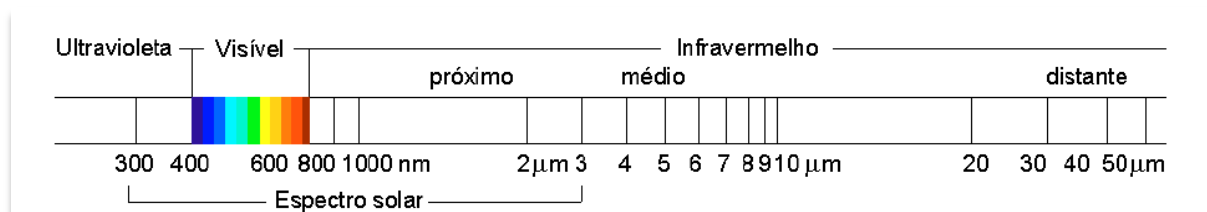


Fonte: Autor.

A partir dos conceitos básicos apresentados anteriormente é possível aprofundar os estudos estabelecendo a luz natural como objeto. Apesar do fato conhecido de outros fenômenos e elementos da natureza serem capazes de gerar luz, como o fogo, um raio ou um vaga lume, quando, na arquitetura, utiliza-se o termo “luz natural” refere-se a luz proveniente do sol. No que diz respeito à avaliação de ambientes, de acordo com a NBR 15215-3 (2005) a iluminação natural consiste na luz proveniente de três fontes: diretamente do sol, luz difundida na atmosfera (abóbada celeste) e luz refletida no entorno.

Situando o sol como principal fonte de luz natural, é importante salientar que o espectro solar não é composto apenas por luz, mas sim por uma faixa de radiação que, segundo Roriz (2008) compreende radiações em comprimentos de onda desde 300 até aproximadamente 3000nm ($1\text{nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$), abrangendo três regiões: ultravioleta, visível e infravermelho (Figura 40).

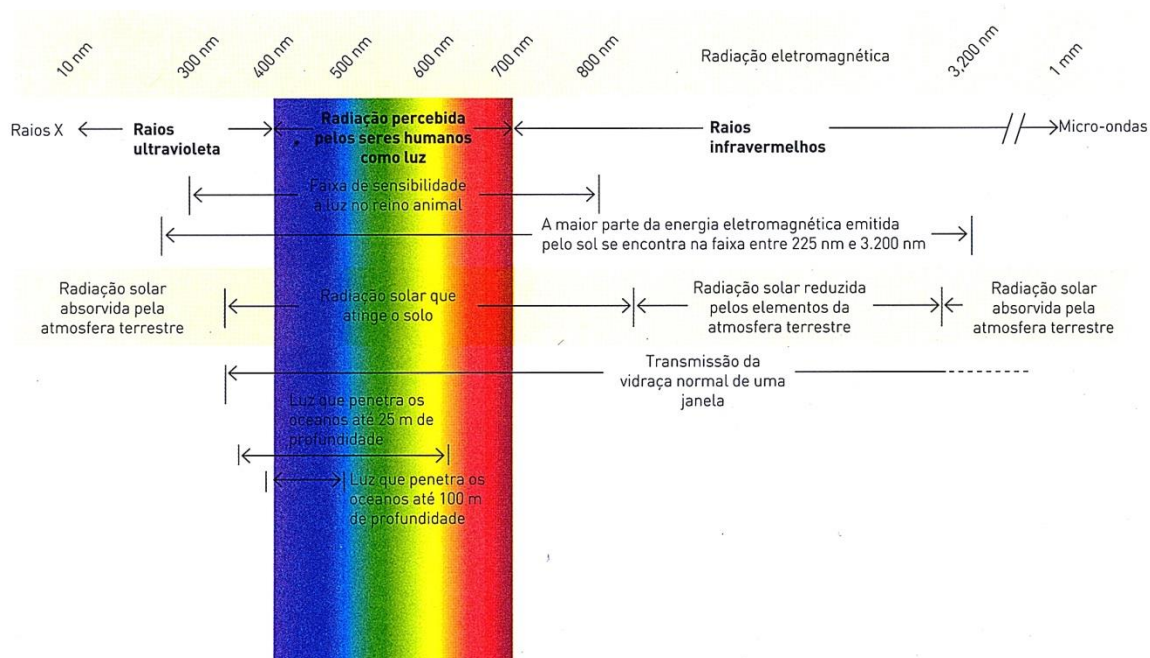
Figura 40: Regiões do Espectro Solar.



Fonte: Roriz 2008.

Outro aspecto relevante em relação ao conceito de luz e dos limites dessa no espectro solar está no fato de que a luz é a porção de radiação eletromagnética capaz de sensibilizar as células receptoras do sistema de visão humano, logo, dentro desse conceito deve se considerar que a percepção visual pode variar dos seres humanos para outros animais. Esta relação dos diversos campos do espectro solar se evidencia na imagem abaixo (Figura 41):

Figura 41: Espectro de radiação ponderado sobre diferentes aspectos.

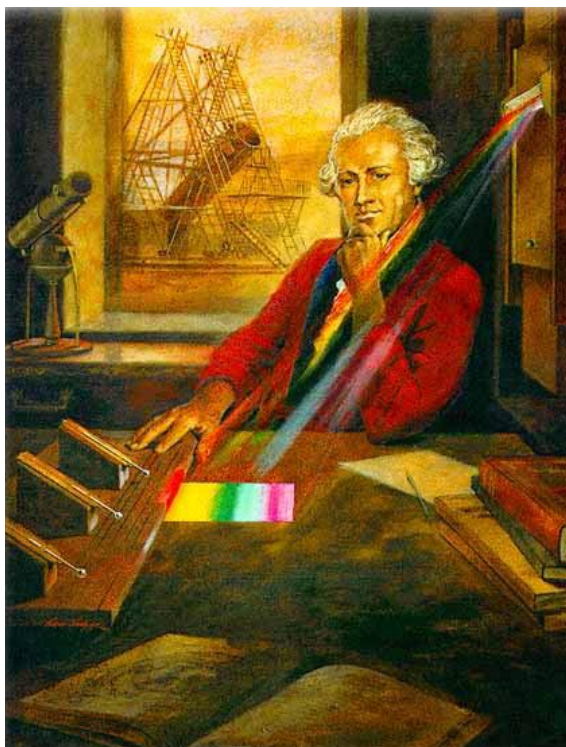


Fonte: Innes (2014).

Uma vez entendido o fato de que a luz consiste em apenas uma parte, ou faixa, do espectro solar, torna-se fundamental o conhecimento das características e dos efeitos das demais faixas que atingem a superfície terrestre juntamente a luz natural. Em regiões tropicais e de clima quente e úmido é comum que se encare a luz natural como um fator de incremento de carga térmica aos edifícios e, portanto, não muito desejável.

Segundo Castanedo (2005), a relação entre as faixas de radiação que compõem o espectro solar e a relação destas com a temperatura foram descobertas por William Herschel (Figura 42) quando este, em 1800 no Reino Unido, reproduziu o experimento de Newton passando um feixe de luz solar por um prisma para dividir esta em cores.

Figura 42: Experimento de William Herschel.



Fonte: Castanedo (2005).

Herschel percebeu, ao medir com o auxílio de termômetros de bulbo negro, que a temperatura aumentou progressivamente a partir da extremidade violeta para a extremidade vermelha e que aumentou de forma ainda mais expressiva ao posicionar o termômetro um pouco além da extremidade vermelha. Atualmente se sabe que esta faixa invisível corresponde à faixa infravermelha do espectro da luz solar.

Caram (1998), em uma definição mais específica, utilizada para o tratamento de dados de sua análise, divide o espectro solar em três regiões, caracterizando a região do ultravioleta como a faixa de 300 a 380 nm, a região do visível de 380 a 780 nm e a região do infravermelho entre 780 a 2200 nm. A autora ainda destaca que o infravermelho próximo (de 780 a 1400), responsável pelo ganho de calor nos ambientes, corresponde a mais da metade do espectro solar, sua consideração é extremamente relevante no controle de cargas térmicas.

A existência tanto da faixa do infravermelho quando da porção ultravioleta são elementos fundamentais para a manutenção da vida na terra. Na escala do edifício é importante que se verifique de acordo com a necessidade de cada ambiente até que ponto cada faixa do espectro solar deverá ser admitida. Uma das maneiras de fazer esse controle quando se busca priorizar a faixa de luz natural consiste na

associação de materiais translúcidos. Caram et al (2001) apresentam um estudo onde são correlacionados os percentuais de transmissão de radiação solar, para a faixa ultra violeta, faixa visível e faixa infravermelho, através de vidros e policarbonatos (Figura 43).

Figura 43 Quadro de transmissão de Radiação Solar através de Vidros e Policarbonatos.

Transmissão de Radiação Solar através de Vidros e Policarbonatos					
		Trasmissão Característica do Intervalo (%)			Transmissão Total da Amostra
Amostras	cor	Ultravioleta	Visível	Infravermelho	(%)
Policarbonato	Incolor	0	84	85	67
Vidro		38	86	70	72
Policarbonato	Verde	0	67	81	63
Vidro		16	68	40	45
Policarbonato	Bronze	0	49	66	51
Vidro		11	49	54	52
Policarbonato	Cinza	0	28	56	41
Vidro		12	46	43	42
Policarbonato	Azul	0	69	84	64

Fonte: Adaptado de Caram (1998).

Por meio desse estudo é possível criar arranjos, com sobreposição de placas, para combinar o desempenho de diferentes materiais em uma superfície translúcida, obtendo-se as características desejadas para o projeto em questão quanto à radiação solar.

3.4.2. Métodos de Avaliação de Iluminação Natural

Apesar de toda a complexidade do sistema visual humano e principalmente devido às características adaptativas do mesmo, não se pode confiar totalmente em sua capacidade de mensuração de níveis de iluminação. Segundo Innes (2014) a sensação de “luminosidade” é subjetiva e depende fortemente dos elementos presentes no campo visual, ou no ambiente como um todo. Logo uma mesma fonte de luz pode parecer mais ou menos intensa dependendo do ambiente na qual esta inserida, dependendo do “contraste” que esta terá em relação ao seu entorno. Voltando à capacidade adaptativa da visão humana, a própria escala de contraste pode ser variável fazendo com que a capacidade de mensuração da visão seja prejudicada em função desta.

Para permitir que se verifiquem os quantitativamente e qualitativamente as interações resultantes da luz com as superfícies materiais foram definidas unidades padronizadas que não dependem do julgamento pessoal de quem as investiga.

Ao se relacionar a luz solar e a percepção do ser humano em relação a esta, é importante que sejam definidos os conceitos de Iluminância e Luminância. Segundo Palhinha (2009), a Iluminância consiste na densidade do fluxo luminoso do sol e do céu que incide em uma determinada área. Segundo Innes (2014) a unidade do Sistema Internacional para iluminâncias é o Lux (lx) que por sua vez corresponde a intensidade do fluxo luminoso em uma área de 1m². O fluxo apenas, e não a densidade do fluxo (lx), tem como unidade no Sistema Internacional o Lúmen (lm). Sendo assim, pode-se afirmar que 1 lux corresponde a 1 lúmen por metro quadrado. Matematicamente a densidade do fluxo luminoso (iluminância) é descrita de acordo com a seguinte fórmula:

$$E = \frac{\varphi}{A} \quad (4)$$

Onde “E” é a Iluminância em Lux, ou Lúmens/m², “ φ ” é o fluxo luminoso em Lúmens e “A” é a área em metros quadrados. Apesar de ser um parâmetro de extrema importância para a avaliação de iluminação natural, a Iluminância em si não é percebida pelo olho humano e sim o resultado da interação deste elemento com a superfície que recebe o fluxo luminoso, a esta luz refletida é dado o nome de Luminância. O conceito de luminância permite que materiais diferentes que recebam o mesmo fluxo luminoso apresentem respostas quantitativas diferentes. A unidade de medida de Luminância no Sistema Internacional é candelas por metro quadrado (Cd/m²). Segundo Innes (2014), a candela (Cd) se relaciona com o brilho esférico de uma fonte de luz, logo essa grandeza está relacionada ao ângulo de incidência e de reflexão da luz sobre a superfície, segundo o autor 1 candela é igual a 1 lúmen por estereorradiano.

Para a medição quantitativa de Iluminâncias (densidade do fluxo luminoso) são utilizados os fotômetros (Figura 44), também conhecidos como luxímetro em alusão à unidade de medida dessa grandeza, lux por metro quadrado. Segundo Innes (2014), os fotômetros são calibrados para responder à luz visível de forma similar à

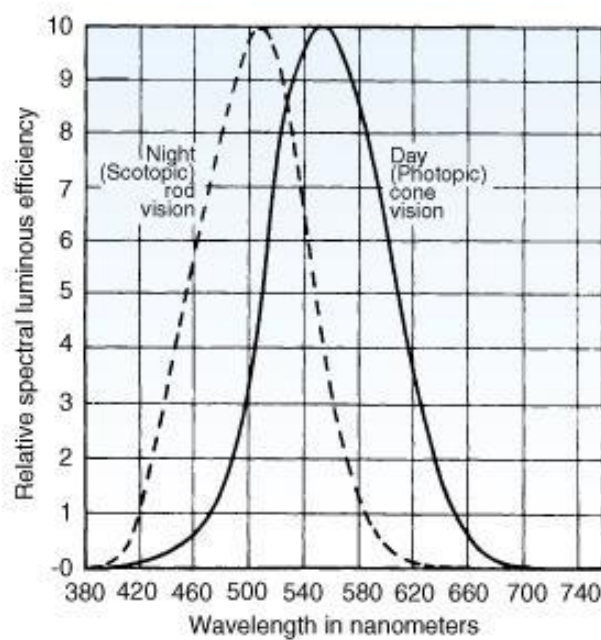
percepção humana, logo a leitura por faixa do espectro visível é ponderada pela curva de sensibilidade de visão noturna (Estocópica) e diurna (Fotóptica) CIE (Figura 45).

Figura 44: Luxímetro digital HOMIS, REF: H019-005 | MOD: 204.



Fonte: <http://www.homis.com.br/m3_print.asp?cod_pagina=1231>.

Figura 45: Curva de resposta visual, por comprimento de onda, para visão de seres humanos, durante a noite e o dia.



Fonte: IESNA, 2000.

Já para a medição de Luminâncias são utilizados equipamentos denominados Luminancímetros (Figura 46). Segundo IESNA (2000) os luminancímetros consistem basicamente em fotômetros com a adição de elementos ópticos que projetem a imagem sobre o detector. O Luminancímetro fornecerá as informações de resposta luminosa das superfícies visualizadas em seu campo em candelas por metro quadrado (cd/m^2) ou em *Foot-Lamberts* (fL, pés-Lamberts em português). É importante lembrar que essa resposta irá variar de acordo com a incidência de luz (fonte e ângulo) e com as características da superfície em estudo.

Figura 46: Luminancímetro LS-100 / LS-110 - Konica Minolta.



Fonte: <http://www.directindustry.es/prod/konica-minolta/luminancimetros-colorimetros-18413-1228017.html#product-item_563592>.

Outra forma de análise de luminância se apresenta com o uso de imagens de Grande Alcance Dinâmico em formato HDR. Uma vez definida a possibilidade de registrar imagens com alcance dinâmico similar ou até superior ao da visão humana as imagens em HDR podem ser avaliadas por *softwares* específicos capazes de definir, a partir da incorporação de dados de referência, a luminância de cada pixel da imagem. Essas informações podem ser extraídas em mapas de cores falsas ou de forma pontual como exemplificado na imagem abaixo do *software* WebHDR (Figura 47).

Figura 47: Mapa de cores falsas no WebHDR com valores em escala e pontuais.



Fonte: Jacobs, 2006.

Inanici e Galvin (2004) definiram, em seu estudo, uma metodologia para promover mais confiabilidade e acurácia aos valores de luminância obtidos por meio de imagens em HDR. O processo consiste basicamente em verificar os desvios entre as leituras das câmeras e as resposta de um medidor de luminâncias, luminancímetro, em diversos pontos de luminâncias diferentes para atribuir um fator de correção médio aos valores das imagens HDR.

Uma vez conhecidas as grandezas e os equipamentos de medição há que se verificar os métodos de avaliação da iluminação natural em relação aos espaços construídos. Uma das primeiras formas de quantificar a iluminação natural em ambientes surgiu por meio do conceito de Fator de Luz Diurna (em inglês, *Daylight Factor*), criado no Reino Unido no início do século XX.

Segundo a NBR 15215-3 (2005), o uso do Fator de Luz Diurna é recomendado pela Comissão Internacional de Iluminação, CIE (em francês, *Commission Internationale d'Eclairage*), e definido como a razão entre a iluminância de um determinado ponto - localizado num plano horizontal interno, devido à luz recebida direta ou indiretamente da abóbada celeste, com uma distribuição de luminâncias assumida ou conhecida - e a iluminância simultânea em um plano externo horizontal livre de obstruções.

É importante ressaltar que o Fator de Luz Diurna é válido apenas para condições de Céu Encoberto Padrão (CIE), logo, para avaliação sob outras circunstâncias deve-se utilizar outros métodos. Essa avaliação consiste basicamente em uma aproximação comparativa que relativiza a quantidade de iluminação no interior de um edifício à quantidade de luz natural disponível no exterior do mesmo.

A avaliação do Fator de Luz Diurna pressupõe a possibilidade de mensuração da iluminação em um ambiente existente. Essa restrição pode ser resolvida em parte com o uso de modelos físicos em escala para a simulação com o uso da iluminação natural real. Segundo Franco (2003), na faixa de radiação visível os raios solares tratam objetos em escala, da mesma forma que os objetos de tamanho real, dessa forma é possível reproduzir a distribuição luminosa sem necessidade de correções provenientes do uso da escala, o que não é válido para a análise térmica.

Um dos aspectos positivos da análise em modelos em escala está na possibilidade de testar soluções de sistemas e materiais de difícil representação em sistemas numéricos. Um dos exemplos dessa situação está na avaliação de elementos perfurados como chapas metálicas que, em alguns casos, são representados matematicamente apenas como uma superfície com determinado percentual de transmissão, mascarando com isso o real efeito causado pela distribuição e forma das aberturas na chapa.

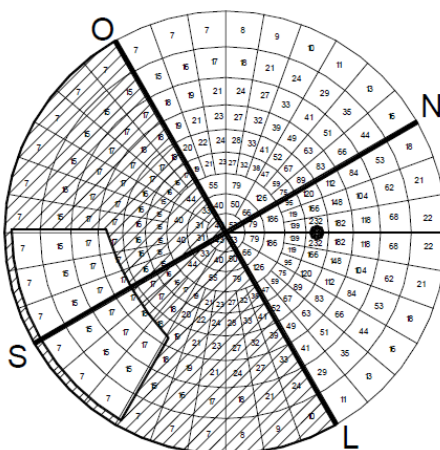
Segundo a NBR 15215-3 (2005), para medições em modelos devem se seguir as seguintes recomendações:

- Construir modelos em escala não menor do que 1:40;
- Garantir que todas as superfícies estejam presentes;
- Adequar as refletividades das superfícies e representar o mais corretamente possível as refletividades das superfícies reais;
- Evitar modelos mal executados onde possam ocorrer vazamentos de luz em suas juntas;
- Garantir que as obstruções externas apresentem tamanhos e refletividades corretas;
- Modelar adequadamente os detalhes das aberturas; e
- Planejar com antecedência as posições das medições.

Outra possibilidade de avaliação de iluminação natural em ambientes, antes da execução do mesmo, consiste no uso de métodos preditivos por meio de cálculos analógicos ou simulações computacionais. A NBR 15215-3 (2005) apresenta o “método do fluxo dividido”, para calcular a contribuição de iluminação natural (CIN), considerando três caminhos básicos que a luz pode fazer até atingir um ponto no interior do ambiente em estudo. Dessa forma são somados a componente de céu (CC), luz que alcança o interior diretamente do céu; a componente refletida externa (CRE) e a componente refletida interna (CRI). Esses valores são ponderados pelos fatores de manutenção das superfícies internas, transmissividade do vidro, fator de manutenção dos vidros e pelo fator de caixilho.

O resultado do cálculo pode ser avaliado de forma percentual, caso seja considerando uma medição de iluminância externa, ou de forma quantitativa com o uso dos “Diagramas de Contribuição Relativa da Luz”, os quais consistem em subdivisões da abóbada em diagramas planificados onde é atribuído um valor de iluminância a cada subdivisão de céu. Em ambos os casos serão quantificados as componentes de acordo com a quantidade de “céu visível” aos pontos de referência por meio da projeção das aberturas sobre os diagramas (Figura 48).

Figura 48: Projeção da abertura de um ambiente sobre um Diagrama de Contribuição Relativa da Luz.



Fonte: NBR 15215.

3.5. O Sol Como Fonte de Carga Térmica

O desempenho térmico de uma edificação interfere diretamente no regime de consumo energético desta uma vez que se considere a necessidade de se promover

condições internas de temperatura adequadas à execução das funções as quais o edifício se destinada.

Em síntese, o desempenho térmico de uma edificação depende das relações de troca térmica as quais esta estará sujeita durante seu ciclo de vida. Segundo Frota (2003) as trocas térmicas entre corpos dependem de dois aspectos: da existência de diferença de temperatura entre corpos e da mudança de estado de agregação, este último se dá por meio da mudança de estado líquido para o gasoso ou vice versa realizado pela água. Devido a isso, a autora divide seu estudo em “trocas térmicas secas” e “trocas térmicas úmidas”.

Em climas tropicais, isto é, a faixa entre os trópicos de câncer e de capricórnio, a influência do sol como fonte de carga térmica representa um fator de extrema relevância. Ainda segundo Frota (2003), pode-se afirmar que quanto maior for a latitude de um lugar menor será a quantidade de radiação solar recebida, logo, as temperaturas do ar tenderão a ser menos elevadas. Considerando esta premissa e admitindo-se 01°28' Sul como a latitude da cidade de Belém, no estado do Pará, o estudo de protetores solares como elementos de controle de admissão de carga térmica é fundamental para o desenvolvimento de edificações mais energeticamente eficientes em nossa região.

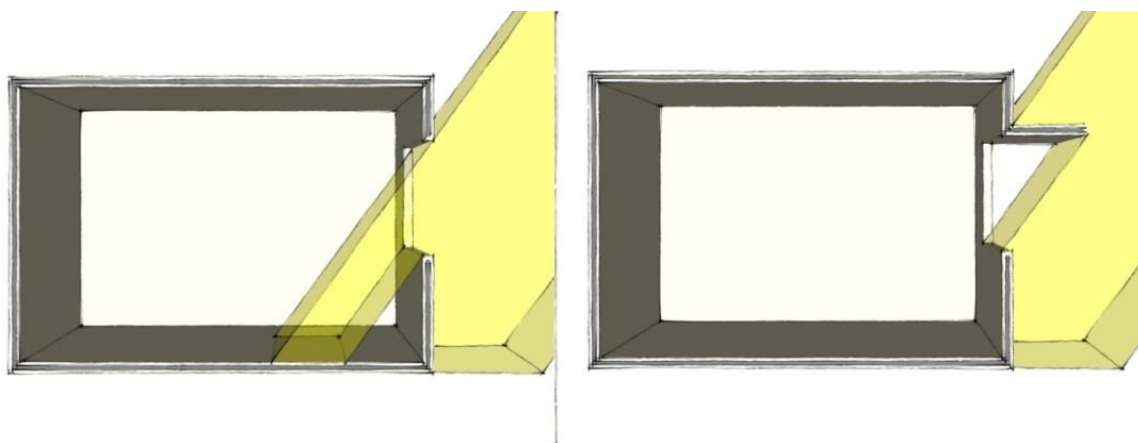
Segundo Lamberts (1997), o envelope construtivo que envolve o ser humano é o cerne das trocas de energia (luz ou calor) entre o meio exterior e interior. O autor ainda define que em se tratando de radiação solar é conveniente distinguir o envelope construtivo em opaco ou transparente de acordo com a sua capacidade ou incapacidade de transmitir a radiação solar para o interior do edifício.

Em se tratando de um estudo relativo ao aproveitamento de iluminação natural a análise de incremento de carga térmica será focada nos ganhos por aberturas, por translúcidos, para que possam ser avaliados, de forma comparativa, os ganhos térmicos inerentes aos ganhos luminosos em suas diversas formas de aproveitamento.

3.5.1. Do *Brise à Prateleira de Luz*

A relação das edificações com a insolação gerou diversas interfaces construtivas ao longo do processo evolutivo da arquitetura. Dentro desse aspecto o *brise soleil* (Figura 49), sistematizado por Le Corbusier na década de 1920, se consolidou, principalmente dentro do movimento moderno, como solução cujo objetivo principal consiste em controlar a radiação solar que é admitida pelo ambiente. Em outra definição, Frota (2004), indica que “o *brise soleil*, ou quebra sol, representa um dispositivo cuja função é sombrear, com o objetivo de reduzir a incidência de sol sobre uma construção ou sobre espaços exteriores, de modo a obterem-se melhores condições de temperatura e controle de incidência de luz solar...”. A mesma autora ainda indica a necessidade do estudo da geometria de insolação como subsídio ao um bom funcionamento do *brise*.

Figura 49: Representação esquemática de ambiente sem e com *brise*.



Fonte: Autor.

Dentro de um conceito mais abrangente de “dispositivos de proteção solar”, Frota (2004) lista os seguintes elementos:

- Varanda;
- Marquise;
- Sacada;
- *Brise soleil* vertical;
- *Brise soleil* horizontal;
- *Brise soleil* de composição de placas verticais e horizontais;
- Telas especiais;

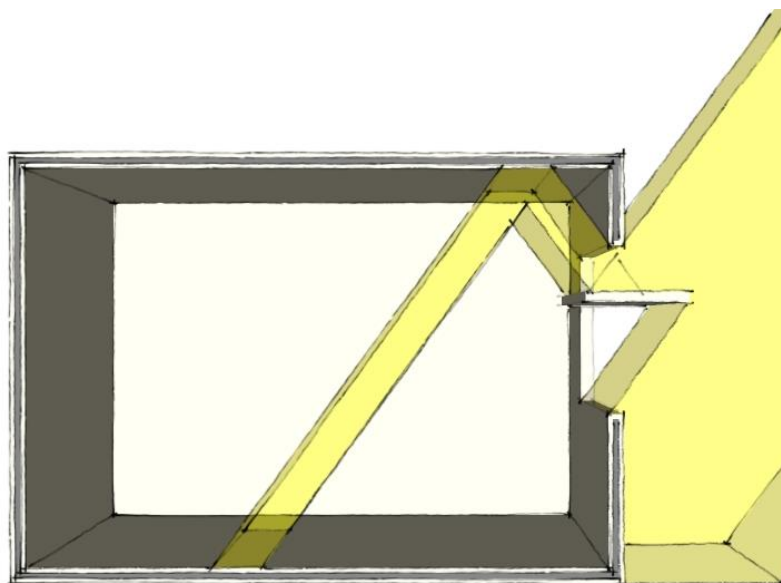
- Toldos;
- Cortinas e Persianas;
- Elementos vazados;
- Pérgulas.

Ainda para protetores solares, Bittencourt (2004) propõe que os mesmos sejam classificados quanto ao movimento, entre móveis e fixos, e quanto à posição que ocupam nas fachadas podendo ser verticais, horizontais e mistos. Pode-se acrescentar a esta classificação ainda, considerando os elementos listados por Frota (2004), quanto à localização, entre elementos externos (como *brises* e toldos) e elementos internos ao edifício (como cortinas e persianas).

