Percepção da Iluminação no Espaço da Arquitetura:

Preferências Humanas em Ambientes de Trabalho

Percepção da Iluminação no Espaço da Arquitetura:

Preferências Humanas em Ambientes de Trabalho

Cláudia Verônica Torres Barbosa

Cláudia Verônica Torres Barbosa

CLÁUDIA VERÔNICA TORRES BARBOSA

**Percepção da Iluminação no Espaço da Arquitetura:
Preferências Humanas em Ambientes de Trabalho**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo, na área de concentração de tecnologia.

Orientador: Profa. Dra. Anésia Barros Frota

São Paulo

2010

FICHA CATALOGRÁFICA

BARBOSA, Cláudia V. Torres

Percepção da Iluminação no espaço da Arquitetura:

Preferências Humanas de Iluminação em Ambientes de Trabalho

Tese de Doutorado. FAU/USP 2010

Barbosa, Cláudia Verônica Torres. **Percepção da iluminação no espaço da arquitetura**: preferências humanas de iluminação em ambientes de trabalho. Cláudia Verônica Torres Barbosa. São Paulo: FAU/USP, 2010.

238 p.

Inclui bibliografia.

Tese. Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.

1. Iluminação – Natural - Artificial. 2. Luz - Percepção. Iluminação em Escritórios. I. Título. II. Frota, Anésia Barros (Orientadora).

Percepção da Iluminação no Espaço da Arquitetura:

Preferências Humanas em Ambientes de Trabalho

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo, na área de concentração de Tecnologia.

Aprovada em ____/____/2010 pela Banca Examinadora, constituída por:

Banca examinadora:

Presidente e Orientador – Profa. Dra. Anésia Barros Frota

Faculdade de Arquitetura da Universidade de São Paulo

Título/ Nome:

Unidade/Instituição

Título/ Nome:

Unidade/Instituição

Dedicatória

Dedicatória

A Minha Mãe, Erenice Torres (*in memoriam*), estrela de luz brilhante,
sem a qual não teria iniciado esta viagem em busca do conhecimento;

Aos meus filhos Vinícius e Gabriel por cada sorriso e abraço,
fontes de energia e coragem.

Agradecimentos

Agradecimentos

A DEUS, por ter me conduzido no caminho da luz,
aos meus pais, Evans e Erenice (*in memoriam*) pelo amor e apoio incondicionais,
a Hélivio, pela compreensão e ajuda em tantos momentos,
à tia e madrinha Socorro, pelos cuidados especiais, nas horas difíceis,
à professora Dra. Anésia Frota pela confiança, estímulo e orientação atenciosa,
à professora Dra. Márcia Alucci pelas preciosas indicações em momentos de decisão,
às minhas sócias Beatriz Esteves e Márcia Chamixaes pela compreensão nas ausências,
às colegas Leila D'ângela e Elisana Dantas por acreditarem no trabalho e ajuda concreta,
ao fotógrafo Marcelo Marona pelo olhar sensível e registro das imagens do laboratório,
ao engenheiro Luis Pimenta pelo suporte técnico na utilização do software Agi-32,
ao compadre e engenheiro Daniel Furtado pela coordenação e viabilização da obra,
ao funcionário José Ivan da Silva, o "veio", pelo suporte operacional na pesquisa experimental,
aos colegas de departamento da UFPB, em especial a Francisco Gonçalves pela compreensão e apoio durante o afastamento das atividades,
à Pró-Reitoria de Pós-Graduação e CAPES pelo apoio financeiro durante a vigência do curso,
a todos que de alguma forma, contribuíram para elaboração deste trabalho.

***Se o olho não tivesse sol como veríamos a luz?
sem a força de Deus vivendo em nós,
como o divino nos seduz?***

Goethe

***“Arquitetura que entra numa simbiose
com a luz e não meramente cria forma na luz,
no dia e noite, permite que a luz se torne forma.”***

Richard Meier

BARBOSA, Cláudia Verônica Torres. *Percepção da Iluminação no Espaço da Arquitetura: Preferências Humanas em Ambientes de Trabalho*. São Paulo, Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.

As preferências humanas de iluminação nos ambientes internos estão relacionadas inicialmente à satisfação de conforto luminoso a partir de exigências não somente visuais, mas fisiológicas de saúde, conforme os objetivos do projeto e atividades. Este trabalho aborda a percepção da iluminação natural e artificial complementar diurna, em ambiente de escritório com o objetivo de identificar preferências humanas pesquisadas em um *mock up*, modelo que reproduz o ambiente em escala real. A partir do entendimento do ato de ver, procuramos mostrar como a luz pode alterar a percepção do espaço, revelar os contornos, alterar limites, escalas, cores e texturas das superfícies. A relação entre luz e espaço determina a nossa percepção visual do mundo que nos cerca e da maneira que o sentimos. Procuramos redefinir então o conceito de *conforto visual*, ampliando-o para *conforto luminoso*, que passaria a abordar aspectos não visuais da luz que exercem grande influência no metabolismo humano, através da regulação dos ritmos circadianos com desdobramentos na saúde, bem-estar e produtividade. Para a pesquisa experimental, o *mock up* foi construído simulando um ambiente de trabalho com mobiliário e objetos, onde as aberturas projetadas poderiam ser fechadas ou liberadas criando tipologias distintas de captação de luz, seja lateral e/ou zenital. Ao entrevistado, caberia escolher entre duas situações em que as variáveis consideradas foram: as posições e dimensões das aberturas para luz natural e inserção de luz artificial complementar. Para validação dos modelos e comparação dos resultados obtidos, trabalhamos com outros modelos, desde a maquete, à simulação computacional através do *software* Agi-32 e fotografias do ambiente em situações similares às pesquisadas no *mock up*. Os resultados confirmaram a hipótese de que as preferências de iluminação em escritórios estão relacionadas à satisfação do conforto luminoso em função das tarefas, incluindo aqui também a distribuição da luz, dos contrastes obtidos nas superfícies e plano de trabalho, ou distribuição harmoniosa de luminâncias. Nas situações em que a luz natural atende aos requisitos quantitativos da tarefa e conforto luminoso, ela é preferida em relação à luz artificial. A pesquisa pretende contribuir para trabalhos futuros, acerca do estudo da percepção da luz, relacionando atividade ou função do espaço, intenções do projeto, qualidade da luz arquitetural e luz tarefa.

Palavras-chave: iluminação natural e artificial, percepção, conforto luminoso, exigências humanas.

BARBOSA, Cláudia Verônica Torres. Perception of Lighting in Architectural Space: Preferences in Work Environments. Doctoral Thesis in Architecture and Urbanism, Faculty of Architecture and Urbanism, University of Sao Paulo.

The aim of this project is the study of people's preferences in interior lighting. These are initially connected to a sense of satisfaction and comfort, stemming from demands that are not only visual but also physiological. This study considers the perception of natural and complementary artificial daylight in an office environment and aims to identify preferences by means of a life size mock up model.

Starting from the understanding of the act of seeing, the study seeks to show how light can change our perception of space, reveal outlines, and change limits, scale, colours and textures of surfaces. The relationship between light and space determines our visual perception of the world around us. This study seeks to redefine the concept of *visual comfort*, expanding it to the notion of *luminous comfort*. This notion comes to consider non visual aspects of light which greatly influence human metabolism by regulating our biorhythms, which in turn have ramifications for our health, well-being and productivity.

In order to conduct our research a mock up was built which simulated a work environment. The space contained furniture and objects and openings could be closed or opened to create distinct types of lighting, whether lateral or zenithal. The subjects interviewed simply had to choose between two situations. Variables considered were the aperture and position of the openings allowing in natural light and the use of complementary artificial light. To validate the models, results were compared with other models, computer simulations using Agi-32 software and photographs of the environment in similar situations as those investigated in the mock up.

The results confirm the hypothesis that preferences for lighting in offices are connected to fulfilling the need for luminous comfort. Preferences are also linked to task lighting, including the distribution of light, contrast on surfaces and the work area as well as the harmonious placement of light sources. In those situations where natural light meets the quantitative demands of the lighting task luminous comfort is achieved and this is preferred to artificial light.

The research contributes to future studies in how perception of light is linked to activity or the function of space. It also contributes to studies on the quality of light and task lighting.

Key words: Natural and artificial light, perception, luminous comfort, human factors.

lista de Ilustrações

lista de Ilustrações

Figura 1- 3	Amanhecer, meio dia e entardecer.....	28
Figura 4,5	Facho de luz direcional na natureza e no espaço da arquitetura.....	30
Figura 6	A luz filtrada por baixo das folhagens.....	30
Figura 7	Corte esquemático do olho humano.....	30
Figura 8	Espectro eletromagnético e espectro visível.....	33
Figura 9	Principais fenômenos que definem nossa percepção do céu.....	34
Figura 10	Curva de sensibilidade espectral.....	35
Figura 11,12	Luz direcional/aparência quente; luz difusa/céu encoberto.....	36
Figura 13	Igreja da luz, Japão, de Tadao Ando.....	37
Figura 14	Residência no México, Luis Barragan.....	37
Figura 15	Terminal do aeroporto, Santiago Calatrava.....	38
Figura 16	Valorização do altar com luz.....	38
Figura 17,18	Aparência da textura com luz.....	38
Figura 19-21	Reflexão difusa, mista e especular.....	40
Figura 22,23	Luz colorida através de vidros.....	41
Figura 24	Distribuição de luminâncias.....	43
Figura 25-27	Iluminação lateral com janela alta e à direita com prateleira de luz.....	43
Figura 28,29	Distribuição de luminâncias: Igreja <i>Ronchamp</i> , Le Corbusier.....	44
Figura 30-32	Contrastes de 5/1, 10/1 e 50/1.....	45

Figura 33,34	Acesso à catedral de Brasília e detalhe espaço interno.....	46
Figura 35,36	Galeria de arte com desenho de luz difusa e de luz direcional.....	46
Figura 37	Luz ritmada e movimento.....	47
Figura 38,39	Circulação durante o dia e à noite.....	48
Figura 40,41	Síntese aditiva-cor luz e síntese subtrativa- cor pigmento.....	48
Figura 42	Cores sob diversas fontes de luz.....	50
Figura 43	Esquemas contrastantes.....	51
Figura 44	Destaque do altar no mosteiro de <i>La Tourette</i> , de Le Corbusier.....	54
Figura 44,45	Iluminâncias diferenciam espaços de circulação e permanência.....	55
Figura 46	Cúpula do vazio central do museu Gugenheim.....	56
Figura 47	Igreja, de Santiago Calatrava.....	56
Figura 48	Louis Khan. Destaque com luz para a escada de acesso.....	57
Figura 49	Museu - luz natural zenital e orientação do espaço.....	57
Figura 50,51	Luz Imaterial do espaço gótico.....	60
Figura 52	Luz direcional no panteão romano.....	61
Figura 53-54	Luminárias pendentes com luz direta e indireta.....	62
Figura 55	Iluminação natural através da clarabóia e luz artificial complementar....	64
Figura 56	Museu de design, Frank Ghery.....	65
Figura 57-58	Igreja Barroca e luz direcional.....	66
Figura 59	Escola em Portugal, de Álvaro Siza.....	66
Figura 60	Pátio do museu Kimbel de Louis Khan.....	69
Figura 61	Banco Hong Kong, Japão, de Norman Foster.....	69

Figura 62	Casa del fascio, Itália, de Terragni.....	69
Figura 63	Unidades de habitação, Le Corbusier.....	69
Figura 64,65	Terminal do aeroporto de Lyon, Santiago Calatrava.....	71
Figura 66,67	Instituto do mundo árabe de Paris e muxarabi, de Jean Nouvel.....	71
Figura 68	Banco Hong Kong, Japão, de Norman Foster.....	71
Figura 69,70	Museu em Monchengladbach, de Hans Hollein.....	72
Figura 71,72	Galeria Vittorio Emanuele, Milão. Luz zenital uniforme.....	73
Figura 73	Geodésica. Fuller Buckminster. Luz uniforme sob a geodésica.....	73
Figura 74-75	Igreja Unitariana, Rochester NY, Louis Khan.....	73
Figura 76	<i>Menil Collection Museum</i> , Texas/USA, de Renzo Piano.....	74
Figura 77	Biblioteca, de Alvar Aalto.....	74
Figura 78	Controle transparente da luz solar.....	75
Figura 79	Quantidade de luz, contraste, tamanho e objeto em movimento.....	80
Figura 80	Contrastes de luminâncias em ambiente de trabalho.....	84
Figura 81	Ofuscamento causado pela visão da abóbada celeste.....	86
Figura 82-84	Iluminação direcional para escrever e valorizando a escultura.....	91
Figura 85-86	Luz da esquerda e direita. Luz da esquerda, direita, de cima e frontal	91
Figura 87-94	Luz com angulação destaca as texturas	92
Figura 95-97	Curva espectral: lâmpadas incandescente, fluorescente e luz solar.....	93
Figura 99,100	Luz dourada do entardecer e luz branca fria	94
Figura 101-103	Variação da temperatura de cor.....	94
Figura 104,105	Rosa vermelha sob luz do dia e lâmpada vapor de sódio	95

Figura 106	Solário do sanatório, <i>Waibling, Wurttenberge</i>	97
Figura 107	Colônia Helioterápica em Lugano.....	97
Figura 108	Variações cortisol, melatonina, estado de alerta e temperatura.....	99
Figura 109	Representação das cores através de um círculo/ espectro visível.....	101
Figura 110	Arco íris.....	102
Figura 111	Roda das cores pigmento dividida em categorias.....	103
Figura 112	Sistema zenital de controle da luz para evitar a radiação direta.....	107
Figura 113,114	Contrastes de luminâncias recomendados e visão da abóbada.....	118
Figura 115	Luz natural zenital em escritório e luz artificial complementar.....	120
Figura 116,117	Uniformidade na iluminação natural e uso da artificial	120
Figura 118-120	Integração da luz natural e artificial complementar.....	120
Figura 121,122	Ângulos limites da luminária para controle do ofuscamento	123
Figura 123,124	Salas de tratamentos hemodiálise/quimioterapia.....	127
Figura 125,126	Iluminação na cabeceira do paciente.....	129
Figura 127	Iluminação Indireta para repouso e direta para leitura.....	130
Figura 128,129	Unidade de terapia intensiva apenas com luz artificial.....	131
Figura 130,131	Vista da maquete leste/norte; vista interna sem radiação direta.....	137
Figura 132,133	Lote de implantação do <i>mock up</i>	139
Figura 134	Planta de locação.....	140
Figura 135	Planta baixa.....	140
Figura 136	Corte AA.....	141
Figura 137	Corte BB.....	141

Figura 138	Fachada leste.....	142
Figura 139	Fachada norte.....	142
Figura 140-143	<i>Mock up</i> - aberturas e forro removível.....	143
Figura 144,145	<i>Mock up</i> - proteção contínua do beiral nas fachadas.....	144
Figura 146	Modelagem do <i>mock up</i>	145
Figura 147-150	<i>Mock up</i> : Teto, volume, vista interna e abertura janela norte.....	145
Figura 151,152	Implantação do <i>mock up</i> fachadas sul/leste e norte/oeste.....	155
Figura 153-156	Situação janela fachada norte e cantos leste/oeste.....	156
Figura 157,158	Situação janela norte, janela estreita leste, janela alta estreita oeste e iluminação indireta linear zenital ao longo da parede de fundo.....	157
Figura 159,160	Situação janela fachada norte e janela alta estreita fachada oeste, iluminação indireta zenital ao longo da parede de fundo.....	157
Figura 161	Situação janela fachada norte e janela estreita leste.....	158
Figura 162,163	Situação A - Janela norte.....	162
Figura 164,165	Situação B - Janela norte e janelas Leste/oeste.....	162
Figura 167	Situação A: Janela norte.....	163
Figura 168	Situação B - Janela norte e leste/oeste.....	163
Figura 169	Situação A - Janela norte	163
Figura 170	Situação B - Janela norte e janelas leste/oeste.....	163
Figura 171	Situação 4: Janela norte + Iluminação artificial fundo da sala.....	173
Figura 172:	Situação 1-Janela norte	174
Figura 173	Situação 2- Janela norte + Seteiras leste-oeste	174
Figura 174	Situação 1: Janela norte.....	175
Figura 175	Situação 2: Janela norte + seteiras leste-oeste	175

Figura 176	Situação 1 - Janela norte	175
Figura 177	Situação 2 - Janela norte + seteiras leste-oeste	175
Figura 178	Situação 1- Janela norte	175
Figura 179	Situação 2 - Janela norte + seteiras leste-oeste	175
Figura 180	Situação 1- Janela norte	177
Figura 181	Situação 3 - Janela norte + prateleira de luz	177
Figura 182	Situação 1 - Janela norte	178
Figura 183	Situação 3 - Janela norte + prateleira de luz	178
Figura 184	Situação 1 - Janela norte.....	178
Figura 185	Situação 3 - Janela norte + prateleira de Luz	178
Figura 186	Situação 1 - Janela norte	178
Figura 187	Situação 3 - Janela norte + Iluminação artificial fundo da sala.....	178
Figura 188	Situação 1 - Janela norte.....	181
Figura 189	Situação 4 - Janela norte + Iluminação artificial fundo da sala	181
Figura 190	Situação 1 - Janela norte	181
Figura 191	Situação 4- Janela norte + Iluminação artificial fundo da sala	181
Figura 192	Situação 1 - Janela norte	181
Figura 193	Situação 4 - Janela norte + Iluminação artificial fundo da sala.....	181
Figura 194	Situação 1 - Janela norte.....	182
Figura 195	Situação 4 - Janela norte + Iluminação artificial fundo da sala.....	182
Figura 196	Situação 5 - Iluminação natural Zenita.....	184
Figura 197	Situação 5 - Iluminação natural Zenita.....	185

Figura 198	Situação 6 - Iluminação artificial.....	185
Figura 199	Situação 5- Iluminação natural zenital	185
Figura 200	Situação 6 - Iluminação artificial	185
Figura 201	Situação 6 - Iluminação artificial.....	185
Figura 202	Situação 5- Iluminação natural zenital	185
Figura 203	Situação 6 - Iluminação artificial	185
Figura 204	Situação 5 - Iluminação natural zenital.....	186
Figura 205	Situação 6 - Iluminação artificial na mesma direção da natural.....	186
Figura 206	Situação 6 - Iluminação artificial lateral e frontal periférica.....	186
Figura 207	Situação 6 -Temperaturas de cor de 3000K x 4000K.....	186

lista de Tabelas

lista de Tabelas

Tabela 1	Reflexos pós-imagem das cores primárias.....	51
Tabela 2	Resumo da iluminação para produzir Impressões.....	59
Tabela 3	Classificação dos componentes para luz lateral.....	68
Tabela 4	Iluminâncias recomendadas – NBR 5413.....	81
Tabela 5	Valores de luminâncias.....	83
Tabela 6	Relação de luminâncias preferidas.....	84
Tabela 7	Relação de cores e fisiologia.....	104
Tabela 8	Iluminâncias preferidas em escritórios.....	114
Tabela 9	Iluminâncias recomendadas para escritórios.....	115
Tabela 10	Fatores determinantes da iluminância adequada.....	115
Tabela 11	Iluminação interna para locais de trabalho.....	116
Tabela 12	Sala-atividades de escritório: valores de iluminâncias.....	117
Tabela 13	Valores de iluminâncias para salas com computadores.....	122
Tabela 14	Dados para planejamento de iluminação DIN 5035.....	124
Tabela 15	Dados para planejamento da iluminação hospitalar.....	132
Tabela 16	Pesquisa piloto – primeiras impressões.....	166
Tabela 17	Visualização da tarefa.....	167
Tabela 18	Área do campo visual x atenção.....	167
Tabela 19	Descanso visual no campo de visão.....	168
Tabela 20	Classificação da iluminação no ambiente.....	168
Tabela 21	Qualidades associadas à iluminação do ambiente.....	169
Tabela 22	Iluminâncias preferida para o trabalho em escritórios.....	173
Tabela 23	Preferências experimento 1.....	177
Tabela 24	Preferências experimento 2.....	180
Tabela 25	Preferências experimento 3.....	183
Tabela 26	Preferências experimento 4.....	187
Tabela 27	Preferência geral de iluminação.....	188
Tabela 28	Preferência temperatura de cor.....	189

Lista de Abreviatura e Siglas

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEC	Arquitetura Engenharia e Construção
BSI	British Standard Institution (Instituição de Padrões Britânicos)
CIBSE	Chartered Institution of Buildings Services Engineers (Instituição Chartered Serviços de Edifícios Engenheiros)
CIE	Comission internationale de l'eclairage (Comissão Internacional de iluminação)
CLD	Coeficiente de luz diurna
DIN	Deutsche Industrie Norm (Norma Industrial Alemã)
FLD	Fator de luz diurna
FAU/UNB	Faculdade de Arquitetura da Universidade de Brasília
IESNA	Illuminating Engeeneering Society of North América
LEED	Leadership in Enegy and Enviromental Design (Liderança em Energia e Design Ambiental)
USGB	United States Green Building Council
NBR	Norma Brasileira

CAPÍTULO 1– INTRODUÇÃO.....	20
1.1 Objetivos.....	23
1.2 Hipóteses.....	25
1.3 Estrutura da Tese.....	26
CAPÍTULO 2– PERCEPÇÃO DA LUZ NO ESPAÇO.....	27
2.1 Percepção visual.....	30
2.2 Percepção do espaço.....	35
2.2.1 Forma.....	36
2.2.2 Limites.....	37
2.2.3 Escala.....	37
2.2.4 Textura.....	38
2.2.5 Cor.....	40
2.3 Qualidades materiais da Luz.....	41
2.3.1 Modelagem.....	42
2.3.1.1 Contrastes.....	42
2.3.1.2 Direção da luz.....	46
2.3.2 Orientação e movimento.....	47
2.3.3 Cor luz e cor pigmento.....	48
2.3.3.1 Percepção das cores.....	49
2.3.3.2 Simbologia da cores.....	52
2.4 Funções Espaciais da Luz.....	53
2.4.1 Destacar.....	54
2.4.2 Separar.....	55

2.4.3 Definir hierarquias.....	56
2.5 Luz Arquitetural e Luz Tarefa.....	57
2.5.1 Impressões da luz.....	58
2.5.2 Luz e significado.....	61
2.5.3 Luz artificial complementar.....	61
2.6 Tipos de Luz.....	67
2.6.1 Captação e controle da luz natural.....	67
2.6.1.1 Componentes da luz natural.....	67
2.6.1.2 Iluminação lateral.....	70
2.6.1.3 Iluminação zenital.....	71
2.6.1.4 Sistemas de iluminação natural.....	74
CAPÍTULO 3 - EXIGÊNCIAS HUMANAS DE ILUMINAÇÃO.....	76
3.1 Exigências visuais.....	79
3.1.1 Acuidade visual.....	79
3.1.1.1 Tempo de exposição.....	80
3.1.1.2 Contraste.....	80
3.1.2 Aspectos quantitativos.....	81
3.1.3 Aspectos qualitativos.....	82
3.1.3.1 Distribuição de luminâncias.....	82
3.1.3.2 Limitação do ofuscamento.....	86
3.1.3.3 Direção da luz e modelagem.....	91
3.1.3.4 Temperatura e rendimento de cor da luz.....	94
3.2 Exigências fisiológicas.....	96
3.2.1 Luz natural e saúde.....	96
3.2.2 Sistema circadiano.....	97
3.2.3 Ergonomia e produtividade.....	100

3.2.4 Estímulo fisiológico da luz e cor.....	101
3.2.4.1 Reações fisiológicas x emocionais.....	103
3.2.4.2 Iluminação e comportamento.....	105
3.3 Conforto Luminoso.....	106
3.3.1 Quantidade x qualidade.....	107
3.3.2 Campo visual e espaço.....	107
3.3.3 Integração da luz natural e artificial.....	106
3.3.4 Fadiga visual.....	112
3.4 Normas e recomendações.....	113
3.4.1 Ambientes de trabalho: escritórios.....	114
3.4.1.1 Iluminâncias.....	114
3.4.1.2 Cores e luminâncias.....	118
3.4.1.3 Controle do ofuscamento.....	120
3.4.1.4 Iluminação com terminais de computador.....	121
3.4.2 Ambientes de repouso: hospitais.....	123
3.4.2.1 Iluminâncias.....	123
3.4.2.2 Cores e luminâncias.....	125
3.4.2.3 Controle do ofuscamento.....	126
3.4.2.4 Luz natural e paisagem.....	126
3.4.2.5 Quartos de internação.....	128
3.4.2.6 Enfermarias.....	129
3.4.2.7 Unidades de internação.....	131
CAPÍTULO 4 - MÉTODOS E MODELOS	133
4.1 Caracterização da pesquisa.....	134
4.2 Etapas da pesquisa.....	137
4.2.1 Revisão bibliográfica.....	137
4.2.2 Escolha dos modelos.....	137

4.2.3 Projeto e construção do <i>Mock up</i>	138
4.2.4 Simulação computacional: o <i>software</i> Agi-32.....	144
4.3 Definição de métodos e técnicas.....	147
4.3.1 Registro fotográfico e medições.....	147
4.3.2 Pesquisa experimental.....	147
4.3.2.1 Pesquisas piloto e experimental final.....	148
4.4 Método de avaliação dos resultados.....	148
4.5 Definição dos experimentos.....	149
CAPÍTULO 5 - PESQUISA EXPERIMENTAL.....	154
5.1 Pesquisa preliminar.....	155
5.1.1 Características do ambiente de escritório.....	156
5.1.2 Conclusões.....	160
5.2 Pesquisa piloto.....	160
5.2.1 Resultados.....	166
5.2.2 Conclusões.....	171
5.3 Pesquisa Experimental.....	172
5.3.1 <i>Mock up</i> versão final.....	172
5.3.2 Amostragem.....	172
5.3.3 Preferências de Iluminâncias.....	173
5.3.4 Experimento 1: Direção da Luz.....	174
5.3.4.1 Resultados.....	176
5.3.5 Experimento 2: Prateleira de luz.....	177
5.3.5.1 Resultados.....	180
5.3.6 Experimento 3: Luz artificial complementar.....	180
5.3.6.1 Resultados.....	183
5.3.7 Experimento 4: Iluminação natural x artificial.....	183
5.3.7.1 Resultados.....	187

5.3.8 Preferência geral de iluminação.....	188
5.3.9 Comparativo de temperaturas de cor.....	188
5.4 Simulações com o software Agi-32.....	190
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES.....	197
6.1 Conclusões.....	198
6.1.1 Iluminação natural e artificial.....	198
6.1.2 Percepção dos contrastes.....	200
6.1.3 Iluminação e conforto luminoso.....	201
6.1.4 Iluminação natural e artificial.....	202
6.1.5 Direção da luz e modelagem.....	203
6.1.6 <i>Lay out</i> e cores.....	204
6.1.7 Iluminação e paisagem.....	206
6.2 Aplicações no projeto.....	207
6.3 Repercussões e desenvolvimento futuros.....	207
7 Referências.....	209
Glossário.....	216
Anexos.....	218

Capítulo I:

Introdução

Introdução

I. Introdução

I. Introdução

A importância de tratar o tema da percepção da luz passa pelo entendimento de que o homem, para o qual o espaço foi projetado, deverá ser o centro das necessidades. Afinal, projetamos espaços para atender às suas exigências de conforto luminoso. A satisfação dos usuários com o ambiente influenciará seu comportamento e produtividade, com desdobramentos na racionalização energética. É preciso compreender, através da percepção, as preferências dos usuários a quem o projeto se destina, pois serão precisamente estes usuários que irão fechar cortinas, acender as luzes, abrir cortinas e apagar as luzes, buscando sempre a situação mais confortável, seja para trabalhar, repousar, meditar ou simplesmente contemplar.

Somos seres dependentes da luz solar, pois nosso metabolismo e ritmos diários são regulados pelas variações do sol, ao longo do dia e das estações. A luz faz despertar nosso organismo e a escuridão faz adormecer. A tecnologia da iluminação artificial modificou este pragmático comportamento e criou possibilidades de controle e eficiência da luz que se incorporaram definitivamente em nossos ambientes. E mesmo com o sol brilhante, a maior parte dos espaços funciona com iluminação artificial geral e não apenas complementar. Isto gera consumo de energia elétrica e vai contra o discurso da sustentabilidade. Não se trata apenas de saber quantos lux disponíveis há para uma determinada tarefa, mas da percepção da distribuição destes lux nas superfícies, dos contrastes entre luz e sombra e impressões causadas.

Luz natural e artificial são diferentes com relação à percepção visual e fisiológica. Recentes estudos têm procurado investigar as respostas do organismo humano aos diversos tipos de luz artificial e natural com relação aos estados físicos de alerta, repouso, produtividade, bem-estar, ritmos circadianos e também aos desdobramentos na saúde humana. Fomos criados para interagir com a luz solar, fundamental para nossa existência saudável. Precisamos de menos luz para ver do que necessitamos para estimular nossos ritmos fisiológicos, e é certo que, ao longo do dia, podemos nos expor a níveis de iluminação mais altos, desde que por certo período de tempo.

Este trabalho trata da percepção do espaço arquitetônico sob diversos tipos de iluminação natural, procurando investigar as preferências humanas de iluminação, tendo como objeto, ambientes de escritório. Considera a iluminação no período diurno, onde

temos a contribuição da luz natural e a luz artificial complementar, entendendo que complementar não apenas em quantidade para atingir níveis mínimos nos pontos mais distantes das aberturas em função das atividades, mas níveis balanceados para assegurar conforto e estímulo pela distribuição harmoniosa da luminosidade.