Do ponto de vista térmico, a classificação entre elementos internos e externos ao edifício torna-se ainda mais relevante uma vez que, em se tratando de proteção elementos envidraçados, o uso de protetores internos não evitam a admissão de infravermelhos de onda curta para o interior do prédio, neste caso, apesar do controle luminoso, a radiação solar representará um incremento de carga térmica maior do que se o elemento estivesse localizado na face externa evitando a entrada dessas ondas.

Dentro do panorama de protetores solares a prateleira de luz (Figura 50) se apresenta como uma solução que não só age como controle de insolação, como também promove o aproveitamento da luz natural por rebatimento. Segundo Garrocho (2005), os primeiros estudos relativos às prateleiras de luz foram feitos por Hopkinson nos anos 50, com relação ao controle e distribuição da luz difusa e redução do ofuscamento. Para Lamberts (1997), *light shelf*, ou prateleira de luz se apresenta como uma opção de protetor solar externo onde, quando dimensionada de forma correta, há uma redução da incidência da radiação solar direta sem prejudicar o uso da iluminação natural.

Figura 50: Representação esquemática de ambiente com prateleira de luz.



Fonte: Autor.

Para a NBR 15215-1 (ABNT, 2005) prateleira de luz é definida como:

Elemento de controle colocado horizontalmente num componente de passagem vertical, acima do nível de visão, definindo uma porção superior e inferior, protegendo o ambiente interno contra a radiação solar direta e redirecionando a luz natural para o teto. (ABNT, 2005.)

O emprego da prateleira de luz como solução de projeto arquitetônico tem como objetivo tanto o controle de admissão de radiação solar direta quanto o redirecionamento da iluminação, aumentando com isso, o alcance desta em relação ao interior do recinto.

Estudos ainda indicam que o uso de sistemas de prateleiras de luz promove o aproveitamento da luz natural de forma mais qualitativa. Macêdo (2002) faz um estudo onde são avaliados, térmica e luminosamente, seis sistemas de iluminação natural que utilizam a luz direta do sol. Foram avaliados na pesquisa citada os sistemas de abertura lateral com vidro simples (3 mm); abertura lateral com prateleira de luz espelhada e vidro simples (3 mm); abertura lateral com veneziana fixa e vidro simples (3 mm); abertura lateral com painel cortado a laser; abertura zenital com vidro simples (3 mm) e abertura zenital com sistema de seleção angular e vidro simples (3 mm).

Macêdo (2002), em sua metodologia, avaliou os sistemas quanto a “iluminância média interna”, “distribuição de luz natural” e “admissão de calor”, de acordo com este estudo, para o sistema de abertura lateral com prateleira de luz espelhada prevalece o conceito bom para todos os itens de avaliação, ainda nesta pesquisa é destacado a característica da prateleira de proporcionar iluminação natural bem mais uniforme com ganhos térmicos bastante reduzidos. Deve-se ressaltar que o *Brise* não foi objeto da pesquisa citada uma vez que não tem o objetivo de promover o uso de iluminação direta, dito isto, pode-se verificar que a característica da prateleira de luz em proporcionar iluminação natural de maneira uniforme e com ganhos térmicos reduzidos se mostra extremamente coerente com a realidade de regiões de clima quente e úmido.

4. Metodologia

A metodologia proposta para este estudo consiste nas seguintes etapas: Levantamento bibliográfico de conceitos e métodos de avaliação de iluminação e desempenho térmico de ambientes; Definição de estratégias de análise e de equipamentos; Realização de procedimentos de controle metrológicos nos equipamentos de medição; Realização dos experimentos; Tratamento e correção dos dados obtidos e Análise de resultados.

Nesta pesquisa foi avaliado o desempenho térmico e luminoso resultante, em uma célula de testes, com sistema de prateleira de luz fixo, com placas vazadas. Foram testadas quatro variações no material, da prateleira de luz, responsável pelo rebatimento dos raios luminosos. Estas variações foram comparadas individualmente com um sistema de prateleira de luz convencional, com rebatedor opaco, em outra célula de testes, sob as mesmas condições de exposição da primeira.

Os *softwares Autocad* e *SketchUp* foram utilizados como ferramentas auxiliares para representação, projeto e análise geométrica das prateleiras de luz e dos elementos sombreadores utilizados no experimento. O *software Microsoft Excel* foi utilizado como ferramenta de tratamento e correção de dados obtidos no experimento. Para controlar remotamente as câmeras fotográficas utilizadas no experimento foram

usados os *softwares* *DIY Photobits Camera Control*¹¹, versão 5.1 e posteriormente o *Digi Cam Control*¹², versão 1.2.0.0, ambos gratuitos. A principal vantagem do segundo *softwares* em relação ao primeiro está na possibilidade de controlar múltiplas câmeras ao mesmo tempo, o que permitiu que imagens das duas células fossem obtidas de forma simultânea. O *software* *WebHDR* foi o escolhido para a geração e análise das imagens em HDR, o mesmo tem a vantagem de ser uma plataforma disponível gratuitamente no *site* <<http://www.jaloxa.eu/webhdr/>> podendo ser acessado sem a necessidade de instalação prévia. Foi utilizado também o *software* *HOBOWare* para configuração e extração de dados dos aparelhos *data loggers* utilizados no registro de dados de luminâncias e temperatura.

Para o procedimento experimental foram utilizadas células de testes desenvolvidas pelo professor Dr. Irving Montanar Franco durante o processo de pesquisa de sua tese. Segundo Franco (2003), com o uso de duas células “idênticas” (Figura 51) é possível estabelecer uma razão de eficiência entre diferentes sistemas de sombreamento, avaliando-os simultaneamente.

Figura 51: Células de testes posicionadas lado a lado na área onde foram realizados os procedimentos experimentais.



Fonte: Autor.

¹¹ Programa disponível no endereço <<http://www.diyphotobits.com/download-diyphotobitscom-camera-control/>>.

¹² Programa disponível no endereço <<http://digicamcontrol.com/download>>.

Cada célula possui 60 x 60 x 100 cm de espaço interno com uma abertura com esquadria de alumínio e vidro liso de 60 x 60 cm o que permite o isolamento da ventilação. Segundo Franco (2003), cada célula equivale à representação, na escala de 1:5, de um ambiente com dimensões de 3,0 x 3,0 x 5,0 m. O autor ainda ressalta que na faixa de radiação visível os raios solares tratam objetos em escala, da mesma forma que os objetos de tamanho real, dessa forma é possível reproduzir a distribuição luminosa sem necessidade de correções provenientes do uso da escala, o que não é válido para a análise térmica. A escala das células também está em concordância com o indicado pela NBR 15215-4/2003, onde, segundo esta, a iluminância e a luminância podem ser medidas em ambientes reais ou em modelos físicos executados em escala reduzida não menor que 1:40.

Outra característica das células de testes, relevantes para este estudo, está no isolamento térmico, segundo Franco (2003), as células foram desenhadas de modo a garantir um alto isolamento térmico através de suas áreas opacas, propiciando o mínimo ganho de calor por insolação direta.

Neste estudo, foi alterada a geometria da prateleira e dos sombreadores para que estes respondessem as definições para a análise na cidade de Belém, com latitude 1°28' Sul. Uma vez que o objetivo desse trabalho visa avaliar o desempenho de variações de prateleiras de luz buscou-se um recorte horário que diminuísse a incidência de variáveis e propiciasse as mesmas condições às duas células de testes. Para esta definição foram levantados os seguintes pontos desejáveis:

- Máximo de igualdade nas condições de exposição das células de testes;
- Maior simetria possível de insolação nas células de testes;
- Céu encoberto padrão CIE para permitir a verificação do “Fator de Luz Diurna” de acordo com o indicado pela NBR 15215-3;
- Evitar a incidência de Luz direta no interior das células.

Uma vez levantados estes pontos foi definido que o procedimento experimental será realizado em um terraço localizado no CEAMAZON, dentro do Parque de Ciência e Tecnologia do Guamá (PCT Guamá). O espaço cedido pelo LABCONF/CEAMAZON foi escolhido por se mostrar propício a esse tipo de procedimento em experimentos anteriores, apresentando o mínimo de obstrução de céu na orientação norte (Figura

52), piso verde para redução de interferência de ganho térmico por reflexão do piso, e área de apoio para tratamento de dados.

Figura 52: Foto obtida com Lente Olho de Peixe demonstrando a obstrução de céu encontrada no deck experimental do CEAMAZON para três modelos com aberturas voltadas para a fachada norte.

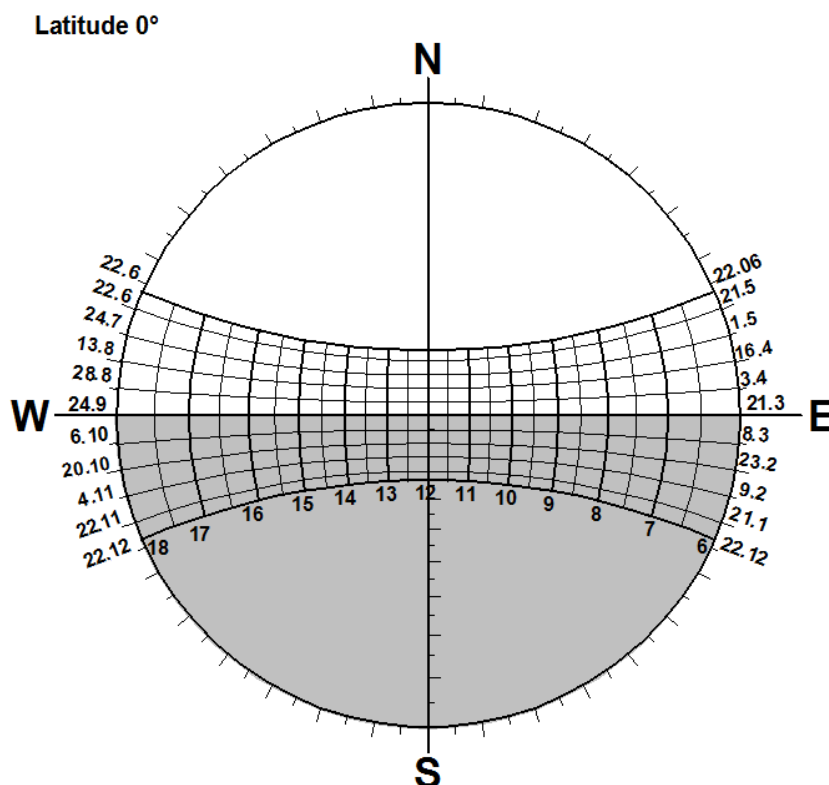


Fonte: Silva (2013).

Com a orientação norte definida como padrão para o posicionamento das aberturas das células, foi feita uma análise de mascaramento para a definição do recorte temporal do experimento evitando a admissão de insolação direta. De acordo com o diagrama solar para a latitude de 0° ¹³, pode se perceber que uma janela voltada para a orientação norte não recebe insolação direta entre o dia 24 de setembro e o dia 21 de março (área preenchida na Figura 53) logo, para garantir a realização do experimento sem a incidência de insolação direta no interior das células de teste durante todo o ano deve-se gerar uma máscara que sombreie as mesmas entre os dias 21 de março e 24 de setembro.

¹³ Admite-se neste ponto que a variação entre 0° e $1^{\circ}28'$ Sul (latitude de Belém) é irrelevante nesta aproximação uma vez que as duas células receberão o mesmo tratamento.

Figura 53: Demarcação da área difusa para abertura norte.



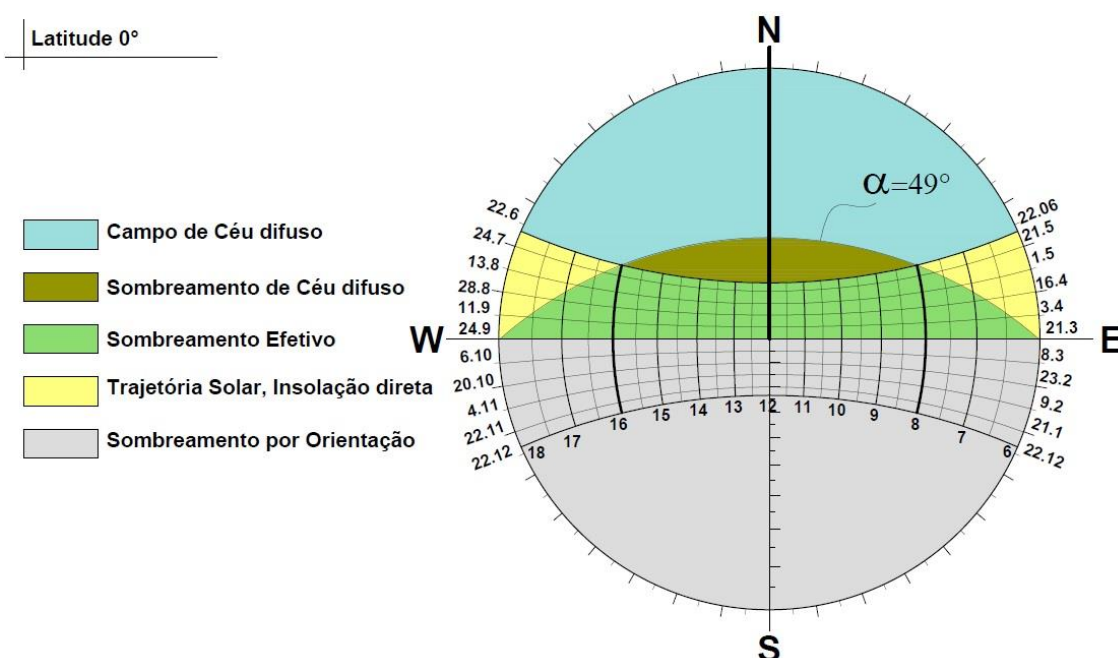
Fonte: Adaptado de Frota (2003).

O horário ótimo para garantir a incidência de insolação simétrica às células é o de 12 horas. Sob essas condições, se evitaria a influência de possíveis variáveis laterais sob apenas uma das células (como o sombreamento por volumes próximos) uma vez que estas estariam dispostas lado a lado. Conforme o distanciamento horário, para mais ou para menos, do horário ótimo, deve-se considerar a influência da lateralidade da incidência solar na avaliação dos resultados. Apesar desta premissa, não se deve desconsiderar a importância da avaliação das células em recortes horários diferentes, como acerto de experimento. Dessa forma seria possível identificar as diferentes características entre os horários e o impacto dessas variáveis sobre o experimento final.

Diante de todos estes aspectos, e considerando os pré-requisitos, optou-se, por definir um recorte horário mais amplo gerando com isso maior potencial de discussão para os resultados. Dessa forma partiu-se do horário ótimo de 12h com um afastamento de 4 horas para mais e 4 horas para menos, o que gerou um intervalo de análises entre 8 e 16 horas. Para a determinação do mascaramento, com o uso da carta solar, identificou-se o ponto de interseção entre a trajetória solar

do dia 22 de junho (solstício de inverno para o hemisfério sul, trajetória solar mais ao norte) e os horários de início e fim do intervalo de análise, essa interseção gerou um ângulo “ α ” de 49°. O ângulo “ α ” de 49° gerou uma máscara com um sombreamento efetivo no horário desejado, para o dia mais extremo (22 de junho), este horário de sombreamento total tende a ser maior conforme nos aproximamos dos equinócios (dias 14 de setembro e 21 de março), foi também gerada uma área de sombreamento de céu difuso. Os efeitos obtidos com a máscara podem ser verificados na Figura 54.

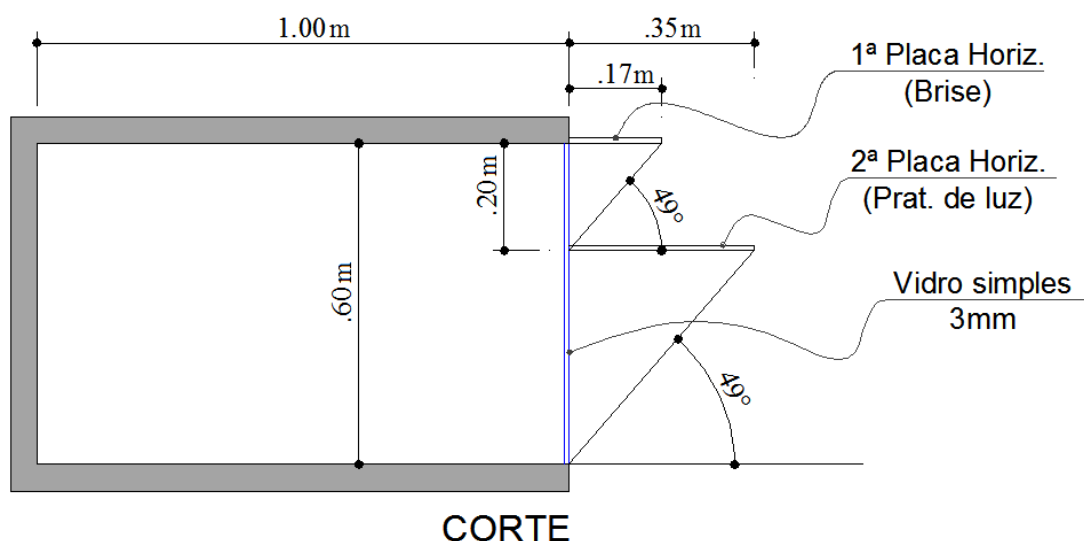
Figura 54: Mascaramento total para as células de teste para o recorte horário de 8 às 16 horas durante o ano todo.



Fonte: Autor.

Para a concepção do arranjo de placas que geraria o mascaramento projetado para a célula definiu-se que seriam utilizadas duas placas horizontas onde uma funcionará como *brise*, localizada imediatamente acima da abertura, e a segunda agirá como prateleira de luz, localizada a 20 cm (1/3 da altura da abertura) abaixo do *brise*. A profundidade de cada elemento de sombreamento foi definida com a transposição do ângulo “ α ” de 49°, em corte, ao limite inferior das aberturas resultantes do posicionamento das placas (Figura 55).

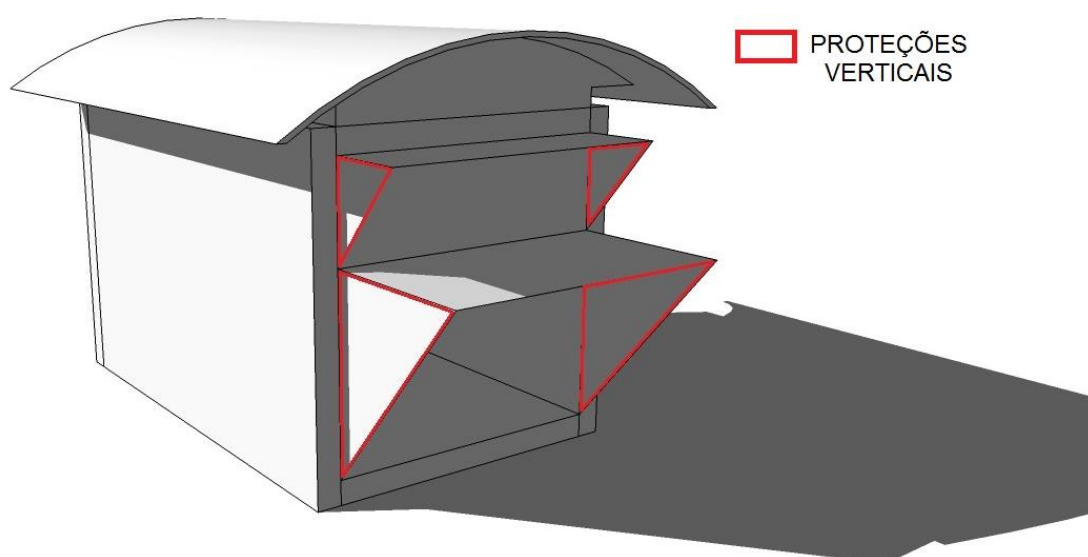
Figura 55: Corte esquemático do posicionamento das placas no arranjo de mascaramento da célula de testes.



Fonte: Autor.

Segundo Frota (2004), a placa vertical lateral triangular, associada a uma placa horizontal confere a esta, característica de placa horizontal infinita, dessa forma, para cada uma das placas geradas no procedimento anterior foi associada uma placa vertical triangular em cada um dos lados, completando com isso, o arranjo necessário para o mascaramento das células de teste (Figura 56).

Figura 56: Representação do arranjo de mascaramento aplicado na célula de testes.



Fonte: Autor.

Uma vez fixada a geometria da prateleira, foi definido que serão verificados, ao todo, o desempenho de 4 telas sendo uma resultantes de trama com fibra sintética em *nylon* (Figura 57), comumente utilizada por artesões locais na fabricação de móveis e três chapas metálicas perfuradas (Figura 58) fabricadas e fornecidas especificamente para este estudo pela empresa Permetal¹⁴, na pessoa de Eduardo Spadoni. Cada chapa foi executada mantendo o diâmetro do furo em 6,35mm e variando a quantidade do mesmo para atingir três níveis intermediários de percentual de abertura, 20%, 40% e 60%. A tela de *nylon* foi trançada em uma estrutura de alumínio seguindo um padrão ortogonal. Este padrão foi escolhido por apresentar maior uniformidade entre as áreas da tela em comparação com demais padrões utilizados pelos artesãos.

Figura 57: Trama com fibra sintética em *nylon*.



Fonte: Autor.

¹⁴ Empresa especializada em metais perfurados com sede Guarulhos e filial em Ribeirão Preto. Maiores informações no endereço <<http://www.permetal.com.br/>>.

Figura 58: Chapas perfuradas fornecidas pela empresa Permetal.



Fonte: Autor.

Os parâmetros de comparação de desempenho térmico e luminoso de cada uma das placas foram definidos pelos seguintes índices:

- Aquecimento da célula ($^{\circ}\text{C}$);
- Distribuição da Luz – Luminância (cd/m^2);
- Intensidade da Luz em 3 pontos – Iluminancia (Lux);
- Fator de Luz Diurna em 3 pontos – Iluminancia (%).

Para a mensuração do aquecimento e da intensidade luminosa no interior das células foi utilizado o aparelho *Data Logger*¹⁵, Hobo U12, da marca Onset (Figura 59). Em comparação com o aparelho de mesma função modelo H8, optou-se por usar o U12 devido a este apresentar maior escala de medição de iluminância. Segundo Silva (2013) em avaliação de iluminância em modelos em escala reduzida, na mesma localidade deste estudo, o aparelho Hobo H8 não pode ser utilizado para medição de iluminâncias devido aos valores encontrados ultrapassarem a capacidade de registro do equipamento que mede de 0 a 6 Klux, enquanto que o aparelho Hobo U12, quanto à iluminância, foi projetado para medições internas com

¹⁵ Aparelho eletrônico capaz de coletar e armazenar dados de um ou mais parâmetros de medição.

um alcance de 1 a 3.000 *footcandles* (lumens/ft²), ou seja, de 10 a 30.000 lux¹⁶ (lum/m²) aproximadamente.

Os aparelhos utilizados HOBO U12 utilizados neste experimento foram disponibilizados pela professora Dra. Lucieta Guerreiro Martorano, Professora colaboradora no programa de pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Estado do Pará (UEPA) e coordenadora do Laboratório de Agrometeorologia na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Figura 59: *Data Logger*Hobo U12.



Fonte: <http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u12-012>.

Para a avaliação da distribuição da luz natural foi utilizado o procedimento de obtenção e análise de imagens com grande alcance dinâmico (HDR), para isto foram utilizadas duas câmeras fotográficas DSLR¹⁷ da marca Nikon, sendo uma modelo D60 e outra modelo D3100, ambas com lentes olho de peixe, sendo a câmera D60 com a lente Sigma 8mm F3.5 EX DG Circular *Fisheye* (Figura 60) e a D3100 com a lente *Lensbaby* 5.8mm f/3.5 Circular *Fisheye* (Figura 61).

¹⁶ Segundo Phillips (2004), 1*footcandle* corresponde a 10,76 lux.

¹⁷ Câmera digital que usa um sistema mecânico de espelhos para direcionar a luz da lente para um visor óptico.

Figura 60: Câmera Nikon D60 + Lente Sigma 8mm F3.5 EX DG Circular *Fisheye*. Patrimônio do LADEC/ FAU/ ITEC/ UFPA.



Fonte: Autor.

Figura 61: Câmera Nikon D3100 + Lente *lensbaby* 5.8mm f/3.5 Circular *Fisheye*. Patrimônio particular.



Fonte: Autor.

O Fator de Luz Diurna (FLD) foi determinado por meio da relação entre os valores de intensidade de luz no interior da célula e o valor obtido no mesmo instante, no teto da célula, em ambiente aberto. Para isto foram utilizados dois Luxímetros digitais HOMIS, referência H019-005, modelo 204 (Figura 62), disponibilizados para uso nesta pesquisa pelo Laboratório de Análise e Desenvolvimento do Espaço Construído (LADEC) da UFPA.

Figura 62: Luxímetro digital HOMIS, REF: H019-005 | MOD: 204.



Fonte: http://www.homis.com.br/m3_print.asp?cod_pagina=1231.

4.1. Preparação e Definição das Práticas Experimentais

Para a obtenção dos parâmetros necessários para a avaliação do desempenho das prateleiras de luz foi feita uma verificação nas células de testes a fim de determinar as intervenções necessárias de reforma e readequação das mesmas. As células em seu projeto original, desenvolvido por Franco (2003), na ocasião de sua tese de doutorado, possuíam uma estrutura prismática em tubos de alumínio de secção retangular, fixada em uma estrutura secundária de aço que permitia a primeira ter sua inclinação alterada a partir do acionamento de motores elétricos (Figura 63).

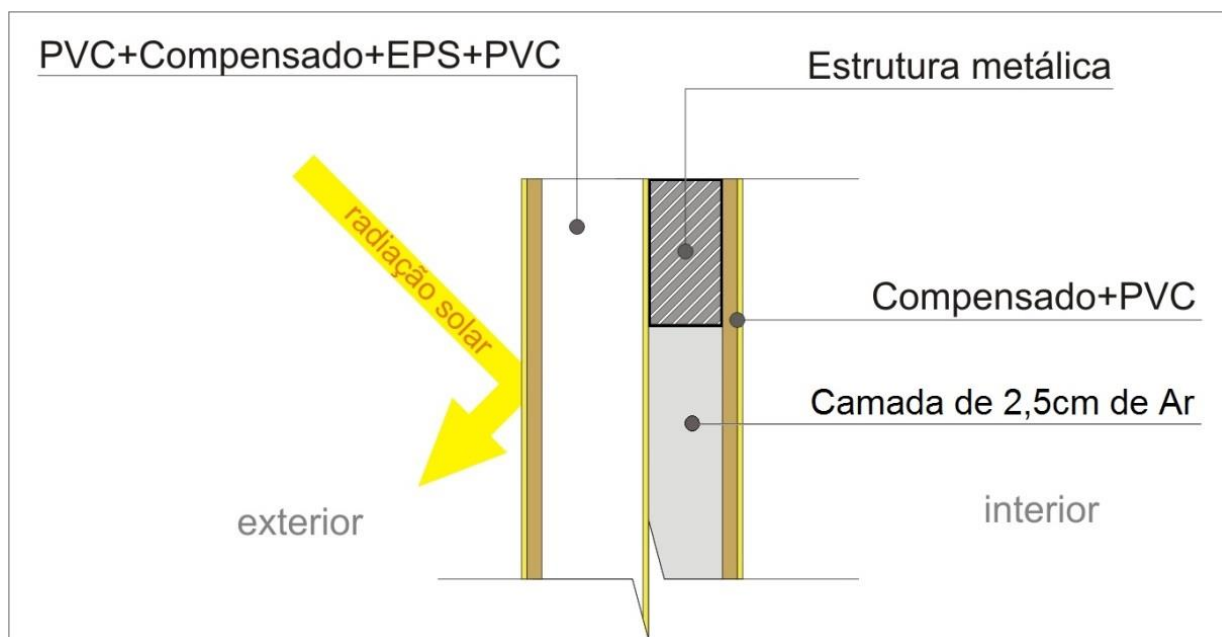
Figura 63: Estrutura metálica da célula de testes sem fechamentos opacos.