Como base teórica, o trabalho pesquisou, além dos requisitos visuais, os aspectos não visuais da iluminação e que interferem diretamente na fisiologia, bem-estar e saúde humanas. A relação entre luz e saúde tem sido um tema investigado por importantes centros de pesquisa, como o americano *Lighting Research Institute* e que interessam diretamente aos arquitetos e *lighting designers*. Se compreendermos as exigências humanas de iluminação - desde a fisiologia e reação aos estímulos dos ambientes até aspectos mais subjetivos que, se não quantificados podem ser ao menos considerados - teremos condições de projetar um ambiente mais confortável, saudável, produtivo e que produza uma resposta emocional positiva.

Complementando a fundamentação teórica da pesquisa, investigamos aspectos conceituais do projeto arquitetônico e da modelagem da luz como variável que influencia a percepção do espaço e a sua caracterização visual e sensorial, a partir das intenções do projeto.

A melhor luz sempre que possível e na grande maioria dos ambientes é a luz natural dosada para o ambiente, de forma que permita desenvolver a maior parte das atividades com conforto. Acreditamos que todo projeto deva perseguir este objetivo. Sabe-se que ambientes considerados saudáveis recebem luz do sol. Os modernistas trabalharam com o discurso da higiene; é célebre a frase do arquiteto Walter Gropius: *diminuam os quartos, aumentem as janelas*.

A luz natural dá vida aos espaços, diria Louis Khan. A luz artificial durante o dia é um complemento importante para viabilizar atividades com constância, eficiência e produtividade, dadas às inconstâncias da luz solar. Explorar o maior aproveitamento dos recursos da luz natural nos ambientes implica entender como percebemos este ambiente, como a luz influencia a nossa percepção, do que pode ser atrativo e o que nos traz desconforto. Se a luz é como arquitetura, uma arte aplicada existe um para que e um para quem, ela também tem critérios funcionais, construtivos e estéticos conforme o tipo de arquitetura proposta e seus objetivos.

1.1 Objetivos

A busca da qualidade da iluminação em ambientes internos, seja natural ou artificial, tem sido uma preocupação crescente entre arquitetos e *lighting designers*. A iluminação tem a capacidade de interferir no bem-estar e conforto de seus usuários, desde aspectos visuais, até os fisiológicos, que afetam o comportamento, produtividade e estado emocional. A luz é uma parte indelével de nossa experiência de vida. Nós consideramos a luz que nos permite ver, mas somos dependentes também nos aspectos fisiológicos e psicológicos. Entretanto, mais do que questões quantitativas, as qualidades da luz nos ambientes internos interagem com as preferências dos usuários, suas atitudes e suas posturas nos usos dos recursos de luz natural, (uso da luz artificial complementar) e controles disponíveis que, efetivamente, poderão contribuir para a racionalização do consumo de energia de uma edificação.

O objeto desta pesquisa é a iluminação natural em ambientes internos sob a ótica da percepção da modelagem, ou seja, pelos efeitos de distribuição da luz na aparência dos planos (pisos, paredes, tetos/planos de trabalho e objetos tridimensionais) que, efetivamente influenciam a impressão dada pelos espaços usados para uma grande quantidade de atividades humanas.

Há uma relação entre variáveis de distribuição da luz natural no ambiente e preferências humanas que envolvem o conforto luminoso, não apenas visual, pois incluem aspectos fisiológicos até os fatores emocionais (estados de humor e predisposições) correlatos. A luz tem o poder de alterar características da forma dos ambientes internos, interferindo em valores, escalas e vibrações cromáticas. Uma série de valores, conceitos e intenções do projeto podem ser reforçadas com luz.

A sensação de conforto e bem-estar não são as únicas impressões possíveis que a luz pode dar, pois o tema que envolve a percepção é bem mais complexo. A luz pode atribuir ao ambiente interno um caráter ou característica, assumindo qualidades: relaxante, aborrecida, estimulante, dramática, só para citar algumas. Se a luz é um importante material de manipulação, ela pode influenciar as preferências dos usuários para uma grande quantidade de atividades. A quantidade de luz que entra num ambiente ou ganho luminoso, assim como sua distribuição, interfere na percepção das superfícies e planos; se mais suave ou vibrante, na sensação de claridade do ambiente, alterando preferências e estados de humor conforme as atividades desenvolvidas.

Um ambiente poderá ter maior conforto luminoso e qualidade ambiental através do uso da luz natural, mas não necessariamente maior eficiência energética. Isto dependerá também do bom uso dos controles e da integração da iluminação artificial que poderá contribuir para um maior conforto luminoso, equilíbrio de contrastes e redução de ofuscamentos, obtendo-se assim, um ambiente favorável a um uso mais efetivo da luz natural e consequente economia energética.

O objetivo geral deste trabalho é identificar preferências de modelagem da luz (natural) em ambientes internos a partir de dados referentes à percepção da distribuição da luz e contrastes das superfícies, considerando o conforto luminoso a partir de exigências não somente visuais, mas fisiológicas de bem estar e saúde, conforme os objetivos do projeto, atividades e usuários.

Através do conhecimento da relação entre variáveis de distribuição da luz natural no ambiente e preferências humanas, associadas ao conforto luminoso, não apenas visual, pois incluem aspectos fisiológicos e emocionais (estados de humor e predisposições) correlatos, é possível apontar indicativos, orientar e estimular soluções de distribuição da luz nos ambientes que se aproximem desses objetivos.

Os objetivos específicos são descritos a seguir:

- Identificar necessidade de luz artificial complementar durante o período diurno não só para obter níveis apropriados na tarefa, mas também para obtenção do conforto luminoso no ambiente como um todo, em função da modelagem da luz natural obtida;
- descrever quais as necessidades humanas de iluminação, sejam visuais ou fisiológicas, relacionando-as com as atividades desenvolvidas;
- definir conforto luminoso a partir do entendimento do conforto visual, bem estar fisiológico e relação com a saúde;
- descrever a relação entre as variáveis da forma de captação da luz natural no ambiente interno, conforme a posição e direção da luz que impactam nas superfícies e objetos, redistribuindo e interferindo nas suas características, alterando a percepção das formas, cores, texturas e proporções;
- definir os conceitos de qualidades da luz e demonstrar como as superfícies do espaço iluminadas de diversas maneiras interferem na percepção;

- relacionar a análise da iluminação em ambientes internos a partir da percepção das diferentes luminâncias, relacionando dados numéricos com a percepção, a partir dos contrastes;
- avaliar a eficiência do modelo utilizado para os experimentos práticos, construído em escala real, o *mock up* para verificar as modificações qualitativas e quantitativas resultantes em cada situação de distribuição de luz propostas e as respostas dos usuários;
- comparar a percepção do *mock up* com modelo computacional, o software Agi-13, que produz imagens realísticas da luz planejada.

I.2 Hipóteses

A seleção das variáveis que irão alterar as preferências humanas com relação às situações de projeto, a simulação em *softwares* e escala real, ou *mock up*, e análise dos resultados são o foco deste trabalho. A partir de então, pretende-se comprovar a seguinte hipótese:

As preferências humanas de iluminação nos ambientes internos estão relacionadas inicialmente à satisfação de conforto luminoso (visual e fisiológico) para tipos de atividades, assim como à percepção dos demais aspectos qualitativos da iluminação manipulados para se criar uma determinada impressão em função do caráter dos ambientes e intenções do projeto de arquitetura.

Pretende-se abordar a relação da percepção do ambiente com a quantidade de luz (como parte da qualidade), direção da luz, cor, distribuição das luminâncias nas superfícies que definem visualmente o espaço, ampliando o conceito de campo visual restrito; relação da luz e saúde, exigências fisiológicas para nosso bem-estar conforme as atividades ou estados de humor pretendidos.

Apesar da relativa disponibilidade de literatura internacional sobre iluminação, o tema da percepção, saúde e bem-estar são mais escassos e relativamente recentes, especialmente no Brasil, onde aspectos quantitativos e dados de disponibilidade da luz natural têm sido mais explorados nas pesquisas acadêmicas. Os resultados poderão gerar informações que possam contribuir para a revisão de nossa legislação de normas de iluminação de interiores, muito restrita aos índices de luminâncias nos planos de trabalhos.

1.3 Estrutura da tese

A tese foi dividida em seis capítulos, sendo o primeiro Introdutório ao conteúdo da pesquisa, contendo sua contextualização, objetivos e hipóteses levantadas. Nos segundo e terceiro capítulos apresentamos a fundamentação teórica acerca do tema, abordando a influência da luz na percepção do espaço, assim como as exigências humanas de iluminação, tanto visuais como fisiológicas, relacionando luz, bem-estar e saúde.

No capítulo quatro, descrevemos os métodos e técnicas utilizadas para realização da pesquisa experimental, a partir do projeto e construção do *mock up* e definição das situações a serem criadas em função das hipóteses iniciais. O capítulo cinco contém as etapas da pesquisa experimental, desde a preliminar, passando pela pesquisa piloto, até sua formatação final. No capítulo seis, os resultados obtidos são avaliados e interpretados, verificando as hipóteses para se chegar às conclusões, incluindo possibilidade de aplicações no projeto, bem como repercussões e desenvolvimentos futuros.

Além da pesquisa teórica, realizamos uma pesquisa experimental com grupos de usuários. Como nosso tema é trabalhar com a percepção, optamos pela construção de um *mock up* de um ambiente de trabalho, ou modelo em escala real, a fim de tornar possível perceber as diferenças e variações da luz natural e impressões causadas. As medições foram realizadas ao mesmo tempo em que o entrevistado escolhia entre duas situações idênticas, com variação apenas da iluminação. A situação em escala real permitirá registros fotográficos e medições destas diversas situações com propósitos específicos a serem descritos no método adotado.

São utilizados modelos de visualização e pesquisa, como modelo físico reduzido, computacional, o *software* Agi-13, e estudos empíricos realizados a partir da criação de um modelo em escala real, *mock up* de ambiente de trabalho. Situações com diversas condições de iluminação serão registradas em documentação fotográfica, serão analisadas e selecionadas por uma amostra de usuários. Pretende-se que, ao obter indicativos de preferências e relacioná-los à teoria e hipóteses, possam ser considerados em futuros projetos. Mais do que discutir critérios quantitativos, pretendemos focar na qualidade e considerações subjetivas da percepção. Tentamos reconhecer que, além de cada um ter sua própria percepção da luz, nós também compartilhamos uma base perceptiva e linguagem comum.

Capítulo 2:

Percepção da luz no espaço

Percepção da luz no espaço

2. Percepção da luz no espaço

2. Percepção da luz no espaço

“Para lidar com a emoção, não se pode simplesmente repetir procedimentos e cálculos. A emoção é irmã da surpresa”

Percebemos o mundo que nos cerca em três dimensões e sob a luz do sol, que permite ver as formas, cores, e superfícies com desenhos e “manchas de luzes e sombras”. A sombra faz parte da luz e nossos cenários cotidianos se mostram em gradações de tonalidades distintas, gerando uma riqueza de estímulos visuais extremamente importantes para nossa percepção. A luz solar fornece uma diversidade de efeitos os mais variados. Nossa percepção reage aos contrastes e identifica tanto repetições como mudanças de padrões. Somos seres *fitotrópicos* e instintivamente atraídos pela luz, que nos mantém conectados com a vida em nosso planeta. A natureza mostra espetáculos de luz, ao longo do dia e das estações, que ficam registrados em nossa memória, associadas em geral a um padrão emotivo e sentimentos diversos. Desde a luz do amanhecer, com sombras rasantes em tons amarelados, passando pelo céu azul do meio do dia até a luz dourada do entardecer com matizes e reflexos de cores amarela, laranja e magenta.

Figuras 1/2/3: Amanhecer, meio dia e entardecer

Fonte: MILLET, Marietta S. Light revealing architecture. NY, Van Nostrand Reinhold, 1996.

A luz nos permite ver, e muito mais do que isto, ela nos estimula e informa sobre o que nos cerca. Não haveria forma visual percebida sem luz. Esta condiciona a maneira com que vemos o mundo e a maneira como nos sentimos. Existem várias fontes de luz: o sol, a lua, o fogo e eletricidade, que nos causam diferentes percepções e respostas. A luz revela contornos, superfícies, formas e cores. A luz revela também a beleza, função e forma da arquitetura. Define imagem, cor, textura dos espaços, edifícios, cidades e paisagens. Determina nosso limite visual e nosso entendimento de escala. A Luz é energia essencial de nossa vida. Nosso mundo é feito de luz.

Louis Khan defendia que a luz natural “dava vida ao espaço”, pelo fato de modificar a percepção das superfícies, ao longo do dia e das estações, fato que a luz artificial não conseguia pela sua condição estática. Hoje a tecnologia permite que a luz artificial seja dinâmica em intensidades, cores e movimentos. A luz artificial -usada no teatro - alimenta e inspira sua utilização na arquitetura, com forte conteúdo expressivo e emocional. A luz que ajuda a construir um espaço, numa linguagem teatral, faz parte da narrativa e reforça o conteúdo emocional pretendido, ou seja, a luz usada como arte assume certa autonomia expressiva. Entretanto, se a luz é como a arquitetura, uma arte aplicada, existe um *para que* e *para quem*, ela também tem limites e critérios funcionais, construtivos e estéticos, conforme o tipo de arquitetura proposta e seus objetivos.

A questão central deste capítulo é abordar a influência da luz natural na percepção do espaço. Não vemos a luz propriamente, mas conseguimos perceber a luz que, ao incidir em superfícies é refletida em nossa direção e atinge nossa retina. *Se o vazio do espaço arquitetônico nada significa, temos que enfeitiçar as superfícies.* No espaço da arquitetura percebemos pisos, paredes, tetos iluminados, sem esquecer os objetos, mobiliário e... pessoas, para as quais construímos estes lugares.

Somente a partir deste entendimento poderão ser gerados critérios para o projeto de iluminação artificial complementar, para o funcionamento do espaço através da luz tarefa, em especial durante o período diurno, em que acontece a utilização dos dois sistemas simultaneamente. A tecnologia das lâmpadas e seus espectros diferentes e temperatura de cores distintas tentam reproduzir momentos de luz que conhecemos da luz natural e oferecer opções de utilização, conforme as preferências e necessidades de cada projeto. Entretanto, a luz artificial no teatro não apenas tenta reproduzir situações encontradas na natureza, mas usando a luz dissociada deste contexto figurativo de amanhecer, anoitecer, etc. adota uma relação emocional e narrativa autônoma, onde a luz ganha liberdade expressiva na narrativa. Questões não apenas associativas fisiológicas ou temporais, mas simbólicas e emocionais. E esta maneira de trabalhar com a luz ganha espaço na arquitetura, quando o *para que* e *para quem* permitem ou mesmo solicitam esta postura expressiva.

Nossa relação de luz e memória está ligada à nossa relação com a luz natural, essencial para nossa sobrevivência em nosso planeta. Nossa memória de luz apresenta relação com a natureza, gerando conotações visuais, cromáticas e dinâmicas que funcionam como arquétipos visuais: o espaço branco e frio das geleiras, os raios de luz que penetram entre as árvores de uma floresta, a luz da superfície de um lago na visão

submersa, o ouro sem fim da tarde, em matizes dramáticos que desaparecem anunciando o escuro da noite... Todas estas imagens estão associadas a sentimentos diversos e alimentam aspectos arquitetônicos da luz do dia e da iluminação artificial também. A iluminação artificial na arquitetura procura muitas vezes traduzir determinados efeitos ou fenômenos que vivenciamos e observamos na natureza como qualidades diversas: luz difusa de um dia encoberto, a luz filtrada embaixo da copa de densas árvores, ou ainda a luz direcional que gera sombras fortes e destaca algum elemento em especial.

Figuras 4 e 5 : Facho de luz direcional na natureza e facho de luz direcional no espaço da arquitetura.

Fonte: Palestra Michel Rohde- Light Fair-NY 2007

Figura 6: A luz filtrada por baixo das folhagens.

Fonte: MILLET, Marietta S. Light revealing architecture. NY, Van Nostrand Reinhold. 1996.

2.1 Percepção visual

Para compreender como a mente processa as informações recebidas através dos órgãos dos sentidos é necessário um entendimento da fisiologia humana. Dados apresentados por Santaella (1998) indicam que “(...)75% da percepção humana, no estágio atual da evolução, é visual. Isto é, a orientação do ser humano no espaço é grandemente responsável por seu poder de defesa e sobrevivência no ambiente em que vive, dependendo majoritariamente da visão. Os outros 20% são relativos à percepção sonora e os 5% restantes a todos os outros sentidos, ou seja, tato, olfato e paladar.”¹

Sendo os olhos e os ouvidos órgãos ligados ao cérebro, alguns pesquisadores caracterizam-nos como sentidos mais cerebrais, enquanto os outros são corporais. São órgãos codificadores da comunicação, de modo que parte da tarefa já começa a ser realizada dentro destes órgãos, para ser complementada no cérebro.

¹ BRONDANI, Sérgio Antônio. A percepção da luz artificial no interior de ambientes edificados. Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis, 2006, pág.31

Em relação aos estudos que investigam os aspectos perceptivos relacionados com a fisiologia humana, considera-se que a parte experimental é a que tem maior significado, pois revela implicações sensoriais em que são controladas algumas variáveis do meio quando relacionadas em observações, experiências e deduções. Cientificamente há um avanço e uma progressão cada vez maior no sentido do entendimento e funcionamento do cérebro humano. São também analisadas as relações de integração entre os dados físicos, fisiológicos, e psicológicos na formação das sensações.

“Só alcançamos controle sobre a percepção no momento em que o *percepto* é interpretado. Apenas então é que se podem fazer experimentos perceptivos, só então a percepção pode ser testada, criticada, modificada, etc. O processo interno, entretanto, anterior ao ato interpretativo, não pode ser objeto de experimentação, visto que está sujeito a vicissitudes sobre as quais não temos domínio consciente”²

Na teoria da *Gestalt*, escola alemã que abordou e procurou decodificar a percepção da forma, alguns de seus idealizadores consideram os fatos psicológicos como unidades organizadas em determinados padrões ou formas.³ As dificuldades da *Gestalt* para dar crédito a suas teorias referentes às leis da forma e às leis da percepção no nível mental foram causas que favoreceram, durante um período inicial do século passado, a extinção da palavra “mente” das pesquisas sobre percepção. Não houve, durante parte do século passado, um interesse em pesquisar os processos cognitivos. Sabe-se agora que os processos cognitivos são responsáveis pela compreensão e melhor entendimento em ver o mundo, explicando os fenômenos que ocorrem. São eles responsáveis pelas operações de reconhecimento, identificação, memória e previsibilidade. Atualmente, o cognitivismo é um pré-requisito para o desenvolvimento de pesquisas de percepção. Não há como separar percepção e conhecimento.⁴

A sensação corresponde ao *campo visual*, enquanto percepção corresponde ao *mundo visual*, sendo elaborada no córtex cerebral. Como o cérebro é o órgão que recebe e trata as informações no nível consciente e inconsciente, este é estimulado por sensações e percepções que, por sua vez, se originam dos órgãos sensitivos e da cognição respectivamente.

² Ibidem, SANTAELLA (1998)

³ BRONDANI, Sérgio Antônio. A percepção da luz artificial no interior de ambientes edificados. Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis, 2006, pág.32

⁴ Idem, pág.33

O sistema nervoso humano é dividido em sistema nervoso central (SNC) formado pelo encéfalo e medula espinhal e pelo sistema nervoso periférico (SNP) que atua sobre todo o corpo, levando as informações sensoriais para a medula espinhal, pelas fibras aferentes, e as informações motoras do SNC para a periferia, pelas fibras eferentes. “O encéfalo está dividido em cérebro, cerebelo, ponte e bulbo. O cérebro é formado por dois hemisférios que são interligados por fibras nervosas. Os neurônios, unidades fundamentais do SN, são os responsáveis pela transmissão dos sinais. O córtex é a camada superficial do cérebro onde o pensamento é processado e armazenado. Nele, os neurônios se agrupam em colunas verticais e em camadas superpostas com características e potenciais sinápticos diferentes.”⁵ As pesquisas mostram que ao contrário do computador, o cérebro humano usa o tratamento em paralelo da informação, permitindo que vários processos de informação possam ser executados simultaneamente. Além disto, parece que grande parte do processamento da informação não está localizada apenas em áreas cerebrais específicas, mas distribuídas em várias regiões cerebrais.

A informação coletada pelos sentidos entra pelo córtex frontal e é transmitida na forma de descargas elétricas entre os neurônios às células cerebrais. É no córtex frontal que são tomadas as decisões. A percepção do mundo a nossa volta não se dá apenas pelo estímulo físico na retina, mas pela interpretação do cérebro às imagens, que têm como base experiências passadas e informações conhecidas. Para isso, utiliza-se da combinação dos dados recuperados da memória e de todos os outros arquivos ligados à razão, emoção, linguagem ou funções motoras do cérebro. É a capacidade de cruzar todos estes elementos que os cientistas consideram como inteligência. Temos um registro visual de memória que a luz (solar) vem de cima. A constância de percepção faz com que mesmo sob iluminações diversas o objeto possa ser percebido como sendo o mesmo.

Figura 7: Corte esquemático do olho humano

Fonte: FRANCKOWIAK, Irene Tiski. Homem, comunicação e cor. São Paulo, Ed. Icone, 1997, 3ª edição, pág. 125

⁵ idem

O olho humano comporta-se como uma espécie de “sensor” das informações visuais as quais são tratadas pelas estruturas da retina. Tuan (1980) afirma que os olhos humanos, por terem superposição bifocal e capacidade estereoscópica, proporcionam às pessoas um espaço vivido em três dimensões. Sabemos que para perceber um espaço é necessário receber as imagens através do sistema visual e na presença de luz. Os olhos reagem à presença de luz e o nervo ótico transmite ao cérebro os impulsos luminosos recebidos. A imagem recebida é plana, entretanto a percepção se dá em três dimensões, ou seja, a terceira dimensão é recuperada no cérebro, mediante a percepção.

O sol é a fonte de luz primária da arquitetura. Através das civilizações, a forma da arquitetura tem respondido ao sol, até a industrialização e invenção da luz artificial, fonte de luz secundária e complementar durante o período diurno. Entretanto, no período noturno, além da função e utilidade, a luz artificial assume também possibilidades para expressão e criação da arquitetura.

Luz é radiação eletromagnética capaz de produzir sensação visual. A luz “branca” solar ou a de uma fonte artificial, como a lâmpada incandescente, é uma mistura de todos os comprimentos de onda no espectro visível e regiões adjacentes de infravermelho e ultravioleta, estas também de extrema importância no estudo da luminotécnica. Dentro da faixa de luz visível, os diferentes comprimentos de onda correspondem às diferentes cores das luzes que somadas originam a luz “branca”.

Figura 8: Espectro Electromagnético e Espectro Visível.

Vermelho: 630 - 780	Alaranjado: 600 – 630 nm	Amarelo: 565 – 600 nm
Verde: 500 – 565 nm	Azul: 435 – 500 nm	Violeta: 380 - 435 nm

Fonte: Lighting with artificial light 1. Frankfurt, Fordergemeinschaft gutes licht, 1994.

A seguir incluímos alguns fenômenos que modificam nossa visão da abóbada celeste, desde a refração que revela o arco-íris, à cor azul do céu, às nuvens brancas, à aparência da luz branca do meio-dia até o céu avermelhado do entardecer.

Figura 9: Principais fenômenos que definem nossa percepção do céu.

O olho humano não é igualmente sensível a todas as cores do espectro visível, variando com a intensidade da luz. A nossa maior acuidade visual é para o comprimento de onda de 555nm que corresponde ao amarelo-esverdeado. Para o vermelho e o violeta, nossa sensibilidade é muito pequena. A figura abaixo indica a curva de sensibilidade de um olho humano médio, aos diversos comprimentos de ondas, e é denominada “curva internacional de luminosidade espectral relativa”, demonstrando que radiações de menor comprimento de onda (violeta e azul) geram maior sensação luminosa quando há pouca luz (visão escotópica) e radiações de maior comprimento de onda (laranja e vermelho) nos sensibilizam quando há muita luz (visão fotópica). Este fenômeno é conhecido como “*Efeito Purkinje*”.

Figura. 10: Curva de sensibilidade espectral.

Fonte: Lighting with artificial light 1. Frankfurt, Fordergemeinschaft gutes licht, 1994.

2.2 Percepção do espaço

A luz altera a percepção do espaço. Se o espaço é o vazio, a luz *influencia* o espaço que define a forma. A forma iluminada mostra os contornos, superfícies, texturas e cores. A *relação entre luz e espaço dita a nossa percepção visual do mundo que nos cerca e da maneira como o sentimos*.

A luz pode fazer o espaço parecer mais quente ou mais frio, pode nos fazer sentir abertos e integrados ou ainda restritos, fechados e com intimidade. O espaço pode ser regulado pela luz, durante o dia, e à noite pela luz humana artificial que recria a claridade com fontes brilhantes na escuridão.

2.2.1 Forma

“Arquitetura que entra numa simbiose com luz e não meramente cria forma na luz, no dia e noite, permite que a luz se torne forma”.

Richard Méier

A forma é o contorno visual de massa e volume que a luz pode tornar legível. Não existe forma sem a luz, pois não podemos percebê-la. A maneira como uma luz revela e mostra o volume define a relação essencial entre luz e arquitetura.

A luz altera a percepção da forma. Conforme as proporções do espaço, a iluminação pode alterar esta percepção alongando ou encurtando. A aparência da forma é interpretada através da direção e intensidade da luz. Alterando a luz de um ambiente não apenas redefinimos seus contornos e limites, mas também reinterpretamos suas características e significados.

A arquitetura é continuamente transformada sob a luz natural, dinâmica e surpreendente. A luz artificial permite algumas variações que podem ser exploradas na percepção do espaço e arquitetura, com características próprias, sem necessariamente, querer imitar o efeito natural da luz diurna.

Figura 11 e 12: Luz direcional de aparência quente do entardecer.; luz difusa de um céu encoberto

Fonte: MILLET, Marietta S. Light revealing architecture. NY, Van Nostrand Reinhold, 1996.

A ausência de sombras e uma luz muito difusa, típicas de um céu encoberto, deixam todos os objetos com aparência plana. Por outro lado, um ambiente luminoso com fortes sombras, típico de um céu claro, intensifica o relevo e a plasticidade dos objetos.

2.2.2 Limites

A luz altera a percepção dos limites de um espaço. Quando trabalhamos com luz, a delimitação de um espaço corresponde ao limite de nossa visão. Os limites podem ser criados por contrastes ou continuidades; servem para unificar ou separar espaços. A luz ajuda a definir a compreensão dos limites do espaço e da forma através da iluminação destas áreas ou superfícies.

Figura 13: igreja da Luz, Japão, de Tadao Ando

Fonte: website

Figura 14: O olhar se estende até os limites iluminados do espaço. México, Luis Barragán.

Fonte: Barragán. México, ed. Gustavo Gili, 1994.

2.2.3 Escala

A luz altera a percepção das noções de proporção e medidas ou escala. A escala é uma referência de medida. A luz tem escala de duas maneiras, a sua própria e a habilidade de alterar a escala e forma dos espaços. Acentuar ou modificar superfícies horizontais ou verticais.

A luz pode revelar o espaço de proporções mais verticais. Por exemplo, se a luz atinge estes planos mais altos, de forma direta, conduz o olhar para o alto, nos pontos iluminados. Iluminação zenital amplia a sensação de proporção do espaço, enquanto que uma janela lateral que não vá até o teto, vai ter um alcance mais horizontal no ambiente. Superfícies iluminadas podem ser desmaterializadas visualmente, parecendo mais leves, perdendo densidade e peso. Daí a sensação de distanciamento e de proporções maiores.

Figura 15: A luz indireta ascendente valoriza a textura das placas de concreto diferenciando a escala do espaço central das circulações laterais e acessos. Terminal do Aeroporto, Santiago Calatrava

Fonte: website

Figura 16: Valorização do altar com luz. A escala de maiores proporções do altar é valorizada da com luz rasante lateral em toda a sua altura. As janelas laterais iluminam as laterais deixando o centro com menos luz, o que reforça a atração de olhar para o altar.

Fonte: MILLET, Marietta S. Light revealing architecture. NY, Van Nostrand Reinhold, 1996.

2.2.4 Textura

“A luz não tem apenas intensidade, mas também vibração que é capaz de tornar áspero um material suave e macio, dando uma qualidade tridimensional para superfícies planas”.

Renzo Piano

A maneira como uma superfície é revelada pela luz revela sua verdadeira natureza. A aparência é definida pelo ângulo e direção da luz assim como a natureza da superfície e sua textura, se polidos ou rugosos. A luz controla a textura em graus variados. Quando o material transmite luz, sua estrutura interna se revela, mostrando a ausência ou não de textura; a luz pode criar um modelo padrão ou dissolvê-lo. A relação entre luz, superfície e textura pode estar simulada ou escondida.

Figuras 17/18: Aparência da textura com luz vinda do alto e abaixo com luz frontal, perpendicular ao plano.

Fonte: Lighting with artificial light 1. Frankfurt, Fordergemeinschaft gutes licht, 1994.

Os materiais também podem ser transparentes, translúcidos, opacos, ou polidos. A luz pode criar um modelo ou dissolvê-lo. A relação entre luz, textura e superfície não é substancial, podendo ser valorizada ou escondida.

Ao incidir em dada superfície, parte da luz será refletida, outra atravessará a superfície transmitindo-se ao outro lado, e uma terceira parte será absorvida, transformando-se em calor. As propriedades de propagação da luz são então: *reflexão*, *transmissão* e *absorção*. É muito importante o entendimento de como a luz se propaga e o seu efeito nas diferentes superfícies conforme as características de textura, opacidade e transparência.

A **reflexão** é um fenômeno extremamente importante, pois graças a ele conseguimos ver os objetos e espaços a nossa volta. O princípio da lei da reflexão: *o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão*. É uma lei geométrica que permite representar a distribuição dos raios luminosos nas superfícies do espaço.