Fonte: Autor.

As células possuíam como fechamentos internos peças de compensado de 4mm revestidas com placas de PVC branco. Essa configuração foi usada em fechamentos verticais base e topo, a única exceção era a janela em esquadria de alumínio em uma das faces verticais menores (60 x 60cm). O objetivo do fechamento interno era garantir maior isolamento possível das trocas térmicas por ventilação e promover um ambiente homogêneo em termos de superfícies. Como fechamento externo, as células possuíam paredes verticais de 5cm de EPS (Poliestireno Expandido – Isopor) com uma face revestida com compensado e PVC e outra apenas com PVC. Como telhado, foi utilizada uma estrutura em compensado preenchida por EPS e coberta por uma folha curvada de compensado revestido com fórmica. O fechamento externo busca garantir que o único incremento de carga térmica, admitido para o interior das células, ocorra pela janela. Os fechamentos verticais seguiam basicamente o esquema abaixo (Figura 64).

Figura 64: Esquema gráfico dos fechamentos verticais das células de teste.



Fonte: Autor.

Para a prática experimental sugerida neste trabalho as células deveriam contemplar as seguintes exigências:

- Isolamento mantendo a janela como única interface de troca térmica e luminosa;
- Interior homogêneo para análise de distribuição de luz;
- Prateleiras e brises de acordo com a geometria descrita na metodologia;
- Aberturas para permitir o imageamento do interior pelo fundo e por uma das laterais de cada célula.

Na verificação das células foi identificada a deterioração de alguns fechamentos internos por ação de cupins e intempéries. Os revestimentos em PVC estavam amarelados e descolando dos compensados, o que impedia a abertura das janelas e, por conseguinte, o acesso ao interior das células. Verificou-se também certa dificuldade em desmontar os fechamentos externos, uma vez que, estes eram presos por parafusos que seguiam até o interior das células. Uma vez verificadas as condições foram propostas e executadas, sob supervisão do professor Dr. Franco, as seguintes ações de manutenção e adequação dos ambientes de teste:

- Substituição de todos os fechamentos internos por MDF de 6mm com face revestida em melamina branca;

- Criação de brises horizontais e verticais em MDF de 6mm com face revestida em melamina branca;
- Criação de aberturas circulares de 86mm nos fechamentos internos e externos, com tampas, para permitir o imageamento de câmeras de diversos modelos;
- Instalação de sistema de encaixe de painéis para facilitar a remoção dos fechamentos externos (isolantes térmicos);
- Aplicação de selador em todas as peças de MDF.
- Criação de sistema de fixação das prateleiras a serem testadas durante o experimento.

As ações realizadas podem ser verificadas nas imagens do quadro abaixo:

Figura 65: Quadro ilustrativo de ações realizadas na manutenção e preparação das células de testes.



Fonte: Autor.

Considerando as variáveis a serem verificadas no estudo, foram identificadas incompatibilidades de ações e necessidades de aproximações prévias para possibilitar o alcance do objetivo. Uma vez que para a avaliação por imagens em

HDR é necessário o acesso das câmeras por aberturas nas células, essa ação comprometeria o isolamento térmico necessário para a avaliação da curva de aquecimento promovida pela janela das células. Logo, foi definido que a análise de luminâncias (por imagem HDR) seria executada em um procedimento experimental isolado, enquanto que a análise de curva de aquecimento e distribuição de iluminâncias seriam executados em conjunto. A necessidade de realizar o procedimento de Fator de Luz diurna se faz desejável por se tratar de um método consolidado que pode balizar ou substituir as informações dos hobs em caso de inconsistência. Outro procedimento necessário foi a calibração das câmeras para a verificação de valores absolutos de luminância nas imagens em HDR, definiu-se que esta deveria ser a primeira prática.

4.2. Práticas Experimentais

4.2.1. Calibração para imagens em HDR

O procedimento de calibração das câmeras para obtenção de valores absolutos em imagens HDR consiste basicamente em comparar as leituras de luminância (em uma situação controlada e para uma mesma superfície) de um medidor físico de luminâncias (luminancímetro) com os valores obtidos no procedimento de compilação e análise de imagens HDR. Em função das duas leituras, é gerado um fator de correção a ser utilizado na geração de imagens HDR posteriores ao experimento de calibração.

Este procedimento é importante para o estudo de luminâncias por garantir confiabilidade razoável aos valores apresentados pelas imagens HDR e foi baseado nos processos descritos por Inanici e Galvin (2004), Jacobs e Brotas (2006), Jacobs (2007), Souza e Scarazzato (2009) e Souza (2010). Neste processo foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Câmera Nikon D3100 + Lente *lensbaby* 5.8mm f/3.5 Circular *Fisheye*;
- Câmera Nikon D60 + Lente Sigma 8mm F3.5 EX DG Circular *Fisheye*;
- Luminancímetro Minolta LS-110;
- Tripé de alumínio para suporte as câmeras e ao luminancímetro;
- Computador e cabos para controlar remotamente as câmeras.

Para a realização da calibração nas câmeras foi necessário prévia configuração destas e das objetivas (lentes) para evitar correções ou ajustes automáticos e permitir a variação de exposição necessária para a construção da imagem em HDR. Segundo os autores citados acima, para a geração de imagens HDR, são necessárias as configurações e ajustes nas câmeras indicadas no quadro abaixo:

Tabela 5: Configurações para geração de Imagens HDR.

ITEM	Configuração indicada
Abertura	f/4.0
Sensibilidade ISO	100
Tempo de Exposição	1" à 1/1000"
Balanço de Branco	De acordo com a cena
Foco	Manual
Redutor de Ruídos	Desligado
Controle de Distorção	Desligado
Medição	Central ou pontual
Equilíbrio de cores	Normal
Definição da Imagem	5 megapixels ou superior

Fonte: Autor.

Um dos aspectos relevantes quanto à calibração de câmeras para obtenção de valores de luminâncias está na configuração do “Balanço de Branco”. Este parâmetro é definido como uma ponderação quanto ao tipo de iluminação da cena a ser fotografada, logo, se a avaliação experimental for realizada em ambiente iluminado naturalmente, o ideal é que a calibração seja realizada sob as mesmas condições, e a câmera configurada para “luz natural” no item “Balanço de Branco”.

Para esta calibração foram realizados dois experimentos sendo o primeiro uma aproximação com objetivo de exercício da prática e o segundo efetivamente para gerar a calibração a ser utilizada no experimento de avaliação das prateleiras de luz.

O primeiro experimento foi realizado no dia 19 de março de 2015, sob condição de iluminação artificial do tipo fluorescente, na oficina do prédio onde funciona o CEAMAZON. Foram criados três quadros contendo duas amostras de papel branco, uma de cinza e duas de papel preto. Os quadros foram dispostos na parede central e nas laterais da sala com o objetivo de verificar possíveis desvios de medição entre as áreas do campo de visão das câmeras (Figura 66).

Figura 66: Disposição dos quadros de papel no interior da sala. Foto feita com a câmera Nikon D60 com a lente Sigma.

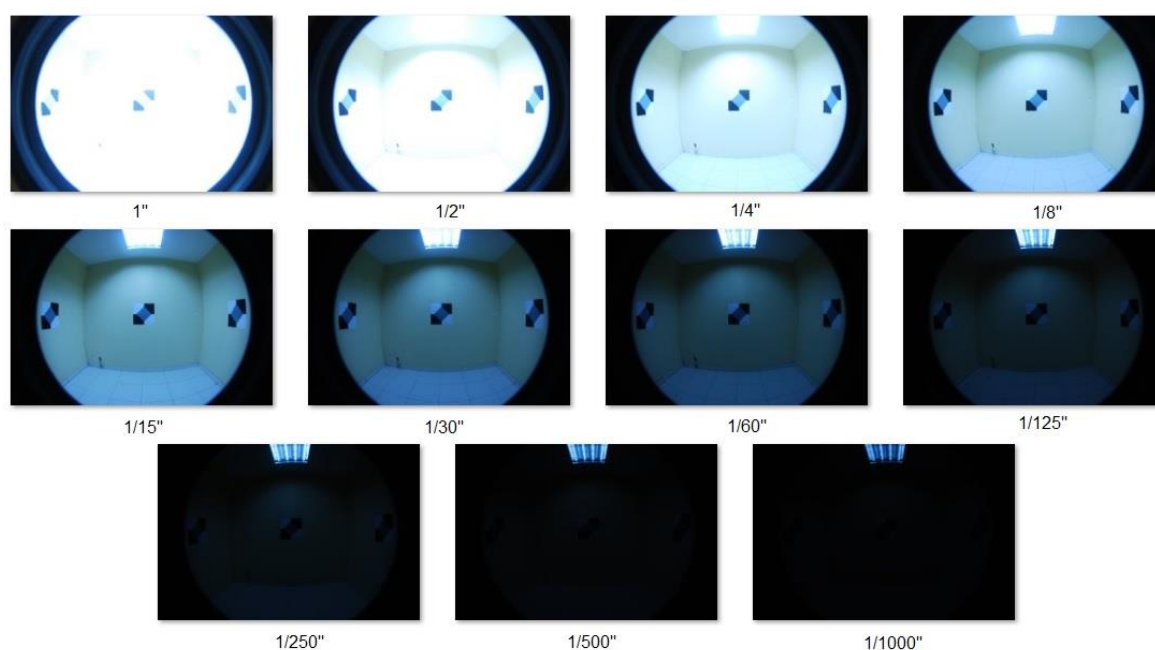


Fonte: Autor. Arquivo "DSC_0408.jpg".

Primeiramente foram identificadas as superfícies de interesse separando-as em "Quadro Central", "Quadro Lateral Esquerdo" e "Quadro Lateral Direito". As superfícies dos quadros foram identificadas como "B.S." (Branco Superior), "P.S." (Preto Superior), "C." (Cinza), "P.I." (Preto Inferior) e "B.I." (Branco Inferior). Em seguida foram tomadas as medições de cada uma das superfícies com o luminômetro e anotadas em uma tabela seguindo a nomenclatura indicada acima. Logo após este procedimento foram obtidas as imagens com as câmeras fotográficas variando-se o tempo de exposição de cada captura, partindo de 1 segundo até 1/1000 segundo, respeitando os "meio pontos" apresentados por cada câmera. As câmeras foram controladas por meio de um computador com o uso do *software DIY Photo Bits Camera Control*, versão 5.1, o que permitiu maior estabilidade na obtenção das imagens. Este procedimento gerou 31 fotos de cada câmera.

Para a geração das imagens em HDR foi utilizado o *software WebHDR*. Para a compilação no *software* foram utilizadas 11 fotos (Figura 67), considerando o intervalo de um ponto 1 de tempo de exposição, ou 1 EV, entre cada foto. Uma vez compiladas as fotos no *software WebHDR* é gerado um arquivo de curva de reposta utilizado para análise de futuras fotos realizadas sob o mesmo tipo de iluminação e para a câmera com a qual as fotos foram obtidas.

Figura 67: Imagens obtidas com a câmera D60 + Lente Sigma 8mm F3.5 EX DG Circular Fisheye, como intervalos de 1EV.



Fonte: Autor. Arquivo "Fotos e EVs.jpg".

Os mesmos pontos verificados com o luminômetro foram identificados no *software*, em análise de cores falsas (CF), e tiveram seus valores anotados para que os mesmos fossem comparados. Um aspecto relevante quando a análise de cores falsas no *WebHDR* está na necessidade de se confirmar a correspondência entre o ponto de medição mostrado no monitor e o valor numérico apresentado, para isso o *software* apresenta um sistema de coordenada que permite o ajuste baseado no tamanho da imagem gerada, dessa forma é possível, por exemplo, mover o cursor até os limites da imagem e verificar se o mesmo corresponde com as coordenadas. Uma vez verificado o quadro e obtidas as leituras foi feita a comparação entre os pontos e gerado um desvio médio para ser utilizado como fator de correção em análises futuras para condições de iluminação artificial fluorescente.

Com base nesse experimento de aproximação foi definido o experimento que gerou a calibração para avaliação de iluminação natural. Uma vez que a calibração visa comparar medições físicas com digitais por fotos optou-se por realizar o procedimento de calibração nas próprias células de teste onde serão realizados os experimentos. Para isto foi definido que as câmeras seriam posicionadas na abertura lateral de uma das células gerando um campo de visão que capturou tanto a face imediatamente a frente quanto a abertura à direita e o fundo da célula, à esquerda. Deste mesmo ponto foram obtidas as medições com o luminômetro. Os quadros de papel foram fixados na face à frente da abertura e no fundo da célula. As nomenclaturas indicativas foram mantidas do primeiro experimento eliminando apenas o “Quadro Lateral Direito” onde, na célula, está posicionada a abertura. É importante ressaltar que as referências de posicionamento, para este experimento são relativas às fotografias.

Novamente o procedimento se iniciou com as leituras das superfícies de interesse com o luminômetro (Figura 68), as mesmas foram anotadas seguindo o padrão de identificação da primeira aproximação. Logo após as medições físicas foram obtidas as fotos das câmeras controladas por meio do *software Digi Cam Control*. Em cada uma das câmeras foram feitas 11 fotos respeitando a variação de 1EV entre os tempos de exposição de 1” e 1/1000”. Segundo Inanici e Galvin (2004), para reduzir as variações inerentes à luz natural, as leituras com o luminômetro foram repetidas ao final do experimento.

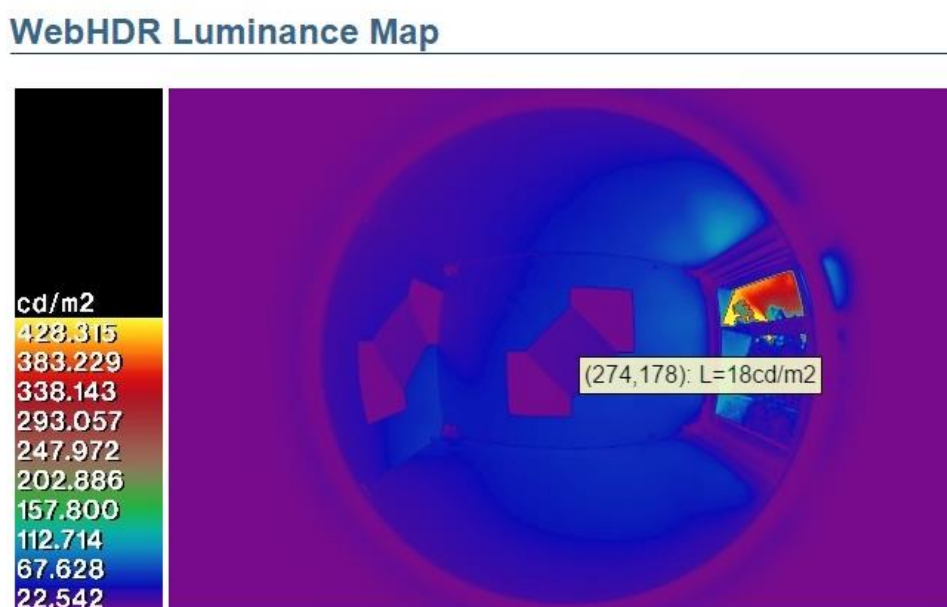
Figura 68: Leitura de Luminâncias no interior da célula.



Fonte: Avner Rolim.

A geração das imagens em HDR seguiu o mesmo procedimento da primeira aproximação, tendo como ferramenta principal o *software WebHDR*. Para registrar as informações apresentadas pelo *software* foram feitas capturas de tela (Figura 69) uma vez que o valor de cada pixel é apresentado conforme se movimenta o cursor do mouse sobre a imagem. A comparação desta avaliação se deu entre as leituras obtidas nas imagens em HDR e as médias das medições do início e do final do experimento com o luminômetro para cada superfície.

Figura 69: Captura de tela para registrar os valores de luminâncias indicados pelo *software WebHDR*.



Fonte: Autor. Arquivo "Leituras.jpg".

Como resultado desse experimento foi gerado o fator de correção e o arquivo de curva de resposta de cada câmera, ambos devem ser utilizados no *software* para a geração e análise das imagens em HDR. A curva de resposta é gerada automaticamente durante o processo de fusão das fotos no *software*, já o fator de correção consiste na média das médias entre as diferenças dos valores medidos pelo luminômetro e indicados na página interativa do programa *WebHDR*. Os valores obtidos nesse processo bem como o fator de correção para cada câmera (com fundo rosa no quadro) foram dispostos em tabelas nas figuras a seguir (Figura 70 e Figura 71):

Figura 70: Comparação de leituras e foto HDR da câmera D3100.

LUMINÂNCIAS (cd/m ²) - HDR Câmera D3100			
	Quadro Frontal	Quadro Lateral Esquerdo	
P.S.	4	2	
P.I.	3	3	
C.	18	15	
B.I.	61	52	
B.S.	45	30	

Correções			
correção quadro frontal	correção quadro L. Esquerdo	Média das correções	
1,29125	1,9125	1,601875	
1,15	1,796666667	1,473333333	
1,02	1,495666667	1,257833333	
1,12442623	1,315384615	1,219905422	
1,188444444	1,616	1,402222222	
1,154824135	1,62724359	1,391033862	

LUMINÂNCIAS (cd/m ²) - Luminôncímetro Minolta LS110 - média			
	Quadro Frontal	Quadro Lateral Esquerdo	
P.S.	5,165	3,825	
P.I.	3,45	5,39	
C.	18,36	22,435	
B.I.	68,59	68,4	
B.S.	53,48	48,48	



Fonte: Autor. Arquivo “EXPERIMENTO de calibração célula com iluminação natural.xls”.

Figura 71: Comparação de leituras e foto HDR da câmera D60.

LUMINÂNCIAS (cd/m ²) - HDR Câmera D60			
	Quadro Frontal	Quadro Lateral Esquerdo	
P.S.	3	2	
P.I.	2	2	
C.	14	13	
B.I.	50	44	
B.S.	40	30	

Correções			
correção quadro frontal	correção quadro L. Esquerdo	Média das correções	
1,721666667	1,9125	1,817083333	
1,725	2,695	2,21	
1,311428571	1,725769231	1,518598901	
1,3718	1,554545455	1,463172727	
1,337	1,616	1,4765	
1,493379048	1,900762937	1,697070992	

LUMINÂNCIAS (cd/m ²) - Luminôncímetro Minolta LS110 - média			
	Quadro Frontal	Quadro Lateral Esquerdo	
P.S.	5,165	3,825	
P.I.	3,45	5,39	
C.	18,36	22,435	
B.I.	68,59	68,4	
B.S.	53,48	48,48	



Fonte: Autor. Arquivo “EXPERIMENTO de calibração célula com iluminação natural.xls”.

4.2.2. Análise de luminâncias por HDR

O procedimento de análise de luminâncias foi realizado entre os dias 17 e 23 de abril, no terraço do LABCONF/ CEAMAZON. Para tal, as duas células de teste foram posicionadas com suas aberturas orientadas a norte, lado a lado. As células foram posicionadas em uma área onde abaixo das aberturas foram colocadas placas de piso verde buscando diminuir a contribuição luminosa por albedo (Figura 72). Para este experimento não houve a necessidade do uso das placas de isolamento térmico.

Figura 72: Posicionamento das Células de Teste para captura de fotos.



Fonte: Autor.

Para obtenção das imagens, as duas câmeras DSLR foram fixadas em tripés e dispostas em aberturas na lateral leste (posição 1) e no fundo (posição 2) de cada célula (Figura 73). Cada câmera foi controlada remotamente a partir de um computador ligado via porta USB às câmeras (Figura 74). O uso do tripé e do computador como controlador das câmeras permitiu a obtenção de fotos simultâneas, nas duas células, com as variações de configuração necessárias para a compilação de fotos em HDR, sem alteração accidental no posicionamento das mesmas. Acima das aberturas das células, onde foram posicionadas as câmeras, foi fixado um tecido preto para cobrir as mesmas e evitar possíveis contribuições de luz durante o uso.

Figura 73: Representação esquemática das posições da câmera para obtenção das imagens em HDR.



Fonte: Autor.

Figura 74: Acionamento remoto das câmeras por meio de um computador.



Fonte: Avner Rolim.

Na célula 1 foi instalada a prateleira opaca, construída em MDF com a face superior revestida com chapa de alumínio polido, isto se manteve em todas as comparações deste experimento. Esta célula foi tomada como base para a análise comparativa do desempenho das variações de prateleiras vazadas testadas na célula 2.

Na célula 1 foi utilizada a câmera Nikon D3100 com alente *Lensbaby* 5.8mm f/3.5 Circular *Fisheye*, enquanto que na célula 2 foi utilizada a câmera Nikon D60 com alente Sigma 8mm F3.5 EX DG Circular *Fisheye*. A primeira bateria de imagens foi realizada com as duas células com prateleiras opacas. Foram obtidas ao mesmo tempo 11 imagens a partir da lateral de cada célula, mantendo-se as mesmas variações de tempo de exposição utilizadas no experimento de calibração. Esta avaliação teve como propósito gerar um comparativo dos dois sistemas e verificar possíveis desvios não relacionados ao desempenho das prateleiras que foram avaliadas no estudo. Após esta primeira bateria, as variações foram realizadas seguindo a sequencia abaixo:

- Prateleira de *Nylon*;
- Prateleira Metálica – 20% de Abertura;
- Prateleira Metálica – 40% de Abertura;
- Prateleira Metálica – 60% de Abertura;
- Sem Prateleira.

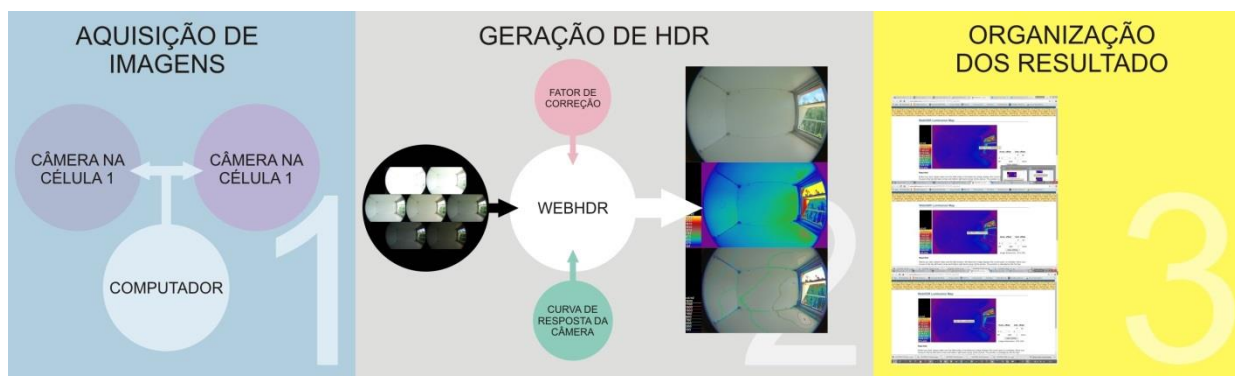
Já na posição 2, com as câmera posicionadas no fundo das células, em direção a abertura foram novamente obtidas 11 imagens do interior de cada célula para cada variação de prateleira. As imagens foram obtidas de forma concomitante, em cada posição, com o auxílio do programa *Digi Cam Control*. Na posição 2 a sequência das variações foi a seguinte:

- Prateleira opaca;
- Prateleira Metálica – 20% de Abertura;
- Prateleira Metálica – 40% de Abertura;
- Prateleira Metálica – 60% de Abertura;
- Sem Prateleira.
- Prateleira de *Nylon*;

As imagens obtidas foram identificadas e armazenadas de forma separada em pastas, no computador, com a identificação da prateleira utilizada durante a obtenção das fotos. De cada conjunto de 11 fotos, referente a um sistema de prateleira vazada, foram selecionada as 7 imagens centrais entre o intervalo de exposição utilizado. Estas 7 foram processadas no *software WebHDR* para a geração e análise das imagens em HDR. O intervalo maior de EV permitiu que caso o resultado se apresentasse com super ou subexposição fosse possível repetir apenas o procedimento de geração de HDR e não necessariamente a aquisição de novas imagens. Neste processo foram utilizados os coeficientes de correção encontrados no experimento anteriormente citado.

De forma esquemática, este procedimento experimental pode ser descrito em 3 etapas: Aquisição de Imagens; Geração de HDR e Organização dos Resultados (Figura 75).

Figura 75: Esquema gráfico do procedimento experimental de Análise de Luminâncias por HDR.



Fonte: Autor.

4.2.3. Análise de curva de aquecimento e iluminâncias

O procedimento de análise de curvas de aquecimento e iluminâncias foi realizado entre os dias 11 e 29 de maio, no mesmo local do procedimento anterior, mantendo o posicionamento das células. Para este procedimento foi definido a altura de 15 cm para a disposição dos equipamentos de medição a serem posicionados no interior das células, essa altura corresponde, na escala de 1:5 (escala da célula de teste), ao plano de trabalho de 75 cm, usado como referência para medições de iluminâncias.

Segundo a NBR 15215-4, para a determinação do número de pontos de medição de iluminâncias deve-se calcular o coeficiente “k” e então dividir o ambiente no número correspondente ao “K” de pontos de medição, o número mínimo de pontos de medição indicado na norma é 9, uma vez que não se tem disponibilidade de medidores para seguir esta indicação optou-se pela utilização de 3 pontos de medição dispostos em uma linha central a célula de testes. Essa disposição permitiu a verificação do comportamento dos índices de iluminância ao longo do comprimento da célula tendo como referência o maior ou menor distanciamento da janela, fonte de luz e calor. Considera-se que para a investigação de prateleiras de luz, neste trabalho, esta resposta é satisfatória uma vez que o objetivo é buscar uma avaliação conceitual demonstrativa, metodológica.

Quanto ao aspecto térmico, uma vez que este seria avaliado apenas como uma tendência relativa ao desempenho luminoso resultante de cada prateleira foi definido que as avaliações se dariam por meio da comparação da curva de aquecimento de cada arranjo de prateleira com a prateleira de referência, opaca. Os pontos de registro de temperatura foram os mesmos definidos para a verificação de iluminâncias uma vez que ambos foram registrados pelos aparelhos HOBOS U12 (EMBRAPA).

Além dos três pontos, no fundo de cada uma das células foi adicionado um termopar inserido em uma esfera negra (equipamento particular, disponibilizado pelo professor Dr. Irving M. Franco) para coletar as informações de temperatura radiante. Dessa forma foi possível obter 4 curvas de aquecimento em cada célula. Para facilitar a disposição dos equipamentos de medição no interior das células, foram criadas duas bases planas, cada uma com 3 suportes, o material utilizado foi o

Papel Pluma¹⁸ (ver Figura 77). Cada *data logger*, assim como suas referidas bases, foi identificado considerando a célula na qual seria inserido (podendo ser “C1” ou “C2”) e a posição em que seria disposto nesta (podendo ser “Janela”, “Centro” ou “Fundo”), foi feito um símbolo nos hobos do centro para identificar que os termopares inseridos nas esferas negras estavam conectados a esses aparelhos. A identificação dos equipamentos e a disposição dos mesmos nas células podem ser verificadas nas Figura 76 e Figura 77. Os hobos utilizados com suas respectivas posições foram: 10120664 - C1 Janela; 10279982 - C2 Janela; 10280024 - C2 Centro; 10280025 - C1 Centro; 10120665 - C1 Fundo; 10279984 - C2 Fundo.