Dependendo das características de acabamento da superfície, a refletância poderá ser:

- **Difusa ou irregular**, no caso das superfícies com acabamento fosco que apresentam irregularidades que dificultam a reflexão, portanto minimizam problemas de desconforto visual causadas pelo ofuscamento refletido. A lei da reflexão é obedecida, mas como a superfície apresenta pequenas áreas em diferentes planos, elas refletem a luz em diversos ângulos de uma forma difusa, como por exemplo, o gesso, a neve e o papel branco fosco.
- **Mista ou semiespecular**, no caso de superfícies que refletem o fluxo incidente em várias direções, pois apresentam características de reflexão difusa e especular em como, por exemplo, asfalto molhado, uma parede pintada, uma folha de papel brilhante. É o tipo de reflexão mais frequente nas situações práticas.
- **Especular**, no caso das superfícies perfeitamente polidas que permitam ângulos iguais de incidência e de reflexão do fluxo luminoso sobre ela incidente, como os espelhos. Este fenômeno é utilizado para controle da luz de lâmpadas e luminárias. Utiliza refletores espelhados de forma esférica, elíptica ou parabólica, possibilitando controles óticos eficientes conforme as necessidades de distribuição e alcance da luz.

Figuras 19/20/21: Reflexão da luz: difusa, Mista e Especular

Fonte: Lighting with artificial light 1. Frankfurt, Forderungsgemeinschaft gutes licht, 1994.

A **transmissão** da luz ocorre nas superfícies transparentes ou translúcidas, onde uma parte da luz incidente passa através destas, conforme a espessura do material e suas características como, por exemplo, os vidros transparentes ou opacos, acrílicos, policarbonatos, papéis transparentes como o vegetal. A razão entre a luz incidente e a transmitida é chamada de transmitância, dado importante para se conhecer o percentual de luz a ser aproveitado.

A **Absorção** varia conforme as características das superfícies, pois a porção de luz absorvida pode variar, sendo maior nas que não são transparentes e nas opacas, conforme a cor de acabamento. A luz absorvida é convertida em calor. A luz absorvida depende do ângulo de incidência, sendo maior para ângulos perpendiculares aos planos. As letras pretas se destacam no papel branco por absorver em maior porcentagem a luz branca nele incidente.

2.2.5 Cor

A luz altera a percepção da cor pigmento. A luz natural é feita de espectro colorido e sua constante mudança, ao longo do dia, é parte da nossa existência, variando do amarelo da manhã, passando pelo frio azul do meio-dia até o vermelho-laranja quente do pôr do sol. As variações cromáticas acontecem de lugar para lugar, estação para estação. A luz pode revelar a cor pigmento e também fazer a cor numa superfície.

A luz pode criar atmosfera em um ambiente interno, controlando a imagem que se apresenta. Isto pode ser feito de varias formas, com a luz branca passando através de um filtro colorido, refletindo a cor de uma superfície colorida ou mesmo através de fontes de luzes coloridas. A cor dá significado ao que nós vemos.

Figuras 22/23: Luz colorida através de vidros de cor. Igreja de Gaudí e Ronchamp de Le Corbusier

Fonte: MILLET, Marietta S. *Light revealing architecture*. NY, Van Nostrand Reinhold, 1996.

2.3 Qualidades materiais da luz

“Arquitetura é o jogo sábio, correto e magnífico dos volumes sob a luz”

Le Corbusier

Falar de luz como elemento de arquitetura que tem forma, quantidade (intensidade) e cor é falar de um material de construção virtual, um elemento do projeto que tem a capacidade de revelar, e mais do que isto, valorizar e definir hierarquias; fazer cantar, encantar, falar, murmurar ou simplesmente deixar em silêncio elementos sólidos do espaço da arquitetura tais como pisos, paredes e tetos. *Assim é se lhe parece*, disse Luigi Pirandello. A luz faz parecer.

É preciso entender as funções da luz enquanto suporte de valorização e desempenho, tirando partido de suas qualidades como *intensidade, forma, cor e movimento* para atingir os objetivos do projeto.

- A **intensidade** se refere aos níveis de iluminação ou quantidade de brilho, incidentes ou refletidos;
- a **modelagem**, forma ou “desenho” da luz pode ser percebido em variedades e contrastes de intensidade e cor;
- o **movimento** ou mudança de intensidade, cor ou forma da luz, conduz o olhar para o local desejado.
- a **cor** da luz corresponde às características intrínsecas de matizes e tons que modificam a luz incidente;

2.3.1 Modelagem da luz

As diferentes posições de entrada da luz definirão uma modelagem específica para cada espaço. Entenda-se como modelagem a distribuição da luz, de que maneira ela incide nas superfícies criando claros, menos claros e sombras, o que irá definir nossa percepção do ambiente tridimensional.

Fonte de luz distante, não visível no campo visual, o sol, num dia de céu claro, sem nuvens, emite uma luz direcional onde os raios incidem paralelos criando fortes contrastes de luz e sombra conforme a hora do dia e seus ângulos de incidência. A luz solar também é distribuída pela abóbada celeste que espalha a luz em todas as direções e, especialmente, em dias encobertos cria uma atmosfera de luz difusa, praticamente sem sombras. Percebemos claramente esta modelagem na arquitetura e paisagem, com seus efeitos distintos.

2.3.1.1 Contrastes

Para ver com clareza os objetos e superfícies iluminadas em três dimensões, é necessária a contrapartida da luz, ou seja, a sombra. Através da relação entre luz e sombra nós somos capazes de determinar a forma da arquitetura pela maneira pela qual espaços e superfícies são revelados. O grau de luz e sombra não só informa a maneira como nós vemos, mas também a forma e expressão do nosso meio. Trabalhar com luz requer um entendimento de como manter a sombra. A sombra, como a luz, tem suas qualidades materiais como quantidade, direção e foco. Na luz natural isto muda em perfeita harmonia com o movimento do sol. Num ambiente iluminado artificialmente, enquanto um contraste de luz e sombra pode ser planejado, isto é em geral resultado do efeito de múltiplas fontes.

O contraste entre luz e sombra é uma qualidade da luz extremamente importante que permite maior acuidade visual. Percebemos com mais clareza quando o contraste entre a figura e fundo é mais evidente. Especialmente numa tarefa, isto pode contribuir para aumentar conforto e produtividade. O contraste é a história da luz e de sua contrapartida, o escuro. Podemos determinar a forma da arquitetura pela maneira como espaço e superfícies aparecem. A gradação de luz e sombra não informa apenas a maneira como vemos, mas também a atmosfera e expressão de nosso meio. A sombra - como a luz - tem qualidade, quantidade, direção e foco. Na luz natural isto muda em perfeita harmonia com o movimento do sol. Na luz artificial, o contraste entre luz e sombra pode ser controlado. É importante compreender e trabalhar com os contrastes, pois respondemos o tempo todo a eles e, neste sentido, nossas reações e emoções podem ser estimuladas.

Figura 22: Distribuição das luminâncias em um ambiente com entrada de luz em várias direções. Contrastes de 1/10 no campo de visão geral com de brilhos no campo visual periférico.

Fonte: FONTONAYANT, Marc. Daylight performance of buildings. Lyon, European commission, 1999.

Ambientes de onde a luz provém de mais de uma direção apresentam uma distribuição mais equilibrada das luminâncias nas superfícies. O que é significativo para a percepção são as luminâncias, pois o que percebemos é a luz refletida destas superfícies, variáveis em função das cores e refletâncias dos materiais. Na sala abaixo podemos observar as diferenças de distribuição da luz lateral de uma janela comum. À esquerda, a iluminação resultou em contrastes maiores que 1/5 no campo visual imediato e maior que 1/30 no campo periférico, com relação ao brilho da janela e o fundo da sala. O contraste nestas condições causa ofuscamento e desconforto. Na situação intermediária percebemos melhor uniformidade na iluminação da sala e contrastes entre a mesa e o fundo da sala, menores que 1/10. Na situação da direita, com a prateleira de luz, o alcance da distribuição da luz no fundo da sala aumenta em quatro vezes. O contraste da sala resultou menor que $\frac{1}{2}$, praticamente uniforme para o olhar. A profundidade e espessura na captação de luz da envoltória criam maior alcance do fecho luminoso que irá atingir o fundo da sala.

Figuras 25, 26 e 27: Iluminação lateral, iluminação lateral com janela alta e à direita com prateleira de luz.

Fonte: FONTONAYANT, Marc. Daylight performance of buildings. Lyon, European commission, 1999.

Conforme a posição do usuário no ambiente e contrastes excessivos existe possibilidade de ofuscamento. Entretanto, conforme a atividade desenvolvida, certo nível de brilho no campo visual pode ser estimulante e provocar resposta emocional. Na imagem abaixo, na igreja de Ronchamp, o local onde fica a Nossa Senhora apresenta uma luminância de 3221 cd muito acima das demais, assim como as aberturas mais brilhantes, atraindo olhar e intensificando os efeitos de captação e direção da luz simbólica.

Figuras 28/29: Igreja de Notre Dame Du Haut, Ronchamp, Le Corbusier

Fundo: FONTONAYANT, Marc. [Daylight performance of buildings](#). Lyon, European commission, 1999.

A distribuição das luminâncias é importante variável a ser considerada como ponto de partida para elaboração do projeto que considere os aspectos de percepção visual a partir dos contrastes e qualidades obtidas. Para percebermos um contraste, e ele causar destaque sem impressão de uniformidade, este precisará ser, no mínimo, de duas vezes maior que o seu entorno, embora não seja ainda perceptível conscientemente.

O nível de iluminação geral e contrastes dependerão de cada projeto, sabendo-se que para destaque temos o seguinte:

- 2:1 Perceptível (subliminar)
- 5:1 Perceptível com a área se misturando ao entorno;
- 10:1 Claramente perceptível com visão do foco e áreas do entorno;
- 50:1 Dramático com sensação de isolamento

Figuras 30/31/32: Contrastes de 5/1, 10/1 e 50/1

Fonte: Lighting with artificial light 1. Frankfurt, Forderungsgemeinschaft gutes licht, 1994.

Com iluminação artificial apenas no período noturno é mais fácil obter uniformidade, pois a dificuldade maior é conseguir menores contrastes no espaço entre a luz solar e a artificial durante o dia. Para ambientes de trabalho, a norma alemã DIN, para iluminação de interiores, recomenda uma uniformidade de luminâncias de 3/1: entre a tarefa visual e entorno imediato, 5/1 entre a tarefa e entorno remoto; e 10/1 entre a tarefa e o entorno periférico. O campo visual é considerado em três aberturas: entorno imediato: 30°, entorno remoto: 60° e entorno periférico: 90°.

- **Adaptação**

O órgão da visão é capaz de adaptar-se às mudanças quantitativas e qualitativas da iluminação. Na **adaptação quantitativa** o órgão se acomoda à intensidade de iluminação. “Graças à adaptação o homem está capacitado a orientar-se ao fim de um breve período, tanto num quarto escuro iluminado por uma simples vela como numa região nevada de uma montanha alta a plena luz do sol. A capacidade de adaptação comporta, segundo Siegfried Röscher, mais de 1:20.000. Razão pela qual o homem é capaz de reconhecer e diferenciar relativamente bem as cores mesmo embaixo de qualidades de luz muito diferentes.”⁶

Para a **adaptação qualitativa**: a retina tem três tipos diferentes de receptores: os cones, cada um dos quais é sensível para distintas áreas do espectro. Esta adaptação acontece quando estes três receptores denominados cones se adaptam as suas respectivas áreas espectrais. Os cones da retina não vêem cores, são apenas coletores das radiações que, através das vias nervosas, atingem o cérebro. A sensação de cor só nasce no cérebro.

⁶ KÜPPERS, Harold. Fundamentos de la teoria de los colores. Ed. Gustavo Gili AS. México, 1992, pág. 16

Alguns projetos tiraram partido deste efeito do ofuscamento momentâneo causado no processo de adaptação quantitativa, como, por exemplo, a catedral de Brasília. A adaptação de um ambiente externo muito claro para um escuro do túnel de acesso causa uma reação de parar e se reorientar, até ver novamente que existe luz no final, um novo contraste ao entrar no espaço, revela um ambiente iluminado, divino, com anjos pendurados num céu de vitral, como numa visão. Estes contrastes criam impactos emocionais, pois é certo que nossa percepção reage aos contrastes, mas exceto em situações com este propósito, o ofuscamento é um fator dispersivo e de desconforto.

Figuras 33/34: Vista do acesso subterrâneo e do espaço interno da Catedral de Brasília, Oscar Niemeyer.

Fonte: [www. geocities.com](http://www.geocities.com)

2.3.1.2 Direção da luz

A direção da luz e sua forma ou desenho pode ser observada e percebida pelas variedades e contrastes de intensidade e cor no ambiente. A figura seguinte mostra o mesmo espaço com variações de intensidade, aparência de cor e desenho. À esquerda a luz zenital provém de um céu encoberto no meio do dia. À direita, a luz direcional de um céu claro cria um desenho de luz pela entrada da radiação direta. A luz refletida do piso valoriza indiretamente a escultura na parede,

Figuras 35/36: Galeria de arte: luz difusa à esquerda e luz direcional, à direita.

Fonte: MILLET, Marietta S. Light revealing architecture. NY, Van Nostrand Reinhold, 1996.

2.3.2 Orientação e movimento

Somos seres atraídos pela luz. Luz e movimento são os dois elementos que mais chamam a nossa atenção. A tendência é seguir a luz através dos caminhos, pois os pontos mais brilhantes de luz nos atraem. Então se desejamos sugerir uma direção de movimento, a luz precisa ser mais brilhante.

Figura 37: A luz ritmada cria movimento e indica o percurso a seguir.

Fonte: Palestra Light fair, NY, 2007

O movimento é estimulado pela luz, com ritmos que provocam variações, podendo definir paradas e locais de contemplação. O movimento da luz é um processo linear, em que tempo e espaço se encontram. Vemos o mundo em movimento com luzes e sombras que se modificam com a luz natural que vai revelando a passagem do dia. A luz artificial também pode se movimentar. Este movimento não implica necessariamente uma mudança de direção física da luz, mas a habilidade de variar, alterando a percepção do ambiente ao longo do dia.

Figuras 38/39: Circulação durante o dia e à noite, onde a luz intercepta as estruturas criando ritmo estimulante. A solução de luz artificial recriou o momento do dia 5000K, diferenciando com a aparência de cor da fonte de 2700K.

Fonte: MILLET, Marietta S. Light revealing architecture. NY, Van Nostrand Reinhold, 1996.

2.3.3 Cor luz e cor pigmento

A mistura química de pigmentos e a física da luz são fenômenos diferentes, mas interligados, somados à neurologia humana. Em 1801, Thomas Young estudou os mecanismos de percepção da cor e criou a teoria tricromática – fotoreceptores e físicas primárias:

As cores são identificadas por células diferenciadas no cérebro.

Cone azul: detecta curtos comprimentos de ondas

Cones verdes: detectam médios comprimentos de ondas

Cones vermelhos: detectam longos comprimentos de ondas

Quando nos referimos às misturas das cores pigmentos, temos a SÍNTESE SUBTRATIVA, que vai do branco para o preto, ou seja, misturando as cores primárias obtemos o preto.

Cores primárias: Vermelho, amarelo e azul

Cores secundárias: Violeta: vermelho + azul

Verde: azul + amarelo

Laranja: amarelo + vermelho

Se nos referimos às misturas das cores luzes temos SÍNTESE ADITIVA, que vai do preto para o branco, ou seja, misturando as cores primárias da luz obtemos a luz branca.

Cores primárias: Vermelho, verde e azul

Cores secundárias: Magenta: vermelho + azul

Cyan (azul esverdeado): azul + verde

Amarelo: verde + vermelho

Figuras 40 e 41: SÍNTESE ADITIVA-COR LUZ e SÍNTESE SUBTRATIVA-COR PIGMENTO

Fonte: KUPPERS, Harold. Fundamentos de La teoria de los colores. Barcelona, Ed. Gustavo Gili SA, 1992, pag.161

O espectro eletromagnético sempre incide por completo sobre os objetos e o fator de uma cor ser vista ou não, vai depender da superfície que a retrate. Se uma luz vermelha incide numa superfície branca, esta terá aparência vermelha; se a luz azul e verde incidirem em iguais quantidades termos uma superfície cyan; se a luz verde e vermelha incidirem, a resultante será amarela; se as luzes forem luz vermelha e azul, a superfície apresentará magenta; e, finalmente: as luzes vermelha, azul e verde resultarão numa luz branca e superfície branca. A luz branca também pode ser obtida misturando-se cores complementares: vermelho e cyan, amarelo e azul ou ainda verde e magenta.

2.3.3.1 Percepção das cores

A ciência da cor pretende oferecer uma **teoria das cores**, de validade geral, baseada em fatos científicos comprovados. Os físicos estudam radiações de energia visíveis ou estímulo da cor, pois como sensações não são medidas, a ciência optou por referir-se ao chamado “estímulo da cor”. A cor não é um fenômeno físico, mas fisiológico associado à sensação de cor. A sensação de cor, lei fundamental da teoria das cores é regida pelo funcionamento do órgão da visão. “Os raios luminosos não são cores, mas provocam o órgão da visão para que dê lugar às sensações de cor” ⁷ O olho possui um mecanismo de recepção que converte as radiações energéticas nas sensações de luz e cor. “O mundo externo é incolor, está formado por matéria incolor e energia também incolor. A cor só existe como impressão sensorial do contemplador” ⁸

Sendo assim, “a cor não é uma característica física como o peso, mas antes de tudo uma informação visual” ⁹. Forma, tamanho e peso são qualidades dos materiais, mas cor não é, só existindo como impressão sensorial do observador. As sensações de cores mais intensas ocorrem nos comprimentos de ondas do vermelho (630nm), verde (530nm) e do azul (425nm). Nem cyan nem amarelo aparecem com força e intensidade.

Durante o dia, os cones têm mais atividades e maior sensibilidade nos comprimentos de ondas de 550nm, enquanto que à noite os bastonetes têm atividade preponderante. Os bastonetes são minúsculas antenas que recobrem a córnea e percebem diferenças de luminosidade captando radiações eletromagnéticas ou raios de luz.

⁷ KÜPPERS, Harold – Fundamentos de la teoria de los colores. Ed. Gustavo Gili AS. México, 1992. p. 9

⁸ Idem, p. 21

⁹ idem, pág. 102

As células da visão, cones e bastonetes, em sentido restrito não veem nem luz nem cores, pois não são mais do que coletores. A sensação de cor como produto de funcionamento do órgão da visão só nasce no cérebro. A cor não é uma qualidade do material, pois o olho humano é que produz sensações cromáticas. O material não mostra uma cor física. Seu aspecto é relativo e depende da iluminação existente.

Figura 42: Cores sob a luz solar e diversas fontes de luz

Fonte: KUPPERS, Harold. Fundamentos de La teoria de los colores. Barcelona, Ed. Gustavo Gili SA, 1992, pag. 161

A foto acima mostra quatro cores: vermelho, verde, lilás e azul iluminados na luz do dia (faixa maior à direita) e em diferentes fontes de luz artificial. A cor do corpo ou aspecto cromático de um material se produz em consecuencia da capacidade de absorção individual do material e se distingue de outros porque absorvem diferentes espectros da luz incidente. A informação chega ao observador através da parte não absorvida da luz que o olho registra como “estímulo de cor”. Só podem ser recebidas e transmitidas como estímulos de cor aquelas intensidades de radiação que existam também na fonte de luz disponível; assim, um mesmo material mostra distintas gamas de cor segundo a situação da iluminação e a composição do espectro da luz incidente.

Alguns elementos forçam a direção do olhar, chamando mais atenção do que outros. A princípio são as cores primárias ou qualquer outra, desde que seja a mais forte da composição. As cores psicológicas primárias incluem vermelho, azul, verde e amarelo, somando cor luz e cor pigmento. O efeito das cores limites - figura e fundo - modifica em intensidade e cor a percepção, quando uma cor parece mais clara ou mais escura conforme o fundo ou mesmo muda seu aspecto em função das cores limites.

“O cérebro (lobo-ocipital) ao longo da evolução adaptou-se às três cores primárias contidas essencialmente nos comprimentos de ondas de luz branca e não aceita a visão isolada de uma só cor ou somente duas. A percepção é total, daí a vigência das três juntas. Por este motivo, vê-se as três, com o cérebro, mesmo que em pós-imagem.”¹⁰

Quando está presente apenas a cor pigmento primária, o reflexo ou pós-imagem é o de uma secundária, onde estão incluídas as duas partes que faltam. As complementares se defrontam no círculo de cores e seus pares são formados por uma primária e uma secundária composta pelas duas outras primárias, ausentes na composição, mas presentes na física da luz. Os efeitos são os seguintes:

- O vermelho provoca tons esverdeados
- O verde provoca tons avermelhados
- O amarelo provoca tons violáceos
- O violeta provoca tons amarelados
- O azul provoca tons alaranjados
- O laranja provoca tons azulados

Complementar	Pares complementares:	Primárias (pigmentos)
VERDE	Amarelo + azul	Vermelho
LARANJA	Vermelho + amarelo	Azul
VIOLETA	Vermelho + azul	Amarelo

Tabela 1: Reflexos Pós-imagem das cores primárias e seus pares complementares

Fonte: KUPPERS, Harold. Fundamentos de La teoria de los colores. Barcelona, Ed. Gustavo Gili SA, 1992, pag.161

Figura 43: Esquemas Contrastantes. Cores complementares são usadas para dar luz e sombra

Fonte: FRANCKOWIAK, Irene Tiski. Homem, comunicação e cor. São Paulo, Ed. Icone, 1997, pag. 145.

¹⁰ ROUSSEAU, René-Lucien. A linguagem das cores. Energia, simbolismo, vibrações e ciclos das estruturas coloridas. São Paulo, Ed. Pensamento, 1995, pág. 144.

2.3.3.2 Simbologia das cores

Ao longo do processo civilizatório, as experiências dos homens com as cores originaram simbologias e significados psicológicos que funcionam como arquétipos.

- Sangue- **vermelho**: morte, sofrimento, fogo nas matas com nuances alaranjadas, ideia de perigo;
- noite - **negro**: esconde o desconhecido e o inimigo oculto nas sombras. Provoca depressão e melancolia. O negro, ou ausência de luz, para alguns simboliza o luto, a tristeza e o reino das trevas;
- árvores, **Verde** sob o céu **azul**: disponibilidade de frutas, local para descanso e material para abrigo. Isto faz com que estas duas cores estejam associadas à calma e equilíbrio do sistema nervoso humano.

As cores influenciam na percepção humana, causando sensações e emoções, além de interferir em sua fisiologia. O vermelho equivale ao comprimento de ondas longas, atuando no sistema nervoso simpático, que é responsável pelo estado de alerta. As cores amarelas e vermelhas dentro de um ambiente irão atuar nas funções metabólicas e de homeostase hipotalâmica. No caso de ser uma lanchonete tipo *fast-food*, a primeira desperta a fome e a segunda excita para sair rapidamente do ambiente. Por outro lado, a cor azul corresponde às ondas curtas atuando com mais suavidade, ajudando no equilíbrio dos neurônios. Entretanto se utilizada em excesso, poderá causar depressão. O branco que é a superposição de todos os comprimentos de onda, poderá vir a ser tão estimulante e até irritante, conforme as proporções, quanto o vermelho.

A simbologia da cor tem relação com a cultura do local. Descrevemos a seguir as associações mais freqüentes:

- **Cinza**: elegância, humildade, respeito, reverência, sutileza;
- **vermelho**: paixão, força, energia, amor, velocidade, liderança, masculinidade, alegria (China), perigo, fogo, raiva, revolução, "pare";
- **azul**: harmonia, confiança, conservadorismo, austeridade, monotonia, dependência, tecnologia;
- **ciano**: tranquilidade, paz, sossego, limpeza, frescor;
- **verde**: natureza, primavera, fertilidade, juventude, desenvolvimento, riqueza, dinheiro (Estados Unidos), boa sorte, ciúmes, ganância;

- **amarelo:** concentração, otimismo, alegria, felicidade, idealismo, riqueza (ouro), fraqueza;
- **magenta:** luxúria, sofisticação, sensualidade, feminilidade, desejo;
- **violeta:** espiritualidade, criatividade, realeza, sabedoria, resplandecência;
- **alaranjado:** energia, criatividade, equilíbrio, entusiasmo, ludismo;
- **branco:** pureza, inocência, reverência, paz, simplicidade, esterilidade, rendição;
- **preto:** poder, modernidade, sofisticação, formalidade, morte, medo, anonimato, raiva, mistério;
- **castanho:** sólido, seguro, calmo, natureza, rústico, estabilidade, estagnação, peso, aspereza.

2.4 Funções espaciais da luz

“Arte não é o que você vê, mas o que você faz os outros verem”.

Edgar Degas

A visibilidade corresponde à função primária da iluminação, no entanto, a partir do entendimento da percepção visual, sabemos que a luz é também um elemento de projeto que tem funções espaciais ao alterar a percepção das formas, materiais, cores, e proporções na arquitetura. Isto pode ser obtido a partir das diferenças de intensidades, tonalidades da luz e sua distribuição ou desenho dentro do espaço.

As funções espaciais da luz, tais como: delimitação de espaço, orientação, definição de hierarquias são expressas a partir de como se percebem as diversas áreas do espaço e seus componentes. Segurança e orientação: se sabemos onde estamos e como nos movimentar neste espaço nos sentimos seguros, pois nos oferecem a sensação de bem estar e segurança a partir do domínio visual.

Nós vivemos numa era visual em que a imagem da arquitetura é parte de sua função. A luz tem um papel na criação da imagem, revelando qualidades visuais; durante a noite, a luz artificial cria uma diferente interpretação, diferente da luz diurna. A imagem diurna e noturna de um edifício não precisa ser necessariamente igual uma à de outra. Ela pode criar uma imagem positiva em associações com vida, saúde e bondade, ou por outro lado, distorcer e ofuscar. Assim como simbolismo de vida na terra, ela também pode representar uma forma de poluição e desperdício dos recursos naturais esgotáveis.

A iluminação promove atenção, orientação e estabelece limites, criando focos de atenção. Luz e movimento são os dois aspectos que mais chamam nossa atenção, daí o poder atrativo da imagem em movimento das telas da televisão e do cinema.

Quando todos os caminhos de expressar luz e espaço são utilizados definindo limites, áreas, destaques e direcionando o movimento, a experiência espacial e sensorial é enriquecida. Quando a luz é usada intencionalmente para revelar uma qualidade espacial pretendida pelo arquiteto, forma, espaço e luz atuam juntos para fazer a poesia na arquitetura. Louis Khan, arquiteto sensível ao uso da luz, afirmava que arquitetura era construção com poesia, obtida por meio do uso da luz na arquitetura. Ele se referia à luz natural, embora iluminação artificial também tenha o seu papel, e durante a noite, deixe de ter uma ação coadjuvante para fazer parte do espetáculo arquitetural. Ambas são luzes que qualificam o espaço e interagem com nossa percepção e emoção. A seguir listamos funções espaciais da luz:

2.4.1 Destacar

Os seres humanos são seres *fototrópicos*, ou seja, somos atraídos pela luz. O brilho de um foco de luz numa cena, geralmente atrai nossa atenção em primeiro lugar.

A luz tem um significado prático e poético de promover orientação. Ela pode definir um foco, reforçar uma organização de hierarquias no espaço ou estimular uma circulação ao longo de um caminho, através de um espaço.

As pessoas reagem aos contrastes, ou ao que se chama uma interrupção no padrão visual que é observado. Assim, uma área com maior intensidade de luz dentro de um espaço de luz uniforme e mais suave, com certeza atrairá nosso olhar. Este é um recurso precioso para o projeto de iluminação, e conforme os objetivos e usos dos espaços, estes destaques poderão ser menos perceptíveis ou mesmo mais evidentes e dramáticos, quando os contrastes de iluminâncias praticamente isolam de forma visual algumas áreas.

Figura 44: Destaque do altar no Mosteiro de La Tourette, de Le Corbusier.

Fonte: FUTAGAWA, Yukio. Light and space-modern architecture-vol. 2 Japan, AD.A. edita Tokyo co. Ltda, 1994.

2.4.2 Separar

A luz pode estabelecer diferentes características para cada espaço, individualizando-os, pois o sistema de percepção humana facilmente reconhece estas mudanças e diferentes naturezas, criando lugares dentro de uma grande área. Isto acontece pelas qualidades distintas da iluminação e sua linguagem que comunicam as variações. Os espaços podem fluir de um para outro e ainda assim se diferenciarem pela luz.

No projeto desta escola de Álvaro Siza, diferentes iluminâncias diferenciam espaços de circulação e permanência com distintas atividades. Os materiais de piso com refletâncias e luminâncias distintas reforçam a separação dos espaços.

Figuras 44 e 45: Diferentes iluminâncias reforçam e diferenciam espaços

Fonte: Santos, José Paulo. Álvaro Siza. Obras e Projetos. Barcelona, Ed. Gustavo gilli, 1993

2.4.3 Conectar

A luz interliga espaços através da similaridade de tratamento da iluminação ou ainda por definir elementos de transição de um local para o outro, de forma que, apesar de separados fisicamente, possuam linguagens similares.

No projeto do Museu Gugenheim, espaços de circulação e exposição são integrados, parte do mesmo espaço com dupla função, pois o visitante percorre as áreas de exposição em rampas. Observa-se que as paredes de fundo, para exposições de quadros, recebem iluminação natural indireta, proveniente da envoltória em espiral, estabelecendo harmonia no contraste de luminâncias do espaço.

Figura 46: Cúpula acima do vazio central do Museu Guggenheim, NY, de Frank Lloyd Wright

Fonte: FUTAGAWA, Yukio. Light and space-modern architecture-vol. 1 Japan, AD.A. edita Tokyo co. Ltda, 1994.

Figura 47: Igreja, de Santiago Calatrava

Fonte: FUTAGAWA, Yukio. Light and space-modern architecture-vol. 1 Japan, AD.A. edita Tokyo co. Ltda, 1994.

2.4.4 Definir hierarquias

A luz ajuda na orientação e pode nos ajudar a reconhecer uma hierarquia espacial estabelecida. Os ambientes podem ser separados em suas hierarquias como espaços servidos e servidores, conforme sua finalidade e importância onde a qualidade da distribuição de luz pode enfatizar estes aspectos.

No projeto da Igreja abaixo, a iluminação é uniforme e difusa, entretanto o plano vertical do altar é interceptado e se destaca como ponto de atração visual. As luminâncias dos diferentes materiais fazem com que a área do público tenha pouco brilho percebido, pois de cor mais escura, absorve mais luz. Tão importante quanto a quantidade de luz que incide num espaço são as refletâncias dos materiais empregados.

2.4.5 Orientação visual

A distribuição da luz nos ambientes pode reforçar a organização espacial e delinear áreas especiais, indicando a transição, evidenciando acessos e circulações. Na medida em que os contrastes de luz são percebidos, somos atraídos visualmente para determinadas áreas e percursos dentro de um espaço, e isto ajuda nosso sentido de orientação. Funciona como uma espécie de comunicação visual não figurativa, mas que trabalhada junto com a arquitetura, nos oferece segurança pela sensação de lugar e referências espaciais

Figura 48: Louis Khan. Destaque para a escada de acesso

Fonte: Louis Khan. Japão, A+U publishing Co. Ltd., 1983

Figura 49: Museu . A luz natural zenital destaca a área de circulação ajudando na orientação do espaço.

Fonte: FUTAGAWA, Yukio. Light and space-modern architecture-vol. 1 Japan, AD.A. edita Tokyo co. Ltda, 1994.

2.5 Luz arquitetural e luz tarefa

Iluminar para atender a função de um espaço respondendo às tarefas visuais é a forma que a luz segue a função na arquitetura.

Dependendo da maneira como a luz é captada e se distribui no espaço, nossa maneira de percebê-lo se modifica, alterando nossa relação funcional e emocional com ele. Podemos tentar classificar os tipos de luz conforme sua distribuição e modelagem no espaço, entendendo que diferenciamos, para efeito didático, a *luz arquitetura* da *luz tarefa*.

A luz arquitetura revela aspectos importantes da qualidade do espaço e das intenções de projeto, pré-definidas pelo arquiteto. Em muitas soluções, foi pensada de uma determinada maneira a fim de contribuir efetivamente para as atividades e tarefas desenvolvidas no local. A *luz tarefa* pode ser avaliada como uma luz complementar artificial geral ou localizada, que possibilite o desenvolvimento das tarefas de maneira eficiente e confortável.

Quanto mais a luz natural atender aos requisitos de conforto luminoso e não apenas visuais, melhor será a satisfação, produtividade e desempenho dos usuários. Não se restringir aos aspectos de quantidade apenas ou iluminâncias mínimas e tentar compreender a percepção humana através de pesquisas qualitativas, que possam assegurar o conforto luminoso para, a partir de então, criar um ambiente onde seja viável a

tão sonhada racionalização energética. Assim, maiores serão as probabilidades de minimizar o uso da luz artificial durante o dia, com flexibilidade suficiente para ser acionada em áreas onde realmente seja necessária.

As exigências de iluminação estão relacionadas às atividades desenvolvidas em cada tipo de espaço. A luz deverá permitir não só desenvolver atividades com conforto, mas também perceber a arquitetura, a luz captada e refletida em suas superfícies que irão revelar qualidades do espaço e volume. A observação contemplativa amplia seu campo visual, que continuamente se desloca da tarefa para o ambiente. Daí, entra o espaço com suas características de distribuição da luz, contrastes de luminâncias e controle do ofuscamento. Em determinados espaços altos contrastes podem ser extremamente estimulantes para o visitante, *foyer*, circulações, no entanto pessoas também trabalham nestes ambientes e as exigências são diferentes.

A quantidade de luz que entra num ambiente ou ganho luminoso, assim como sua distribuição interfere na percepção das superfícies e planos, se mais suave ou vibrante, na sensação de claridade do ambiente, alterando preferências e estados de humor conforme as atividades desenvolvidas. Parte intrínseca da arquitetura, a luz se revela nas superfícies e reforça a cena arquitetônica. A memória da luz de um lugar vem da memória dos planos que são mais iluminados, com destaque em relação a outros ou de elementos formais da arquitetura captadores da luz natural.

2.5.1 Impressões da luz

“A arte é a mentira que nos ajuda a entender a verdade”.

Pablo Picasso

Estudos da percepção visual contribuíram para orientar a correta utilização das novas tecnologias, permitindo discussões acerca da qualidade da luz, interferência na percepção e comportamento dos usuários. Segundo o pesquisador Flynn (1977) as impressões de claridade e espacialidade são alcançadas com uma iluminação geral uniforme e destaque periférico, enquanto que as impressões de relaxamento, privacidade e amenidade são alcançadas com iluminação geral não uniforme e também ênfase periférica, como mostra a tabela abaixo.

Resumo da Iluminação para produzir impressões específicas	
Impressão subjetiva	Modos de Iluminação de Reforço
Impressão de clareza visual	<ul style="list-style-type: none"> • Brilho, iluminação uniforme • Alguma ênfase periférica como paredes com alta refletância ou parede iluminada
Impressão de espaço amplo	<ul style="list-style-type: none"> • Uniformidade, paredes periféricas iluminadas • Brilho é um fator de reforço, mas não decisivo
Impressão de relaxamento	<ul style="list-style-type: none"> • Iluminação não uniforme • Ênfase nas paredes periféricas mais do que na iluminação acima das cabeças
Impressão de privacidade ou intimidade	<ul style="list-style-type: none"> • Iluminação não uniforme • Tendência a uma luz de baixa intensidade no local imediato do usuário, com brilhos mais altos afastados deste • Ênfase nas paredes periféricas como fator de reforço, mas não como um fator decisivo
Impressão de agradável e preferência	<ul style="list-style-type: none"> • Iluminação não uniforme • Ênfase nas paredes periféricas

Tabela 2 : Resumo da Iluminação para produzir Impressões específicas

Fonte: Lighting Handbook. IES – Illuminating engineering society of North América, New York, 1981, pág. 3-38

A luz influencia na forma que percebemos os espaços e revela impressões. A impressão criada pela iluminação pode influenciar o comportamento das pessoas e, conseqüentemente, a maneira como os espaços são usados. As pesquisas que incluem comportamento são frequentemente intuitivas, envolvendo registros e observações, pois apenas as análises estatísticas para este tipo de estudo não são suficientes.

O espaço valorizado em sua intenção pela luz dosada pode influenciar na emoção do homem, pois existe uma relação vital entre luz e arquitetura. Para provocar determinadas impressões e sensações, a luz pode ser trabalhada de uma maneira ou de outra, pois para cada intenção e desejo, tem uma característica. A atmosfera do espaço e tipo de luz influencia o comportamento humano. Conforto luminoso é diferente de deleite luminoso, que inclui relação com estética,

A luz cria magia. Através da manipulação ótica ela pode produzir uma larga quantidade de efeitos visuais. Vemos esta magia na natureza desde o amanhecer até o anoitecer. A luz das estrelas e da lua, o arco-íris, a aurora boreal... Estes fenômenos podem inspirar uma relação especial entre luz e arquitetura. Da luz espiritual de uma catedral gótica

até a iluminação kitsch de Las Vegas, até os explosivos brilhos de fogos ao glamour das imagens projetadas. A luz humana pode ser criada e controlada para promover excitação, emoção, surpresa, mistério, através da criação do teatro e ilusão. A luz pode ser teatral, ter um conteúdo narrativo na arquitetura.

Figuras 50 e 51: Luz Imaterial do espaço gótico com seus vitrais coloridos que acompanham a verticalidade e reforçam a escala das naves laterais e da nave central.

Fonte: BEHLING, Sophia e Stephan. Sol Power. La evolucion de La arquitectura sostenible. Barcelona, ed. Gustavo Gilli, 2002.

A tecnologia pode ser usada para obter significado. Conhecer tecnologia é mais fácil do que saber o que vai fazer com ela na arquitetura, isto sim é mais difícil, pois envolve a sensibilidade de projetar, de fazer arquitetura.

Nos momentos de inspiração e realização do projeto, as referências no teatro podem ser adaptadas para arquitetura, pois algumas premissas são universais. O processo criativo é contínuo e a inspiração acompanha todo momento. O que queremos obter? O que estamos tentando comunicar? *Movimento, luz expressionista; desmaterializar a arquitetura com luz, senso de infinito, serenidade.* Palavras como *morno, leve, luz da tocha, noite, efêmero, industrial, opressivo* definem qualidades, sendo necessário definir estes vocábulos usando imagens. Os arquétipos de arquitetura-iluminação oferecem uma base histórica do uso da luz na arquitetura e alimentam a criação de um repertório próprio.

2.5.2 Luz e significado

A linguagem da luz e sombra é um poderoso meio para expressar significados na arquitetura. O papel da luz associado à luz reveladora, conectado com a criação: *faça-se a luz*; ou significados religiosos foram interpretados das mais diversas formas em diversos períodos da arquitetura. A Luz contemplativa está associada à apreciação da luz e sombra que envolve um espaço, livre de qualquer desconforto visual, relacionada à imagem de luz e silêncio como afirmava Louis Khan. Trabalhar a luz nos seus significados arquétipos é uma experiência que conduz à luz simbólica, luz que nos conduz a contemplar a vida além do finito e do temporal. A Luz Simbólica se relaciona com conceitos conhecidos de vida, morte, infinito, muitas vezes atingindo o aspecto especial de uma luz divina, que simboliza a transcendência; associada ao céu, ela é alta, infinita e poderosa.

Figura 52: Luz direcional divina e espiritual vinda do alto no panteão romano.

Fonte: FUTAGAWA, Yukio. Light and space-modern architecture-vol. 1 Japan, AD.A. edita Tokyo co. Ltda, 1994.

A luz festiva marca datas e locais especiais, eventos onde a fantasia toma seu lugar em desenhos e cores, que convidam as pessoas a participarem. A Luz Teatral adiciona drama e cria ilusões, fogos de artifício e é frequentemente associada às projeções, incluindo os espetáculos de som e luz que contam uma história do lugar ou apenas chamam a atenção para o edifício e sua importância.

2.5.3 Luz artificial complementar

A percepção do espaço durante o dia e sua luz não devem ser descaracterizados pela iluminação artificial, que poderá pensar em “corrigir” e trabalhar uma iluminação ambiental. Pensamos que a iluminação natural durante o dia, no ambiente, revela a verdadeira essência da arquitetura e que a iluminação artificial, durante o mesmo período, deverá ser pensada como complemento para alguma tarefa, como reforço e objetivo definido. E esta diferenciação precisa ser perceptível como linguagem, não interferindo na

leitura do espaço. Em algumas situações, a luz artificial poderá trabalhar como um complemento expressivo da linguagem da arquitetura, especialmente em edifícios contemporâneos, já pensados com estas alternativas tecnológicas. Edifícios históricos, construídos antes do advento da iluminação elétrica deverão se beneficiar desta, é evidente, especialmente no período noturno, mas a essência do espaço, se luz difusa, claro/escuro, cor deverão ser mantidas. Durante a noite, aí sim, a luz artificial também irá assumir o papel da luz ambiental, tendo ainda sua iluminação complementar para destaques ou reforços em tarefas ou objetos dentro do espaço. Percebemos então claramente este entendimento entre iluminação artificial - durante o dia e a noite - como momentos distintos da luz.

Figuras 53 e 54: Luminárias pendentes com luz direta localizada para leitura e geral indireta para revelar arquitetura, valorizando suas proporções e diminuindo contrastes muito fortes se houvesse apenas luz direta nesta altura. A proporção do espaço durante a noite estaria cortada na altura da instalação.

Fonte: MILLET, Marietta S. Light revealing architecture. NY, Van Nostrand Reinhold. 1996.

A Necessidade ou preferência por acionar o sistema de iluminação artificial pode ser um indicativo destas situações: a luz natural não consegue atingir níveis mínimos que promovam visibilidade fácil, ou existe muita luz externamente e para reduzir ofuscamentos e reduzir os contrastes. Em outra situação muito frequente, a existência de radiação direta e a necessidade de luz controlada, leva ao fechamento de cortinas e consequente acionamento total da iluminação artificial, e não apenas com função complementar. É muito frequente que, mesmo a iluminação natural estando confortável e com qualidade, muitas vezes a iluminação artificial está acionada, sem muita contribuição, pois acender ou apagar depende do usuário. Outros mecanismos podem efetivamente contribuir como sensores distribuídos e agrupados em função da distribuição da luz natural.

O estudo da distribuição natural em períodos significativos, ao longo do ano, pode ser usado para sugerir a forma e os sistemas de controle elétrico da iluminação artificial. A separação em circuitos independentes com acionamento manual, em função da proximidade

e afastamento das aberturas de luz natural, ou mesmo sensores de luz e *dimmers*, que ajustam o nível de iluminação para o planejado, são formas de integração da luz natural e artificial. A racionalização energética e consequente economia de energia, com a redução de acionamento de luz artificial só ocorrerão quando aspectos da qualidade da luz, a partir do entendimento da percepção e exigências humanas de luz, forem mais bem compreendidos pelos projetistas.

A maneira como as superfícies parecem iluminadas - contrastes e hierarquias - definirão a noção de limites na percepção do espaço. Identificamos um espaço pelos seus limites, planos, pisos, paredes e tetos. O foco determina para onde olhar, se vertical ou horizontal. Um plano muito mais escuro que os demais, possivelmente induzirá as pessoas a acionarem a iluminação artificial naquele local. Alguns autores mencionam que a luz artificial deveria se diferenciar da luz do sol, no período noturno, nos seguintes aspectos:

- Pouca intensidade a fim de permitir a visualização do ambiente noturno distinto do diurno;
- permitir contrastes de claros e escuros numa mesma área iluminada para reconhecimento da plasticidade do espaço iluminado;
- a distribuição da luz artificial não deverá ocasionar fortes recortes de uma mesma superfície iluminada, a fim de garantir o reconhecimento da totalidade da área trabalhada;
- a tonalidade da luz artificial (temperatura de cor da lâmpada) deveria ser o mais próxima possível da cor do sol na entrada da noite, ou cair da tarde;
- a luz do sol deverá ser oculta ou minimizada o mais que possível a visualização da fonte luminosa para evitar ofuscamentos do observador e permitir o reconhecimento da área iluminada;
- a qualidade da luz do sol só é igual à da luz incandescente (mesma composição espectral), sendo que esta temperatura de cor igual à da luz do sol no final de tarde (3000K). Considerando que o cair da tarde é o período do dia que antecede a noite, o mais natural seria entrar nela empregando lâmpadas que tivessem a mesma tonalidade da luz do final da tarde. A tonalidade branca das Lâmpadas age de forma oposta à ideia de que a noite é um intervalo no ritmo de vida do homem e tenta transpor para o momento deste intervalo, o ambiente do dia na sua etapa de mais intensa produção;
- para iluminação geral, luz branca neutra e luz dia são mais recomendadas no período da luz do dia, pois se integram em aparências, sendo mais harmoniosas.

Figura 55: Iluminação geral natural através da clarabóia e luz localizada artificial complementar nas prateleiras e mesa de trabalho.

Fonte: MILLET, Marietta S. Light revealing architecture. NY, Van Nostrand Reinhold, 1996.

A necessidade humana de iluminação vai muito além da necessidade visual para desenvolver uma tarefa específica. A arquitetura nos envolve com seus espaços, planos, cores, texturas e nos permite uma vivência sensorial que não podemos vivenciar de outra forma se não estando contido dentro do ambiente.

Devemos pensar que a luz total planejada não tem que ser necessariamente uniforme. As variações de iluminâncias são muito bem-vindas, conforme as características e funções dos espaços. Para se pensar em luz integrada devemos entender a intenção do projeto para o ambiente. Para ser verdadeiramente arquitetura, tem que ter poesia, que segundo Louis Khan seria obtida por meio da luz. Se o vazio nada significa, *é preciso enfeitiçar os planos e superfícies* que recebem a luz incidente e refletem em nossos olhos as cores e texturas das formas, realçadas pelas sombras. A sombra faz parte da luz, na medida em que a sombra permite que o objeto iluminado se destaque e seja atrativo ao nosso olhar. Tudo o que vemos é luz refletida. Nos trabalhos delicados, nem uma luz totalmente difusa, nem uma luz com fortes sombras é conveniente.

Toda nossa memória visual está ligada aos efeitos da luz do sol. Nossa memória de luz apresenta relação com a natureza gerando conotações visuais, cromáticas e dinâmicas que funcionam como arquétipos visuais: o espaço branco e frio das geleiras, os raios de luz que penetram entre as árvores de uma floresta, a luz da superfície de um lago na visão submersa, o ouro sem fim da tarde, em matizes dramáticos que desaparecem anunciando o escuro da noite... Todas estas imagens estão associadas a sentimentos diversos e alimentam aspectos arquitetônicos da luz do dia e da iluminação artificial.

2.6 Tipos de luz

A luz está associada diretamente a um adjetivo que lhe qualifica. *Luz* puramente é conceito físico, ou seja, porção visível do espectro eletromagnético. Como visível, entenda-se, que provoca sensação visual. Mas a luz da arquitetura, a luz aplicada como ciência e arte, recebe adjetivos que a qualificam e contribuem para o conceito ou essência do espaço: é homogênea, difusa, dramática, feérica, intensa, suave, dinâmica, colorida, pontual, luz e sombra...

Louis Khan considerava que silêncio e luz eram a essência das coisas. Entendendo que silêncio seriam os planos não iluminados, calados, e que a luz revelava as superfícies que poderiam murmurar, falar, cantar e encantar! O trecho extraído de um texto *I Love the beginnings*, expressa este sentimento poético e sua postura para criar diversos tipos de luz.

“Eu amo os inícios... Na minha própria procura para os inícios um pensamento recorrente, gerado por muitas influências – fora da realização que material é feito de luz. Eu trato com similaridade o surgimento da luz com a manifestação de dois irmãos... mas eu vi que um é a materialização do que deseja ser/expressar; e um (não dizendo o outro) é ser. O último não é luminoso; e ‘um’ (que prevalece) é luminoso e esta fonte de luz pode ser visualizada como se tornando uma dança selvagem com chamas que se expandem no material. Material, eu acredito é feito de luz. As montanhas, a terra, o ar são feitos de luz.... Eu começo colocando um diagrama chamando o desejo de ser para expressar silêncio; o outro, luz. E o movimento do silêncio para luz, da luz para o silêncio tem muitas faces/muitos pontos de entrada/limite mínimo onde o estímulo e limite são perceptíveis de maneira subliminar; muitos limites; e cada limite é na verdade uma singularidade. Cada um de nós tem uma percepção inconsciente nos locais de encontro da luz e silêncio.”¹¹

Figura 56: Museu de Design, Frank Gehry

Fonte: FUTAGAWA, Yukio. Light and space-modern architecture-vol. 1 Japan, AD.A. edita Tokyo co. Ltda, 1994.

¹¹ Do ensaio: Amo os inícios in FUTAGAWA, Yukio. Light and space-modern architecture-vol. 2 Japan, AD.A. edita Tokyo co. Ltda, 1994, pag. 322

No início de um projeto, é o caráter intuitivo que domina o processo criativo. Como uma imagem mental, o arquiteto visualiza em sua mente o espaço criado sob a luz, imagina, antes de tudo, suas qualidades de aparência, direção e modelagem. Le Corbusier ao projetar marcava em seus estudos áreas e superfícies em amarelo, que receberiam luz; e em roxo, as que ficariam na sombra. Somente depois de um projeto imaginado é que se torna possível quantificar a quantidade de luz incidente no ambiente e redimensionar aberturas, criar elementos de proteção e controle, se for o caso, conforme as atividades desenvolvidas.

A luz artificial tem um papel muito importante nesta adequação ao desenvolvimento de tarefas específicas, onde o controle e qualidade constante da luz asseguram maior conforto luminoso e produtividade. A entrada de luz pode ser canalizada para criar efeitos nos ambientes internos em geral, com fortes contrastes entre as superfícies iluminadas que acentuam características importantes do espaço. A luz difusa em contraste com os desenhos de luz direta, em recortes precisos, cria efeitos de desenhos de luz, sem a percepção evidente de uma abertura ou janela. A luz do ambiente é recriada para interagir com as formas e o vazio.

Figuras 57 e 58: igreja Barroca, onde a luz era direcionada para criar efeitos, com aberturas fora do campo de visão.

Fonte: BEHLING, Sophia e Stephan. Sol Power. La evolucion de La arquitetura sostenible. Barcelona, ed. Gustavo Gilli, 2002.

Figura 59: Escola, Portugal, Álvaro Siza

Fonte: Santos, José Paulo. Álvaro Siza. Obras e Projetos. Barcelona.

2.6.1 Captação e controle da luz natural

Projetar entendendo o clima do lugar além dos requisitos funcionais (captação da luz e calor e/ou proteção contra seus excessos) demanda que se compreendam em profundidade procedimentos diferentes do projetar para compor, seja com a luz suave e matizada das atmosferas encobertas, seja com o brilho e agudeza da luz das regiões ensolaradas. O ângulo sob o qual o sol é considerado varia também com o clima do lugar, motivando interesse pelo controle da insolação direta nas regiões de céu claro, e motivando trabalhos sobre captação de luz difusa nas regiões nebulosas.

Por um lado, podemos tratar a relação da arquitetura com o sol através da história, que situa o contexto das diferentes abordagens do assunto ao longo do tempo e ajuda a compreender sua evolução e procedimentos contemporâneos. Por outro lado podemos também concebê-la em função da história das ciências e técnicas à luz do avanço do conhecimento científico e ao papel que o trabalho arquitetural sobre o sol tem tido na criação de instrumentos e de métodos adaptados às necessidades reconhecidas nas diferentes épocas. Em diferentes contextos históricos foram motivadores para o tratamento do assunto com justificativas ideológicas que buscaram legitimá-lo, sejam de ordem estética, econômica, social sanitária ou outra. Mesmo que todos estes procedimentos permitam a compreensão das condições de desenvolvimento das doutrinas e práticas da arquitetura em referência à questão, eles continuam externos ao que interessa especificamente à arquitetura, quando se trata do trabalho sobre o sol, ou seja, revelar as maneiras de concebê-la.

2.6.1.1 Componentes da luz natural

Os componentes de condução são espaços de luz intermediários, tais como as galerias e pórticos, podendo ser internos, como os pátios ou mesmo os átrios. A radiação direta é bem-vinda em situações para aquecimento, se for o caso, ou pelo forte atrativo e estímulo visual que exerce em nossa percepção, efeitos de desenhos de luz, mutantes que conferem vida pelo movimento contínuo, mudança de tonalidades e aparências de cores. Se esta radiação estiver fora de nosso campo visual imediato, se está bem mais distante como uma parede ou mesmo através da janela, como por exemplo, um brilho distante, a folhagem que se movimenta em luz e sombra no pátio ou jardim que observamos.

Baker, Fanchiotti e Steemers (1993) apresentam uma classificação para os componentes da luz natural, inseridos no projeto de arquitetura.¹²

Componentes de condução	Componentes de passagem	Elementos de controle
Espaços de luz intermediários	Laterais	Superfícies de separação
Galeria	Janela	Separador convencional (janela)
Pórtico	Sacada	Separador ótico
Estufa	Parede translúcida	Separador prismático
	Cortina de vidro	Separador ativo
Espaços de luz internos		
Pátio interno	Zenitais	Proteções flexíveis
Átrio	Janela de cobertura	Toldo
Poço ou duto de luz	Lanternim	Cortina
Duto de luz solar direta	Shed	
	Domo	Proteções rígidas
	Cobertura hemisférica	Beiral ou marquise horizontal
	Teto translúcido	Prateleira de Luz /Peitoral
	Globais	Brise vertical
	Membrana	Brise destacado
		Filtros solares
		Persiana (interna ou externa)
		Veneziana (fixa ou móvel)
		Elemento vazado
		Obstrução solar
		Fechamento tampão

Tabela 3: Classificação dos componentes para luz lateral

Fonte: Baker, Fanchiotti e Steemers (1993)

Os elementos de controle podem redirecionar a luz, desviando a direção dos raios solares, proteger da entrada de luz solar, ou até obstruí-la por completo. Os controles de entrada de luz têm interferência direta na quantidade e qualidade de luz distribuída no ambiente. Diversos sistemas podem ser utilizados desde proteções solares até tecnologias

¹² In PEREIRA, Daniela Cardoso Laudares. Modelos físicos reduzidos: Uma ferramenta para avaliação da iluminação natural. Dissertação de Mestrado. São Paulo, FAUUSP, 2006, pag. 31

como os painéis prismáticos e sistemas holográficos. Este controle planejado, seja fixo ou móvel, ajusta a intensidade de distribuição de iluminação natural com a limitação da visão do exterior e possibilita minimizar o ofuscamento direto, aspecto importante do conforto luminoso.

Figura 60: Pátio do Museu Kimbel de Louis Khan

Fonte: Louis Khan. Japão, A + U publishing Co. Ltd., 1983

Figura 61: Banco Hong Kong, Japão, de Norman Foster: átrio central.

Fonte: website

O uso de brises, marquises e varandas bastante utilizados no repertório dos arquitetos modernos, permitem a proteção da radiação direta nos ambientes, possibilitando redução do tempo em que a radiação direta penetra nos ambientes.

Figura 62: Casa Del Fascio, Itália, de Terragni.

Fonte: website

Figura 63: Unidades de Habitação, Le Corbusier

Fonte: BEHLING, Sophia e Stephan. Sol Power. La evolución de La arquitectura sostenible. Barcelona, ed. Gustavo Gilli, 2002.

Os componentes de passagem correspondem às superfícies transparentes ou translúcidas da envoltória da edificação por onde a luz solar passa e atinge os ambientes internos. Os mais comuns são os laterais ou zenitais, conforme a captação seja nas paredes ou na cobertura. Os globais unem os dois tipos de captação de luz, como as membranas que delimitam e envolvem todo o espaço, não diferenciando teto ou parede.

2.6.1.2 Iluminação lateral

As aberturas laterais transparentes ou translúcidas correspondem às janelas, portas ou mesmo paredes de vidro. Podem ter proteções solares externas como beirais, brises, prateleiras de luz ou ainda filtros como persianas. A iluminação lateral não distribui a luz com uniformidade no espaço, apresentando, visivelmente, mais brilho próximo às janelas e diminuição expressiva com o distanciamento.

A quantidade de luz admitida em um ambiente tem relação direta com a profundidade e altura da abertura. A eficiência da luz natural, segundo as recomendações do IES (1979), manual RP 5 – *Recommended Practice of Daylighting*, chega a duas vezes e meia a altura do piso ao topo da Janela. Se uniformidade é um requisito importante para o espaço, deve-se prever entrada de luz na parede oposta ou adjacente, ou mesmo iluminação zenital. Se não for possível nenhuma das soluções com luz natural, adota-se a iluminação artificial complementar. Para melhorar o alcance e uniformidade da luz com aberturas laterais pode-se aumentar a altura destas, ou ainda prateleiras de luz, recurso que redireciona a luz solar para superfícies como o teto ou mesmo paredes, o que irá permitir um alcance maior no ambiente, além de evitar incidência direta no plano de trabalho, se for o caso. Seu desenho varia conforme se pretenda redirecionar os raios solares no espaço ou mesmo bloqueá-los.

As dimensões e alturas das janelas modificam a distribuição de luz no ambiente:

- Janelas mais baixas proporcionam iluminação pouco uniforme com risco de ofuscamento por se situarem na linha da visão, por outro lado permitem contato visual com a paisagem;
- janelas mais altas propiciam um maior alcance na distribuição da luz e maior uniformidade, diminuindo a possibilidade de ofuscamento por estarem situadas acima do campo da visão;
- janelas contínuas proporcionam maior uniformidade nas áreas próximas às aberturas do que janelas descontínuas;
- espaços que tem mais de uma janela possuem uma distribuição de luz mais equilibrada, especialmente se proveniente de diferentes direções.

A luz difusa num espaço, quando proveniente de aberturas laterais altas cria uma uniformidade menos evidente, e permite um dégradé de luz conforme se distancie das aberturas. No projeto do terminal do Aeroporto de Lyon, do arquiteto Santiago Calatrava,

pode-se perceber este efeito, em menos claridade que a cúpula zenital em vidro. A entrada de luz lateral cria uma uniformidade quando instalada regularmente na cobertura e/ou nas fachadas.

Figuras 64 e 65: Terminal do Aeroporto de Lyon, Santiago Calatrava

Fonte: TZONIS, Alexander. Santiago Calatrava. The poetics of movement. NY, ed Universe, 2004.

Na arquitetura contemporânea, vamos encontrar o uso de tecnologia e materiais novos para o controle solar com sensores e sistemas integrados de automação, como o Instituto do Mundo Árabe de Jean Nouvel e o Banco Hong Kong de Norman Foster.

Figuras 66 e 67: Instituto do Mundo Árabe, Paris, de Jean Nouvel. À direita detalhe do muxarabi em lâminas de aço que regulam a entrada de luz.

Fonte: FUTAGAWA, Yukio. Light and space-modern architecture-vol. 1 Japan, AD.A. edita Tokyo co. ltda,

Figura 68: Banco Hong Kong, Japão, de Norman Foster.