Figura 76: Hobos identificados de acordo com a célula e com a posição na mesma.



Fonte: Autor.

¹⁸ Também conhecido como papel maquete ou *Foam Board*, consiste em uma folha de Poliestireno revestida em ambos os lados por papel cartão.

Figura 77: Interior de uma das células com os equipamentos de medição e coleta de dados posicionados.



Fonte: Autor.

Para o registro da curva de aquecimento verificou-se a necessidade de se estabelecer uma situação térmica basal da qual as duas células pudessem partir, em igualdade, para a exposição ao aquecimento passivo. Em uma primeira tentativa as células foram posicionadas no terraço do CEAMAZON e um sistema de tubos flexíveis foi conectado ao fundo de cada célula e a saída de ar do sistema de refrigeração da oficina. Foi verificado por meio de um termômetro digital que o fluxo de ar resfriado inserido nas células não foi suficiente para baixar significativamente a temperatura das mesmas. Descartada esta primeira tentativa, optou-se por resfriar as células dentro da oficina para que só então as mesmas fossem colocadas para a condição de aquecimento passivo.

Dentro dessa estratégia foi feita a primeira aproximação no dia 11 de maio. A célula 1 se manteve com a prateleira opaca e na célula 2 foi instalada a prateleira de *nylon*. Os 6 *data loggers* foram configurados para iniciar o registro de dados imediatamente após o processo de configuração, para esta aproximação foi definidos o intervalo de medição de 1 minuto. Os aparelhos foram configurados por meio de conexão USB, com o uso do programa *HOBOWare* disponibilizado pelo próprio fabricante, instalado em um computador portátil (Figura 78).

Figura 78: Configuração dos aparelhos de medição e registro.



Fonte: Autor.

Durante a configuração dos aparelhos os mesmos foram identificados de acordo com as etiquetas previamente coladas, com o acréscimo dos seus últimos 4 números de série para que os arquivos extraídos mantivessem a referência ao aparelho de medição, a célula e a posição na célula (Figura 79).

Figura 79: Exemplo de identificação do *data logger* com o numero de série seguido pela célula e por fim a posição na célula.

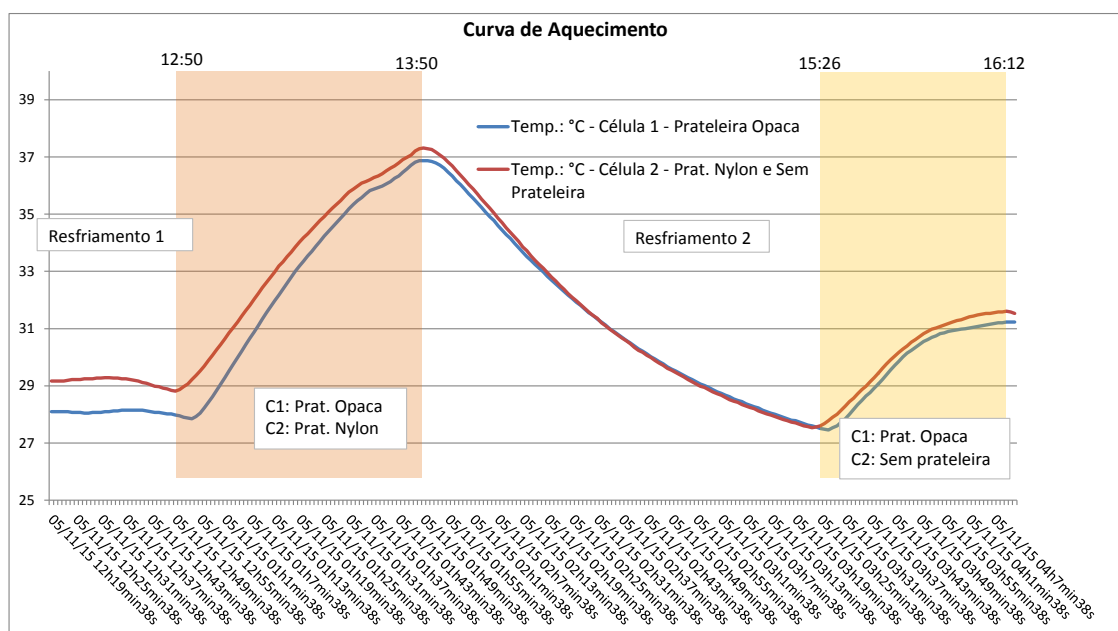
#	Hora, GMT-03:00	Temp
1	05/11/15 12h18min41s	
2	05/11/15 12h19min41s	

Fonte: Autor.

A configuração dos 6 aparelhos terminou as 12 horas e 25 minutos, após isso os mesmo foram inseridos no interior de suas referidas células. As células foram mantidas no interior da oficina do LABCONF/CEAMAZON, por 30 minutos, em resfriamento controlado por condicionamento de ar. Após isto as mesmas foram expostas a condição de aquecimento passivo no terraço, área externa a oficina, por 50 minutos. Após esse período as células retornaram a oficina e para um novo ciclo

de resfriamento, que durou 90 minutos, e remoção da prateleira da célula 2 para uma comparação de desempenho entre célula com prateleira opaca e célula sem prateleira em nova exposição a aquecimento passivo. Nessa aproximação foi investigada a possibilidade de se coletar os dados de mais de um arranjo de prateleiras sem a extração dos primeiros. A definição dos períodos de resfriamento e aquecimento das células nesta aproximação foi empírica, a situação ideal buscada era que durante estes períodos fossem atingidos os equilíbrios térmicos, entre ganhos e perdas, nos dois extremos, de máxima e mínima temperatura. O gráfico da Figura 80 mostra a comparação entre a curva de aquecimento da célula 1 (linha azul, com prateleira opaca) e a célula 2 (linha vermelha, com prateleira de *nylon* no primeiro aquecimento e sem prateleira no segundo).

Figura 80: Gráfico da primeira aproximação do experimento de curva de aquecimento.



Fonte: Autor. Arquivo: Dados dia 11 - C1 OPACA X C2 NYLON.xls

No gráfico acima foram utilizados os dados de temperatura de globo. Pode se perceber, em uma análise sobre o procedimento, que o tempo de exposição ao aquecimento e ao resfriamento não foi satisfatório para a visualização de um período de equilíbrio, isso se faz necessário para que se verifique o tempo que cada célula precisaria para atingir a temperatura máxima encerrando com isso a curva de aquecimento.

Quanto ao resfriamento percebeu-se também que no primeiro aquecimento as células partiram de patamares com aproximadamente 1°C de diferença o que prejudica a comparação dos tempos de aquecimento de cada uma delas. Durante o tratamento de dados também foi observada a necessidade de se configurar os Hobos para que estes iniciem a coleta e armazenamento de dados em um mesmo horário específico o que facilitou a comparação das leituras. Diante do que foi observado neste experimento foram definidos parâmetros que foram adotados nos experimentos seguintes. Os mesmo foram listados abaixo:

- Realizar um experimento, com uma configuração de prateleira por dia. Isto permitiu a exposição da célula a um ciclo de aquecimento diário permitindo que cada experimento seja realizado nos mesmos horários do dia, entre 10 e 16 horas;
- Realizar o procedimento de configuração dos Hobos e iniciar o resfriamento das células no dia anterior. Isto permitiu que todos os *data loggers* fossem programados para iniciar a medição ao mesmo horário, às 19 horas do dia anterior, bem como iniciar o resfriamento em um horário sem a contribuição da radiação solar sobre o edifício no qual estavam as células;
- O intervalo de registro também foi dilatado para 5 minutos o que diminuiu a quantidade de dados nos limites do experimento, momento do posicionamento da célula no deck experimental e extração dos dados ao fim do experimento, de volta a oficina.

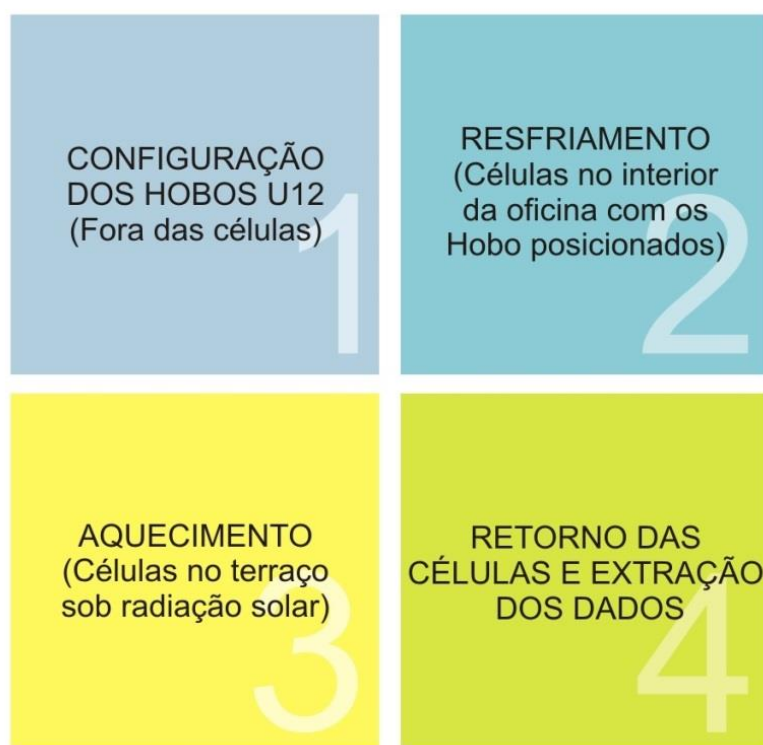
Diante desses ajustes os experimentos foram realizados comparando uma prateleira opaca com as quatro variações de prateleiras vazadas além de duas situações de balizamento, com outra prateleira opaca e sem prateleira. Segue abaixo a ordem e o dia quando foram coletados os dados das curvas de aquecimento e iluminâncias:

1. Dia 12/05: Célula 1 – Prateleira Opaca x Célula 2 – Sem Prateleira;
2. Dia 13/05: Célula 1 – Prateleira Opaca x Célula 2 – Prateleira Opaca;
3. Dia 14/05: Célula 1 – Prateleira Opaca x Célula 2 – Prateleira *Nylon*;
4. Dia 26/05: Célula 1 – Prateleira Opaca x Célula 2 – Prateleira Metálica com 20% de Abertura;
5. Dia 28/05: Célula 1 – Prateleira Opaca x Célula 2 – Prateleira Metálica com 40% de Abertura;

Dia 29/05: Célula 1 – Prateleira Opaca x Célula 2 – Prateleira Metálica com 60% de Abertura.

Como forma de expor o ciclo do procedimento experimental para a avaliação da curva de aquecimento e iluminâncias, foi gerada a figura abaixo com as 4 etapas realizadas para cada comparação de arranjos de prateleiras.

Figura 81: Etapas do ciclo experimental para avaliação da curva de aquecimento e iluminâncias.



Fonte: Autor.

4.2.4. Fator de Luz Diurna

Para a realização do Fator de Luz Diurna foi necessário compatibilizar a preparação do experimento com as condições climáticas que permitissem o mesmo. O procedimento foi realizado no dia 26 de junho, no deck experimental do CEAMAZON sob condição de céu encoberto (Figura 82).

Figura 82: Padrão de céu encoberto durante a realização do Fator de Luz Diurna.



Fonte: Autor

Para este experimento foi utilizado apenas a célula 1, na qual foram variados os tipos de prateleiras e os pontos de medição no interior desta em 3 pontos: 1-Janela; 2-Centro e 3-Fundo. Foram mantidos os mesmos pontos internos utilizados no experimento de Curva de Aquecimento e Iluminâncias, os quais foram comparados em paralelo com a luminância medida no teto da célula de testes.

O experimento foi operacionalizado da seguinte forma: a célula foi disposta voltada a norte com a primeira prateleira a ser verificada (metálica opaca); os luxímetros HOMIS foram previamente identificados entre externo (No: 080702168) e interno (No: 080702131) para permitir a reprodutibilidade do experimento sob as mesmas condições de equipamentos caso fosse necessário; o luxímetro externo foi fixado no teto da célula de testes (Figura 83) enquanto que o interno foi fixado na posição 1-janela, no interior da célula; com essa primeira configuração foram coletados os dados de iluminâncias externas e internas na posição 1 para a prateleira opaca,

seguida da prateleira de *nylon*, sem prateleira, prateleira metálica com 20% de abertura, prateleira metálica com 40% de abertura e prateleira metálica com 60% de abertura.

Figura 83: Luxímetro externo (No: 080702168) fixado no teto da célula.



Fonte: Autor.

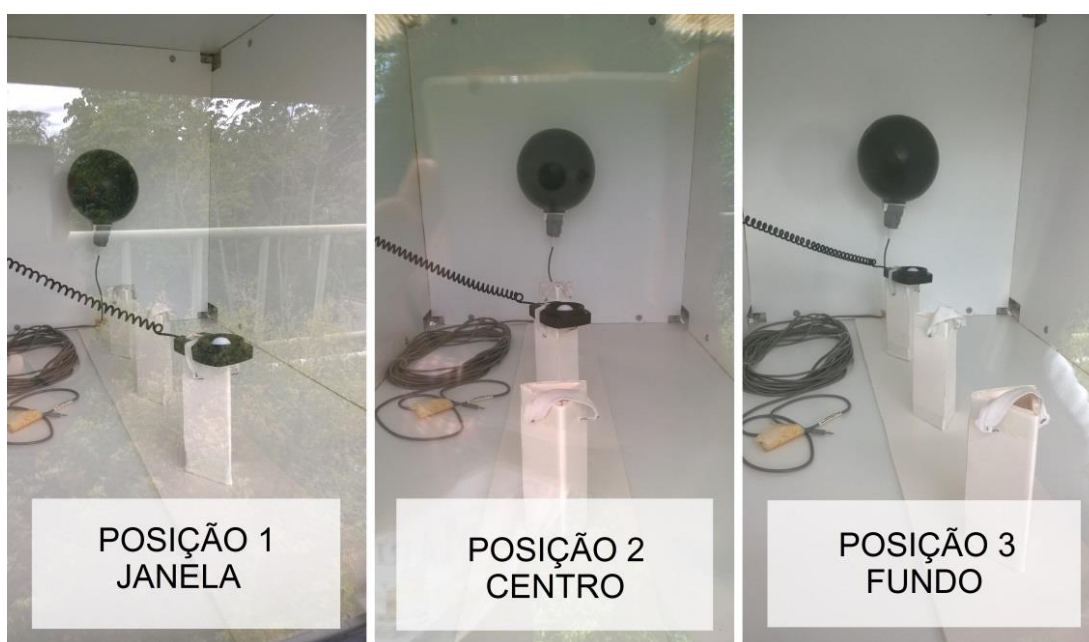
Após essa primeira bateria de medições, o luxímetro interno foi colocado na posição 2-centro e o processo foi repetido. Da mesma forma seguiu-se o experimento para a posição 3-fundo. O luxímetro interno uma vez fixado no interior da célula teve sua parte com o display e botões de controle disposto na lateral externa da célula através do recorte existente na mesma (Figura 84). O luxímetro fixado nas três posições internas pode ser verificado na Figura 85.

Figura 84: Luxímetros posicionados na célula.



Fonte: Autor.

Figura 85: Posições de medição interna.



Fonte: Autor. Arquivo “posições luxímetros.jpg”

O luxímetro interno teve sua escala configurada para apresentar valores em lux vezes 10 enquanto que o externo teve sua escala configurada para apresentar valores em lux vezes 100, isto permitiu que fossem registrados valores mais coerentes com a iluminação de cada situação, evitando mascaramentos de valores inferiores a escala. Essa definição foi tomada com base nos registros iniciais do mesmo experimento.

No momento da medição os dois aparelhos tinham suas tela fixadas ao mesmo tempo, com um *click* no botão *hold-vermelho*, para garantir o registro sob o mesmo padrão de céu. Todos os valores foram anotados em um caderno e posteriormente transferidos para o programa *Microsoft Excel*, onde foram tratados e organizados em tabela e gráficos.

Neste procedimento as baterias de registro de valores foram feitas em função da posição do luxímetro interno, logo foram realizadas 3 baterias com 5 arranjos de prateleiras diferentes e uma situação sem prateleira, em cada uma das baterias, como indicado na figura abaixo (Figura 86):

Figura 86: Baterias de registros de valores de iluminâncias, para FLD, em função da posição do luxímetro interno.



Fonte: Autor.

5. Discussão e Análise de Resultados

O tópico “discussão e análise de resultados” foi separado em três sub tópicos referentes aos experimentos de Luminâncias por Imagens em HDR e Curva de Aquecimento e Iluminâncias.

5.1. Resultados de luminâncias por HDR

Uma vez geradas as imagens no *software WebHDR* o mesmo indicou, em todas as imagens, pontos inconsistentes para medição de luminância na área externa a célula, área de céu visível. Diante disto, foram definidas escala de cores falsas com foco nos limites de iluminâncias internas a célula permitindo com isso a comparação entre as distribuições de luz resultantes dos sistemas de prateleiras avaliados. Definida a escala, foram extraídas, além das imagens com cores falsas, imagens com linhas de limites de luminâncias dividindo a imagem original em zonas. Essas medidas tornaram a comparação mais didática apresentando a áreas mais e menos iluminadas no interior da célula.

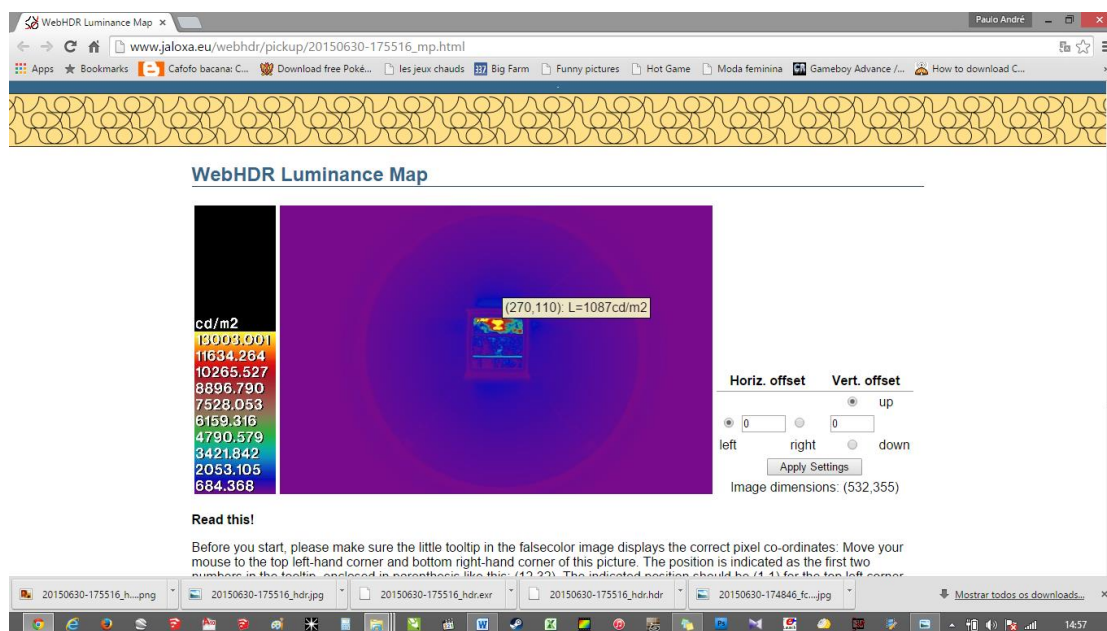
Ao todo, em cada processo de geração de imagem em HDR no programa *WebHDR*, foram extraídas 3 imagens em HDR, com as seguintes extensões .jpg, .hdr, .exr. Além destas, foram extraídas duas imagens em escala de cores falsas com extensão .jpg, uma imagem com os pontos inconsistentes para medição, também em .jpg e as capturas de tela para captura dos pontos de medição.

Após a obtenção de todas as imagens, as mesmas foram organizadas em painéis referentes ao experimento realizado. Cada painel representa uma comparação entre as células 1 e 2 onde a célula 1 esteve sempre com prateleira opaca enquanto que na célula 2 foram variadas as 5 possibilidade de prateleiras e a situação sem prateleira. Apesar de a célula 1 estar sempre com a mesma configuração de prateleira as imagens dispostas em cada painel são referentes a momentos distinto uma vez que foram obtidas em paralelo a cada configuração de prateleira utilizadas na célula 2. Cada Painel foi dividido em duas colunas onde em cada coluna foram dispostas, nesta ordem, as imagens em HDR, as imagens em escala de cores falsas e as imagens com linhas de limites de luminâncias.

O *software* utilizado nesse processo permite a verificação quantitativa dos valores de cada pixel da imagem gerada, entretanto, essa verificação consiste em uma página interativa na internet que apresenta o valor de luminância seguindo o posicionamento do cursor do mouse. Para registrar esses valores, foram verificadas

as mesmas zonas de interesse em cada imagem, e realizadas capturas de telas para cada uma delas (Figura 87). Após isso os valores foram dispostos no painel citado anteriormente seguindo o posicionamento correspondente às capturas de tela.

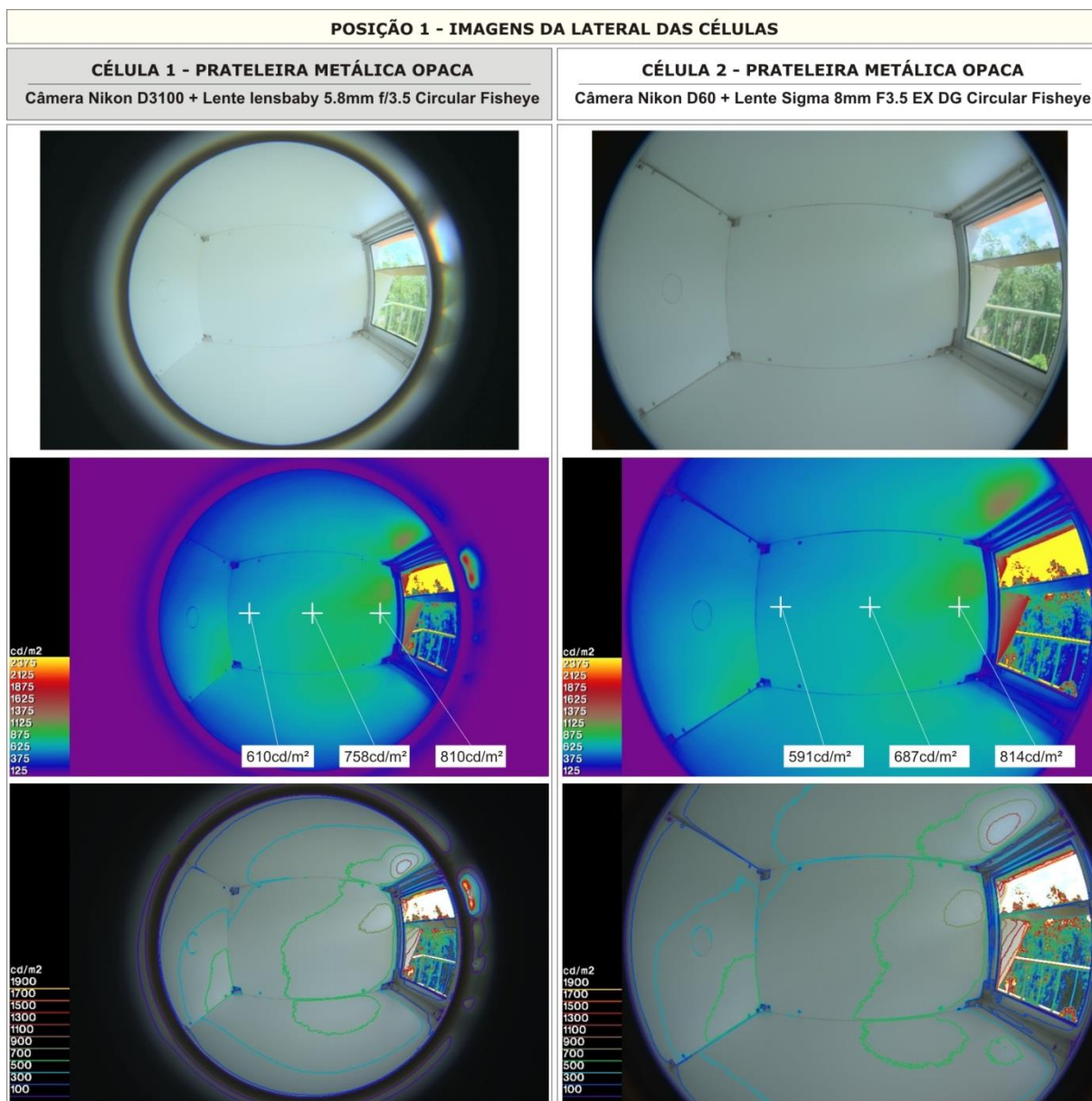
Figura 87: Captura de tela por meio da tecla “*print screen*” para registro de valor de luminância.



Fonte: Software WebHdr.

Ao todo foram gerados 12 painéis, sendo 6 referentes as imagens obtidas com a câmera na posição 1, lateral das células, e 6 referentes as imagens obtidas com a câmera na posição 2, fundo da células. Os painéis podem ser verificados nas imagens a seguir (Figura 88 à Figura 99).