Fonte: website

2.6.1.3 Iluminação zenital

A iluminação zenital é feita através de aberturas localizada na cobertura das edificações. Em geral é utilizada em ambientes com grandes profundidades, onde a iluminação lateral não é suficiente para promover a iluminação com mais uniformidade. A iluminação zenital promove maior uniformidade conforme a distribuição das aberturas na

coberta, assim como a altura do pé-direito do espaço. Destacamos as seguintes tipologias de iluminação zenital, mais utilizadas e conhecidas:

- Shed: em formato de dente de serra, com captação de luz nas aberturas verticais ou inclinadas num dos lados; recomenda-se orientar as aberturas para o aproveitamento da luz difusa da abóbada para se obter mais uniformidade, sem entrada de radiação direta;
- lanternin: possui duas faces opostas iluminantes, em geral orientadas no sentido norte-sul com sombreamento para captação da luz difusa da abóboda celeste;
- domo, clarabóia e cúpula: possui a superfície para entrada de luz predominantemente na horizontal; é recomendado o mínimo de 5% de projeção da cobertura para assegurar uniformidade, segundo o IES (1979). Por outro lado, não se recomenda, no Brasil, ultrapassar mais do que 10% para evitar problemas térmicos;¹³
- iluminação zenital periférica ou janela periférica: abertura alta disposta na parede acima de outras cobertas do edifício.

Figuras 69 e 70: Museu em Monchengladbach, de Hans Holein. Vista do espaço interno e incidência de luz uniforme e volume externo com a coberta em sheds, dente de serra.

Fonte: web site

No museu de arte contemporânea em *Monchengladbach*, o arquiteto Hans Holein utilizou *sheds* e uma estrutura de vigas que captam a luz solar redirecionando-a para o espaço e evitando a visão direta da abóbada celeste em ângulos de visão que poderiam causar ofuscamento. A luz zenital de uma cobertura em cúpula cria uma iluminação difusa e uniforme, sem sombras, que mantém uma conexão direta com as variações do exterior, especialmente se permite a visão do céu. A luz não apresenta controle através das envoltórias, criando uma noção de céu artificial. O espaço é percebido em função do ritmo

¹³ VIANNA, Nelson Solano, GONÇALVES, Joana Carla. *Iluminação e Arquitetura*. São Paulo, Virtus, 2001.

da natureza, e dos ângulos solares das horas do dia, e ao longo das estações, que irão variar superfícies em sombra ou luz.

Figuras 71 e 72: Galeria Vittorio Emanuele, Milão. Luz zenital uniforme.

Fonte: BEHLING, Sophia e Stephan. Sol Power. La evolucion de La arquitetura sostenible. Barcelona, ed. Gustavo Gilli, 2002.

Figura 73: Geodésica. Fuller Buckminster. Luz uniforme sob a geodésica que permite iluminação similar à da abóbada celeste.

Fonte: BEHLING, Sophia e Stephan. Sol Power. La evolucion de La arquitetura sostenible. Barcelona, ed. Gustavo Gilli, 2002.

O tratamento da espessura das fachadas pode se tornar um elemento de controle da luz. As espessuras das paredes ou dos elementos de captação permitem controle do fecho e de seu alcance, em intensidade e direção. A luz, ao atravessar a fronteira da envoltória, pode sofrer transformações na direção, na forma como incide nas superfícies e, conseqüentemente, em sua distribuição no espaço.

Podemos observar esta transformação no projeto de Louis Khan, da Igreja Unitariana, onde a luz zenital é capturada através de sheds da cobertura e conduzida aos quatro cantos da igreja, deixando o teto em forma de cruz, opaco, denso. O brilho se dá nestes quatro pontos que resgatam o conceito arquétipo da luz primitiva e cria uma imagem de impacto ao alternar claro e escuro, leve e pesado, causando uma sensação de tensão e vigor.

Figuras 74 e 75: Igreja Unitariana, Rochester NY, Louis Khan

Fonte: Louis Khan. Japão, A + U publishing Co. Ltd., 1983

A luz zenital trabalhada com recursos e elementos de controle permite entrada de luz sem radiação direta. A luz é filtrada, reduzindo ou impedindo parcialmente a visão da abóbada celeste. Em áreas de trabalho e de exposição, a qualidade da luz permite criar condições mais apropriadas de conforto luminoso. No projeto do *Menil Collection Museum*, os arquitetos Renzo Piano e Richard Fitzgerald utilizaram elementos suspensos que impedem a entrada dos raios diretamente, criando uma iluminação geral indireta suave para a exposição de obras de arte, ao mesmo tempo em que mostra um efeito de luz e sombra, forma e silhueta.

Figura 76: Menil Collection Museum, Texas/USA, de Renzo Piano.

Fonte: BEHLING, Sophia e Stephan. Sol Power. La evolución de La arquitectura sostenible. Barcelona, ed. Gustavo Gilli, 2002.

Figura 77: Biblioteca, Alvar Aalto.

Fonte: FLEIG, Karl. Alvar Aalto. Barcelona, Ed. Gustavo Gilli, 1985.

2.6.1.4 Sistemas avançados de iluminação natural

Os sistemas avançados de iluminação natural utilizam reflexões e refrações especulares, semi-especulares ou difusas para evitar a luz solar direta ou redirecioná-la no interior das edificações. Dentre os sistemas considerados avançados, temos os dutos de luz que são condutores projetados com materiais de alta reflexão para conduzir a luz direta do sol para ambientes que não possuem aberturas para o exterior.

Os sistemas de coleta de luz do sol fazem a captação e condução através de espelhos e lentes, como o heliostato. Outros sistemas de transmissão captam a luz solar através dos pavimentos horizontais ou verticais como os dutos metálicos espelhados, de materiais espelhados, lentes guia ou de colimão, dutos prismáticos ou feixe de fibra ótica.

Outro sistema baseia-se na alteração da direção da luz solar incidente, como os sistemas prismáticos, sistemas de reflexão interna total e sistemas espelhados.

- Os sistemas prismáticos consistem basicamente de uma linha de prismas triangulares. Os blocos de vidro e painéis prismáticos redirecionam a luz incidente externa com maior alcance nos ambientes.
- Os sistemas de reflexão interna total apresentam elementos óticos, planos que transmitem e defletem a luz através de uma combinação de refração nas superfícies externas e reflexão total nas superfícies internas, como os módulos de canalização da luz.
- Os sistemas espelhados redirecionam a luz incidente através de superfícies especulares como as venezianas, com reflexão especular que interceptam a luz solar, redirecionando-a para o teto, para posterior redistribuição da luz.

Demais sistemas avançados apresentados pela IEA (*International Energy Agency*)¹⁴:

- *Vidro direcionador de luz zenital*, no qual há uma película polimérica com sistema holográfico laminado entre duas placas de vidro. A luz é redirecionada para o interior do edifício através da difração. Recomenda-se sua utilização em orientações sem o sol direto, pois causa a dispersão das cores.
- *Sistemas redirecionadores anidólicos* para o forro: usam as propriedades óticas de concentradores parabólicos compostos para coletar a luz difusa do céu. O concentrador é acoplado a um duto claro, especular, em um plano acima do plano do forro, transportando a luz para a parte posterior do ambiente.

Figura 78: Controle transparente da luz solar. Esculturas de luz através do vidro.

Fonte: BEHLING, Sophia e Stephan. Sol Power. La evolucion de La arquitetura sostenible. Barcelona, ed. Gustavo Gilli, 2002.

¹⁴ In PEREIRA, Daniela Cardoso Laudaes. Modelos físicos reduzidos: Uma ferramenta para avaliação da iluminação natural. Dissertação de Mestrado. São Paulo, FAUUSP, 2006, pag.37

Capítulo 3:

Exigências Humanas de Iluminação

Exigências Humanas de Iluminação

3 Exigências Humanas de Iluminação

3 Exigências Humanas de Iluminação

O ato de ver só é possível na presença de luz. Precisamos de um nível mínimo para reconhecer objetos, pessoas, desenvolver tarefas, etc. O aspecto quantitativo da luz é fundamental. As normas brasileiras definem níveis mínimos conforme atividade, precisão, entorno imediato da tarefa, características do ambiente e idade do usuário. Muito mais do que permitir a visibilidade, a luz tem outras funções para o homem, desde aspectos psicológicos de orientação e segurança passando pelo funcionamento saudável do organismo, pois interferem na produtividade e bem-estar até atingir um conteúdo expressivo ligado à arte.

Por um lado, a vida humana depende da luz do sol, e o caminho de nossa evolução, o ritmo de nossas vidas diárias, nossa visão, percepção e a maneira como experimentamos coisas e nossas emoções passam por este filtro. Por outro lado, desde quando os homens habitavam em cavernas, a luz artificial esteve presente já a partir da tocha, o que tornou possível desenhar ou escrever naqueles locais onde não havia a luz do sol. A luz artificial complementar, portanto, é tão antiga quanto nossos ancestrais.

No entanto, a história da arquitetura a - partir do surgimento da luz elétrica - com fontes seguras e duráveis, mudou completamente a forma de vida das pessoas e o uso dos espaços. O ciclo do dia e da noite que determinava períodos de trabalho e descanso, acordar e dormir foram sendo modificados gradativamente. O mundo moderno viveu um deslumbramento com esta luz cintilante e a cidade acordada vinte e quatro horas. Desde então, houve um grande desenvolvimento da tecnologia da iluminação elétrica, das lâmpadas incandescentes até os leds (diodos emissores de luz) e temos discutido o desempenho destas fontes, a quantidade de luz gerada, consumo e aplicações conforme as diversas atividades. Entretanto, a discussão da aplicação da luz natural volta a ocupar posição de destaque no projeto de arquitetura não apenas por necessidades de racionalização energética, mas especialmente pelo enfoque mais amplo da sustentabilidade, do conforto ambiental, bem-estar e saúde.

A maior parte dos espaços, mesmo durante o dia, usa a luz artificial complementar à luz natural ou mesmo como única fonte de luz dentro de seus ambientes. Por mais que se fale em sustentabilidade e na otimização da luz do sol, sabemos que a luz artificial participa ativamente dos ambientes internos, muitas vezes negando a contribuição da luz natural

durante o dia, fechando cortinas e assumindo o controle da previsível luz artificial. Isso muito nos tem intrigado porque esta questão comportamental nega todo esforço de se aproveitar a luz natural nos ambientes, pois nega dois aspectos importantes do projeto: a questão psicológica do contato com o exterior e o uso da energia elétrica em horários que não seria necessário. *Estariam os usuários errados no seu comportamento de adaptação em busca do conforto ou será que falta um entendimento do tratamento da luz no espaço que atenda às exigências humanas de iluminação nas suas diversas atividades?*

Essa observação que nada tem de novidade nos leva a questionar se a luz natural e seu potencial especialmente em latitudes com a nossa não tem se resumido a um limitado entendimento quantitativo em detrimento das qualidades da luz no espaço. São precisamente estas qualidades que contribuirão para que os usuários usem luz natural disponível e complementem com iluminação artificial localizada de reforço de luz para o desenvolvimento de tarefas. *O que significa esta qualidade?*

A luz na arquitetura é total, seja natural ou artificial e somos sensíveis a ela. A luz natural é dinâmica, imprevisível ou com variações previsíveis, mas sempre surpreendentes. Ao fazermos um cálculo de iluminação para dimensionarmos a iluminância em determinado local, em determinado horário do dia, época do ano, queremos demonstrar que naquela área temos potencial para criar quantidades suficientes de luz natural que poderão ser aproveitadas para a realização das atividades pretendidas. Esta é uma questão racional, que leva à sustentabilidade, pois passa pela racionalização no consumo de energia elétrica. Mas este dado calculado para uma orientação e dimensão de abertura ainda não informa como esta luz está distribuída no espaço, ou ainda os contrastes gerados, a modelagem obtida e a impressão causada nos usuários, ou seja, informa quantidade e não qualidade.

A qualidade da luz dentro de um espaço está também relacionada aos níveis de contrastes percebidos, pois são estas diferenças que nos permitem perceber os objetos tridimensionais e contribuem para o conforto luminoso. Comprovar que altos contrastes ao mesmo tempo, no campo visual geram ofuscamento e quais estes parâmetros é muito importante, uma tarefa difícil, dada à capacidade humana de adaptação. Este trabalho pretende definir conforto luminoso ao ampliar o conceito de conforto visual, e tentar relacionar as exigências humanas de iluminação conforme fisiologia e tipo de atividade. *A Interferência da luz em nosso metabolismo é mais do que simplesmente visual.*

Identificar as exigências humanas de iluminação é importante para embasar uma visão mais completa do ser humano e da luz no espaço da arquitetura, pois a relação da luz com a arquitetura ultrapassa questões de visibilidade, porque não é apenas o que se vê, mas

como se vê, e isto envolve aspectos qualitativos importantes que redefinem os valores do espaço. O que a luz faz com o ser humano? Qual a relação da luz com a arquitetura? Conforme o que se deseja obter, teremos a resposta do que fazer e como, pois *cada querer tem uma característica*. É preciso pesquisar o material disponível a partir da percepção e relação com saúde, fazendo um cruzamento que permitam informar as necessidades e exigências de luz para a vida humana, os ambientes que são efetivamente os cenários da vida, pois na maior parte do tempo estamos “protegidos”, dentro de nossos abrigos. *Sabendo da relação vital que existe entre luz e o ser humano, é preciso investigar os desdobramentos desta relação no espaço arquitetônico.*

3.1 Exigências visuais

Uma boa visão é o requisito fundamental para se garantir o desempenho seguro e satisfatório de qualquer tarefa, seja no âmbito do atendimento à necessidade inerente ao ser humano de perceber com nitidez e consequente segurança o que se passa a sua volta, seja no âmbito da produtividade.

3.1.1 Acuidade visual

Para se garantir um desempenho satisfatório e seguro de uma tarefa visual, é necessário ter o que podemos chamar de uma boa visão, que permitirá perceber com nitidez e consequente segurança o que se passa à sua volta e otimizar a produtividade. Nos trabalhos delicados, por exemplo, nem uma luz totalmente difusa, nem uma luz com fortes sombras é conveniente. A luz deve ser planejada para não criar sombras, ofuscamento ou reflexos indesejáveis. Além da iluminação adequada ao objeto, a iluminação do fundo deve permitir um descanso visual durante as pausas e aliviar o mecanismo de acomodação. Nossos olhos passeiam pelo ambiente e nosso campo visual não deve ser considerado de forma restrita apenas ao campo da tarefa..

São vários os fatores que interferem na capacidade de discriminação ou acuidade visual, como faixa etária e as diferenças individuais, tamanho da tarefa a executar, e distância desta tarefa ao olho, o tempo de exposição o contraste entre a figura e o fundo. O tamanho mínimo da tarefa a executar varia conforme a distância dessa tarefa até o olho. As pessoas distanciam ou aproximam os objetos para colocá-los dentro do campo visual, a fim de ver com mais nitidez. A *Luminância mínima* também contribui para perceber os objetos e seus detalhes, pois o reconhecimento destes na luz do dia são muitas vezes imperceptíveis em ambientes mais escuros.

3.1.1.1 Tempo de exposição

É necessário um tempo mínimo para um objeto ser visto, pois quando em movimento, conforme a velocidade, muitos detalhes podem ser mascarados. Para um objeto ser percebido, o tempo é variável em função do seu tamanho, contraste e nível de iluminação. Em geral, 1 segundo é suficiente, mas se o objeto for pequeno e o contraste baixo, o tempo poderá aumentar bastante. Para objetos pequenos, se o contraste for reduzido de 70% para 50%, o tempo necessário aumentará quatro vezes.

Os olhos têm dificuldade para fixar objetos em movimento. Em indústrias, por exemplo, numa esteira transportadora, os olhos fazem várias fixações alternadas; se a velocidade aumentar, alguns objetos passarão despercebidos, diminuindo a eficiência da inspeção. Os objetos deveriam se movimentar de forma intermitente para que a inspeção se desse no momento do repouso. O tempo de exposição passa a ser importante na produtividade.

3.1.1.2 Contraste

Constitui-se no destaque que possa existir entre o objeto enfocado e as outras superfícies que compõem o seu entorno. Haverá sempre, circunstâncias sob as quais o objeto observado possuirá brilho inferior ao das superfícies que comporão a cena visual, de uma forma tal que, apesar de não impedirem a tarefa, acarretarão um determinado grau de desconforto visual por ofuscamento. Embora o “brilho” seja um fator de aperfeiçoamento da visão, para que se tenha a exata informação que se quer obter sobre certo objeto, ele poderá, circunstancialmente, comprometer a acuidade da visão e sensibilidade ao contraste.

Figura 79: Quantidade de luz, contraste, tamanho do objeto e objeto em movimento

Fonte: in Lighting with artificial light 1. Frankfurt, Fordergemeinschaft gutes licht, 1994.

3.1.2 Aspectos quantitativos: níveis de iluminação

O nível de iluminação interfere diretamente no mecanismo fisiológico da visão e também na musculatura que comanda o movimento dos olhos.

O rendimento visual tende a crescer a partir de 10 lux, até cerca de 1000lux, enquanto que a fadiga visual se reduz nesta faixa. A partir deste ponto, aumentar o nível de iluminação não provoca melhoras sensíveis no rendimento, e a fadiga visual começa a aumentar. Uma mesma tarefa poderá ter seu tempo reduzido na medida em que se aumenta o nível de iluminação em 200 lux, por exemplo, sendo que a partir deste ponto não são observadas melhorias consideráveis na redução do tempo, mesmo até os 2000lux.

Na tabela abaixo, percebemos que a norma brasileira ABNT-NBR 5413, nos locais de trabalho, recomenda de 200 a 600 lux, aconselhando-se usar iluminação localizada quando houver necessidade de até 2000lux. Além da economia de energia, o foco sobre o trabalho ajuda a aumentar a concentração do trabalhador sobre a tarefa, pois esta recebe mais luz que seu entorno.

TIPO	ILUMINAMENTO RECOMENDADO	EXEMPLOS DE APLICAÇÃO
ILUMINAÇÃO GERAL PARA LOCAIS DE POUCO USO	20-50	Iluminância mínima de corredores e almoxarifados, zonas de estacionamento.
	100-150	Escadas, corredores, banheiros, zonas de circulação, depósitos e almoxarifados
ILUMINAÇÃO GERAL EM LOCAIS DE TRABALHO	200-300	Iluminação mínima de serviço. Fábricas com maquinaria pesada. Iluminação geral de escritórios, hospitais, restaurantes.
	400-600	Trabalhos manuais médios. Oficinas em geral. Montagem de automóveis. Indústria de confecções. Leitura ocasional e arquivo. Sala de primeiros socorros.
	1000* a 1500*	Trabalhos manuais precisos. Montagem de pequenas peças, instrumentos de precisão e componentes eletrônicos. Trabalhos com revisão e desenhos detalhados.
ILUMINAÇÃO LOCALIZADA	1500-2000	Trabalhos minuciosos e muito detalhados. Manipulação de peças pequenas e complicadas. Trabalhos de relojoaria.

Tabela 4: Iluminâncias recomendadas conforme grupos de tarefas visuais

Fonte: ABNT/ NBR 5413

Recomenda-se 2000lux como máximo, ou ainda em trabalhos em peças muito pequenas, que exijam enorme acuidade, 3000lux. Podemos concluir então que o aumento da iluminação, acima de certo nível crítico é desnecessário, representando desperdício de energia, sem o aumento correspondente na produtividade visual. Em muitos casos, intensidades muito altas podem perturbar a acuidade visual que é a capacidade de perceber os objetos, como, por exemplo, no caso de tecidos e superfícies com irregularidades. São mais visíveis em uma iluminação mediana do que em uma alta intensidade de iluminação. Altas intensidades “estouram” e impedem a visualização de detalhes e texturas mais delicadas.

A norma brasileira de iluminação natural (ABNT 2005- a,b,c,d) não define níveis de iluminação natural, prevalecendo como referência os valores recomendados pela norma de iluminação artificial (NBR 5413-1992). Ela estabelece três níveis de iluminação propostos para cada tarefa e define que o nível a ser considerado entre os valores mínimo, médio ou máximo deverá considerar a idade dos usuários, velocidade e precisão e refletância do fundo da tarefa.

3.1.3 Aspectos qualitativos

3.1.3.1 Distribuição de luminâncias

“O olho humano detecta luminâncias da ordem de um milionésimo de cd/m^2 até o limite superior de um milhão de cd/m^2 , a partir do qual a retina é danificada. O ofuscamento que causa o impedimento da visão ocorre a partir de 25.000 cd/m^2 . Assim, se explica como os olhos podem ser facilmente danificados pela visão direta da luz solar que apresenta um luminância 1600 vezes maior que o limite máximo.”¹⁵

¹⁵ Lighting Handbook. IES – Illuminating engineering society of North América, New York, 1981, pag. 53

Valores de luminâncias de algumas fontes	
Fonte	Luminância (cd/m ²)
Sol	1600 x 10 ⁸
Céu claro	0,4 x 10 ⁴
Lâmpada de tungstênio de bulbo claro(100w)	6,5 x 10 ⁸
Lâmpada de tungstênio de bulbo leitoso (100w)	8 x 10 ⁴
Lâmpada a vapor de mercúrio de alta pressão (400w)	120 x 10 ⁴
Lâmpada fluorescente (80w)	0,9 x 10 ⁴
Lâmpada a vapor de sódio baixa pressão (140w)	8 x 10 ⁴
Papel branco (fator de reflexão 80%) E=400lux	100
Papel cinza (Fator de reflexão 40%) E=400lux	50
Papel preto (fator de reflexão 4%)	5

Tabela 5: valores de luminâncias

Fonte: Lighting Handbook. IES – Illuminating engineering society of North América, New York, 1981.

Podemos observar que os valores de céu claro aos papéis também claros não provocam ofuscamento que danifique a visão. Entretanto sabemos que a noção de ofuscamento é relativa e não absoluta, que irá depender da localização dessas luminâncias bastante diferentes no campo da visão, gerando o ofuscamento desconfortável que afeta o conforto visual e a produtividade. Os 500 lux de iluminação interna pode parecer relativamente “escuro” para quem contempla um dia de céu claro com iluminâncias da abóbada muito elevadas. A sensação da intensidade da luz natural é superior à da iluminação artificial, onde 500 lux proveniente de uma lâmpada elétrica produz sensação visual inferior à da radiação da luz solar.

A distribuição da densidade luminosa (brilho) no campo visual é de importância decisiva tanto para o poder da visão quanto para o conforto visual, pois quando os contrastes são grandes, as condições de visibilidade são desfavorecidas. Em uma análise mais antiga, Gutin (84) observou que contrastes de luminâncias de 1/5 no campo de visão médio já prejudica a capacidade de visão. Isto ocorre pelo esforço frequente de adaptação e focalização. Em ambientes de trabalho, os níveis permitidos de contrastes de luminâncias no campo visual admitem 3/1 no campo central e 10/1 no campo periférico.

Relação de luminâncias preferidas nas superfícies dos ambientes						
Pesquisador	Entorno imediato	Parede frontal	Parede de trás	Parede direita	Parede esquerda	Teto
Touw, 1951	0,3					
Bean & Hopkins, 1980	1					
Tregenza et al, 1974		0,52	0,64	0,51	0,55	0,85
Van Ooyen et al, 1987	0,4		0,3	Todas as paredes		
Roll & Hentschell, 1987	0,1-0,6					0,1-3
OBS: Todos os dados são relativos às luminâncias do fundo da tarefa						

Tabela 6: relação de luminâncias preferidas nas superfícies dos ambientes

Fonte: IES p, 3-40

Figura 80: Contrastes de luminâncias em ambiente de trabalho

Fonte: in Good lighting for offices and office buildings 4. Frankfurt, Fordergemeinschaft Gutes licht, 1994.

Muitas vezes, para criar uma ambiente estimulante são utilizados fortes contrastes entre claros e escuros, não se preocupando com os princípios ergonômicos e uniformidade de brilho. O uso de cores nas superfícies com brilhos semelhantes no campo visual, para ambientes de trabalho, cria um espaço mais neutro.

A distribuição harmoniosa de luminâncias dentro do espaço e no campo visual inclui também a janela e seu entorno imediato. Ampliando o conceito de campo visual temos que incluir a percepção do espaço inteiro num ângulo maior de observação e não apenas o campo da tarefa. Esta é uma visão muito restrita, pois nosso olhar se movimenta constantemente, ou de tempos em tempos como uma resposta natural da fisiologia que busca relaxar a musculatura do cristalino, como olhar o horizonte, ou olhar para mais longe, onde nossa visão não está focando nada em especial. Este movimento frequente amplia, na prática, o campo visual para uma determinada área de trabalho.

Iluminâncias elevadas de luz natural incidindo no ambiente poderão gerar contrastes desconfortáveis para as atividades desenvolvidas, com contrastes de luminâncias bastante evidentes. Isto poderá ocasionar utilização de iluminação artificial complementar elevada para compensar estas diferenças e conforto visual. Acreditamos que é preciso entender e estudar a luz a partir da sua distribuição no ambiente e contrastes de luminâncias resultantes nas superfícies, pois tudo que vemos é luz refletida destas superfícies. É importante pesquisar parâmetros de luminâncias mínimos e máximos, valores individuais e relativos no ambiente e não apenas iluminâncias como a norma brasileira. Isto permitiria saber se estamos dentro de uma zona de conforto luminoso e obter os efeitos pretendidos.

Os modernos sistemas de controle e automação permitem através de sensores que se estabeleça um nivelamento das iluminâncias. A tecnologia da luz artificial criou condições de avaliar, no plano horizontal de trabalho, a situação existente de luz natural incidente e nivelar valores mínimos planejados. Se tivermos 5000lux, por exemplo, próximo às janelas e o sensor está calculado para 500lux, nesta e na segunda fila poderiam ter sensores para só acionarem a iluminação nas linhas mais distantes onde a iluminância caísse abaixo dos 500 lux programados. Embora resolvesse níveis de iluminâncias em valores individuais, isto ainda traria contrastes elevados e desconfortáveis no campo da percepção de 10/1, aceitáveis para um campo visual mais periférico.

Importa saber se a iluminância externa, exatamente antes da janela - pois minha visão inclui este espaço no seu registro - não traria contrastes fora dos aceitáveis. Se imediatamente fora da janela temos 20.000lux, por exemplo, então a relação para 500 lux é de 1/40, desconfortável. Isto poderia levar os usuários a aumentar a iluminância média de 500 lux para um nível mais elevado, equilibrando e trazendo conforto. Outro comportamento seria simplesmente fechando cortinas e isolando o ambiente, usando apenas iluminação artificial com os 500 lux planejados, o que seria ainda mais econômico do que aumentar toda iluminação geral e ainda o consumo de ar condicionado.

O projeto de iluminação deveria quantificar e medir luminâncias para uma relação com a percepção, pois o que vemos ou percebemos efetivamente é a luz refletida. Quantificar esta percepção seria medir as luminâncias das superfícies e registrar os contrastes, e verificarmos como somos sensíveis a estas variações e ritmos. Embora a quantidade de luz natural seja extremamente variável e imprevisível, as relações destas quantidades no ambiente permanecem proporcionais, dentro de uma constante, ao se manter os materiais e suas características de reflexão.

A distribuição dos acendimentos dos circuitos é importante a partir do entendimento de zonas com características de intensidades afins, conforme a contribuição da iluminação natural. A automação pode contribuir para corrigir contrastes excessivos dentro de um ambiente de trabalho, trazendo conforto, mas se a filtragem e tratamento da luz natural não forem solucionados, pode persistir o desconforto, ou ainda o aumento de potência e carga instalada.

3.1.3.2 Limitação do ofuscamento

Segundo Robbins: “ofuscamento é o resultado de uma luz indesejada no campo visual e é geralmente causado pela presença de uma ou mais fontes de luz excessivamente brilhantes”.¹⁶ Pode, entretanto ser relativo, ou seja, ser causado ainda pelo contraste excessivo de luminâncias, entre tarefa e fundo ou entre superfícies num mesmo ambiente.

Figura 81: ofuscamento causado pela visão da abóbada celeste no campo visual.

Fonte: in Good lighting for offices and office buildings 4. Frankfurt, Fordergemeinschaft Gutes licht, 1994.

O ofuscamento causa desconforto, e nossa tendência é desviar o olhar, pois o excesso de luminância atinge nossa retina e produz uma sensação de *cegamento* momentâneo, que compromete a acuidade visual. Muitas vezes o ofuscamento é apenas perturbador, distrai e reduz nossa produtividade, porque nos força a constantes adaptações.

16

Os índices numéricos propostos para quantificar o ofuscamento até agora têm pouca ou nenhuma utilidade prática. A proposta do CIE procura relacionar o ofuscamento em função das diferenças de luminâncias. Apesar de termos grande capacidade de adaptação, especialmente os mais jovens, muitas vezes, esta constante poderá cansar o sistema visual. Com a idade, a adaptação torna-se mais lenta e limitada e os danos maiores.

Segundo ROBBINS existem dois tipos de ofuscamento¹⁷:

- **OFUSCAMENTO DESABILITADOR:**

Assim chamado, pois interfere na capacidade de realizar tarefas. Causa uma redução na habilidade de ver objetos dentro do campo visual sem, necessariamente, resultar em desconforto, podendo, entretanto, causar distração e/ou aborrecimento. Tem, portanto mais impacto no desempenho e habilidade da pessoa em desenvolver tarefas visuais. Se, por um lado, estes efeitos não são permanentes; por outro, causam redução temporária na habilidade de ver.

O efeito desabilitador do ofuscamento é função direta do brilho ou intensidade luminosa da fonte de luz e do contraste entre brilho e escuro no campo visual. Este tipo de ofuscamento, para iluminação solar, depende do brilho da fonte de luz, da distância do olho até a abertura, do tamanho das aberturas e da localização da abertura com relação ao campo visual. O ofuscamento de uma pessoa perto da janela, com os olhos tendo que se adaptar à visão do céu, e a redução de brilho do interior da sala pode ser diminuído aumentando-se o nível de brilho no campo visual, ou seja, atenuar o ofuscamento não reduzindo o brilho interno, mas aumentando-o.

Com relação à *distância do olho até a abertura*, para uma pessoa que não esteja perto desta, o ofuscamento pode ser reduzido se o brilho no interior for aumentado, diminuindo o contraste

No caso das pequenas aberturas, o efeito da fonte de brilho e o *tamanho das aberturas* são similares. Dobrando-se a área da abertura e mantendo o brilho constante, ou duplicando a fonte de brilho e mantendo a abertura constante, tem-se o mesmo aumento no ofuscamento *desabilitador*. Se a distância até a abertura for reduzida, um aumento no ofuscamento pode ocorrer.

¹⁷ State university construction found, 1977, in Robbins, p 235.

A *localização da abertura com relação ao campo visual* é fundamental, pois a definição de ofuscamento causada por excesso de brilho no campo visual pode ser ocasionada na ausência de tratamento do controle e filtragem da entrada de luz natural.

Mas o que seria um brilho excessivo e como quantificar? Brilho e contraste são importantes para a comunicação visual e permitem distinguir objetos, entretanto contraste excessivo entre figura e fundo pode interromper a habilidade humana de perceber detalhes e distinguir objetos de seu fundo.

O olho humano pode funcionar muito bem, desde o brilho da lua de 0,03 cd/m² até um céu claro com 10.000 cd/m², contudo não pode funcionar muito bem se diferenças extremas de brilho estão no campo visual ao mesmo tempo. Não é o brilho excessivo da luz do dia, claro ou encoberto, que torna o *ofuscamento desabilitador* (que interfere na habilidade da pessoa de ver objetos) uma importante consideração de projeto. A necessidade de ter aberturas para comunicação com a paisagem pode tornar o ofuscamento da luz natural muito mais sério que o da iluminação elétrica. Na maior parte das vezes, ocorre com luz lateral que permite luz solar direta ou dá ao ocupante uma visão direta do céu e da superfície de trabalho ao mesmo tempo. Isto causa *ofuscamento desconfortável ou desabilitador* muito mais do que sistemas elétricos, em geral montados no alto, acima das nossas cabeças.

Em alguns conceitos de projeto, o ofuscamento pode ser controlado, separando as aberturas captadoras da luz do dia das que permitem a vista externa, adotando, por exemplo, aberturas altas ou na coberta que não estão na direta linha de visão para a função de iluminação. Como o desconforto visual decorre do contraste excessivo entre as luminâncias e as altas luminâncias da área visível do céu é importante o tratamento de proteção solar e fatores de sombra das envoltórias do edifício, especialmente na orientação leste-oeste, com luz apenas parte do dia e entrada de calor de difícil proteção.¹⁸

O ofuscamento *desabilitador* é um aspecto que causa a redução direta da habilidade da pessoa de ver objetos dentro do campo visual, sem necessariamente causar desconforto.

¹⁸ In HOPKINSON, R. G. *Architectural physics: Lighting*. Londres, HMSO, 1963.

- **OFUSCAMENTO DESCONFORTÁVEL:**

Os casos extremos de ofuscamento desconfortável podem causar dor, visão de imagens, manchas de luz. Estudos científicos, no entanto, não indicam que possam causar um dano permanente à visão. É composto de dois efeitos separados:

No primeiro, uma fonte de luz (natural ou artificial) é vista dentro de um campo visual com muito menos brilho e o efeito de saturação é produzido com toda retina estimulada em sua máxima resposta. O olho humano pode manter ainda respostas por um curto período de tempo antes que a fadiga química ocorra.

Assim como o *deasabilitador*, o *ofuscamento desconfortável* e seu grau variam em função do brilho da fonte e das dimensões. Neste caso, o brilho da fonte é mais crítico do que sua aparência em tamanho, contudo, dobrando-se o brilho da fonte, parece ter o mesmo impacto como aumentando a área aparente. Diminuir o contraste e aumentar o brilho do fundo também pode ser usado para eliminar o ofuscamento desconfortável.

Outros tipos de ofuscamento são reflexões de imagens: a imagem da fonte de luz é mais brilhante que a luminância da tarefa, o que pode ocorrer nas telas dos monitores, ou ainda ofuscamento refletido, quando a luz vinda de uma fonte é refletida de uma superfície especular em direção aos olhos ou no seu campo de visão.

O olho humano não pode aceitar altos níveis de brilho na área foveal da visão. Existe diferença entre os níveis aceitáveis na linha de visão ou na visão periférica. Como a maior parte das tarefas requer as pessoas olhando para cima e para baixo na tarefa, para uma pessoa próxima à janela, tendo que se adaptar ao brilho do entorno ou a uma relação de contraste entre a tarefa e seus arredores, as aberturas verticais são mais críticas para o mesmo ofuscamento que as horizontais. Muitas vezes, grandes aberturas podem causar menor ofuscamento do que pequenas, pois os contrastes são reduzidos.

O ofuscamento é uma resposta subjetiva, diferente para cada indivíduo, e por isto não pode ser dado como valor absoluto. No entanto, uma forma generalizada de quantificar ofuscamento pode ser obtida estudando-se mudanças nas relações de contrastes e quantificando a resposta média de um grande número de pessoas na mesma situação de ofuscamento.

Nos EUA, as recomendações do IES (*Illuminating Engineering Society of North America*) usam o *VCP* (*visual comfort probability*), geralmente usado para iluminação Elétrica.¹⁹ Para este caso, o ofuscamento com a iluminação artificial é ocasionado pela iluminação excessiva da fonte de luz ou localização de luminárias no campo visual dos pacientes. Para reduzi-lo, pode-se diminuir luminância ou brilho da fonte de luz, diminuir áreas de luminâncias desconfortáveis, aumentar luminância da sala, ou ainda aumentar o ângulo entre a fonte de luz e a linha de visão dos usuários.

Para luz natural, o *índice de ofuscamento* tem sido utilizado por mais de vinte anos na Inglaterra e Europa. O método é usado para analisar o índice de ofuscamento das aberturas da luz do dia. O grau de desconforto, causado por um céu visto através de uma janela, pode ser previsto pelo índice de ofuscamento baseado na equação de fontes grandes de *Cornell* modificada para luz do dia como fonte de ofuscamento. Esta equação costuma ser utilizada para intervalos de 5000lux a 120.000 lux de iluminância horizontal. Menos do que 5000lux, raramente causam ofuscamento em espaços bem iluminados. Nestes cálculos, ofuscamento velador ou refletido não pode ser calculado.

O Sol baixo pode causar sérios problemas pela visão direta do disco solar, entretanto, em determinados espaços como lobbies ou circulações, a luz direta do sol pode ser bem-vinda, criando efeitos dinâmicos. Em momento de ângulo solar muito baixo, as persianas são eficientes, pois soluções definitivas muitas vezes reduzem bastante a iluminação no espaço nos horários não críticos. Os cálculos não estimam o ofuscamento da luz direta do sol. Assume-se, no entanto, que a visão direta do sol causa o máximo de desconforto.

A redução de contrastes entre interior e exterior pode ser obtida através dos sistemas de controle e proteção solar, vidros, alterando-se cor e refletância da abertura e da parede em volta desta ou, por último, aumentando-se a iluminância interna. Muitas técnicas são disponíveis para melhorar o ofuscamento desconfortável das aberturas, mas não podem ser assegurados quantitativamente. A Iluminação Artificial pode contribuir para adaptação do olho, entretanto temos a questão energética. Na prática, não é possível quantificar estes efeitos.

¹⁹ Kaufman and Haynes, 1981.

3.1.3.3 Direção da luz e modelagem

A direção da luz interfere na maneira como percebemos os objetos e consequentemente na acuidade visual. Para atividades de ler e escrever, por exemplo, a luz que vem da esquerda para a direita (considerando os destros) evita que a mão faça sombra no plano de trabalho, distraindo e dificultando a percepção. A luz difusa vindo de mais de uma direção atenua as sombras, tornando o plano de trabalho mais homogêneo e livre de distrações. Todavia, se a luz vai iluminar uma escultura a ser contemplada, a luz direcional valoriza a modelagem tridimensional criando efeito de luz e sombra que valoriza os contornos e as texturas dos objetos e superfícies.

Figura 82: Iluminação direcional x escrever. Iluminação direcional valorizando a escultura

Fonte: Lighting with artificial light 1. Frankfurt, Fordergemeinschaft gutes licht, 1994.

Temos a memória da luz como vinda de cima, como a luz solar, e associamos à percepção dos objetos de maneira mais natural quando aparecem sob uma luz vinda de cima, seja bastante difusa, como um céu encoberto, seja direcional, como a radiação solar promovendo sombras acentuadas.

Figuras 85 e 86: Luz proveniente da esquerda e da direita. Luz proveniente da esquerda, direita, de cima e de frente

Fonte: Lighting with artificial light 1. Frankfurt, Fordergemeinschaft gutes licht, 1994.

Na figura abaixo podemos observar várias atividades, onde em cada uma o usuário não obstrui a luz e assim não provoca sombras no plano de trabalho; e a luz suavemente inclinada provoca sombras também curtas, que apenas revelam a textura dos diversos materiais; no entanto, uma luz exageradamente inclinada, ou quase paralela ao plano, como o sol do meio dia, cria sombras longas mais evidentes. Podemos observar este efeito na parede branca iluminada com a fonte de luz bem acima, e na imagem de baixo, com luz frontal. A direção de luz mais adequada vai depender dos objetivos da impressão que se deseja causar e atividades desenvolvidas nos ambientes.

Figuras 87 a 94: Luz com angulação faz perceber e destaca as texturas

Fonte: Lighting with artificial light 1. Frankfurt, Fordergemeinschaft gutes licht, 1994.

3.1.3.4 Temperatura de cor e rendimento de cor da luz

A **temperatura de cor**, medida em graus Kelvin (K), refere-se ao aspecto da aparência da tonalidade de cor da luz. Lâmpadas de diferentes temperaturas de cor têm diferentes distribuições espectrais. A definição segundo IESNA: *é a temperatura absoluta de um corpo negro cuja cromaticidade mais aproximada parece da fonte de luz*. Um corpo metálico em seu aquecimento, passa desde o vermelho até o branco.

Quanto mais claro o branco semelhante à luz diurna do meio dia, maior é a temperatura de cor, aproximadamente 6500K. A luz amarelada de uma lâmpada incandescente está em torno de 2700K. A aparência de cor da luz vai depender da composição do espectro da fonte.

Na figura ao lado, temos de cima para baixo, os espectros da lâmpada incandescente, da lâmpada fluorescente e, por último, da luz solar. Observamos que o mais aproximado da luz solar é o da lâmpada incandescente, muito embora notemos na fonte artificial um predomínio dos comprimentos de onda longos, enquanto que na luz do dia, observamos uma neutralidade com comprimentos mais equilibrados de ondas curtas. A aparência de cor da luz branca solar é diferente da aparência de cor da visão da abóbada celeste. A aparência da cor da luz solar varia de uma luz branca morna, ao amanhecer; branca fria, ao meio dia; e branca morna, ao entardecer. A aparência de cor da abóbada é outro dado, desde amarelada, azul ou laranja e magenta ao longo do dia.

Figuras 95, 96 e 97: Espectro da lâmpada incandescente, fluorescente e luz solar. Fonte: Palestra Light Fair, NY, 2007

O espectro da luz solar varia segundo a época do ano, hora do dia, situação do sol e estado atmosférico. A luz do meio dia é mais azulada (ondas curtas), reforçada pela visão da abóbada celeste, enquanto que no pôr do sol, vermelho alaranjado (ondas longas). Estatisticamente, na luz diurna existe um maior peso das radiações de ondas curtas. Para iluminação natural, nos projetos de normalização utilizam-se dois tipos de céu que se referem a uma composição espectral mais contínua, melhor definida da luz diurna:

D65: luz do dia com 6500K

D50: luz do dia com 5000K

Figura 79: Luz do dia e constante mudança da cor do espectro

Fonte: Palestra Michel Rohde- Light Fair-NY 2007

Precisamos saber o tipo de luz incidente sempre que quisermos falar com precisão sobre cores. Na figura abaixo, podemos comparar como a aparência de cor modifica a atmosfera de um ambiente. À esquerda uma capela, projeto de Luis Barragán, com luz de aparência quente, amarela do entardecer e intensificada em efeito por alguns vidros de cor âmbar do vitral, numa direção de luz restrita e tangencial à parede com textura rugosa. O efeito de luz e sombra é místico, fazendo flutuar a cruz em madeira. Em oposição a este efeito, o projeto do Instituto do Mundo árabe em Paris, de Jean Nouvel, trabalha com aço e vidro criando uma iluminação de aparência de cor fria, valorizada pelos materiais. Sensores internos acionam diafragmas que se abrem ou se fecham conforme a quantidade de luz externa incidente.

Figura 99 e 100: Luz dourada do entardecer na Capela de Barragán e luz branca fria no Instituto do Mundo Árabe, de Jean Nouvel.

Fonte: FUTAGAWA, Yukio. Light and space-modern architecture-vol. 2 Japan, AD.A. edita Tokyo co. Itda 1994

2700K

4000K

5000K

Figuras 101, 102, 103 :Variação da Temperatura de Cor:branco morno (2700K), branco neutro (4000K) e branco frio (5000K)

Fonte: Lighting with artificial light 1. Frankfurt, Fordergemeinschaft gutes licht, 1994.

No projeto de iluminação artificial, a escolha da temperatura de cor de uma fonte deve ser avaliada em função da predominância de cores dos materiais e do tipo de ambiência que se deseja obter, integrando-se ou se diferenciando da aparência da luz natural diurna.

Segundo o IESNA, o rendimento de cor é a medição do grau de mudança de cores que os objetos sofrem quando iluminados por uma fonte de luz, quando comparado com as cores dos mesmos objetos por uma fonte de referência de temperaturas de cores similares. Objetos iluminados podem nos parecer diferentes, mesmo se as fontes de luz tiverem idêntica tonalidade. As variações de cor dos objetos iluminados sob fontes de luz diferentes podem ser identificadas através do índice de reprodução de cores e sua escala qualitativa, ou IRC. É importante usar fontes de luz que apresentem elevado índice de reprodução de cores, para que se percebam as tonalidades e matizes de maneira o mais fiel possível, com IRC superior a 80% para a maior parte dos espaços onde são desenvolvidas as atividades.

Quando uma luz se chama branca, não se diz nada acerca da qualidade de sua composição espectral. As fontes de luz se diferenciam nas suas habilidades de reproduzir as cores dos objetos “corretamente”. O espectro completo da luz solar é considerado como 100% na reprodução das cores, assim como as lâmpadas incandescentes. O rendimento de cor ou índice de reprodução de cor é dado em porcentagem atingindo 100% quando o espectro é completo, ou seja, apresentam, de maneira equilibrada, todas as cores do espectro da luz.

Figuras 104 e 105: Rosa vermelha sob luz do dia e lâmpada vapor de sódio (abaixo).

Fonte: Lighting with artificial light 1. Frankfurt, Fordergemeinschaft gutes licht, 1994.

3.2 Exigências fisiológicas

3.2.1 Luz natural e saúde

Dentre os aspectos já conhecidos e julgados importantes para definir uma iluminação de qualidade, está a relação da luz com saúde, uma abordagem ainda pouco considerada pelos arquitetos e profissionais de iluminação. Segundo Mark Rea, do *Lighting Research Institute*, a boa luz é uma luz saudável. Isto significa dizer que um novo modelo de fotometria para o sistema circadiano deve ser desenvolvido e que até isto ser feito, seremos incapazes de reivindicar por uma boa iluminação que contemple a saúde humana.

A luz e a cor são importantes suportes de transmissão de saúde na arquitetura pela relação com o metabolismo humano. Cada tom de cor pode ser calculado em termos de som, pela frequência de propagação. O trabalho com iluminação integral deveria incorporar as qualidades de um design holístico, ao considerar o metabolismo da luz, terapia da cor, ciência médica e psicologia das cores.

Nosso organismo precisa de fontes de luz com espectro completo, isto é essencial. A luz do dia consiste no espectro completo, portanto precisamos do espectro completo da luz solar. A noite é um intervalo indispensável à renovação física, mental e emocional do ser humano e não pode, portanto, ser confundida ou transformada em dia. A Luz do sol jamais poderá ser obtida, em todas as suas características, pelas fontes artificiais. Dentre essas características estão a grande intensidade, a posição infinitamente distante que produz sombras em sentido sempre paralelo e que definem a plasticidade do ambiente iluminado, a capacidade de amplitude da área iluminada, a variação regular da tonalidade da luz, desde o amanhecer até o cair do sol, e a não participação da fonte de luz (sol) no ambiente iluminado.

Em 1912, Prof. Albert Jesionek estudou helioterapia com luz artificial. Nestes estudos procurou-se reproduzir as qualidades essenciais da luz do dia como parte dos conceitos de iluminação artificial, ou seja, as mudanças constantes e a variação em composição do espectro que vai se modificando conforme a posição do sol. A helioterapia, terapia com a luz do sol, tem sido usada para curar o LUPUs. Os raios ultravioleta ajudam na cura da anemia, raquitismo, em muitas doenças de pele e de cáries, na irradiação de fungos e bactérias.

As fotos mostram a relação direta entre a arquitetura moderna e a filosofia dos banhos de sol, e a máxima permeabilidade do edifício à luz solar, originada no clima temperado da Europa.

Figura 106: Solário do sanatório de Waibling, Wurttemberg 1926
Fonte: BEHLING, Sophia e Stephan. Sol Power. La evolucion de La arquitetura sostenible. Barcelona, ed. Gustavo Gilli, 2002, p. 157

Figura 107: Colônia Helioterápica em Lugano, 1938
Fonte: BEHLING, Sophia e Stephan. Sol Power. La evolucion de La arquitetura sostenible. Barcelona, ed. Gustavo Gilli, 2002, p. 157

3.2.2 Sistema circadiano

A física define luz como radiação ótica que entra na retina e fornece sensação visual. Entretanto, a luz não é só unicamente para a visão. Nossos ritmos químicos chamados circadianos (*Circa* = aproximadamente, *Dies* = dia) se repetem a cada 24 horas aproximadamente e correspondem ao dia solar que regula nosso relógio biológico interno. Fomos programados para ficar em ambientes externos, com luz do dia.

O corpo atinge uma temperatura mínima, uma hora e 1/5 antes de acordar. Receber luz neste período, antes de acordar, é importante para não atrasar o relógio biológico, serve inclusive para adiantar o relógio e passarmos a dormir mais cedo.

A luz regula o horário do sistema circadiano humano ao incidir na retina e informar o tempo e o dia para o relógio do cérebro. Os ritmos circadianos podem ser expressos em medidas de alerta, desempenho de uma tarefa, temperatura do corpo e os ciclos de dormir e acordar. A noite é um intervalo indispensável à renovação física, mental e emocional do ser humano e não pode, portanto, ser confundida ou transformada em dia. A Luz do sol jamais poderá ser obtida em todas as suas características pelas fontes artificiais. Dentre essas características estão a grande intensidade, a posição infinitamente distante, que produz sombras em sentido sempre paralelo e que definem a plasticidade do ambiente iluminado, a capacidade de amplitude da área iluminada, a variação regular da tonalidade da luz desde o amanhecer até o cair do sol, e a não participação da fonte de luz (sol) no ambiente iluminado.

Uma espécie de relógio mestre localizado no núcleo supraquiasmático regula estes ritmos circadianos. A glândula pineal produz serotonina e melatonina. A Melatonina regula padrões de sono, enquanto que a serotonina atua como anti-depressivo. Quando a luz atinge a retina a melatonina é inibida e a serotonina é estimulada, enquanto que na ausência de luz ocorre o inverso, a melatonina é estimulada.

A melatonina é um hormônio produzido durante a noite, na ausência de luz, pela glândula pineal (sistema nervoso central) e funciona como um transmissor circadiano para muitos outros sistemas regulatórios no corpo. A interrupção do ciclo circadiano da melatonina pode causar baixa qualidade de sono, ausência de reflexos e alerta, depressão sazonal, deficiências imunológicas, e talvez, o aumento do crescimento de um tumor maligno. A luz pode suprimir a produção de melatonina. Quando o sistema circadiano não receber estímulo externo de luz ele funcionará num período mais lento e ficará fora de sincronia com o ciclo dia e noite. Conforme o tempo de exposição o ritmo pode ficar acelerado ou retardado.

As necessidades e características da iluminação como quantidade, espectro, distribuição, tempo e duração, são diferentes para a visão assim como para a regulação circadiana e supressão da melatonina. A luz branca que ativa os ritmos circadianos é azulada e não amarela, ou seja, a luz biológica é a luz azul, que estimula inclusive a produção de colágeno. O sistema visual é muito mais sensível a comprimentos de onda mais longos das que afetam o sistema circadiano.

Determinadas iluminâncias permitem ver, pois conseguimos ver com índices muito baixos, desde a luz do luar, mas estes não ativam os ritmos circadianos. Níveis para ativar a melatonina são bem maiores do que para a visão. Muitas vezes, 500lux na mesa pode significar apenas 100 lux na retina. A maior parte das tarefas visuais requer de 300 a 500 lux na tarefa, aproximadamente 100lux nos olhos, afetando apenas periféricamente o sistema circadiano, o que provoca uma espécie de escuridão biológica. O corpo precisa estar em harmonia com seus ritmos para não ter prejuízos na qualidade do sono, ter sonolência durante o dia ou ainda depressão.

Para melhorar a visibilidade, pode-se aumentar o nível de iluminação, o contraste, ou tamanho do objeto, conforme a idade do usuário. Num ambiente de escritório, por exemplo, podem-se adotar os valores recomendados de 300 a 500 lux, mas na tarefa, pelo menos 1000lux para ativar também os ritmos circadianos. Por esta razão se torna tão importante usar camadas ou sistemas diferenciados de iluminação, inclusive pela necessidade de racionalização energética: luz geral e luz complementar na tarefa. Nossa visão é vertical, ou

seja, percebe os planos verticais e isto aumenta a percepção de claridade do espaço. Em ambientes com janelas não é incomum níveis que os fotoreceptores excedam 300lux nos olhos. Muitas pessoas que trabalham à noite são expostas a níveis altos de iluminância, 2500lux, pois isto aumenta a atividade cerebral e produtividade.

Figura 108: Variações de cortisol, melatonina, estado de alerta e temperatura do corpo ao longo do dia

Fonte: Palestra Michel Rohde- Light Fair-NY 2007

Segundo Mariana Figuero, arquiteta e pesquisadora do *Lighting Research Institute*, a ausência de melatonina está associada a determinados tipos de câncer. Pessoas com mal de *alzheimer*, que não conseguem dormir bem, podem receber as 6:00h da tarde exposição de luz azul, por duas horas, ou 1000lux na córnea, ou ainda luminária com led azul durante uma hora. É bom uma hora de exposição a 30 lux de diodos azuis pela manhã. A supressão noturna da melatonina não pode ser apenas prevista pela supressão do estímulo da luz.

A sensibilidade do núcleo supraquiasmático²⁰, para a estimulação fótica recebida através da região retino-hipotalâmica, muda através das 24 horas do dia. Acredita-se que a combinação de clássicos foto-receptores (cones e bastonetes) e melanopsina²¹ contendo células ganglionares da retina participem na foto-transmissão circadiana, com a sensibilidade entre 440 e 500nm. É ainda desconhecido, contudo, se a sensibilidade espectral do sistema circadiano também muda através do dia sob a luz solar. Supõe-se que a sensibilidade do sistema circadiano se modifique também à noite, embora ainda não se possa afirmar, com certeza, com aumento no limiar dos alvos visuais que são aparentemente mais baixos antes do escuro, e mais altos antes do amanhecer.

²⁰ O núcleo supraquiasmático é responsável pela regulação das secreções hormonais.

²¹ A melanopsina é um fotopigmento encontrado em fotoreceptores da retina que estão envolvidos na regulação dos ritmos circadianos, do reflexo da pupila e outras respostas não visuais à luz.

3.2.3 Ergonomia e produtividade

As necessidades humanas quanto à iluminação variam conforme o tipo de atividade que está sendo realizada no espaço, desde o estado de repouso. É preciso entender, por exemplo, as características do organismo humano que interferem no desempenho do trabalho. É necessário entender a capacidade de adaptação do organismo a partir de aspectos importantes como a monotonia, a fadiga e motivação. A monotonia e fadiga presentes em todos os trabalhos podem ser controladas e minimizadas, a partir de ambientes mais interessantes e motivadores. O homem responde aos estímulos do seu ambiente.

Características diferenciadas como idades, sexo e necessidades especiais se tornam um parâmetro importante, ou seja, o homem padrão, de 20 ou 30 anos deixa de ser o modelo para se incorporar a outros segmentos atuantes no mercado de trabalho.

Sabe-se que, em determinados tipos de dias e horários nosso organismo se mostra mais apto ao trabalho, com melhor rendimento e menores riscos de erros ou acidentes. Alguns fatores são da própria natureza, como os ritmos circadianos, e outros são realizados pelo homem como nos treinamentos.

Nosso organismo apresenta variações em suas funções fisiológicas com um ciclo aproximado de 24 horas. A temperatura interna do corpo, por exemplo, sofre variações de 1,1°C a 1,2°C durante o dia, variando de 36,2°C a 37,4°C, apesar das diferenças individuais. A temperatura começa a subir por volta das 8 horas da manhã, e mantém-se elevada até as 22 horas, quando começa a cair, atingindo o mínimo entre 2 e 4 horas da madrugada, subindo novamente para fechar o ciclo.

Segundo pesquisadores do *Lighting Research Center (NY)*, a luz do dia pode afetar a produtividade do trabalhador, pois estudos na fotobiologia circadiana sugerem que a luz tem um papel de regulação no comportamento humano, incluindo o ciclo de dormir e acordar, além de depressão sazonal.

Um exemplo conhecido é que nos países de latitude norte, no inverno, a ausência de luz natural nos espaços tem um impacto negativo na produtividade do trabalhador durante as horas de trabalho. Um estudo feito pelos pesquisadores Mariana FIGUERO e Mark REA, em edifício de escritórios relaciona ocupação e tipo de comportamento em amostras iguais de funcionários em escritórios com janelas comparando com outras fechadas em salas internas e, durante o inverno. “Apesar de a ocupação ser idêntica, os trabalhadores dos

escritórios com janelas gastaram mais tempo em tarefas de computador e menos tempo falando ao telefone do que os funcionários em salas sem janelas. Estes conversavam mais, ao telefone também e saíam mais vezes, talvez numa tentativa inconsciente de sincronizar o ritmo circadiano.” É impossível analisar produtividade diretamente, podendo-se observar apenas questões de comportamento, como se estão envolvidos nas suas tarefas, falando menos ao telefone ou se levantando menos, por exemplo.

Segundo estes, a causa raiz destas descobertas permanece desconhecida, mas os resultados são coerentes com a hipótese de que o brilho da luz, durante o dia, aumenta a produtividade nos meses de inverno. Pela manhã, as pessoas em ambientes com janelas, podiam receber 300 a 500 lux na córnea. As pessoas que trabalhavam em salas sem janelas não estão expostas a iluminâncias maiores que 100lux nos olhos. Segundo FIGUERO, esta espécie de “escuridão biológica” pode promover estímulo insuficiente para a sincronização do ritmo circadiano da pessoa. *A preferência das pessoas por ambientes com luz natural pode ter base na regulação circadiana.*

Observou-se também que nas salas sem janelas, além da iluminação geral, 61% usavam luz complementar nas mesas, enquanto que nas salas com janelas, 40%. As iluminâncias encontradas foram de 10 a 603 lux nas mesas, com 11 a 367 lux nos olhos (iluminância vertical); e nas salas com janela de 41 a 2390 lux (com 73 a 1105 nos olhos). Os dados foram compatíveis com as normas IESNA que consideram para escritórios internos 300 a 500 lux, e para externos, com janelas, de 1500 a 2600 lux.

3.2.4 Estímulo fisiológico da luz e cor

As cores derivadas da luz são compostas por fótons. Fóton é a menor e mais elementar partícula de luz em feixe delgado de energia luminosa. Essas partículas podem ser vistas quando em grande quantidade e chocam-se com o olho humano. Quanto mais brilhante a fonte luminosa, maior o número de fótons produzidos em uma dada unidade de tempo.

O homem para sobreviver precisa de água e alimento, assim como necessita de luz e cor.

Figura 109 : Representação das cores num círculo: variações do espectro visível pelo olho humano. Fonte: KUPPERS, Harold. Fundamentos de La teoria de los colores. Barcelona, Ed. Gustavo Gili SA, 1992.

“No ser humano, o comprimento de onda de luz corresponde à determinada cor e tem a propriedade de decompor pigmentos específicos que se encontram nas vesículas dos neurônios chamados *cones*, situados na retina e responsáveis pela visão das cores. Esta decomposição ocorre com maior ou menor intensidade, segundo o comprimento de onda, provocando reações físicas e psicológicas. Por este motivo, temos efeitos excitantes ou depressores provocados por algumas cores. Levantar dados relacionando a preferência por cores e a personalidade, ou sobre estados emocionais, não é mera especulação, mas ciência fundamentada.”²²

A cor do ponto de vista estético está ligada à arte, moda e decoração. A cor entretanto, é também um elemento vital para a sobrevivência. O uso da luz colorida, de forma consciente, para nosso sentimento de bem estar é uma nova perspectiva para arquitetos, *lighting designers* e fabricantes. Usar cor e luz nos ambientes pode ir além da solução da luz decorativa, pois através do uso da luz colorida saudável cada comprimento de onda pode interferir especificamente em determinados aspectos do metabolismo humano.

Segundo as pesquisas da antropóloga Christine Ladd Franklin, o homem das cavernas só via em preto, branco e cinza. Como viviam mais tempo refugiados nas cavernas sem luz natural, isto dificultava a formação de pigmentos sensíveis e diferenciados para a visão das cores. A descoberta do fogo e armas permitiu maior vivência à exposição solar e possibilitou o aperfeiçoamento dos neurônios cones.