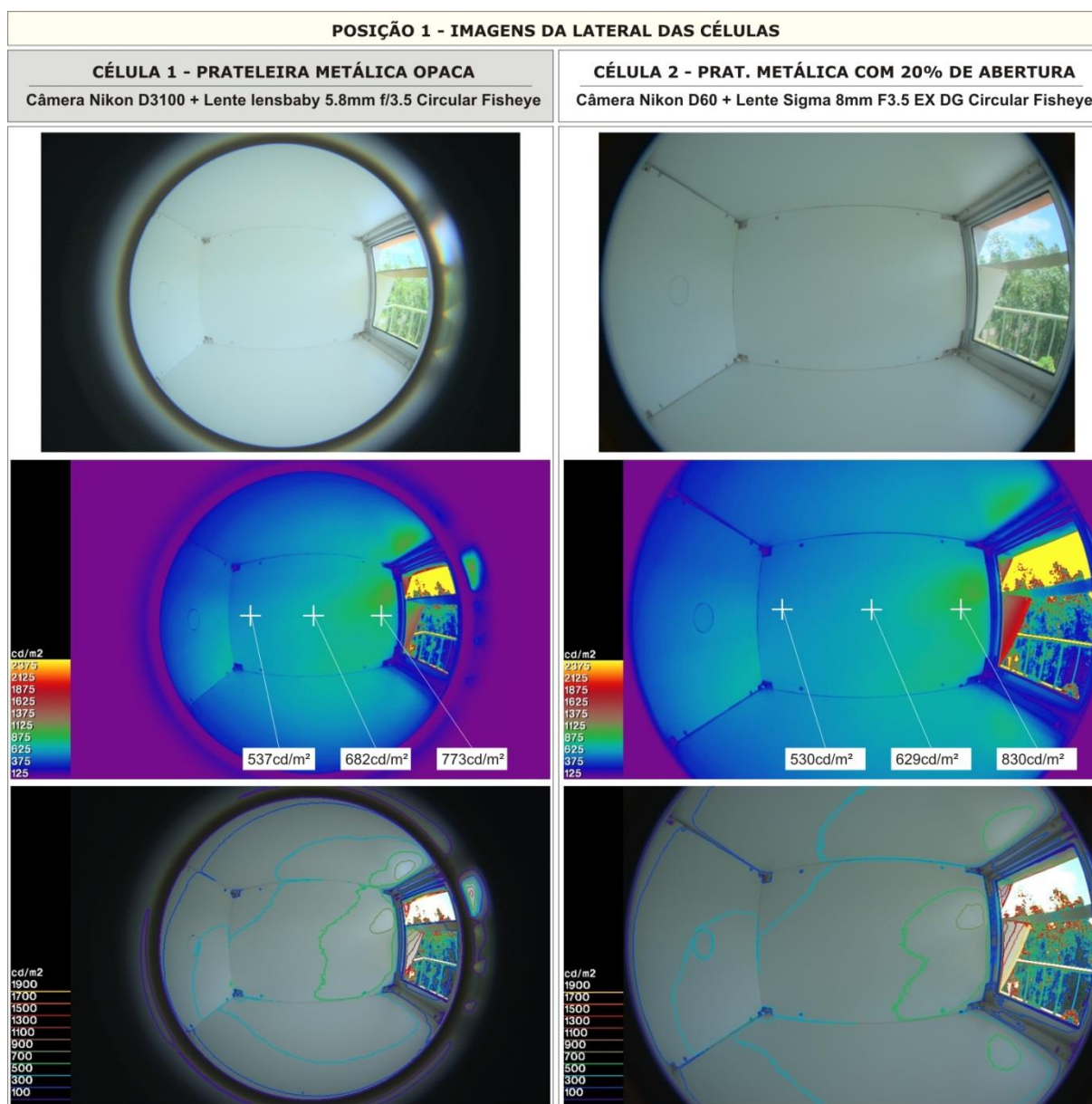
Figura 88: Painel comparativo entre prateleira metálica opaca (célula 1) e prateleira metálica opaca (célula 2). Visão lateral.



Fonte: Autor. Arquivo "P1-OPACA X OPACA.jpg".

Neste painel encontra-se a comparação das células em mesmas condições. Puderam-se verificar algumas discrepâncias em relação ao formato das linhas de limites de intensidade e nos valores encontrado ao centro. Isto demonstra o limite da precisão encontrada para a comparação de modelos reais neste experimento. Apesar dos desvios, pôde-se verificar a mesma tendência de distribuição da luz nos dois modelos estudados.

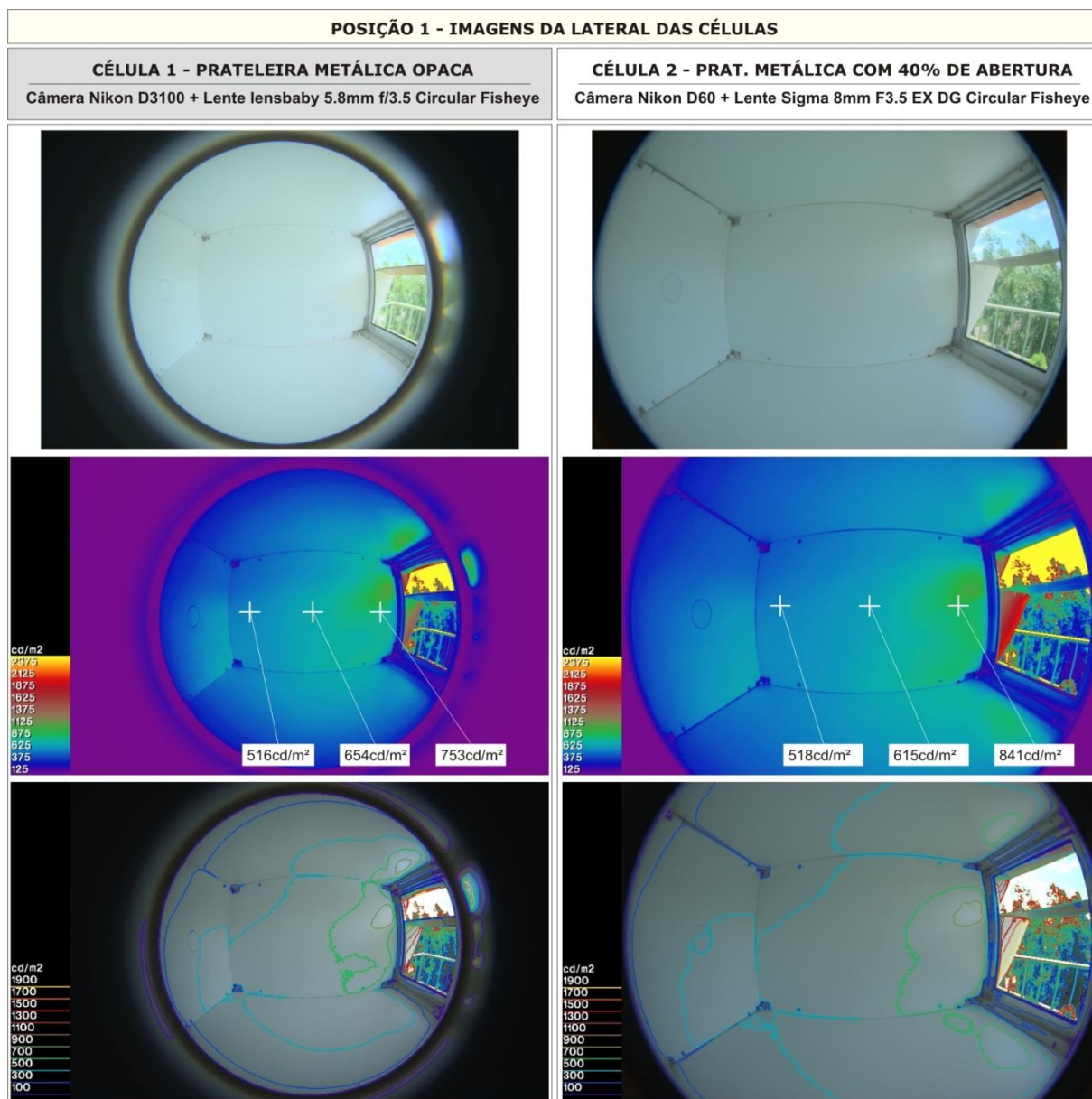
Figura 89: Painel comparativo entre prateleira metálica opaca (célula 1) e prateleira metálica com 20% de área aberta (célula 2). Visão lateral.



Fonte: Autor. Arquivo "P1-OPACA X MET20%.jpg".

Nesta situação onde a prateleira da célula 2 apresenta 20% de área aberta, pode-se perceber a presença de uma mancha de luz no piso, que não ocorre na célula 1, em função da redução da energia luminosa direcionada ao teto. Não se percebe, entretanto, grandes variações de alcance da luz ao longo do comprimento das células.

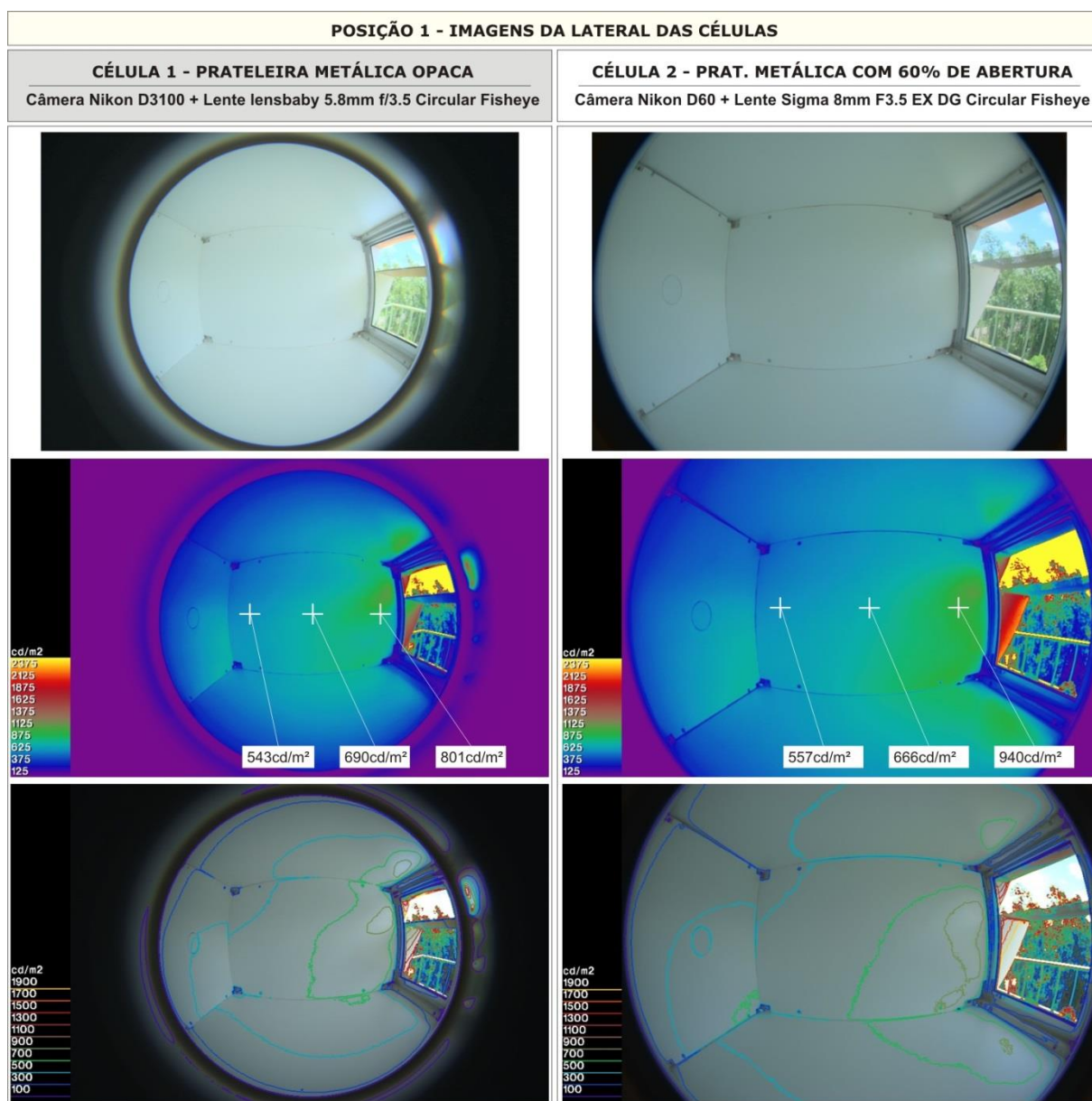
Figura 90: Painel comparativo entre prateleira metálica opaca (célula 1) e prateleira metálica com 40% de área aberta (célula 2). Visão lateral.



Fonte: Autor. Arquivo "P1-OPACA X MET40%.jpg".

Com 40% de abertura na prateleira da célula 2 a discrepância entre os dois pisos se intensifica entre as duas células. Considerando os pontos de medição verifica-se um incremento mais acentuado de luz no ponto mais próximo da janela e pouca variação nos demais pontos.

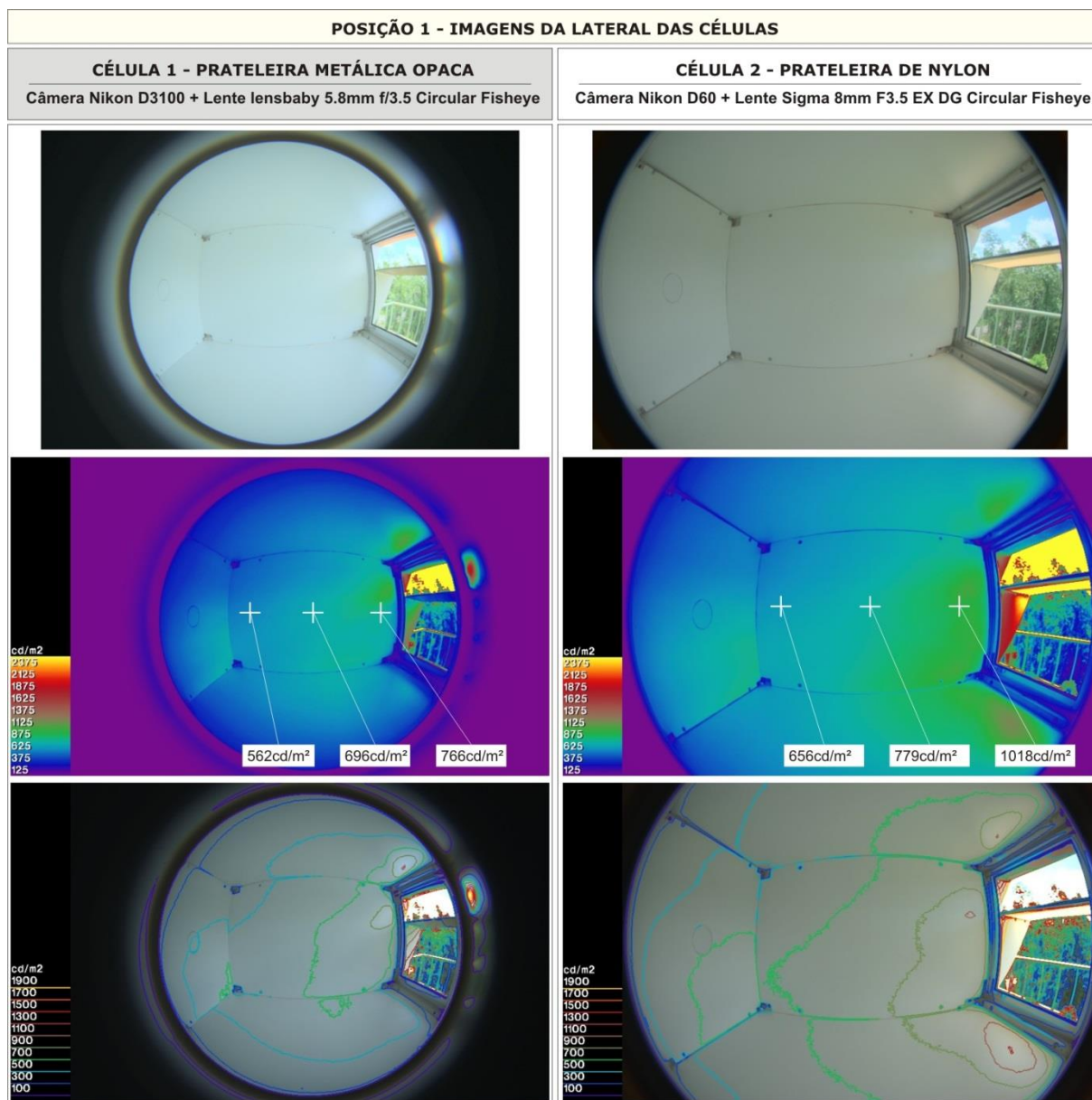
Figura 91: Painel comparativo entre prateleira metálica opaca (célula 1) e prateleira metálica com 60% de área aberta (célula 2). Visão lateral.



Fonte: Autor. Arquivo "P1-OPACA X MET60%.jpg".

Com a célula 2 com uma prateleira com 60% de abertura a intensidade próxima a janela já é bem maior que com a prateleira opaca. A relação entre o piso e o teto praticamente é o inverso, com muito mais luz direcionada ao piso.

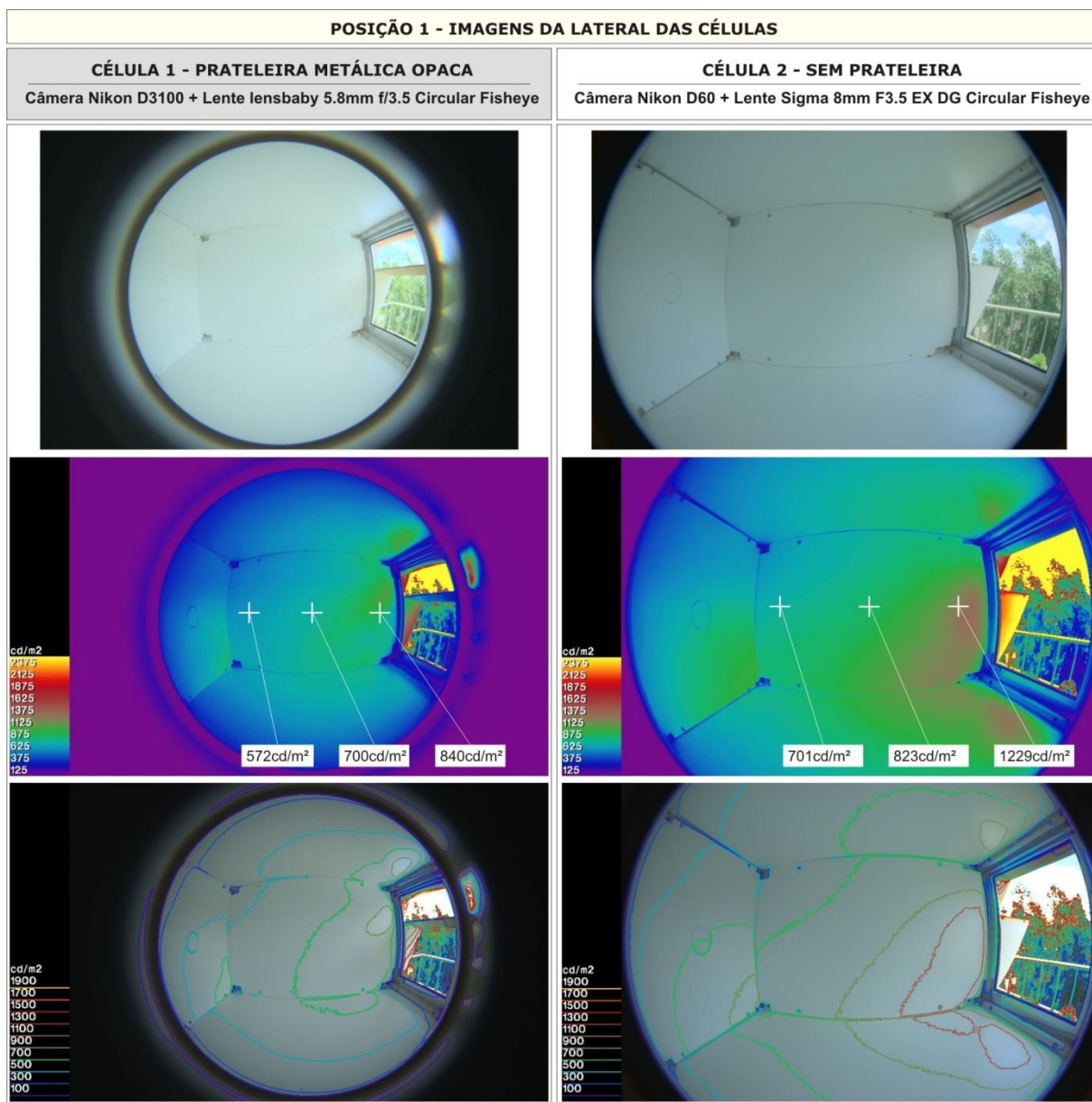
Figura 92: Painel comparativo entre prateleira metálica opaca (célula 1) e prateleira de *nylon* (célula 2). Visão lateral



Fonte: Autor. Arquivo "P1-OPACA X NYLON.jpg".

A prateleira de nylon promoveu um incremento de luz em todos os pontos, entretanto pode-se verificar uma maior quantidade de luz direcionada ao piso.

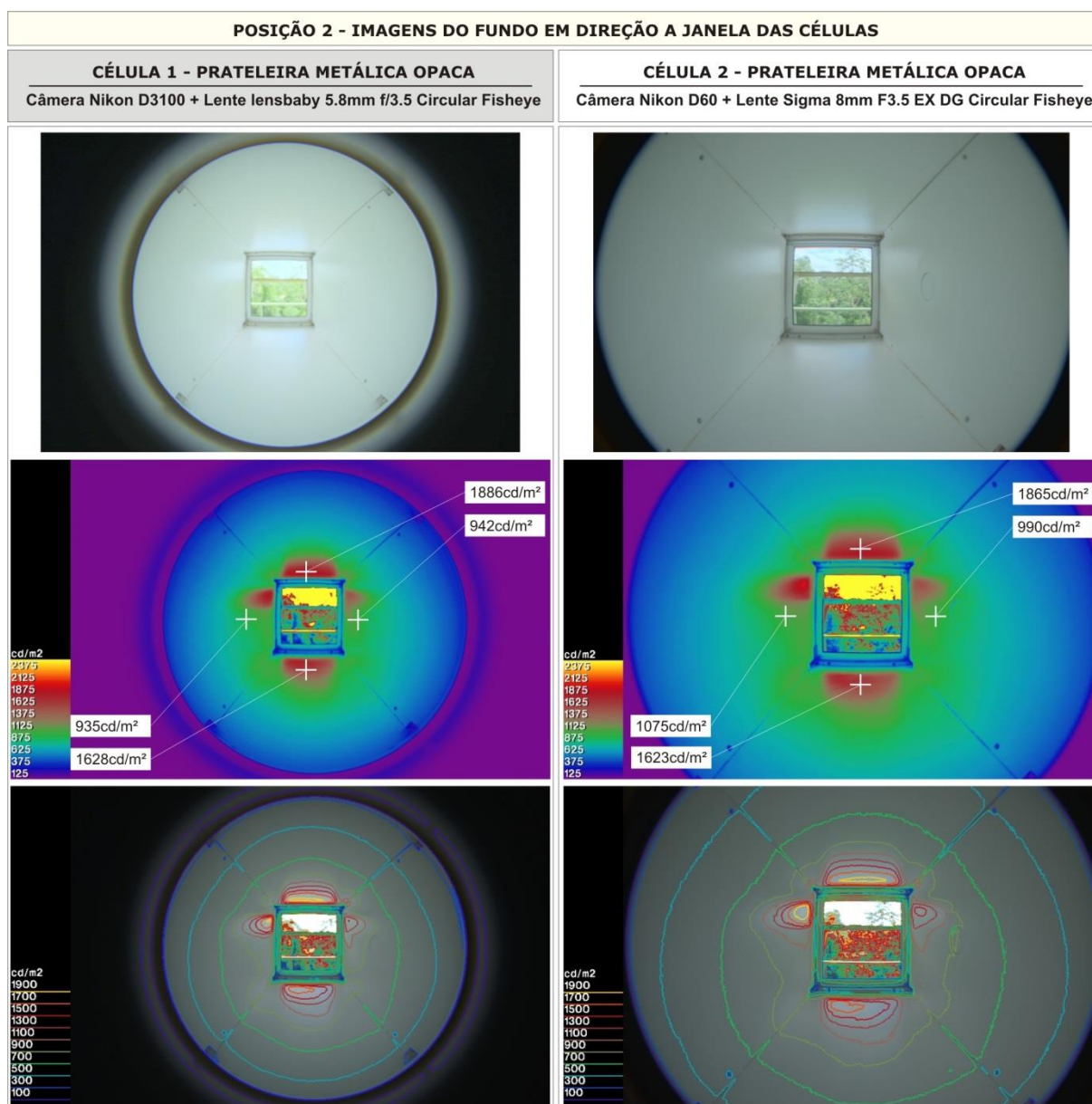
Figura 93: Painel comparativo entre prateleira metálica opaca (célula 1) e célula sem prateleira (célula 2). Visão lateral.



Fonte: Autor. Arquivo "P1-OPACA X SEM PRATELEIRA.jpg".

A comparação entre a prateleira metálica e a condição sem prateleira representa os extremos da investigação. O resultado dessa comparação é uma intensidade muito maior de luz no interior da célula sem prateleira com predominância nas áreas mais próximas à janela e no piso.

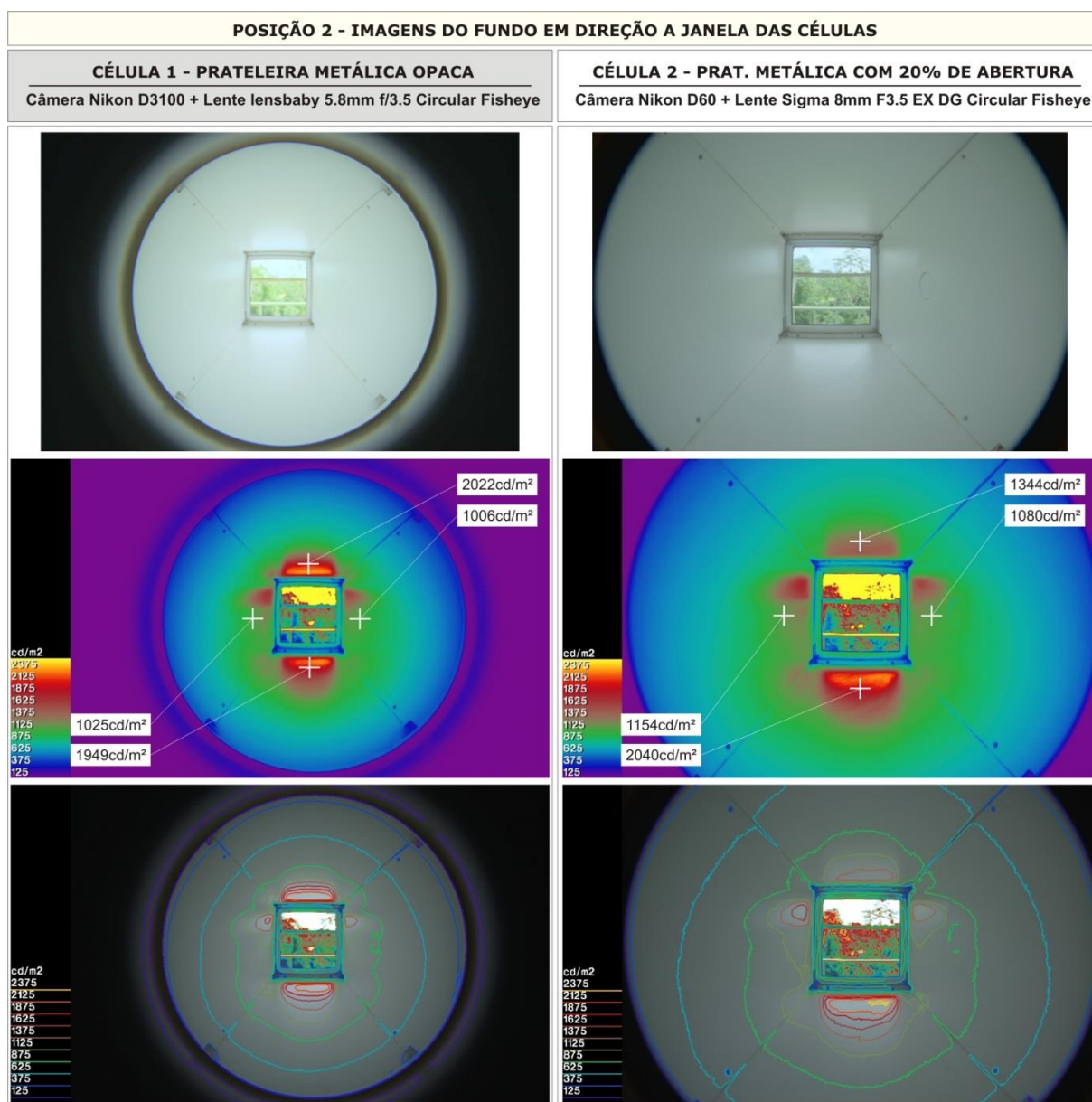
Figura 94: Painel comparativo entre prateleira metálica opaca (célula 1) e prateleira metálica opaca (célula 2). Visão do fundo.



Fonte: Autor. Arquivo "P2-OPACA X OPACA.jpg".

Nas imagens obtidas a partir da posição 2, foi possível, novamente verificar que, apesar de apresentarem as mesmas tendências de distribuição luminosa com o mesmo modelo de prateleira opaca, os valores encontrados apresentaram algumas divergências.

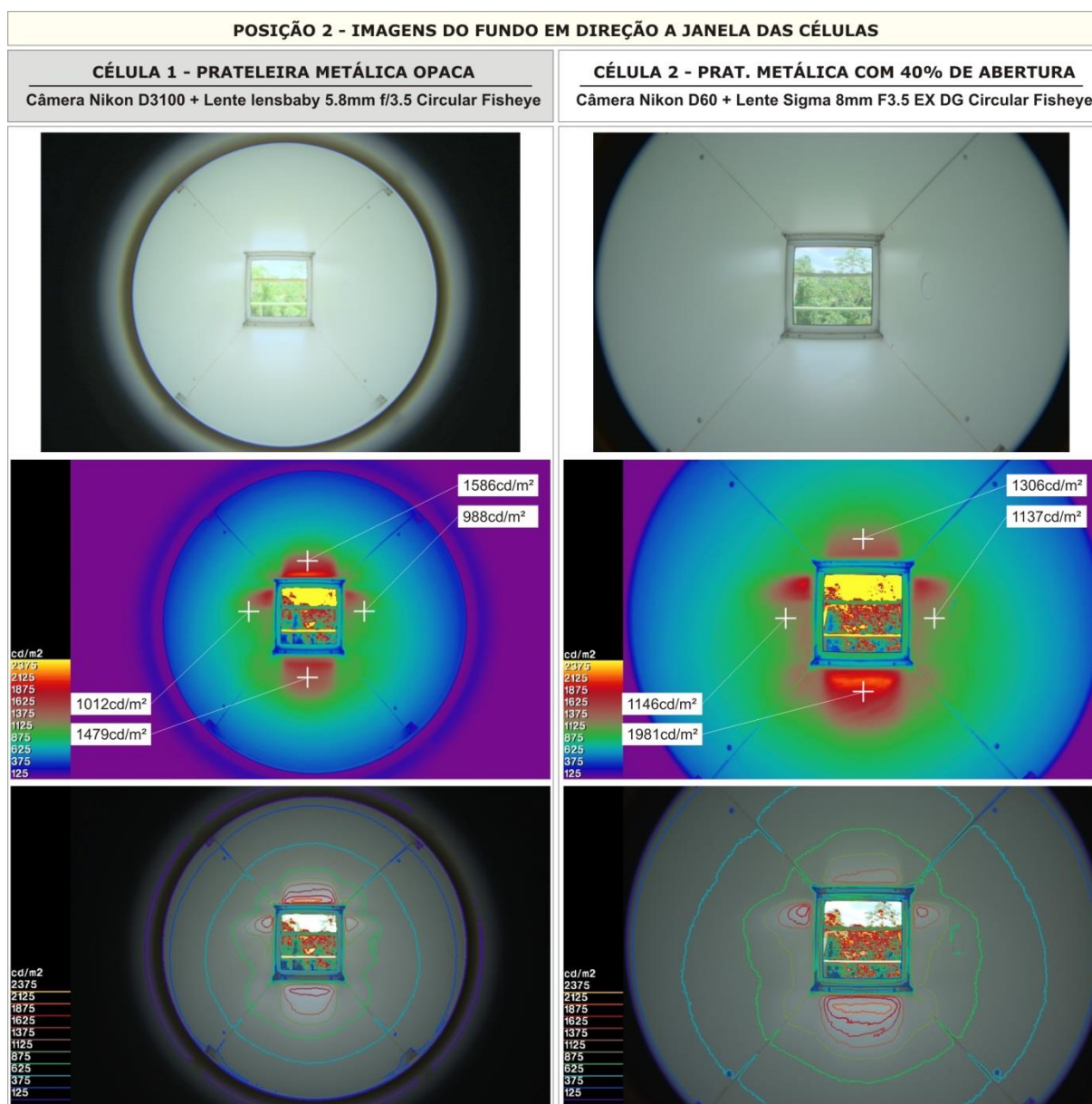
Figura 95: Painel comparativo entre prateleira metálica opaca (célula 1) e prateleira metálica com 20% de área aberta (célula 2). Visão do fundo.



Fonte: Autor. Arquivo "P2-OPACA X MET20%.jpg".

A partir da posição 2 a diferença do direcionamento da luz entre chão e teto fica mais evidente. Com 20% de abertura, nessa posição, já é possível verificar um aumento da luminância do piso e um decréscimo considerável na luminância do teto.

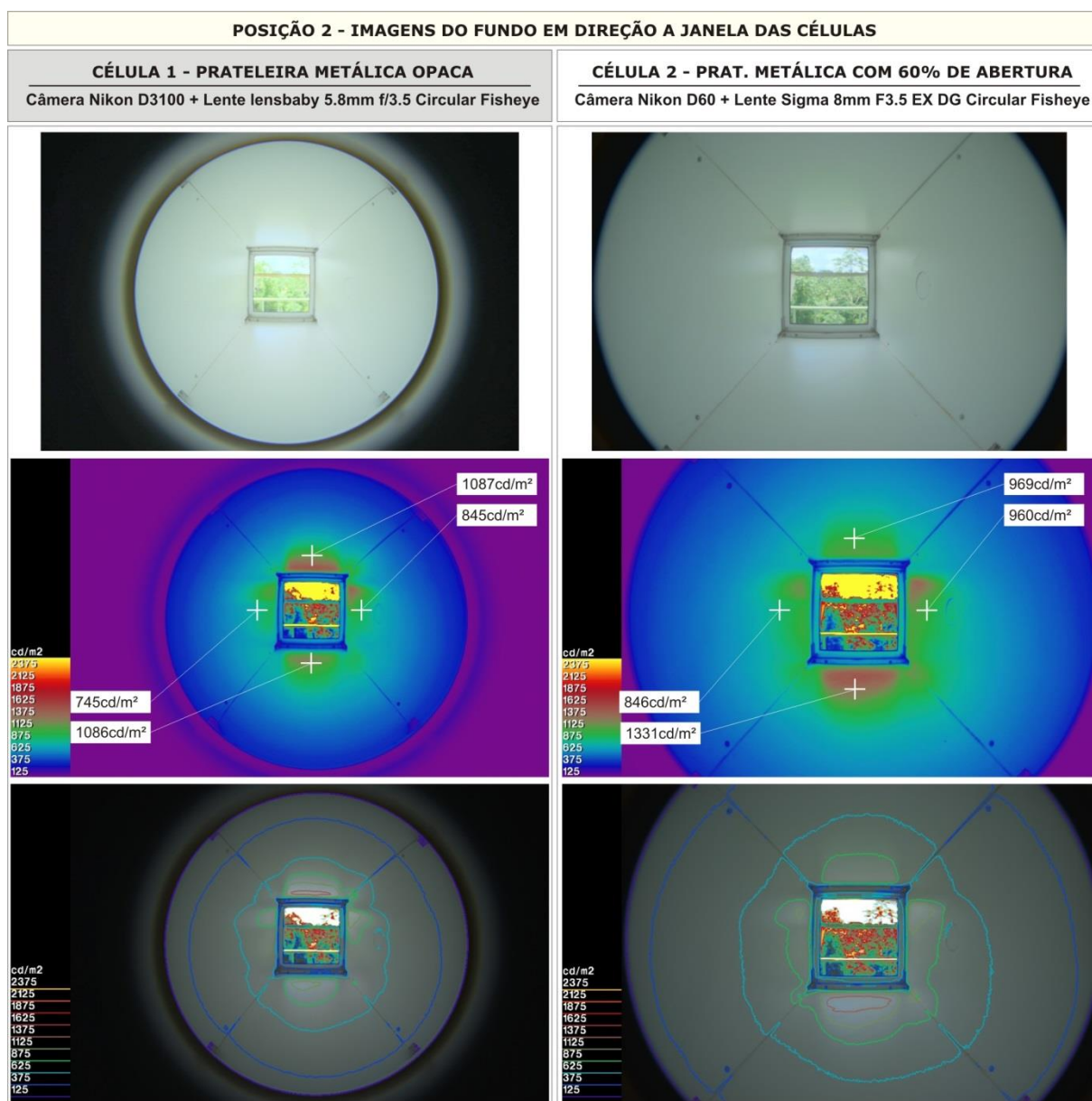
Figura 96: Painel comparativo entre prateleira metálica opaca (célula 1) e prateleira metálica com 40% de área aberta (célula 2). Visão do fundo.



Fonte: Autor. Arquivo "P2-OPACA X MET40%.jpg".

Com 40% de abertura, novamente se verifica a intensificação da luminância do piso, na área mais próxima a janela enquanto é reduzida na porção superior. Analisando-se as linhas de contorno podemos perceber que na situação com a prateleira metálica com 40% de abertura a faixa de intensidade luminosa entre 625 e 875cd/m² (verde) se aproxima mais de um círculo, isso demonstra uma redução da diferença na distribuição de luz entre teto e paredes nessa área da célula.

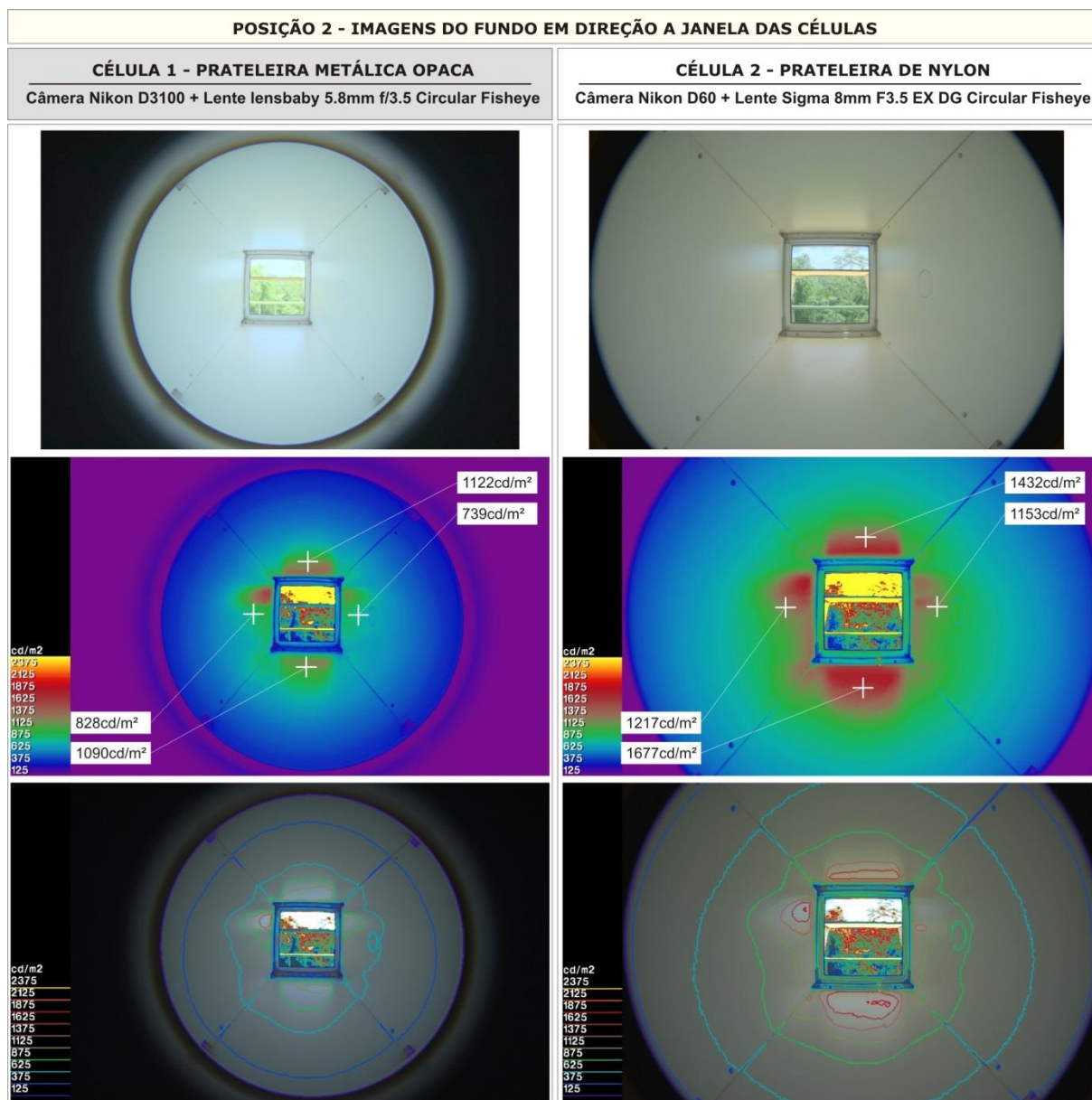
Figura 97: Painel comparativo entre prateleira metálica opaca (célula 1) e prateleira metálica com 60% de área aberta (célula 2). Visão do fundo.



Fonte: Autor. Arquivo "P2-OPACA X MET60%.jpg".

Com 60% de abertura a situação da distribuição entre teto e piso, é praticamente o inverso da situação com prateleira metálica com bem mais luz no piso do que no teto.

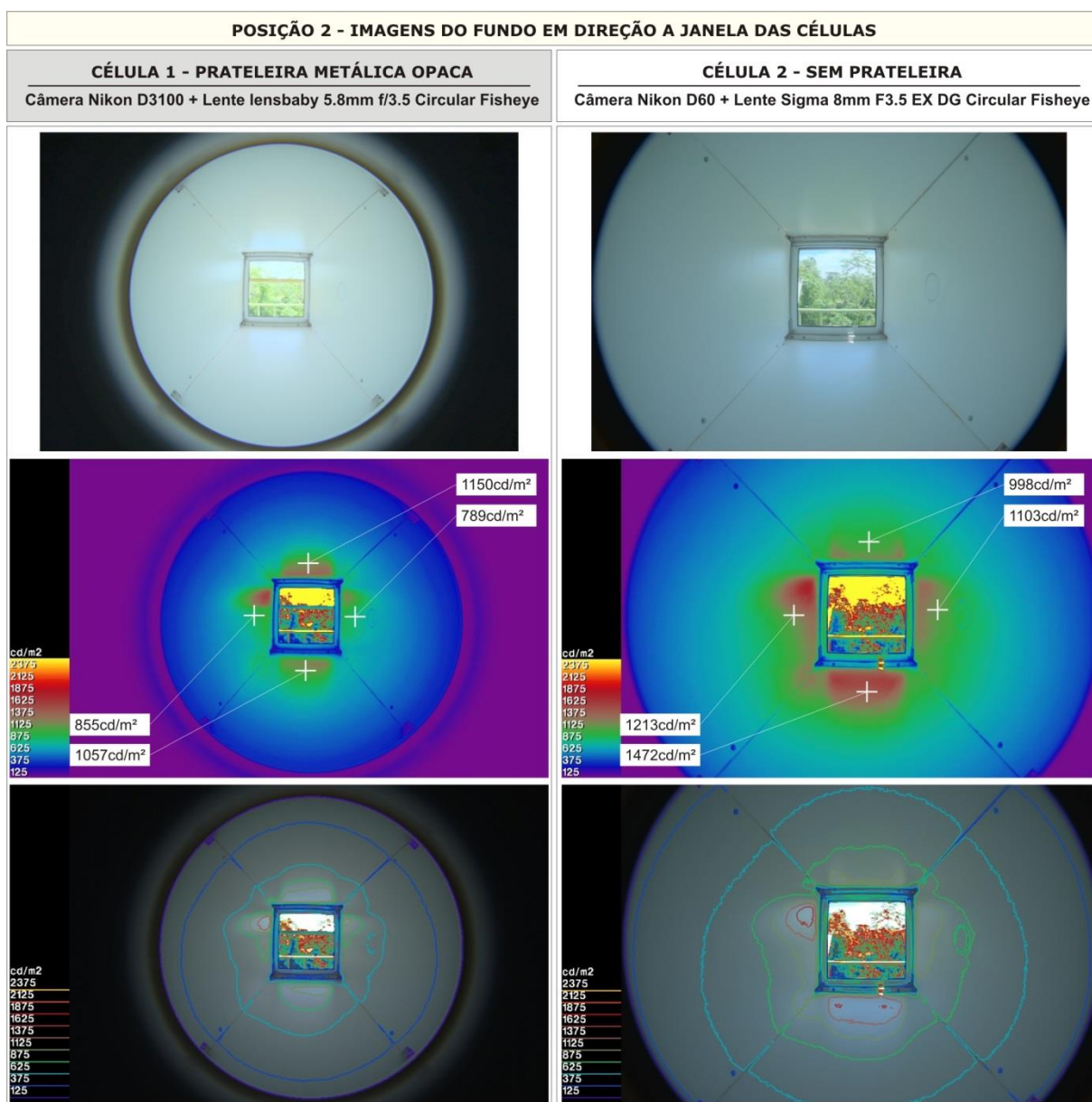
Figura 98: Painel comparativo entre prateleira metálica opaca (célula 1) e prateleira de *nylon* (célula 2). Visão do fundo.



Fonte: Autor. Arquivo "P2-OPACA X NYLON.jpg".

Mais uma vez a prateleira de *nylon* se destaca em termos de incremento luminoso trazendo mais luz para o interior da célula. Um aspecto interessante a ser avaliado nesse ponto de vista está na possibilidade de reduzir os contrastes entre a área externa visível e o entorno interno da janela. Partindo desta possibilidade, com auxílio das linhas de contorno, verifica-se que na situação com a prateleira de *nylon* existe um número maior de zonas com iluminações progressivas do fundo da célula até a janela.

Figura 99: Pannel comparativo entre prateleira metálica opaca (célula 1) e célula sem prateleira (célula 2). Visão do fundo.

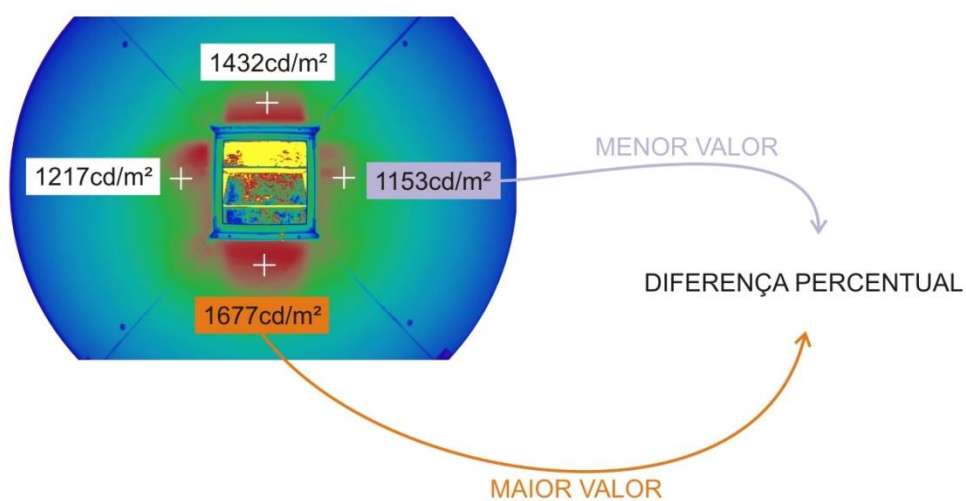


Fonte: Autor. Arquivo "P2-OPACA X SEM PRATELEIRA.jpg".

A condição sem prateleira, a partir desse ponto de vista, evidencia ainda mais a função de rebatimento da luz realizada pelo uso da prateleira. Apesar do grande incremento de luz para o interior da célula verifica-se que diferente da situação com a prateleira de *nylon*, esse incremento é menos homogêneo, com o piso muito mais iluminado que o teto.

Esta análise buscou verificar o desempenho das prateleiras avaliadas sob dois aspectos, o equilíbrio na distribuição de luminâncias e o alcance luminoso no comprimento da célula. De forma quantitativa, para a verificação da distribuição de luminâncias, foi encontrada a diferença percentual entre o maior e o menor valor registrado entre os 4 pontos presentes nas imagens geradas a partir da posição 2, do fundo da célula (Tabela 6). O processo de análise é explicado na Figura 100.

Figura 100: Explicação da avaliação quantitativa que gerou a tabela 6.



Fonte: Autor. Arquivo "DIFERENÇA QUANT EXPLICAÇÃO.jpg".

Tabela 6: Diferença percentual entre o maior e o menor valor nas imagens geradas a partir da posição 2.

POSIÇÃO 2 - IMAGENS DO FUNDO EM DIREÇÃO A JANELA DAS CÉLULAS			POSIÇÃO 2 - IMAGENS DO FUNDO EM DIREÇÃO A JANELA DAS CÉLULAS		
PONTO DE MEDIÇÃO	CÉLULA 1 - PRATELEIRA OPACA (cd/m ²)	CÉLULA 2 - PRATELEIRA OPACA (cd/m ²)	PONTO DE MEDIÇÃO	CÉLULA 1 - PRATELEIRA OPACA (cd/m ²)	CÉLULA 2 - MET. COM 60% DE ABERTURA (cd/m ²)
ACIMA	1886	1865	ACIMA	1087	969
ABAIXO	1628	1623	ABAIXO	1086	1331
ESQUERDA	935	1075	ESQUERDA	745	846
DIREITA	942	990	DIREITA	845	960
DIFERENÇA	50,42%	46,92%	DIFERENÇA	31,46%	36,44%

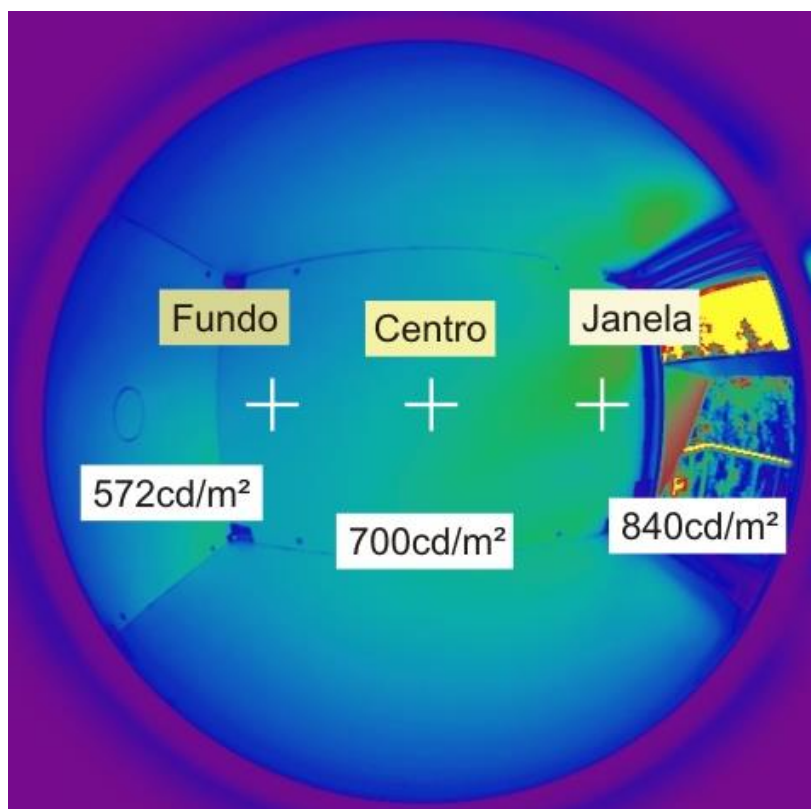
POSIÇÃO 2 - IMAGENS DO FUNDO EM DIREÇÃO A JANELA DAS CÉLULAS			POSIÇÃO 2 - IMAGENS DO FUNDO EM DIREÇÃO A JANELA DAS CÉLULAS		
PONTO DE MEDIÇÃO	CÉLULA 1 - PRATELEIRA OPACA (cd/m ²)	CÉLULA 2 - MET. COM 20% DE ABERTURA (cd/m ²)	PONTO DE MEDIÇÃO	CÉLULA 1 - PRATELEIRA OPACA (cd/m ²)	CÉLULA 2 - PRAT. DE NYLON (cd/m ²)
ACIMA	2022	1344	ACIMA	1122	1432
ABAIXO	1949	2040	ABAIXO	1090	1677
ESQUERDA	1025	1154	ESQUERDA	828	1217
DIREITA	1006	1080	DIREITA	739	1153
DIFERENÇA	50,25%	47,06%	DIFERENÇA	34,14%	31,25%

POSIÇÃO 2 - IMAGENS DO FUNDO EM DIREÇÃO A JANELA DAS CÉLULAS			POSIÇÃO 2 - IMAGENS DO FUNDO EM DIREÇÃO A JANELA DAS CÉLULAS		
PONTO DE MEDIÇÃO	CÉLULA 1 - PRATELEIRA OPACA (cd/m ²)	CÉLULA 2 - MET. COM 40% DE ABERTURA (cd/m ²)	PONTO DE MEDIÇÃO	CÉLULA 1 - PRATELEIRA OPACA (cd/m ²)	CÉLULA 2 - SEM PRATELEIRA (cd/m ²)
ACIMA	1586	1306	ACIMA	1150	998
ABAIXO	1479	1981	ABAIXO	1057	1472
ESQUERDA	1012	1146	ESQUERDA	855	1213
DIREITA	988	1137	DIREITA	789	1103
DIFERENÇA	37,70%	42,60%	DIFERENÇA	31,39%	32,20%

Fonte: Autor. Arquivo "COMPARAÇÃO DE LUMINÂNCIAS MEDIÇÃO PONTUAL.xls"

Para a verificação do alcance luminoso foi verificado numericamente a evolução dos valores, ao longo do comprimento da célula, nas imagens obtidas a partir da posição 1, lateral da célula (Tabela 7). Já a análise qualitativa foi feita por meio da avaliação da cor e do alcance de cada faixa de cor no interior da célula. Para evidenciar a nomenclatura de cada ponto de medição nas imagens obtidas foi gerada a Figura 101.

Figura 101: Identificação dos pontos de medição a partir das imagens da posição 1.



Fonte: Autor. Arquivo "PONTOS JANELA CENTRO E FUNDO.jpg".

Tabela 7: Comparação numérica entre valores encontrados nas imagens obtidas a partir da posição 1.