Figura 110: Arco íris

Fonte: MILLET, Marietta S. Light revealing architecture. NY, Van Nostrand Reinhold, 1996.

²² In FRANCKOWIAK, Irene Tiski. Homem, comunicação e cor. São Paulo, Ed. Icone, 1997, 3ª edição. Pág. 106

3.2.4.1 Reações fisiológicas x emocionais

“A primeira sensação de cor, antes de sua interpretação intelectual, acontece no sistema límbico, estritamente relacionado com a vida vegetativa e emocional. A energia eletromagnética da cor interage com as glândulas pituitária, pineal e hipotálamo. Estes órgãos regulam o sistema endócrino e as funções dos sistemas nervosos, simpático e parassimpático, como fome, sede e sexo.”²³

Pesquisadores como Harold Wohlfarth, presidente da academia alemã de ciência da cor e fotobiólogo da Universidade de Alberta, no Canadá, afirma que as minúsculas partículas de energia eletromagnética que formam a luz, afetam um ou mais neurotransmissores do cérebro. Os Neurotransmissores são substâncias químicas que transmitem mensagens de nervo para nervo e de nervo para músculo. A luz, ao atingir a retina, influencia a síntese da melatonina que, por sua vez, provoca a síntese da serotonina, um neurotransmissor que atua no sistema nervoso central inibindo ou ativando a ação dos neurônios do hipotálamo e sistema límbico, modificando os aspectos emocionais e motivacionais físicos e psicológicos. Isto ocorre porque a rede de cones e bastonetes é de alta convergência nos corpos geniculados do sistema límbico, onde entram em conexão com grande número de neurônios de outras regiões talâmicas e adjacências.

Figura 111: Roda das Cores Pigmento: Primárias: vermelho, amarelo e azul; Secundárias: combinação de duas primárias; Terciárias: combinação de uma primária e secundária adjacente

Fonte: KUPPERS, Harold. Fundamentos de La teoria de los colores. Barcelona, Ed. Gustavo Gili SA, 1992, pag.161

O vermelho pode ser dosado para eficiência nos desempenhos físicos e competitivos em estádios esportivos. Neste caso, sua distribuição deve seguir regras científicas de disposição, ser reguladas no tempo e espaço dirigida para determinado grupo no qual se deseja a mudança de comportamento, pois excitabilidade em excesso pode gerar violência.

²³ ROUSSEAU, René-Lucien. A linguagem das cores. Energia, simbolismo, vibrações e ciclos das estruturas coloridas. São Paulo, ed. Pensamento, 1995.

Não se recomenda usar como cor dominante em locais de trabalho de periculosidade que exigem extrema atenção e concentração.

As cores intensas, de longos comprimentos de ondas intensificam a circulação sanguínea e agem sobre a musculatura no sentido de aumentar sua força. A exposição dos indivíduos a uma sequência gradativa de azul, verde, amarelo, laranja antes da competição, aumentou a força muscular do grupo experimental. O azul não deve ser usado em ambientes cujas pessoas tenham tendência à depressão. Esta recomendação vale para a cor violeta, pois ambas têm a propriedade de agravar os estados depressivos destes pacientes que necessitam da ação estimulante e excitante das cores vermelho e laranja.

Enquanto o amarelo desperta a fome, o vermelho faz comer rápido. Em locais que se deseje uma permanência prolongada o azul pode contribuir, entretanto pode receber a contribuição do vermelho e magenta associados em detalhes ou elementos do ambiente para despertar a sensualidade e as emoções. Esta ambiência pode ser mais ainda intensificada se a luz não for direta, quente e localizada em pontos estratégicos.

COR	TEMPO DE PERCEPÇÃO	COMP. DE ONDA	PRESSÃO ARTERIAL E BATIMENTOS CARDÍACOS	ESTÍMULOS	COMPORTAMENTO	ÓRGÃOS
VERMELHO:	0,02 seg	Longas de maior intensidade	elevação	Atua fortemente excitando	Acelerar; Em alguns casos inquietação e agressividade	Interfere no SN simpático responsável pelos estados de alerta, ataque e defesa
AZUL:	0,06 seg	Ondas curtas de intensidade fraca	redução	Atua nos neurônios com mais suavidade ajudando no equilíbrio destes	Relaxar; Em alguns casos depressão	
AMARELO AVERMELHADO	0,1 seg					Atua nas funções metabólicas e de homeostase hipotalâmica despertando a fome e modificando as atividades gástricas
BRANCO						

Tabela 7: Relação de cores e fisiologia

Fonte: ROUSSEAU, René-Lucien. A linguagem das cores. Energia, simbolismo, vibrações e ciclos das estruturas coloridas. São Paulo, Ed. Pensamento, 1995.

As respostas emocionais de ódio, amor, dor e prazer têm origem no grupo de núcleos que formam o sistema límbico. Por este motivo, a interferência fisiológica e psicológica das cores é uma realidade.

Existem estudos associados às cores e ao tempo de permanência das pessoas nos lugares. Por exemplo, num restaurante com crianças, o amarelo avermelhado diluído em outras cores relaxantes no teto e paredes levam a uma permanência de duas horas média.

O branco é o símbolo da paz e representa a pureza e higiene. Sua atuação no sistema nervoso é diferente, pois a cor branca é a superposição de todas as comprimentos de onda, refletindo mais nitidamente todos os outros, e por este motivo pode atuar tão irritantemente como o vermelho. Expõe o ser humano a um maior número de estímulos que podem cansá-lo em um curto espaço de tempo. O branco não é adequado portanto para salas de aula e quartos de repouso, a não ser diluído em um pouco de azul ou acinzentado fosco. O branco brilhante pode impedir o doente de repousar e lhe transmitir intranquilidade. Provoca a dispersão da atenção e ofuscamento.

Tons azulados em quartos de descanso são bons, pois a radiação espalhada é maior, sem a concentração excessiva de luminosidade. O espalhamento da radiação azulada representa uma iluminação mais uniforme e harmônica.

3.2.4.2 Iluminação e comportamento

A Iluminação influencia o comportamento humano, aumenta o estado de alerta e atenção e pode ser usada para orientação e circulação. Por exemplo, as pessoas têm tendência em seguir a direção de iluminância mais alta, o que demonstra a noção que a distribuição da luz pode ser usada para direcionar a circulação ajudando a encontrar o caminho, ou ainda como direcionador de atenção. É evidente que outros fatores espaciais são motivadores, mas estamos falando de maneira isolada.

Pesquisas mostraram, que “a escolha dos lugares numa cafeteria evidenciou que as pessoas escolhiam locais próximos às áreas brilhantes”.²⁴ Em salas de aula, o destaque para o quadro aumenta a concentração. “Uma significativa redução no nível de som no hall

²⁴ Lighting Handbook. IES – Illuminating engineering society of North América, New York, 1981. p. 3-41

de uma escola foi registrado quando o nível de iluminância estava baixo e pelo contrário, reações com som alto associadas a iluminâncias mais altas. Outras pesquisas investigam possíveis interações entre iluminâncias e outras variáveis com seus efeitos no desempenho humano.”

“Mas geralmente em trabalhos à noite, a exposição a uma luz brilhante tem mostrado um aumento na temperatura do corpo e da atividade cerebral associada com o aumento do estado de alerta”.

A luz pode contribuir para estados físicos mais apropriados para o desenvolvimento de atividades diversas.

- **Repouso** atividade mental de baixa intensidade: a luz deve propiciar tranquilidade e relaxamento. Iluminâncias mais baixas, poucos ou sem contrastes, aparência de cor mais baixa, branco morno (2700K).
- **Atividade mental:** A luz deve contribuir para atenção na tarefa ou contemplação. Iluminâncias médias, em função da precisão, mais uniformidade, poucos contrastes, equilíbrio na distribuição dos contrastes, aparência de cor branco neutro (4000K). Estudos recentes têm demonstrado que os ritmos circadianos são mais estimulados com temperaturas de cores mais altas, 8000K, por exemplo, mais próximos da visão de um céu azulado.
- **Atividade física:** A luz deve provocar estímulos, excitação. Iluminâncias mais altas. Conforme o tipo de atividade física, os contrastes nas superfícies podem ser estimulantes, embora mantendo a uniformidade na área do campo visual da atividade; aparência de cor mais alta, branco frio (5000K/8000).

3.3 Conforto luminoso

A definição de conforto luminoso mais comum se refere aos aspectos de condições confortáveis para a visão, como foi abordado ao tratar das exigências visuais. Entretanto, entendemos que o conforto luminoso inclui as necessidades humanas não visuais da luz, mas fisiológicas, que interferem no bem-estar, produtividade e saúde, como foi descrito anteriormente.

3.3.1 Quantidade x qualidade

A quantidade de luz para ver com clareza e desenvolver uma determinada atividade com conforto vai além dos níveis recomendados em nossa norma NBR 5413. é preciso incluir dados para se obter uma luz considerada saudável. os níveis de luz que se recomendam para estimular os ritmos circadianos estão além dos recomendados para atender à visão, indo contra, aparentemente à necessidade de racionalização energética e sustentabilidade. É possível obter iluminâncias apropriadas com luz natural e este é um grande desafio, pois o controle da luz, no tratamento das envoltórias poderá permitir aumentar iluminâncias médias sem acréscimo de calor nos ambientes.

Figura 112 : Sistema zenital de controle da luz para evitar a radiação direta no ambiente.

Fonte: BEHLING, Sophia e Stephan. Sol Power. La evolucion de La arquitectura sostenible. Barcelona, ed. Gustavo Gilli, 2002.

Com relação aos aspectos qualitativos que contemplem as exigências visuais e não visuais, digamos assim, temos que considerar que ambientes saudáveis deverão receber luz natural, e que conforto luminoso está associado à radiação de espectro completo, a que nosso metabolismo está condicionado. Em ambientes de menor permanência, onde não há entrada de luz natural, a luz artificial deverá apresentar fluxo luminoso e espectro compatível com as atividades desenvolvidas, seja para repouso ou qualquer outra movimentação.

3.3.2 Campo visual e o espaço da arquitetura

Dimensão angular visual é o ângulo gerado por duas retas com origem no olho do observador, as quais tangenciam o objeto observado em suas extremidades. No momento em que o objeto estiver contido no ângulo descrito e suas extremidades tangenciadas pelas

retas que o formam, ele poderá ser visto, razão pela qual as pessoas, instintivamente, ao observarem determinado objeto o afastam ou aproximam dos olhos objetivando colocá-lo, com exatidão, entre as linhas que o tangenciam.

Para o entendimento de conforto luminoso, propomos expandir o conceito restrito de campo visual, uma vez que nossos olhos passeiam desde a atividade desenvolvida até os limites do ambiente, ou mais além da paisagem que se observa neste campo visual. Desviar um pouco o olhar de uma atividade é uma resposta fisiológica, pois a musculatura esponjosa do cristalino relaxa quando o olhar não foca um ponto restrito. É como olhar a linha do horizonte ou uma paisagem. Desta forma, se o campo visual se amplia, o entendimento de ofuscamento causado muitas vezes por contrastes excessivos de luminâncias, por exemplo, deve considerar não só o campo visual restrito, mas o campo visual expandido até a visão periférica que pode ser percebida.

3.3.3 Integração da luz natural e artificial

A incidência direta de luz solar traz o ganho térmico e provoca perturbações visuais; a sensação de claridade do ambiente é determinada não apenas pela intensidade da luz, mas também pelas distâncias, índice de reflexão das superfícies envolventes em escalas diferentes. A iluminação natural só será efetiva até uma profundidade de duas vezes a altura da janela, acima do plano de trabalho. O excesso de áreas envidraçadas são problemáticas, causando ofuscamento, pois mesmo que o sol não atinja a janela diretamente, mostra grandes áreas de claridade no campo visual, causando desconforto.

Em muitos casos, a iluminação artificial suplementar cria condições adequadas de trabalho, pois é muito difícil resolver apenas com luz natural, pela natureza dos programas arquitetônicos e compartimentação das salas. Em dada situação de luz natural temos condições de avaliar os contrastes de luminâncias, identificar pontos de desconforto e corrigi-los, seja com a iluminação artificial complementar ou controle da entrada de luz natural. Se o ambiente tem uma iluminância excessivamente alta, proveniente de uma fachada do ambiente, uma solução para evitar o desconforto, seria aumentar a iluminância nas áreas opostas às aberturas para atenuar o contraste de brilhos. Esta solução corrige as exigências de conforto visual, no entanto, força o uso de iluminação artificial operante que vai contra todo discurso de economia e racionalização de recursos. O controle efetivo da luz natural poderia propiciar qualidade ao ambiente, e a partir daí, o uso de iluminação artificial apenas complementar realmente.

Para um entendimento e análise dos efeitos combinados da luz natural e artificial é importante compreender a qualidade obtida com a luz natural através da sua distribuição no espaço. A luz artificial, durante o dia, tem na maioria dos tipos de espaço uma função complementar que nem sempre oferece flexibilidade para acionamentos diferenciados, o que força ao acionamento total da iluminação, mesmo que desnecessária e um desperdício adicional de energia elétrica. Se desejamos que uma iluminação artificial dê a sensação de luz branca do sol, podemos empregar uma fonte de luz azulada.

Alguns momentos, ao longo do dia, podem exigir o acionamento de sombreadores como cortinas ou persianas que, acionados logo na parte da manhã, podem criar um comportamento de inércia, em que, já com uma situação confortável e “resolvida” as pessoas tendem a não mudar de atitude e abrir as cortinas após a radiação ou excesso de luminância ter desaparecido. Acreditamos que o ideal seria não termos necessidade de cortinas internamente, entretanto elas representam também uma possibilidade de controle individualizado para o usuário e pode assegurar privacidade, o que significa também qualidade.

A análise do fator de luz diurna (FLD) é importante dado para compreender a quantidade de luz incidente dentro do ambiente, em áreas distintas, o que torna possível definir estratégias de controle de iluminação artificial. Estas áreas ou zonas podem ser divididas de acordo com as características de distribuição de luz, a proximidade dos valores de FLD, ou mesmo outros valores e critérios do projeto, não existindo uma regra única.

Segundo Robbins,(1986) para a determinação do controle de do sistema de iluminação artificial, o ambiente deverá ser dividido em zonas de iluminação em função das diferenças de luminâncias. O autor recomenda que dentro de uma mesma zona o ponto com a iluminância máxima não exceda, em intensidade luminosa, mais que três vezes em relação ao ponto com iluminância mínima. Para a relação de iluminância entre a tarefa e a iluminação de fundo aconselha contrastes de 3:1, 6:1 e 9:1. Entretanto, segundo o autor, esta regra poderá ser estendida para outras proporções dependendo da tarefa visual executada no ambiente. Se a proporção de luminância em uma mesma zona for maior que 9:1, entre o ponto máximo e mínimo, o método recomenda a divisão desta zona. Se a princípio pode ter um custo inicial maior, defende, representa uma economia futura e maior possibilidade de controle. Para determinar a melhor estratégia de projeto é necessário avaliar o desempenho, comparando sempre o custo inicial e custo de manutenção ecom o consumo de energia elétrica.

Para muitos projetos, um modelo em escala e a simples observação da luz do dia e sua distribuição podem ser observadas. A avaliação do desempenho da luz natural não é o principal neste estágio, e sim a distribuição. Zonas de iluminação em um espaço ligam áreas com as mesmas características de iluminação. Deve-se olhar para modelos de desempenho que possam ser agrupados em zonas de luz, não para iluminância de tarefas ou para variações de iluminâncias ao longo do ano. Dentro de uma zona, o valor máximo e mínimo deve ter uma diferença de 3 vezes. Isto assegura um razoável e aceitável contraste dentro da zona, contudo algumas variações podem ocorrer, dependendo de uma iluminância mais elevada em área de uma tarefa visual crítica. Podem-se prever inclusive estratégias de controle automático para cada zona.

Na Inglaterra, uma aproximação para determinar zonas de luz, foi denominado: *permanent supplementary artificial lighting of interiors, ou PSALI*.²⁵ A Iluminação artificial suplementar permanente em interiores (IASPI), faz parte de um sistema que integra a iluminação artificial à natural, de modo complementar, durante o dia, nas áreas das tarefas visuais. Procura eliminar áreas sombreadas indesejáveis e adequar as luminâncias internas para minimizar os ofuscamentos decorrentes da visão do céu através de janelas. O ofuscamento com iluminação natural pode ser eliminado através da redução da área visível do céu. Como decorrência da diminuição das janelas e uso da iluminação suplementar, o consumo de energia é reduzido, já que a iluminação artificial durante o dia é restrita ao fundo das salas; além do mais, a carga térmica incidente nas aberturas é menor e o condicionamento térmico do ambiente é minimizado.

A iluminação complementar aplicada nas zonas periféricas das áreas naturalmente iluminadas preserva o caráter da iluminação diurna. Esta associação também gera benefícios qualitativos na iluminação de tarefas e no conforto visual dos ambientes. Entendemos que a iluminação artificial suplementar pode ter um desenho diferente no espaço, não correspondendo às luminárias comuns, ou as que ficam acesas durante a noite obrigatoriamente.

O tamanho de uma zona depende do ambiente, das condições de céu e da orientação e dimensões das aberturas. Nos países de céu em que predomina o encoberto, as zonas são estabelecidas pelo fator de luz diurna, para este tipo de céu, entretanto, em países com a predominância de céu claro ou parcialmente encoberto, é recomendável

²⁵ HOPKINSON, R. G., PETHERBRIDGE, P. LONGMORE, J. *Iluminação Natural*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1966.

estimar nos solstícios de verão, inverno e equinócios. Os equinócios de primavera e outono terão padrões de distribuição parecidos, podendo-se então escolher um deles para análise. Para expressar o máximo e o mínimo, considerar verão e inverno pois, para alguns, casos o típico não é representativo. Recomenda-se considerar dois períodos do dia, três horas antes ou depois do meio dia. Para estas variações de situações, os *softwares* são recursos valiosos de visualização.

A definição das zonas varia de caso para caso, pois não existe certo ou errado, dependendo dos objetivos e características da distribuição da luz no ambiente e suas funções. Não são os pontos mais altos ou baixos que caracterizam uma zona. Se o ponto de partida for o alto, teremos um complemento mais baixo, podendo deixar zonas escuras, e o contrário também. O ponto de partida deverá ser um ponto médio da zona. Este ponto não tem que ser o central na abertura. Existem recomendações de onde se colocar o fotosensor na sala ou zonas de luz. As zonas que não podem são assumidas como não iluminadas pela luz do dia, para objetivos de medição das exigências de iluminação artificial. Para a luz do dia ser capaz de substituir a luz elétrica, sua disponibilidade deve ser igual ou maior do que a iluminância planejada.

- Com relação à iluminação artificial, as recomendações são as seguintes:

1. Definir o layout das luminárias para complementar a luz do dia e iluminar o espaço quando a luz do dia for insuficiente ou inadequada;
2. escolher o tipo de lâmpada apropriada para a luminária (eficiência) e que complemente a luz do dia do espaço (IRC, temp. de cor);
3. escolher os reatores e equipamentos auxiliares apropriados à estratégia de controle e tipo de lâmpada escolhida.

- **Tipos de controle da iluminação artificial para as zonas:**

1. Automação ligar e desligar, usada em zonas com iluminâncias acima da média pretendida a maior parte do tempo;
2. Automação passos de acendimento, conforme o número de lâmpadas nas luminárias que são controladas, podendo-se ligá-las independentes:

Os Controladores de dimmerização são disponíveis em ambas. As estratégias podem ser iguais ou diferentes para as zonas. Os sensores de luz e dimmerização são mais utilizados do que acionamento parcial da luminária que interfere na estética destas, quando o sistema

está parcialmente acionado. Um sistema de controle elétrico apropriado para iluminação artificial deve considerar dois pontos importantes, desde um controle integrado para as zonas de iluminação até uma estratégia de controle automático para cada zona. A integração entre as zonas deve levar em conta a iluminação necessária na área de trabalho e a iluminação geral com proporções e contrastes adequados aos objetivos do projeto, para evitar o cansaço visual, por exemplo, em ambientes de trabalho com contrastes muito fortes.

Do ponto de vista prático e comportamental, é difícil assegurar que o acionamento manual seja feito corretamente. Só com automação é possível assegurar que a iluminação esteja desligada quando não seja necessária.

A Luz elétrica pode ser usada para suplementar a luz do dia, quando a luz do dia disponível for maior que a mais baixa iluminância média, que o sensor no sistema de controle aceitará ligando todas as lâmpadas na zona de controle. Ele não está de acordo com sobrepor iluminâncias durante a hora. É o ponto no tempo onde a iluminância da luz do dia está abaixo ou ultrapassa o planejado.

Todo esse planejamento é importante para testar, a princípio, a eficiência de dado projeto em termos de frequência no acionamento da iluminação artificial no tempo, assim como o método de ALUCCI, entretanto sabemos que não é só a disponibilidade da luz diurna que irá determinar que o sistema de iluminação artificial seja acionado. Depende de variáveis associadas à qualidade, assim como aspectos da percepção.

3.3.4 Fadiga visual

É causada principalmente pelo esgotamento de pequenos músculos ligados ao globo ocular, responsáveis pela movimentação, fixação e focalização dos olhos. Provoca tensão e desconforto, os olhos ficam avermelhados e começam a lacrimejar e a frequência de piscar vai aumentando, e muitas vezes, a imagem perde a nitidez e se duplica. Em grau mais avançado pode provocar dores de cabeça, náuseas, depressão e irritação.

Raramente a fadiga visual se refere à dificuldade de percepção visual, sendo causada pelos seguintes fatores:

- Iluminação insuficiente, pouco contraste
- Iluminação desconfortável, com brilhos e ofuscamento (direto ou por reflexos indesejados);

- Necessidade de fixar detalhes, pois objetos muito pequenos exigem grande esforço dos músculos para acomodação e convergência;
- Objetos em movimento exigem maior ação muscular para serem focalizados

Além da iluminação adequada à visualização do objeto, a iluminação do fundo do ambiente deve permitir um descanso visual durante as pausas de uma atividade e aliviar o mecanismo de acomodação. Nossos olhos passeiam pelo ambiente e nosso campo visual não deve ser considerado de forma tão restrita.

A idade afeta a fadiga visual, pois o poder de acomodação para focalizar objetos próximos, reduz-se gradativamente devido ao endurecimento das lentes do cristalino. A distância de focalização aumenta com o tempo e a partir dos 45 anos quando o foco ultrapassa 25cm, indo para 60cm, (conhecido popularmente como vista curta); o esforço para focalizar pequenos detalhes vai se tornando cada vez maior. Com a idade, também ocorre uma redução do tamanho da pupila, diminuindo a quantidade de luz que penetra nos olhos. Para a mesma quantidade de luz que penetra nos olhos, diminui 1/3 quando passa de 20 para 60 anos. Além disto, ocorre a perda da transparência interna dos olhos. Isto significa que as pessoas idosas precisam de mais luz para prevenir a fadiga visual.

A velocidade e precisão na discriminação de pequenos detalhes se reduzem já a partir dos 30 anos e a sensibilidade diminui na faixa da luz azul.

3.4 Normas e recomendações

Conforme as atividades desenvolvidas, a quantidade e qualidade de luz podem interferir, inibindo ou estimulando nosso metabolismo a nosso favor ou do que pretendemos fazer. Abordamos as necessidades de iluminação levando em conta os tipos de atividades e a luz artificial complementar como parte integrante da luz dos ambientes durante o dia. Para simular a incidência da luz natural, as luminárias próximas às janelas podem ter fecho assimétrico voltado para a sala. Além disto, as linhas de luminárias podem ser acionadas em diferentes circuitos para permitir a graduação em várias situações de luz natural, o que representa economia de energia. Se o lay out é informal, é importante um cuidadoso planejamento da iluminação, pois com o mobiliário flexível, a organização do sistema de iluminação não deverá ser direcional.

3.4.1 Ambientes para o trabalho: escritórios

3.4.1.1 Iluminâncias

As Normas se referem aos níveis de iluminação para as atividades como valores mínimos e médios conforme as exigências específicas. Dentre os países que possuem normas específicas de iluminação natural podemos citar a Alemanha (DIN 5034-1985), a Inglaterra (BSI DD 73-1982) e a Argentina (IRAM-AADL J 20-02, 1969), com documentação bem mais abrangente que as normas brasileiras (ABNT). A *CIE – Comissão Internationale de L'Eclairage* tem servido de referência para a maioria dos trabalhos técnicos sobre iluminação natural.

De uma maneira geral, nos locais de trabalho se recomenda de 200 a 600 lux, aconselhando-se usar iluminação localizada quando houver necessidade, de até 2000lux. Além da economia de energia, o foco sobre o trabalho ajuda a aumentar a concentração do trabalhador sobre a tarefa. Intensidades muito altas podem até perturbar, por exemplo, tecidos e irregularidades são mais visíveis em uma iluminação mediana do que em uma alta intensidade de iluminação. Podemos concluir então que o aumento do nível de iluminação acima de certo nível crítico é desnecessário, representando desperdício de energia, sem o aumento correspondente na produtividade. Além disto, níveis acima de 1000 lux favorecem o aparecimento da fadiga visual.

Iluminância preferidas em escritórios		
Pesquisador	Iluminância média preferida no plano de trabalho	
	Iluminância - (lux)	Luminância (cd/m ²)
Balder, 1957		130
Bodmann, 1962-67	700-3000	90-380
Saunders, 1969	800-1000	
Bean & Hopkins, 1980	> 200	
Nemecek & Grandjean	400-850	

TABELA 8: Iluminâncias preferidas em escritórios

FONTE: IES. (Illuminating Engineering Society of North America)P 3-39

ILUMINÂNCIAS RECOMENDADAS PARA ESCRITÓRIOS	
Atividades	Em (lux)
Registros, cartografia, etc.	750 – 1000 - 1500
Desenho, engenharia mecânica e arquitetura	750 – 1000 - 1500
Desenho decorativo e esboço	300 – 500 - 750

Tabela 9: Iluminâncias recomendadas para escritórios
 Fonte: NBR 5413 – Iluminação de Interiores

Para cada uma das classes correspondem três faixas de iluminâncias, possibilitando a inserção dos tipos de atividades em função de fatores discriminados na tabela 2 (fatores determinantes da iluminância adequada) da norma citada:

- Idade de quem executa a tarefa visual: com o tempo, a pupila começa progressivamente a ficar menor, e a lente do cristalino torna-se menos transparente. Por exemplo, uma pessoa de 50 anos para fazer a mesma tarefa, tendo a mesma quantidade de luz na retina, precisará de duas vezes mais do que uma pessoa de 20 anos; e aos 60 anos, é necessário cinco vezes mais do que um com 40 anos;
- a velocidade e precisão inerentes à tarefa a executar são importantes;
- Luminância do fundo da tarefa.

Características da tarefa e do observador	Peso		
	-1	0	+1
Idade	Inferior a 40anos	40 a 55 anos	Superior a 55 anos
Velocidade e Precisão	Sem importância	Importante	Crítica
Refletância do fundo da tarefa	Superior a 70%	30 a 70%	Inferior a 30%

Tabela 10: Fatores Determinantes da iluminância adequada

Fonte: ABNT/ NBR 5413

ILUMINAÇÃO INTERNA PARA LOCAIS DE TRABALHO				
Tipo de Ambiente, Tarefa, Atividade	Em (Lux)	UGRL	IRC	Observações
Copiadora, circulações	300	19	80	
Escrever, digitar, ler, processar dados	500	19	80	Para uso de computadores
Desenho técnico	750	16	80	
Estação de trabalho CAD	500	19	80	Para uso de computadores
Sala de reuniões e conferências	500	19	80	Iluminação deveria ser controlada
Mesa da recepção	300	22	80	
Arquivos	200	25	80	

Tabela 11: Iluminação Interna para Locais de Trabalho
Fonte: CIE S 008/E-2001

Apesar da extrema capacidade de adaptação do olho humano às mais variadas condições de iluminação, é preciso usar níveis apropriados para se alcançar *eficiência visual*. Isto não significa necessariamente altos níveis de iluminância, mas o máximo de acuidade visual sem ter que submeter o mecanismo da visão a fatigantes esforços para ver, correndo-se o risco de comprometer o conforto e o rendimento visual. Na tabela a seguir, temos as iluminâncias recomendadas pela norma alemã, classe de luminárias e inclusive, IRC e temperaturas de cor das fontes.

Em escritórios com iluminação natural, recomenda-se que a iluminação geral seja ao menos 0,8 da geral em cada local de trabalho. Em salas abertas onde as características de iluminação estão dispostas em um fundo escuro, medida adicional tem que acontecer para aumentar o contraste da tela dos computadores, admitindo-se iluminação artificial complementar individual.

Tipo de interior ou atividade	Iluminância E (lux)	Limitação do ofuscamento direto – classe de qualidade	Cor da luz-temp. de cor	Rendimento das cores-IRC	Observações
Escritórios com luz do dia-local de trabalho posicionadas próximas às janelas	300lx	1	Branco morno ou neutro	2ª	Iluminação geral ao menos 0,8 dos locais de trabalho
Escritórios	500lx	1	Branco morno ou neutro	2ª	
Escritórios abertos\planta livre: Alta refletância Média refletância	750lx	1	Branco morno ou neutro	2ª	Teto com alta refletância, mínima de 0,7. Paredes, divisórias, mínimo de 0,5.
	1000lx	1	Branco morno ou neutro	2ª	Iluminação individualizada no local de trabalho é admissível
Desenho técnico	750lx	1	Branco morno ou neutro	2ª	Iluminância medida na normal ao plano de trabalho de uma mesa de desenho inclinada a 75° do plano horizontal com o ponto médio 1,20m acima do piso.
Salas de conferência	300	1	Branco morno ou neutro	2ª	
Salas de recepção	100	1	Branco morno ou neutro	2ª	
Salas públicas	200	1	Branco morno ou neutro	2ª	
Sala de processamento de dados	500	1	Branco morno ou neutro	2ª	
Salas com computadores		A	Branco morno ou neutro	2ª	Ver norma 5035/7 para detalhes

Tabela 12: Salas/atividades de escritórios – valores de iluminâncias
Fonte: Retirada da norma DIN 5035 parte 2

3.4.1.2 Cores e luminâncias

As cores nas superfícies dentro de um ambiente de trabalho são importantes, pois podem contribuir na produtividade, ao estimular o interesse visual. Como as cores estão diretamente relacionadas às refletâncias, é importante, nas grandes superfícies, observar as refletâncias recomendadas segundo o IESNA (*Illuminating Engineering Society of North America*): As cores contrastantes ou escuros e claros da mesma cor podem ser usados, entretanto esse uso deve ocorrer em alguns pontos da sala; paredes, mobília, tapetes ou quadros.