POSIÇÃO 1 - IMAGENS DA LATERAL DAS CÉLULAS		
PONTO DE MEDIÇÃO	CÉLULA 1 - PRATELEIRA OPACA (cd/m ²)	CÉLULA 2 - PRATELEIRA OPACA (cd/m ²)
JANELA	810	814
CENTRO	758	687
FUNDO	610	591

POSIÇÃO 1 - IMAGENS DA LATERAL DAS CÉLULAS		
PONTO DE MEDIÇÃO	CÉLULA 1 - PRATELEIRA OPACA (cd/m ²)	CÉLULA 2 - MET. COM 20% DE ABERTURA (cd/m ²)
JANELA	773	830
CENTRO	682	629
FUNDO	537	530

POSIÇÃO 1 - IMAGENS DA LATERAL DAS CÉLULAS		
PONTO DE MEDIÇÃO	CÉLULA 1 - PRATELEIRA OPACA (cd/m ²)	CÉLULA 2 - MET. COM 40% DE ABERTURA (cd/m ²)
JANELA	753	841
CENTRO	654	615
FUNDO	516	518

POSIÇÃO 1 - IMAGENS DA LATERAL DAS CÉLULAS		
PONTO DE MEDIÇÃO	CÉLULA 1 - PRATELEIRA OPACA (cd/m ²)	CÉLULA 2 - MET. COM 60% DE ABERTURA (cd/m ²)
JANELA	801	940
CENTRO	690	666
FUNDO	543	557

POSIÇÃO 1 - IMAGENS DA LATERAL DAS CÉLULAS		
PONTO DE MEDIÇÃO	CÉLULA 1 - PRATELEIRA OPACA (cd/m ²)	CÉLULA 2 - PRAT. DE NYLON (cd/m ²)
JANELA	766	1018
CENTRO	696	779
FUNDO	562	656

POSIÇÃO 1 - IMAGENS DA LATERAL DAS CÉLULAS		
PONTO DE MEDIÇÃO	CÉLULA 1 - PRATELEIRA OPACA (cd/m ²)	CÉLULA 2 - SEM PRATELEIRA (cd/m ²)
JANELA	840	1229
CENTRO	700	823
FUNDO	572	701

Fonte: Autor. Arquivo "COMPARAÇÃO DE LUMINÂNCIAS MEDIÇÃO PONTUAL.xls"

Em relação a análise quantitativa da distribuição de luminâncias nas imagens geradas na posição 1, lateral da célula, pode-se verificar que no ponto mais próximo a janela o incremento de aberturas nas prateleiras gerou maiores índices de luminâncias entretanto nos dois pontos restantes esse comportamento teve

pequenas variações principalmente em relação ao ponto central. A prateleira de *nylon* e a condição sem prateleira apresentaram valores superiores nos 3 pontos medidos.

Quanto ao equilíbrio da distribuição de luminâncias nos pontos encontrados nas imagens da posição 2, pode-se verificar que a diferença percentual entre o maior e o menor valor só foi menor que o índice da prateleira opaca nas situações onde se fez uso da prateleira metálica com 20% de abertura e com a prateleira de *nylon*.

De forma qualitativa, a análise visual das imagens na posição 1 permite verificar que conforme se aumenta o percentual de abertura na prateleira, aumenta-se a mancha de luz na porção inferior da parede da célula, consequentemente se reduz a contribuição luminosa direcionada ao teto. Na posição 2 esse comportamento é verificado novamente entretanto, nessa posição torna-se mais evidente a maior contribuição luminosa obtida em todas as superfícies com a prateleira de *nylon*.

A avaliação comparativa com a situação onde as duas células foram fotografadas com prateleiras metálicas opacas serviu para expor os limites desse experimento em relação à situação de igualdade nas células com estas prateleiras. Nesta avaliação, foram encontrados os seguintes desvios para as posições 1 e 2 (Tabela 8).

Tabela 8: Tabela de desvios encontrados com ambas as células com prateleiras metálicas opacas.

POSIÇÃO 1 - IMAGENS DA LATERAL DAS CÉLULAS			
PONTO DE MEDIÇÃO	CÉLULA 1 - PRATELEIRA OPACA (cd/m ²)	CÉLULA 2 - PRATELEIRA OPACA (cd/m ²)	Desvio
JANELA	810	814	0,49%
CENTRO	758	687	9,37%
FUNDO	610	591	3,11%

POSIÇÃO 2 - IMAGENS DO FUNDO EM DIREÇÃO A JANELA DAS CÉLULAS			
PONTO DE MEDIÇÃO	CÉLULA 1 - PRATELEIRA OPACA (cd/m ²)	CÉLULA 2 - PRATELEIRA OPACA (cd/m ²)	Desvio
ACIMA	1886	1865	1,11%
ABAIXO	1628	1623	0,31%
ESQUERDA	935	1075	13,02%
DIREITA	942	990	4,85%

Fonte: Autor. Arquivo: COMPARAÇÃO DE LUMINANCIAS MEDIÇÃO PONTUAL.xls

Com exceção do ponto central na posição 1, e do ponto esquerdo na posição 2, os desvios se mantiveram abaixo de 5%. Essa variação pode estar relacionada a

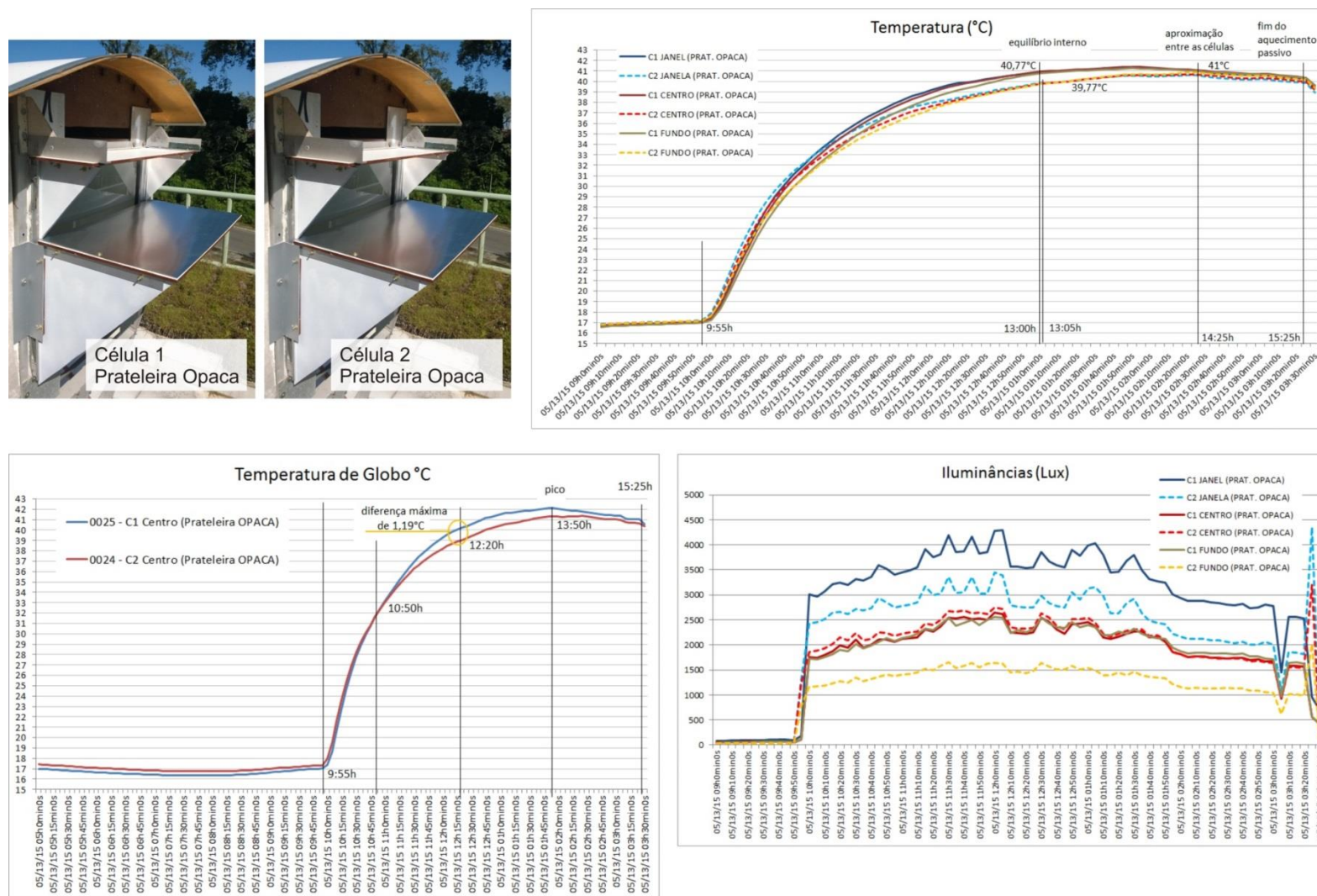
aspectos físicos de cada célula, bem como de sua prateleira, assim como pode estar relacionada à precisão permitida pelo *software* utilizado para a verificação pontual das luminâncias.

5.2. Resultados de curva de aquecimento e iluminâncias

Neste experimento os dados obtidos com os *data loggers* Hobo U12 foram exportados para o programa Microsoft Excel onde foram agrupados em gráficos para indicar os índices de Temperatura interna de cada célula, em °C, em 3 posições, índice de iluminação em Lux, também em 3 pontos e Temperatura de Globo mensurada no fundo de cada célula.

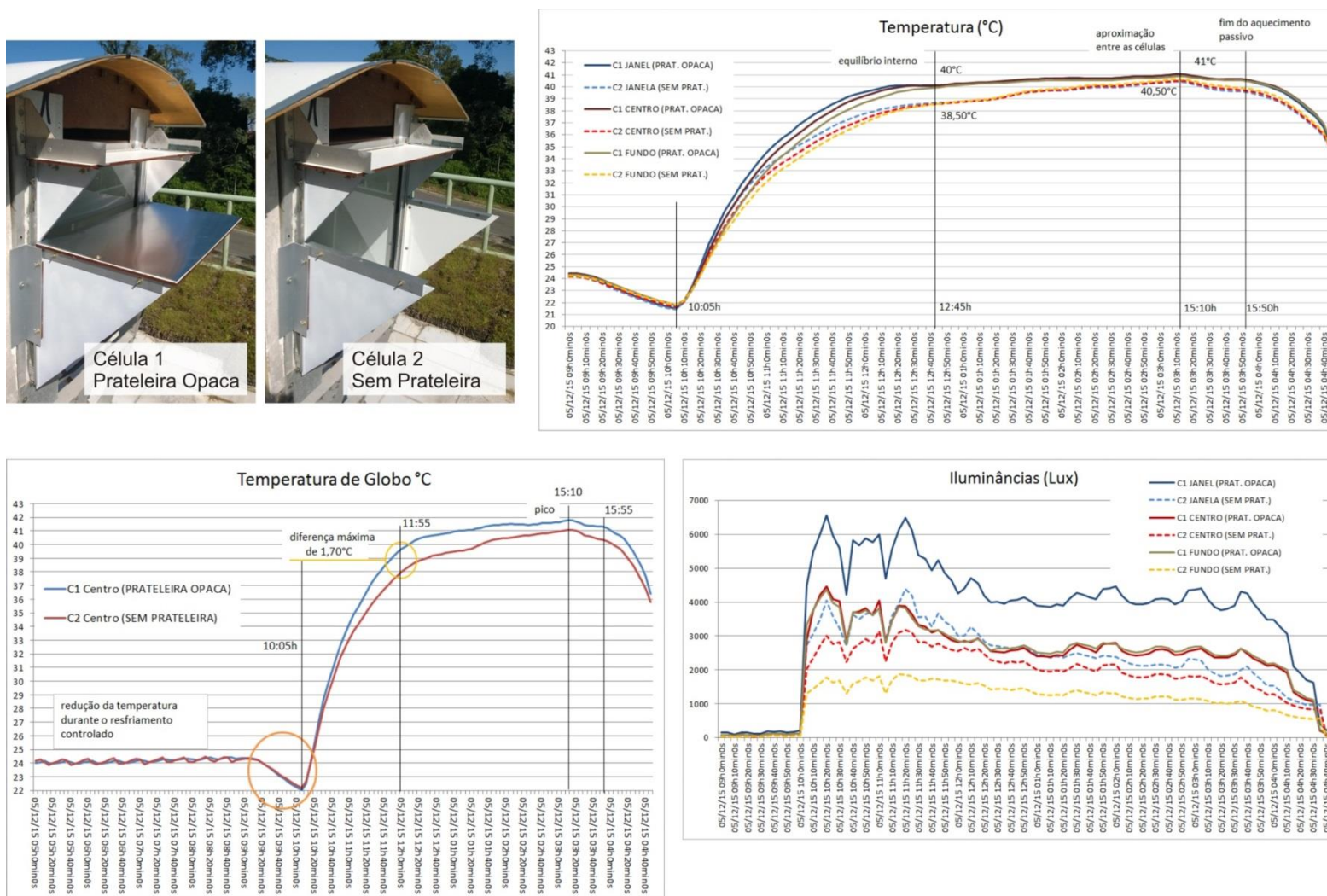
Ao todo foram avaliados 5 arranjos de prateleira de luz, prateleira de trançado de fibra de *nylon*, chapa metálica opaca, chapa metálica perfurada com 20% de abertura, chapa metálica perfurada com 40% de abertura, chapa metálica perfurada com 60% de abertura e uma situação sem a prateleira, mantendo apenas os brises. As 6 possibilidades foram avaliadas em comparação a situação fixa na célula 1 com prateleira em chapa metálica opaca. Dessa forma, cada uma das 6 comparações gerou 3 gráficos os quais foram agrupados e serão apresentados nas imagens a seguir (Figura 102 à Figura 107).

Figura 102: Gráficos de temperatura e iluminância para prateleira opaca contra prateleira opaca.



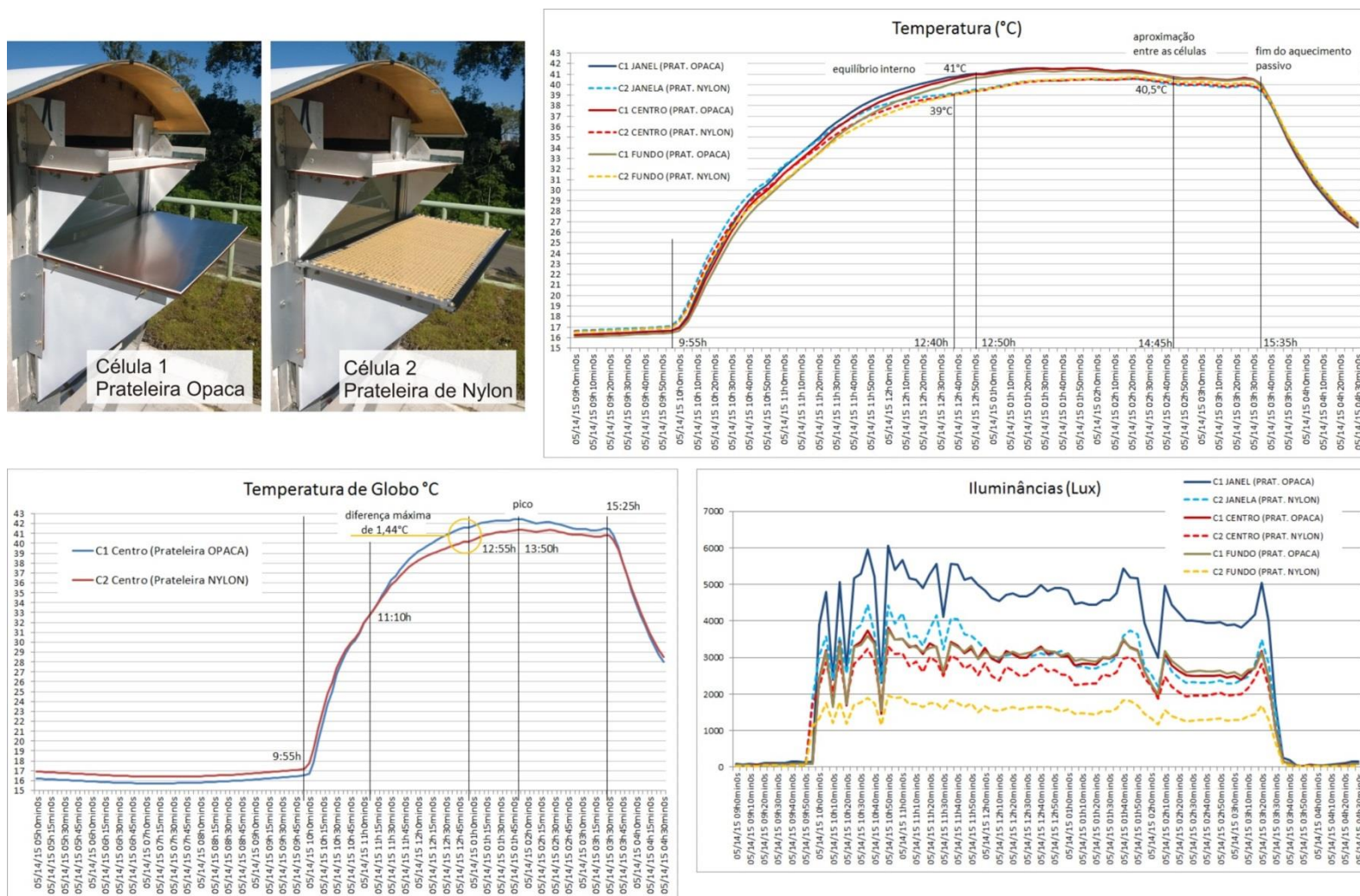
Fonte: Autor. Arquivo "Gráficos dia 13 - C1 OPACA X C2 OPACA.xls".

Figura 103: Gráficos de temperatura e iluminância para prateleira opaca contra situação sem prateleira.



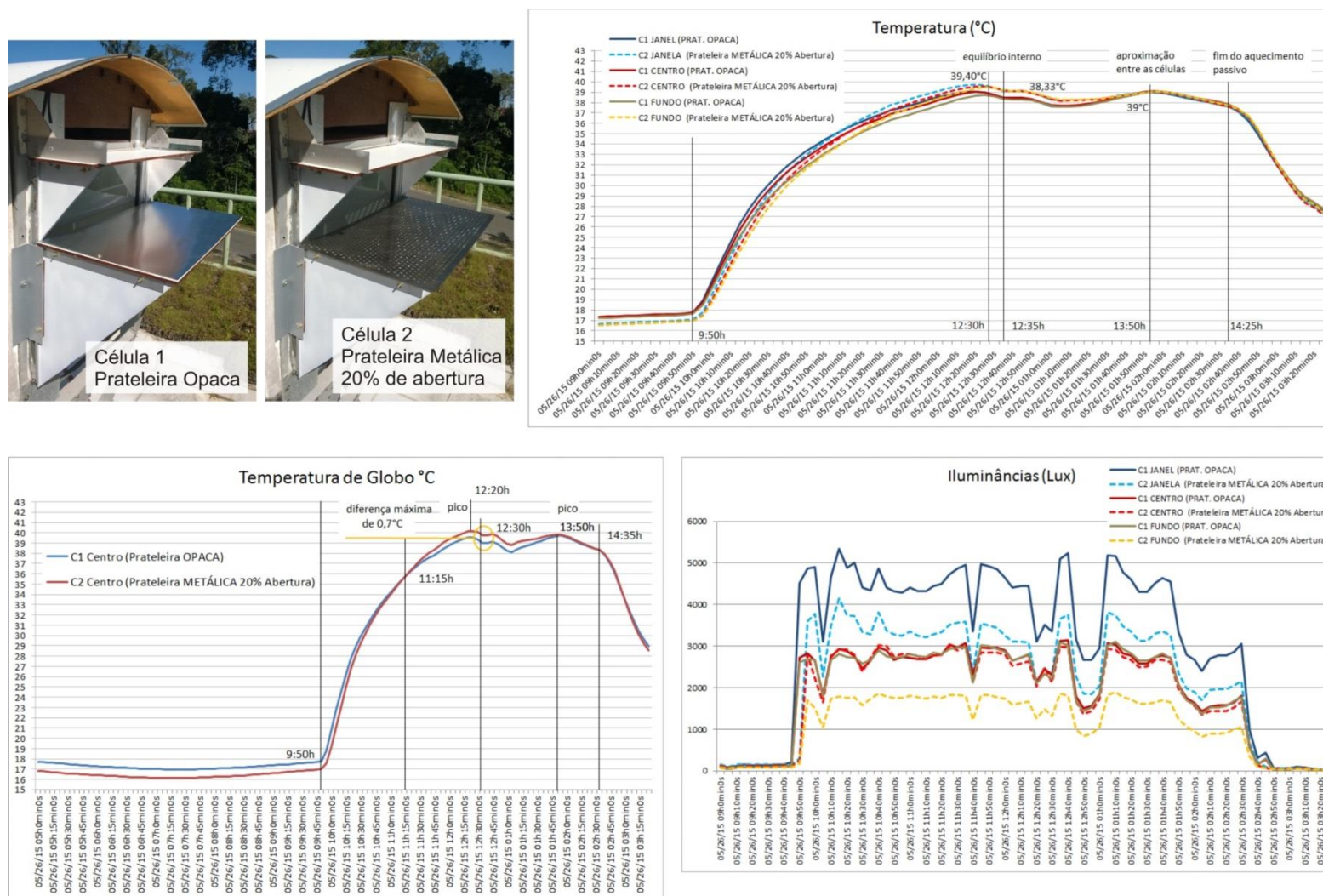
Fonte: Autor. Arquivo "Gráficos - Dados dia 12 - C1 OPACA X C2 SEM PRAT.xls".

Figura 104: Gráficos de temperatura e iluminância para prateleira opaca contra prateleira de nylon.



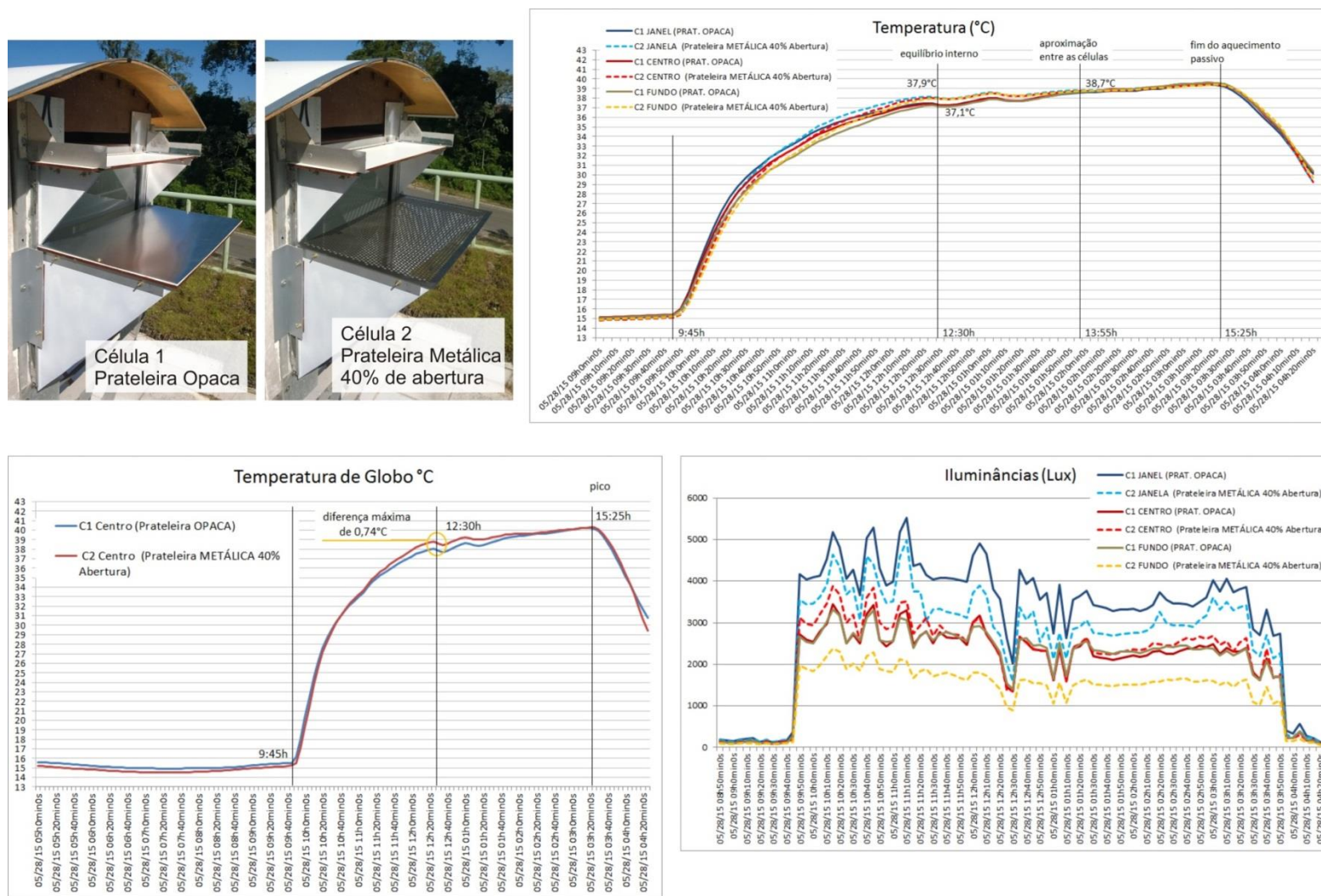
Fonte: Autor. Arquivo "Gráficos dia 14 - C1 OPACA X C2 NYLON.xls".

Figura 105: Gráficos de temperatura e iluminância para prateleira opaca contra prateleira metálica com 20% de abertura.



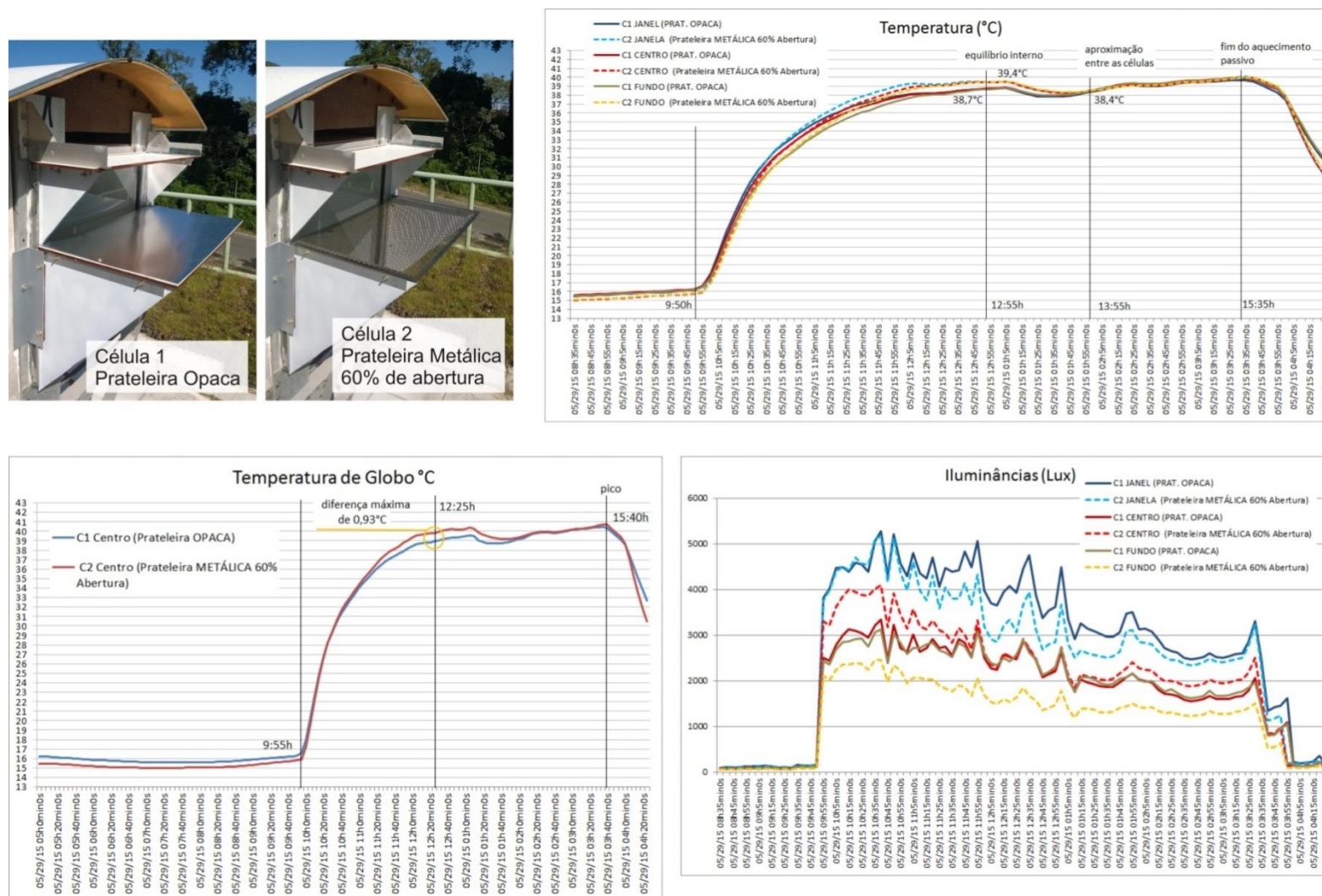
Fonte: Autor. Arquivo "Gráficos dia 26 - C1 OPACA X C2 MET. 20%.xls".

Figura 106: Gráficos de temperatura e iluminância para prateleira opaca contra prateleira metálica com 40% de abertura.



Fonte: Autor. Arquivo "Gráficos DIA 28 - C1 OPACA X C2 MET. 40%.xls".

Figura 107: Gráficos de temperatura e iluminância para prateleira opaca contra prateleira metálica com 60% de abertura.



Fonte: Autor. Arquivo "GRÁFICOS DIA 29 - C1 OPACA X C2 MET. 60%.xls".

De acordo com o levantamento bibliográfico realizado bem como com os conhecimentos relacionados ao tema adquirido até o presente momento, pôde-se perceber um comportamento diferente do esperado nos experimentos comparativos realizados com a célula sem prateleira e com a célula com a prateleira de trançado de *nylon* em comparação com a prateleira metálica. No que diz respeito a curva de aquecimento nesses dois arranjos, verificou-se um patamar térmico mais alto na célula com a prateleira metálica opaca. Considerando que tanto a célula com prateleira de trançado de *nylon*, quanto a célula sem prateleira receberam maior carga de radiação direta por estarem menos protegidas que a célula com a prateleira opaca esperava-se que esta apresentasse maiores patamares térmicos, o que não ocorreu. Este fato indica necessidade de revisão do experimento para refutar ou ratificar esses resultados.

Os experimentos realizados com as chapas perfuradas geraram resultados dentro do padrão esperado demonstrando uma relação diretamente proporcional entre a velocidade de aquecimento e o percentual de abertura de cada prateleira. Apesar disso nas 3 situações as temperaturas no interior das duas células se igualaram dentro do período no qual as mesmas estiveram expostas ao aquecimento passivo. Quanto aos índices de iluminâncias, o experimento onde as duas células foram comparadas com a mesma configuração, prateleiras opacas, verificou-se um desvio muito grande entre os resultados, devido a isso se optou pela realização do fato de luz diurna (FLD), utilizando-se apenas uma célula e dois luxímetros para reduzir a possibilidade de variação decorrentes do desempenho do aparelho ou das próprias células.

5.3. Resultados de Fator de Luz Diurna (FLD)

Foram gerados, com esse experimento, 3 quadros com a informações de iluminâncias coletadas. Cada um dos quadros refere-se a posição do luxímetro interno. Essa organização foi necessária para facilitar o registro dos dados no momento do experimento. Uma vez com os dados no programa *Microsoft Excel*, os valores internos e externo de iluminâncias foram convertidos para a mesma escala, Klux (lux vezes 100), com isso, foi adicionado aos quadros a coluna referente ao FLD indicando o percentual da luz externa equivalente ao valor de luz interna em

cada ponto, para cada configuração de prateleira. Esses valores podem ser verificados nas tabelas a seguir (Tabela 9, Tabela 10 e Tabela 11):

Tabela 9: Fator de luz diurna na posição 1-Janela.

FATOR DE LUZ DIURNA - FLD (POSIÇÃO 1 - JANELA)			
TIPO DE PRATELEIRA	VALOR EXTERNO (KLUX)	VALOR INTERNO (KLUX)	FLD
METÁLICA OPACA	170	12,6	7%
NYLON	160	13,5	8%
SEM PRATELEIRA	149	22,7	15%
METÁLICA COM 20% DE ABERTURA	142	13,8	10%
METÁLICA COM 40% DE ABERTURA	143	14,5	10%
METÁLICA COM 60% DE ABERTURA	149	18,6	12%

Fonte: Autor. Arquivo “FATOR DE LUZ DIURNA.xls”

Tabela 10: Fator de luz diurna na posição 2-Centro.

FATOR DE LUZ DIURNA - FLD (POSIÇÃO 2 - CENTRO)			
TIPO DE PRATELEIRA	VALOR EXTERNO (KLUX)	VALOR INTERNO (KLUX)	FLD
METÁLICA OPACA	238	11,1	5%
NYLON	185	11,3	6%
SEM PRATELEIRA	208	17,5	8%
METÁLICA COM 20% DE ABERTURA	219	13,3	6%
METÁLICA COM 40% DE ABERTURA	186	13,1	7%
METÁLICA COM 60% DE ABERTURA	164	12,8	8%

Fonte: Autor. Arquivo “FATOR DE LUZ DIURNA.xls”

Tabela 11: Fator de luz diurna na posição 3-Fundo.

FATOR DE LUZ DIURNA - FLD (POSIÇÃO 3 - FUNDO)			
TIPO DE PRATELEIRA	VALOR EXTERNO (KLUX)	VALOR INTERNO (KLUX)	FLD
METÁLICA OPACA	185	8	4%
NYLON	207	8,4	4%
SEM PRATELEIRA	145	10,3	7%
METÁLICA COM 20% DE ABERTURA	198	8,2	4%
METÁLICA COM 40% DE ABERTURA	232	8,7	4%
METÁLICA COM 60% DE ABERTURA	226	9,4	4%

Fonte: Autor. Arquivo “FATOR DE LUZ DIURNA.xls”

A organização das informações nesses quadros, apesar de necessária durante o experimento se mostrou de difícil didática quando o objetivo passa a ser a avaliação da distribuição de luz ao longo do comprimento da célula com cada um dos arranjos

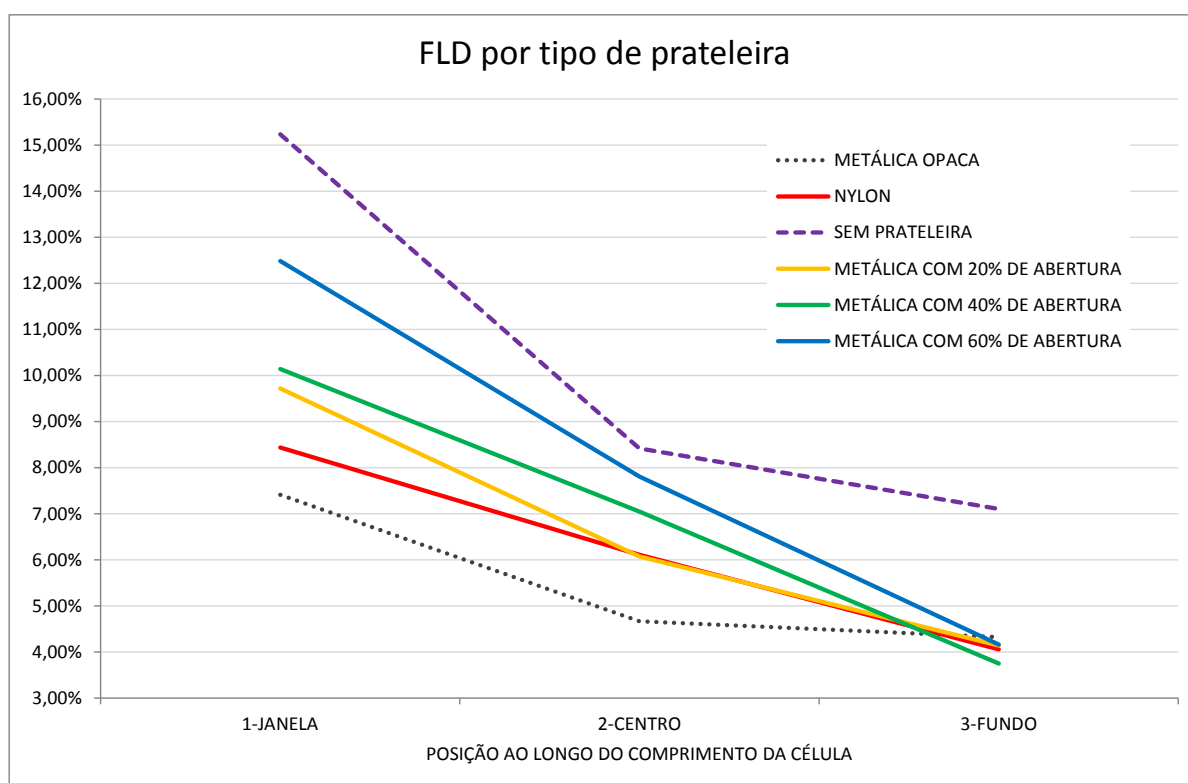
de prateleiras de luz, dessa forma os dados foram reagrupados em uma nova tabela (Tabela 12) da qual foi extraído um gráfico (Gráfico 1).

Tabela 12: FLD por tipo de prateleira.

TIPO DE PRATELEIRA	FLD		
	1-JANELA	2-CENTRO	3-FUNDO
METÁLICA OPACA	7,41%	4,66%	4,32%
NYLON	8,44%	6,11%	4,06%
SEM PRATELEIRA	15,23%	8,41%	7,10%
METÁLICA COM 20% DE ABERTURA	9,72%	6,07%	4,14%
METÁLICA COM 40% DE ABERTURA	10,14%	7,04%	3,75%
METÁLICA COM 60% DE ABERTURA	12,48%	7,80%	4,16%

Fonte: Autor. Arquivo “FATOR DE LUZ DIURNA.xls”

Gráfico 1: FLD por tipo de prateleira.



Fonte: Autor. Arquivo “FATOR DE LUZ DIURNA.xls”.

Com essas informações puderam-se inferir as seguintes tendências. O uso de prateleiras, em todos os tipos avaliados, representou uma redução da iluminância em comparação com o desempenho da célula sem a prateleira. O uso da prateleira opaca representa a maior redução de iluminação no ponto mais próximo da janela e

ao centro, entretanto, apresentou o maior fator de luz diurna no fundo, ainda que com uma superioridade pequena sobre as demais prateleiras estudadas.

Entre as prateleiras metálicas perfuradas verificou-se um desempenho de padrão similar com aumento de luz diretamente proporcional ao aumento de área aberta na prateleira. Considerando o aspecto da distribuição de iluminação a prateleira de *nylon* foi a que apresentou melhor desempenho neste experimento, por apresentar menor variação entre as medições nos 3 pontos.

6. Conclusão

6.1. Da pesquisa

As características relativas à oferta de radiação solar, bem como a necessidade de proteção em relação à mesma, na região norte do Brasil, reforçam a relevância dessa pesquisa no âmbito do uso adequado da luz natural. Segundo a análise anualizada do padrão de céu na cidade de Belém, com base nos dados do sistema METAR, pôde-se perceber uma predominância do padrão de céu encoberto, o que confirma o padrão exposto no conceito de dia típico por Scarazzato (1995). Considerando que, em padrão de céu encoberto, se obtém uma maior proteção ao ganho de carga térmica por radiação solar, não seria um contrassenso admitir maior quantidade lumínica, em função da incorporação de aberturas em prateleiras de luz, ainda que em região de clima quente e úmido equatorial.

A pesquisa foi fundamental para o esclarecimento da necessidade de se avaliar a luz em aspectos quantitativos e qualitativos considerando as necessidades humanas específicas para cada atividade e avaliando as possíveis interações da luz com arquitetura.

Considerando a busca pelo entendimento da distribuição luminosa, em uma avaliação qualitativa, a técnica de análise de imagens em HDR se mostrou acessível, por exigir apenas uma câmera com controle de EV e um computador com *software* de análise, disponível de forma gratuita, e eficiente para o entendimento da relação da luz com a arquitetura por apresentar gradientes luminosos em cores falsas sobrepostas a imagens do ambiente de estudo.

Do ponto de vista da avaliação quantitativa, há um incremento relevante nos custos de operação devido a necessidade do uso de um luminômetro para a comparação e calibração das respostas da análise em HDR.

Esta técnica permite não somente a verificação de espaços edificados, como também, a previsão do desempenho de um projeto a ser edificado por meio do uso de modelos em escala.

A utilização de células de testes enquanto ambientes controlados para a iluminação e térmica se mostrou uma técnica importante para permitir a avaliação dos sistemas objetos desse estudo ainda que com limitações. Dessa forma foi possível estabelecer uma situação base como ponto de partida para a determinação do êxito ou não das propostas de sistemas de prateleiras de luz sob vários aspectos.

6.2. Dos resultados obtidos

O emprego de aberturas em sistemas de prateleiras proporciona a possibilidade de controle da luz permitindo um uso mais adequado para cada caso. Pôde-se verificar, com as avaliações realizadas, que a presença de aberturas nas prateleiras de luz pode reduzir a diferença entre a quantidade de energia direcionada ao teto e ao chão, principalmente na porção mais próxima da janela. Considerando a situação onde a janela está no campo de visão do observador, uma distribuição mais homogênea ao redor da mesma pode diminuir o contraste entre a abertura e as paredes internas adjacentes.

Quanto ao alcance da iluminância ao longo do comprimento (profundidade) de um recinto, pôde-se perceber que, nos dois primeiros pontos de medição, “Janela” e “Centro”, os valores encontrados na aproximação experimental realizada neste estudo para Fator de Luz Diurna, os coeficientes das prateleiras com aberturas foram superiores ao encontrados para a prateleira opaca. Ainda que a prateleira opaca tenha apresentado maior FLD ao fundo (4,32%), estes não eram tão díspares em relação aos obtidos com o uso da prateleira de *nylon* (4,06%) e da prateleira com 20% de abertura (4,14%), por exemplo, ver pagina 146, gráfico 1. Essa constatação indica que a incorporação de aberturas nas prateleiras de luz, quando comparada com a prateleira opaca, no universo estudado, propicia incremento de luz nos pontos mais próximos a janela sem com isso reduzir demasiadamente a quantidade de luz ao fundo. A partir desta análise é possível, em trabalhos futuros, buscar formas de se relacionar o comprimento do recinto e o índice de abertura na prateleira visando um determinado fluxo luminoso.

A técnica de fator de luz diurna se mostrou extremamente eficiente para a verificação do alcance luminoso ao longo do comprimento da célula, esta técnica

também tem a facilidade de permitir a investigação de diversos pontos internos com o uso de apenas dois luxímetros HOMIS. Este método também ajuda a reduzir disparidades de medições inerentes ao uso de vários equipamentos em conjunto como as encontradas nas medições de iluminâncias realizados com os aparelhos HOBO U12.

A prateleira de trançado de *nylon* apresentou grande potencial em relação ao incremento luminoso, nos experimentos realizados, o que abre um leque de possibilidades para estudos mais aprofundados verificando outros tipos de trançados e consequentemente outros percentuais de abertura.

Os resultados obtidos com as imagens em HDR associadas ao uso de escala de cores falsas permitiram diversas análises complementares, apesar disso a avaliação qualitativa se mostrou mais interessante em contraposição a análise quantitativa por pixel, uma vez que o entendimento da tendência da distribuição da luz na célula de teste de acordo com as modificações nos sistemas de prateleira se mostrou mais fácil de se obter que a comparação de valores numéricos. Isto também se deve ao fato da avaliação quantitativa, deste estudo, envolver a necessidade de simulacros “idealmente idênticos”, um controle metrológico progressivamente mais rígido, e uma reprodutibilidade constante dos experimentos para garantir confiabilidade aos resultados.

A avaliação térmica do desempenho da prateleira de trançado de *nylon* e da situação sem prateleira, conforme citado na página 144, exige cronograma que permita maior reprodutibilidade. Já os experimentos realizados com as prateleiras metálicas indicaram um tempo de aquecimento inversamente proporcional ao aumento de áreas abertas nas prateleiras. Isto indica que com a inserção das aberturas nas prateleiras aumenta-se o ganho de carga térmica na porção inferior da janela, abaixo da prateleira, invertendo a situação de ganho que ocorre com a prateleira convencional, que tem sua ênfase de ganho por rebatimento na porção superior, acima da prateleira.

6.3. Limitações da Pesquisa

Quanto aos aspectos quantitativos da avaliação luminosa por HDR percebeu-se que existe um limite de exatidão, no que diz respeito a comparação de células reais, sendo mais indicado para representar tendências a valores absolutos. Este fato está diretamente ligado a dificuldade de se criar elementos perfeitamente idênticos. É

possível que a análise em ambiente de simulação virtual seja mais indicada para este fim ou que a introdução de técnicas como a impressão 3d permita futuras análises quantitativas com outro nível de exatidão para modelos reais.

Neste estudo verificou-se a necessidade de maior enfoque e tempo sobre o aspecto do impacto térmico do uso das prateleiras vazadas, envolvendo maior controle de variáveis e o domínio de equipamentos e *softwares* que permitissem outras análises, como o registro de radiação térmica em pontos internos a célula e avaliação progressiva do aquecimento com imageamento em infravermelho, por exemplo.

Apesar do programa de Pós Graduação de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Pará dispor de estratégias como o PROCAD, que permite o intercâmbio de alunos e professores entre universidades nacionais, a necessidade da ampliação do corpo docente de conforto ambiental para fortalecer o grupo de pesquisas nesta área também se configura como uma das limitações para essa pesquisa. Uma vez que se vise avançar nos estudos relativos ao aproveitamento do potencial luminoso da região norte, um grupo de pesquisa sobre este tema deve ser considerado um objetivo necessário.

6.4. Recomendações Para Trabalhos Futuros

Diante dos resultados obtidos surgem algumas possibilidades de desenvolvimento de outros enfoques de pesquisa. Devido ao desempenho da prateleira com trançado de *nylon* indica-se a avaliação de outros padrões de trançado com diferentes percentuais de abertura. Existe ainda a necessidade de um estudo mais aprofundado no que diz respeito a avaliação do desempenho térmico de prateleiras vazadas.

Outra possibilidade sugerida está na simulação computacional de prateleiras vazadas e na verificação da acurácia desses modelos. Diante do contexto energético atual, a verificação do impacto no consumo com iluminação, por meio do uso de prateleiras de luz perfuradas, também se configuram como um campo a ser explorado. O presente trabalho apresenta informações que podem ser comparadas com experimentos futuros e com possíveis simulações computacionais.

7. Referências e Bibliografia consultada

ABNT:**NBR15215** – “Iluminação natural”. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT:**NBR 15220** – “Desempenho térmico de edificações”. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT: **NBR ISO/CIE 8995**–“Iluminação de ambientes de trabalho”. Rio de Janeiro, 2013.

BERTOLOTI, Dimas. **Iluminação Natural em Projetos de Escolas**: Uma proposta de metodologia para melhorar a qualidade da iluminação e conservar energia. 2007. 162 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2007.

BITTENCOURT, Leonardo. **Uso das Cartas Solares**: Diretrizes para arquitetos. 4ª ed. rev. e ampl. – Maceió: EDUFAL, 2004.

BLOCH, Christian. **HDRI Handbook**: High Dynamic Range Imaging For Photographers And CG Artists. 1st ed. Santa Barbara. EUA: Rocky Nook Inc, 2007.

BORISUIT, Apiparn. **The Impact of Light Including Non-Image Forming Effects on Visual Comfort**.2013. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculté De L'environnement Naturel, Architectural Et Construit, École Polytechnique Fédérale De Lausanne. Suíça, 2013.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3ª Edição. Brasília: ANEEL, 2008.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2012** - Ano Base 2011: Resultados Preliminares. Rio de Janeiro: EPE, 2012.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Eficiência Energética**. 2011.

BROWN, G. Z; DEKAY, Mark. **Sol, Vento & Luz: Estratégias Para o Projeto de Arquitetura**; trad. Alexandre Ferreira da Silva Salva terra. – 2ª ed. – Porto Alegre: Editora Bookman, 2004.

CASTANEDO, C.I. **Quantitative Subsurface Defect Evaluation by Pulsed Phase Thermography: Depth Retrieval With The Phase**. 2005. 100 f. Tese (Ph.D. em Engenharia Elétrica) –Universidade de Laval. Quebec. 2005.

CARAM, R.M. **Caracterização Ótica de Materiais Transparentes e sua Relação com o Conforto Ambiental em Edificações**. 1998. 196 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP. Campinas. 1998.

CIE. **e-ILV, Termlist**. Disponível em <<http://eilv.cie.co.at/>>. Acesso em: 17 setembro 2015.

FARIA, João Roberto Gomes de; DO NASCIMENTO, Daniela. **Cálculo de índices de ofuscamento empregando imagens HDR e câmeras fotográficas digitais de uso amador**. Brasil - Natal, RN. 2009. p. 1349-1356. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10. 2009, Natal, RN.

FRANCO, M. Franco. **Desempenho de um *Brise-Soleil* Automático tipo Prateleira de Luz em Função da Luminosidade e Temperatura**. 2003. 180 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2003.

FROTA, Anésia Barros. **Geometria de Insolação**. 1ª Edição. São Paulo: Ed. Geros, 2004.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Terezinha Ramos. **Manual de Conforto Térmico**. 7ª Edição. São Paulo: Ed. Studio Nobel, 2003.

GANSLANDT, Rüdiger e HOFMANN, Harald .**Handbook of Lighting Design**.1ª ed. [S.I.]: ERCO Edition, 1992.

GARROCHO, J. Saiter. **Luz Natural e Projeto de Arquitetura**: Estratégias para iluminação Zenital em Centros de Compras. 2005. 117 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília. 2005.

GIVONI, B. (1992). **Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines**. Energy and Buildings, v. 18, n. 1, p.11-23.

GONÇALVES, J.C.S., VIANNA, N.S., MOURA, N.C. da S. .Iluminação Natural e Artificial. Procel: Rio de Janeiro, 2011.

GURGEL, Miriam. **Design Passivo - Baixo Consumo Energético**: Guia para conhecer, entender e aplicar os princípios do Design Passivo me residências. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2012.

HEDGECOE, John. **O Novo Manual de Fotografia**: guia completo para todos os formatos. 4ª ed. São Paulo: Editora SENAC SP, 2013.

HOPKINSON, R. G; PETHERBRIDGE, P. & LONGMORE, J. **Iluminação Natural**. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1975.

IESNA. Illuminating Engineering Society of North America. **IESNA Lighting Handbook - References and Applications**, 9th edition, New York, IESNA, 2000.

INANICI, M. N.; GALVIN, J. **Evaluation of High Dynamic Range photography as a luminance mapping technique**. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2004. Disponível em: <<http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/841925-QBBn0i/native/841925.pdf>>. Acesso em: 01 julho 2014.

INNES, Malcolm. **Iluminação no Design de Interiores**. São Paulo: Editora GG, São Paulo, 2014.

IPCC, 2013: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

JACOBS, Axel; BROTAS, Luisa. **Imagens HDR na Luminância de Espaços**. Portugal – Lisboa, 2006. CIES 2006 – XIII Congresso Iberico e VIII Congresso IBERO-Americano de Energia Solar. 2006, Lisboa

JACOBS, Axel. **High Dynamic Range Imaging and its Application in Building Research**. Londres: James & James, vol.1, no.1, 2007. pgs. 177-202.

LAMBERTS, R; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW, 1997.

MACÊDO, C.C. **Análise do Desempenho Térmico e Luminoso de Sistemas de Iluminação Natural que Utilizam a Luz Direta do Sol**. Florianópolis - SC, 2002. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. 2002.

MAJOROS, András. **Daylighting**. PLEA Notes, Note 4. PLEA in Association with Department of Architecture, the University of Queensland Edited by S. V. Szokolay, 1998.

Ministério da Defesa Comando da Aeronáutica. **FCA 105-3, Códigos Meteorológicos METAR e SPECI, 2014**. Disponível em <http://www.redemet.aer.mil.br/Publicacoes/fca_105-3_abr_2014.pdf>

NASCIMENTO, Daniela N. do. **Avaliação do Uso de Imagens HDR no Estudo de Iluminação**. 2008. 125 f. Dissertação (Mestrado em Desenho Industrial) –

Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Bauru, SP. 2008

PALHINHA, M. S. de Jesus. **Sistemas de Sombreamento em Arquitectura:** Proposta de um novo método de concepção e dimensionamento. 2009. 171 f. Dissertação (Mestrado em Arquitectura) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. 2009.

PAULERT, Renata. **Uso de Elementos Vazados na Arquitetura:** Estudo de três obras educacionais contemporâneas. 2012. 134 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR. 2012.

PHILLIPS, Derek. **Daylighting: Natural Light in Architecture.** Oxford: Architectural Press, 2004.

Prefeitura de São Paulo. **Atlas Ambiental do município de São Paulo.** <http://atlasambiental.prefeitura.sp.gov.br/index.php> (acesso em 3 de Março de 2014).

PROCEL-Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Manual de iluminação eficiente.** 1. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2002.

RORIZ, Maurício. **Arquitetura Bioclimática - Módulo 1b: Iluminação Natural em Edificações.** Novo Hamburgo, 2008, 25 p. Apostila do II Fórum Pró-sustentabilidade – Feevale – Arquitetura e Urbanismo.

RORIZ, Maurício. **Segunda Proposta de Revisão do Zoneamento Bioclimático do Brasil.** ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos, SP. 2012.

SCARAZZATO, Paulo Sergio. **Conceito de dia típico de projeto aplicado à iluminação natural: dados referenciais para localidades brasileiras.** Tese

(Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

SILVA, Marcelle Vilar da. **Técnicas para Avaliação do Desempenho Térmico e Lumínico Associado a Sistemas de Prateleira de Luz em Clima Quente e Úmido**. 2013. 175 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Pará. Belém, PA. 2013.

SOUZA, Dennis Flores de. **Iluminação Natural e Artificial em Bibliotecas da UNICAMP: Diagnóstico e Recomendações**. 2010. 462 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. 2010.

SOUZA, Dennis Flores de. **High dynamic range imaging applied to the study of sky vault luminance distribution mapping: Imagens de grande alcance dinâmico aplicadas ao mapeamento da distribuição de luminâncias da abóbada celeste**. 2014. 172 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. 2014.

SOUZA, D.F., SCARAZZATO, P.S. **Estudos e Avaliações Pós-Ocupação da Iluminação no Espaço Construído através de Imagens HDR e Câmeras Digitais Compactas**. SIGRADI 2009. São Paulo, SP. 2009.

SOUZA, Roberto V. Gonçalves de; PEREIRA, Fernando O. Ruttkay. **Primeira Estação de Medição de Iluminação Natural em Território Brasileiro: Análise dos dados dos dois primeiros anos de funcionamento**. In: Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 79-94, jul./set. 2004. Rio Grande do Sul: 2004

VIANNA, Nelson Solano e GONÇALVES, Joana Carla S.; **Iluminação e Arquitetura**. Geros s/c Ltda, São Paulo, SP, 2001.

VIEIRA, Antenor; BORBA, Cristiano; RODRIGUES, Josivan. **Cobogó de Pernambuco**. Recife, PE, 2012.

ZAKIA, Silvia Palazzi. **Instituto do Mundo Árabe e Zaha Hadid**. Arquiteturismo, São Paulo, ano 06, n. 069.03, Vitruvius, nov. 2012 <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquiteturismo/06.069/4585>>.