PISO: 20-40%

PAREDES: 50-70%

TETO: 70% ou mais

MOBÍLIA: 25-40% e DIVISÓRIAS: 40 a 70%.

Além dessas referências, aborda a relação de contrastes de luminâncias no campo visual da tarefa para atingir índices aceitáveis de conforto e evitar o ofuscamento de adaptação que prejudica a capacidade visual. Segundo o IES existe uma relação de contrastes de luminância no campo visual da tarefa que deverão ser observados para atingir índices aceitáveis de conforto. Para evitar o ofuscamento de adaptação ou de transição que prejudica a capacidade visual, as relações não deverão exceder o seguinte:

Entre o papel da tarefa e adjacentes tela do computador: 3:1 ou 1:3

Entre a tarefa e entorno escuro adjacente: 5:1 ou 1:5

Entre a tarefa e remotas superfícies não adjacentes: 10:1 ou 1:10

Figuras 113 e 114: Contrastes de luminâncias recomendadas para escritórios e visão direta da abóbada celeste através de posição frontal com possível ofuscamento pela direção da luz no campo visual.

Fonte: Good lighting for offices and office buildings 4. Frankfurt, Fordergemeinschaft Gutes licht, 1994.

O brilho ou luminância de um objeto depende da iluminância, assim como da refletância da superfície. Por exemplo, para ler numa mesa, com 80% de refletância do papel, esta deverá ter no seu plano superior ao menos 27%, ou seja, $1/3$, no seu entorno imediato. As diferenças de luminâncias são necessárias para a visão. Por exemplo, os impressos são vistos devido à diferença de luminância do papel branco e das letras pretas e mesmo o espaço só pode ser visto e interpretado por conta das diferentes luminâncias nas superfícies. Entretanto, se por um lado, variações de luminâncias ou cores contribuem para um ambiente estimulante e atrativo, por outro lado, variações grandes podem ser problemáticas, pois o excesso de brilho no campo visual pode causar ofuscamento direto ou refletido, que devem ser evitados. O ofuscamento força o olho a constantes adaptações o que diminui a acuidade visual e gera fadiga. A tabela abaixo mostra o resultado de preferências de usuários quanto aos níveis de iluminância e luminância em escritórios. Podemos observar níveis mais altos do que os recomendados pelas normas nacionais. Não menciona, entretanto, a idade dos usuários que participaram da pesquisa.

Em outros ambientes onde não há prolongadas tarefas visuais, como lobby, circulações, recepção, conferências, grandes variações de luminâncias são atrativas, usando cores e pontos focais de altos contrastes para atrair o olhar.

A composição espectral da luz natural determina a aparência geral das pessoas, móveis e superfícies da sala. Nosso registro de cor está relacionado à memória do objetos sob a luz natural, de forma que a reprodução de cores é de 100%.

Quanto à aparência de cor da luz natural, na maior parte do tempo do expediente de trabalho, das 8:00h até 18:00h se apresenta com aparência de cor de 5000K, (ambiente frio), exceto próximo ao horário do pôr do sol, quando sua aparência se aproxima dos 3000K, (criam um ambiente morno). Entre estes dois é considerado um ambiente neutro; Segundo pesquisas do IES as pessoas têm preferências variadas por ambientes mornos, frios ou neutros.

Apesar da extrema capacidade de adaptação do olho humano às mais variadas condições de iluminação, é preciso usar níveis apropriados para se alcançar eficiência visual. Isto não significa necessariamente altos níveis de iluminância, mas o máximo de acuidade visual, sem ter que submeter o aparelho visual do executante da tarefa, a fatigantes esforços para ver, correndo-se o risco de sobrevir comprometimento do conforto e do rendimento visual. Em tarefas visuais difíceis, que exigem maior acuidade visual, as

iluminâncias mais altas podem ser obtidas através de iluminação complementar localizada, com um contraste entre o centro da tarefa e a iluminação geral de 1:3.

Figura 115: Contribuição de luz natural zenital em escritório e luz artificial complementar

Fonte: Good lighting for offices and office buildings 4. Frankfurt, Fordergemeinschaft

Figuras 116 e 117: Uniformidade na iluminação natural sem entrada de radiação e uso da artificial complementar. À direita, a iluminação artificial é acionada durante o dia e cortinas são fechadas.

Fonte: Good lighting for offices and office buildings 4. Frankfurt, Fordergemeinschaft Gutes licht, 1994.

A iluminação natural só será efetiva até uma profundidade de duas vezes a altura da janela, acima do plano de trabalho. Durante o período diurno, a iluminação artificial complementar assegura os níveis apropriados em pontos distantes das janelas e equilibra as luminâncias nas superfícies.

Figuras 118, 119 e 120: Integração da luz natural e artificial complementar para obtenção de níveis constantes de luz nas áreas de trabalho.

Fonte: Good lighting for offices and office buildings 4. Frankfurt, Fordergemeinschaft Gutes licht, 1994.

3.4.1.3 Controle do ofuscamento

Superfícies especulares ou brilhantes refletem imagens e devem ser evitadas no campo de trabalho. Como o ofuscamento é função direta da intensidade luminosa da fonte de luz e do contraste entre brilho e escuro no campo visual, para áreas visuais no foco distante do olho, quando ele está relaxado, é recomendado pequenas áreas visuais que excedam a relação do raio de luminância, o que se consegue ao direcionar o olhar para a paisagem externa, por exemplo.

O excesso de áreas envidraçadas são problemáticas causando ofuscamento, pois mesmo que o sol não atinja a janela diretamente, mostra grandes áreas de claridade no campo visual, causando desconforto.

Para evitar ofuscamento na iluminação artificial, luminárias devem ter um controle ótico, limitando luminância em ângulos críticos acima de 45° ou luminárias com louver especular. As lâmpadas deverão ter um bom rendimento das cores, acima de 80%.

3.4.1.4 Iluminação com terminais de computador

A iluminação deverá contribuir para permitir a concentração, evitar a fadiga. Numa estação com computador os olhos se movimentam continuamente para a tela, o teclado e o documento mais do que 10.000 vezes ao dia. Boas condições visuais são essenciais, para o movimento constante dos olhos no computador, quadro, mesa. O trabalho envolve diversas tarefas, como absorver informações na tela do computador, ler textos, estudar diagramas ou ler caracteres no teclado.

A melhor condição visual para caracterizar a percepção ótica numa postura relaxada é obtida quando o limite superior da tela coincide com a principal linha da visão e a superfície da tela está inclinada para trás em 15° a 20°. A partir daí, para manter a postura relaxada, o ajuste vertical da cadeira e base do monitor deverão ser regulados também, pois fadiga prematura gera erros e baixa motivação. Uma postura relaxada e o correto posicionamento da cabeça são fundamentais para evitar a fadiga e aumentar a concentração.

Segundo a norma contida na tabela abaixo, a luminância média de luminárias, janelas, tetos, paredes e mobiliário que podem ser refletidos na tela do computador, deve ser limitada a 200cd/m² em ângulos críticos. Esta exigência de luminância da luminária de 200cd/m² é mais eficiente e economicamente encontrada em luminárias de louver especular parabólico de alto polimento livre de reflexões especulares. A luminância máxima das superfícies na sala não deve exceder 400cd/m². Devendo-se, para isto, evitar superfícies brilhantes, preferindo as foscas.

Onde as telas dos computadores são inclinadas 20°, ângulos críticos acontecem a partir de 50° com a vertical e o plano do teto, então o ângulo máximo de radiação das luminárias não deve exceder 50°. Se puder ser feito ajuste na inclinação da tela, a 15°, por exemplo, este ângulo crítico passa a ser de 60° para evitar reflexões indesejadas na tela, permitindo então luminárias com a abertura máxima de 60°, que são luminárias mais econômicas.

O *lay out* do mobiliário deve ser compatibilizado para evitar reflexões na tela do computador. Pode-se usar iluminação geral com possível complemento individual, desde que não crie um aumento que incomode ou ofuscamento refletido pela diferença de luminâncias entre a tela, o teclado, os documentos e outras estações de trabalho vizinhas. Para minimizar o risco de reflexões, as luminárias devem ser localizadas não acima, mas lateralmente às estações de trabalho, em linhas paralelas à principal linha de visão.

ILUMINÂNCIAS PARA SALAS COM COMPUTADORES				
Tipo de interior ou atividade	Iluminância E (lux)	Limitação do ofuscamento direto – classe de qualidade para o próximo valor mais alto de iluminância nominal E_n	Limitação do ofuscamento refletido na tela: Ângulo máximo de radiação recomendado das luminárias	
			Tela do Computador a 20° da normal ao plano da mesa	Tela do computador a 15° da normal ao plano da mesa
Escritórios com luz do dia- local de trabalho posicionadas próximas às janelas	300lx	1 para $E=500lx$	$L \leq 200Cd/m^2$ $\gamma G=50^\circ$	$L \leq 200Cd/m^2$ $\gamma G=60^\circ$
Escritórios	500lx	1 para $E=750lx$	$L \leq 200Cd/m^2$ $\gamma G=50^\circ$	$L \leq 200Cd/m^2$ $\gamma G=60^\circ$
Escritórios abertos\planta livre: Alta refletância Média refletância	750lx	1 para $E=1000lx$	$L \leq 200Cd/m^2$ $\gamma G=50^\circ$	$L \leq 200Cd/m^2$ $\gamma G=60^\circ$
	1000lx	1 para $E=1500lx$	$L \leq 200Cd/m^2$ $\gamma G=50^\circ$	$L \leq 200Cd/m^2$ $\gamma G=60^\circ$

Tabela 13: Salas/atividades de escritórios – valores de iluminâncias recomendadas para salas com computadores
Fonte: Retirada da norma DIN 5035 parte 7

A exigência de luminância da luminária de $200cd/m^2$ é mais eficiente e economicamente encontrada em luminárias de louver especular parabólico de alto polimento livre de reflexões especulares.

Figuras 121 e 122: Ângulos limites de abertura da luminária para controle do ofuscamento com monitor inclinado a 20° e a 15° e altura da visão na linha limite superior deste.

Fonte: Good lighting for offices and office buildings 4. Frankfurt, Fordergemeinschaft Gutes licht, 1994.

3.4.2 Ambientes para repouso e recuperação dos pacientes: hospitais

A legislação que regulamenta a iluminação em hospitais, em âmbito federal, é o Ministério da Saúde e ABNT, além dos planos diretores e códigos de edificações. O ambiente hospitalar traz um “stress” biológico para o paciente, o que aumenta a pressão sanguínea, tensão muscular e níveis de hormônios.

Como a luz produz estímulos e contribui para sensações de bem estar, a sensação de relaxamento é desejável aos que estão internados. Procura-se criar uma iluminação mais acolhedora, que lembre o ambiente residencial. É preciso compatibilizar as necessidades do corpo médico e o conforto dos pacientes, que, muitas vezes são distintas para o conforto luminoso de cada um, ao estar em alerta, como o médico, ou em repouso como o paciente.

3.4.2.1 Iluminâncias

Para tarefas visuais que exigem maior acuidade visual, como nos postos de enfermagem com iluminâncias mais altas, recomenda-se iluminação complementar nas áreas de trabalho. Para evitar ofuscamento na iluminação artificial, as luminárias devem ser da classe 1, limitando luminâncias em ângulos críticos acima de 45°.

Nas salas de exames, a iluminação também deverá apresentar versatilidade em função dos procedimentos: luz geral, orientada para o plano de trabalho e localizada. As zonas de transição não deverão criar contornos tão definidos ou contrastes.

RECOMENDAÇÕES PARA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL					
Tipo do ambiente	Tipo de atividade e iluminação	Iluminância nominal (lux)	Cor da luz (temperatura de cor)	Reprodução de cores	Observações
Área da cama	Iluminação geral	100 lx no plano horizontal (0,85m acima do piso)	Branca morna	1B	Luminância percebida no campo visual do paciente Luminárias: $\leq 1000 \text{ cd/m}^2$ Teto: $\leq 500 \text{ cd/m}^2$
	Iluminação de Leitura	200 lx no padrão 0,3 x 0,9m plano de leitura inclinado a 70°	Branca morna	1B	Luminância percebida no campo visual do paciente Luminárias: $\leq 1000 \text{ cd/m}^2$
	Iluminação para exames	300 lx ao longo do eixo longitudinal num plano 0,85m acima do piso	Branca morna	1B	Uniformidade: $E_{\min}/E_{\max} \geq 1/2$ $E_{\min} \geq 150 \text{ lx}$ Livre de ofuscamento para o médico/enfermeiro
	Iluminação noturna de observação	Aprox. 5 lx no plano horizontal 0,85m acima do piso	Branca morna	1B	Livre de ofuscamento para o paciente
	Iluminação noturna		Branca morna	1B	Luminária de facho aberto abaixo do nível da cama perto da porta
Jardim da infância	Iluminação Geral	200lx	Branca morna	1B	Iluminação geral na área de trabalho min 160lx
	Iluminação noturna de observação	20lx	Branca morna	1B	
Sala dos médicos e staff de enfermagem	Iluminação Geral	300lx	Branca morna	1B	Se requerida, iluminação na área de trabalho para seringas e medicamentos, etc.
	Tarefas visuais difíceis	500lx	Branca morna	1B	
Banheiros e áreas de serviços	Sanitários conectados às áreas de camas	100lx	Branca morna	1B	
	Banheiros	200lx	Branca morna	2ª	
	Áreas de serviços	300lx	Branca morna e branca neutra	2ª	

Tabela14: Dados para Planejamento da Iluminação como recomendado pela norma alemã DIN 5035 (parte 3). Em todos os casos: Limitação do ofuscamento direto classe 1 como definido na norma DIN 5035 (parte 1).

Fonte: Good lighting for health care premises 7. Frankfurt, Fordergemeinschaft Gutes Licht, 1994, pág. 5

3.4.2.2 Cores e luminâncias

A reação emocional, independente do senso estético envolvido, é uma reação fisiológica. Neste sentido, as cores que aceleram o funcionamento do organismo também provocam reações emocionais intensas. Como já foi detalhado na fisiologia da cor, o vermelho aumenta a pressão sanguínea, batimentos cardíacos e a respiração. Com o laranja e amarelo acontece o mesmo com menor intensidade; sensação de alegria, luminosidade, aquecimento e estímulo.

Quanto ao azul, esta cor diminui a pressão sanguínea, batimentos cardíacos e a respiração; transmite tranquilidade, calma e suavidade assim como o verde. O roxo mistura sensações opostas ao vermelho e ao azul, tendendo a um lado ou a outro, conforme a composição. O cinza é neutro, independente de qualquer tendência psicológica.

A sensação de conforto térmico é afetada pelas cores que compõem um ambiente sem que haja mudança de temperatura. Superfícies com cores quentes parecem mais próximas, e geram sensação de aquecimento; cores frias parecem mais distantes e geram sensação de resfriamento. A cor verde nas salas de cirurgia reduz o problema da criação de imagens cromáticas ou “after-images”, nos olhos dos cirurgiões e atendentes, ao desviarem a visão da operação. Como a cor predominante no foco da tarefa é o vermelho, o uso de sua suplementar - o verde - no ambiente neutraliza estas imagens cromáticas momentâneas na visão, o que evitaria as sucessivas adaptações visuais e consequente cansaço.

É importante a percepção correta das cores com fontes de luz com espectro completo para perceber a icterícia – coloração amarela, e a cianose, coloração azulada - difusa da pele. Na iluminação artificial complementar recomendam-se lâmpadas de temperatura de cor entre 3300 e 5300K para o reconhecimento da cianose. Lâmpadas com 3000k ou menos não devem ser usadas em instalações de saúde – IESNA, 1995, pois podem distorcer a percepção destes sintomas. As fontes artificiais deverão ter equilíbrio nas cores azul, amarelo e vermelho, referência da luz do sol cujo espectro completo é equilibrado. A identificação de alterações na cor da pele auxilia no diagnóstico de instabilidades metabólico-funcionais. Temos memória da cor da pele para padrões de IRC e tonalidades.

Para luz natural recomenda-se uniformidade das luminâncias de 1/10. Com iluminação artificial é mais fácil obter uniformidade, pois a dificuldade maior é obter menores contrastes no espaço entre a natural e artificial.

Recomenda-se: 3/1: tarefa visual e entorno imediato
 5/1: tarefa e entorno remoto
 50/1: tarefa e entorno periférico

Segundo o BSI (1992), a refletância de uma sala é tão importante na luminância total quanto a luz direta admitida. As refletâncias recomendadas são as seguintes: Teto: 70 a 80%, Paredes: 40 a 60% e Piso: 20 a 40%. As variações muito grandes de refletâncias devem ser evitadas, entretanto são aceitas refletâncias maiores ou menores, caso elas não ultrapassem 10% do campo visual dos ocupantes do espaço.²⁶ Para evitar ofuscamento na iluminação artificial, luminárias devem ser da classe 1, limitar luminância em ângulos críticos acima de 45°; bom rendimento das cores, 1B.

3.4.2.3 Controle do ofuscamento

O descanso do corpo requer a inexistência de qualquer tipo de ofuscamento principalmente no teto. O sol visível no inverno pode atenuar a sensação de frio, enquanto no verão é o sol filtrado que atenua a sensação de calor. As pesquisas também sugerem que o bem-estar humano provém de espaço com grau moderado de estímulos, pois em excesso podem ser estressantes, entretanto, poucos estímulos podem ser deprimentes.

3.4.2.4 Luz natural e paisagem

A visão da Natureza produz serenidade visual e sensação de ambiente saudável. Estudos de pacientes operados em salas de recuperação mostrou que aqueles que tinham visão para a natureza necessitaram de menos medicação para dor que paciente com visão para uma parede.²⁷ O contato com a luz natural contribui para maior humanização dos ambientes, e o uso de temperaturas de cor quente podem auxiliar neste sentido.

Para uma integração visual e harmônica com a luz do dia, é recomendado usar iluminação artificial geral/complementar com luz branca neutra e luz dia para o período diurno, pois se integram em aparências de cor.

²⁶ IES – comitee for health care facilities, RP 29-95. Lighting for hospitals, health care facilities. New York: IESNA, 1995

²⁷ Uldrich apud malkin, 1992, in COSTI, Marilice. A influência da luz e da cor em salas de espera e corredores hospitalares. estudo de caso: o corredor espera. Dissertação de mestrado, FAU/UFRGS, Porto Alegre, 2000.

Estudos feitos por Peter Boyce mostram que a existência de janelas, nos ambientes de internação, reduz as ocorrências de dor, febre e depressão pós-operatório. Como nos hospitais o principal objetivo é o restabelecimento dos pacientes, a iluminação natural é, portanto, fator determinante de saúde. Estudos realizados por Mills e Borg (1999) demonstram que, desde 1994, aconselha-se o uso da iluminação natural nas UTIs. Como os pacientes internados têm pouco contato com o exterior, a presença da luz natural e dos raios solares nestes espaços torna-se importante devido à sincronia dos mecanismos fisiológicos dos usuários, além de importantes referências de orientação.

Figuras 123 e 124: Salas de Tratamentos Hemodiálise/quimioterapia. Luz natural e visão da paisagem atenuam o stress biológico dos pacientes.

Fonte: Good lighting for health care premises 7. Frankfurt, Fordergemeinschaft Gutes licht, 1994.

A maior parte dos espaços em um hospital pode receber luz natural, e onde se recomenda especialmente sua utilização, tais como: consultórios, salas de exame clínico, salas de observação, internação geral, UTI, queimados, laboratórios e salas para diálise. É preciso identificar quais espaços necessitam de iluminação artificial localizada no campo de trabalho a exemplo de consultórios, salas de cirurgia, quartos, enfermarias e salas de observação. Espaços que requerem uniformidade eficiente não devem ter a luz natural como principal fonte de luz, como sala de cirurgia, laboratórios e radiologia. Levando-se em conta as necessidades de iluminação do espaço e exigências dos usuários e demandas de tarefas que exigem maior acuidade visual, e iluminâncias mais altas, recomenda-se iluminação complementar artificial nas áreas de trabalho.

A luz solar promove a produção da vitamina D, que viabiliza a absorção de cálcio, evitando o raquitismo nas crianças e osteoporose nos adultos. Segundo o BSI (1992), a luz do sol tem se mostrado eficiente no tratamento de certos tipos de depressão e distúrbios, entretanto a luz solar não deveria incidir diretamente nas tarefas visuais ou sobre as pessoas trabalhando, assim como os pacientes devem estar protegidos de ofuscamentos e refletâncias especulares.

3.4.2.5 Quartos de internação

O paciente encontra-se normalmente nas posições deitado e reclinado, no entanto os visitantes e equipe médica podem estar em pé ou sentados de modo que se estabelecem três alturas visuais. A altura do peitoril da janela - para contemplar estas diferenças - teria as seguintes alturas: Para o paciente deitado ver o exterior: 65,6cm; 70,90 – recostado, 91,2 – sentado e 106,4cm para ver em pé. A janela localizada em posição lateral contribui para evitar ofuscamento direto nos pacientes.²⁸

Em Hospitais, nos quartos de internação, temos quatro tipos básicos de iluminação: *luz Geral*, *luz de leitura* (campo de visão, altura de 1,20), *luz para exames* e *luz de observação noturna*. Nestes ambientes, na maior parte do tempo, os pacientes permanecem em macas ou camas, e para humanizar estes espaços, a iluminação deverá ser extremamente confortável.

Recomenda-se que a luz artificial complementar seja localizada na lateral da cama e com controle individual para necessidades diversas, pois a sala também é usada por médicos e enfermeiras e, por isto, deve ter iluminação artificial complementar para exames e procedimentos. A iluminação indireta é agradável para quem está deitado, acima da cama que deverá ter também luz de leitura protegida, para não incomodar a cama vizinha.

É importante evitar refletâncias especulares para iluminação indireta, evitando ofuscamento refletido e lembrar que, à noite o vidro se transforma numa superfície refletora pois em geral o exterior tem menos luz. Uma iluminância de 100lux com fonte de tonalidade branco morno cria uma atmosfera mais aconchegante. Para luz de leitura em cada cama, 200lux. Os pacientes precisam de uma luz agradável, que os deixem relaxados, e uma atmosfera que inspire confiança, enquanto que os médicos e enfermeiros precisam de uma luz funcional para exames e tratamentos. A iluminação geral, para examinar os pacientes precisa ser de ao menos 500lux. Para exames, localizados, a iluminância deverá ser de 1000 lux, em geral feita com foco móvel.

²⁸ IES – comitee for health care facilities, RP 29-95. Lighting for hospitals, health care facilities. New York: IESNA, 1995

Figuras 125 e 126: Iluminação na cabeceira do paciente, direta para leitura/procedimento (300/500 lux) e indireta para repouso (100 lux)

Fonte: Good lighting for health care premises 7. Frankfurt, Fordergemeinschaft Gutes licht, 1994.

A iluminação de vigília permite à equipe de enfermagem aproximar-se do paciente à noite sem precisar acionar outras luminárias. Uma iluminação noturna de orientação com apenas 5lux permite às enfermeiras circularem no quarto e manter o paciente em observação à noite. Pode ser um balizador baixo com o ponto de brilho fora do campo visual do paciente. Esta iluminação noturna ajuda os pacientes a visualizarem os limites do espaço, especialmente se têm que sair da cama ou ir ao banheiro. Para soluções de orientação, o LED, pela possibilidade de baixo consumo, é uma tecnologia viável, pois dura de 40 a 50 vezes mais que uma lâmpada tradicional. Para idosos, a visão se deteriora e se torna mais difícil para os olhos se adaptarem do meio escuro para rápidas mudanças para a claridade.

Segundo a legislação, a iluminação localizada de vigília deve se situar a 50 cm do piso.²⁹ Auxilia na locomoção de acompanhantes e enfermagem. Outra iluminação localizada de observação, instalada próxima à porta, para ser facilmente acionada, ilumina a cabeceira dos leitos, sendo restrita à equipe médica para acompanhar o paciente durante a noite.

3.4.2.6 Enfermarias

Em enfermarias, o uso isolado da luz natural, com grandes aberturas cria problemas de ofuscamento nas áreas próximas às janelas e problemas com conforto térmico. Muitas vezes, nas enfermarias a uniformidade não é necessária, embora as variações excessivas devam ser evitadas para *staff* e médicos, a fim de não forçar a rápidas mudanças na

²⁹ Ministério da saúde, portaria 1884/94

adaptação visual. Para as enfermarias dos hospitais o parâmetro mínimo recomendado pelo Bristish standard é de 1% das iluminâncias externas, ou seja, o coeficiente de luz diurna (CLD)³⁰ e 2% em postos de trabalhos

“Enquanto as impressões de claridade e espacialidade são alcançadas com uma iluminação geral uniforme e destaque periférico, as impressões de relaxamento e privacidade são alcançadas com iluminação geral não uniforme e também ênfase periférica. Em espaços como as enfermarias das unidades de internação, a privacidade pode ser enfatizada com a iluminação localizada para leitura em cada leito, associada à iluminação indireta.”³¹

Figura 127: Iluminação Indireta para repouso e direta para leitura

Fonte: *Good lighting for health care premises* 7. Frankfurt, Fordergemeinschaft Gutes licht, 1994.

Muitas vezes, nas enfermarias, a uniformidade não é necessária, embora as variações excessivas devam ser evitadas, para não forçar a rápidas mudanças na adaptação visual do *staff* e médicos e consequente fadiga. O descanso e a sensação de relaxamento são desejáveis aos que estão internados, e isto requer a inexistência de qualquer tipo de ofuscamento, principalmente no teto.

A iluminação geral promove uma distribuição luminosa abrangente e auxilia na execução de atividade e higienização dos espaços. Para iluminação direta, evitar ofuscamento, devendo estar fora do campo visual dos pacientes (predomina o teto). O campo visual para os pacientes é muito importante, pois existe a limitação de movimentos.

³⁰ CLD = Iluminância artificial recomendada dividida pela iluminância externa.

³¹ Flynn(1977) in COSTI, Marilice. A influência da luz e da cor em salas de espera e corredores hospitalares.estudo de caso: o corredor espera. Dissertação de mestrado, FAU/UFRGS, Porto Alegre, 2000, pág. 34

A luz durante a noite, assegura qualidade e segurança. Para idosos, a visão se deteriora e se torna mais difícil para os olhos se adaptar rapidamente do meio escuro para a claridade. A luz azul minimiza distúrbios do sono, sendo indicado para enfermarias e área de residentes, pois consolida o ciclo noite dia.

3.4.2.7 Unidades de internação

Nas áreas de longa permanência para os pacientes, como unidade de internação geral, de terapia intensiva e de recuperação pós-anestésica temos um conflito, pois são necessárias altas luminâncias para a equipe médica e os pacientes requerem conforto visual. Estudos realizados por Mills e Borg (1999) demonstram que, desde 1994, aconselha-se o uso da iluminação natural nas UTIs. Existe aqui um desafio de considerar conflitos entre altas iluminâncias para observação dos pacientes e o mínimo desconforto luminoso (CIBSE, 1989). Usar altas iluminâncias de luz artificial é própria do setor.³² IESNA, 1995 – Iluminação natural como fonte de luz pode criar interesse e estímulo aos pacientes que permanecem em recuperação.

Figuras 128 e 129: Unidade de terapia intensiva apenas com luz artificial. Desconforto biológico e desarmonia com os ritmos circadianos, o que não favorece a reação do organismo contribuir para tratamento. À direita recém nascido tomando banho de luz azul para tratamento da icterícia.

Fonte: [Good lighting for health care premises](#) 7. Frankfurt, Fordergemeinschaft Gutes licht, 1994.

Pacientes precisam de uma luz agradável, que os deixem relaxados, e uma atmosfera que inspire confiança, enquanto que os médicos e enfermeiros precisam de uma luz funcional para exames e tratamentos. A iluminação geral para examinar os pacientes - precisa ser de no mínimo 500lux ou muitas vezes iluminâncias mais altas para execução de procedimentos médicos. Tanto a iluminação geral como a iluminação noturna de observação podem ser indiretas, criando uma iluminação confortável para 20lx ou 100lx. O IESNA

³² Ministério da saúde, portaria 1884/94

(1995) recomenda para iluminação geral artificial, adotar o controle dos dimmers e interruptores individuais que possibilitariam alternar o monitoramento meticuroso dos pacientes e descanso destes em diferentes momentos.

Em unidades de tratamento intensivo devem-se excluir cores fortes e estimulantes nas paredes e forros que não seriam apropriadas para pessoas doentes. Todavia, a ausência de cor pode levar à monotonia, recomendando-se detalhes coloridos. Os pacientes que apresentam consciência, neste setor, estão em geral incapacitados de mover-se, com campo visual mais restrito e, por isto, o tratamento dado ao teto e paredes são importantes na recuperação. O Campo visual imediato: 30 °, remo to: 60° e periférico: 90°.

Tipo de ambiente	Tipo de atividade e iluminação	Iluminância E(lux)	Cora da luz	Reprodução de cor	Observações
Unidade de tratamento intensivo	Iluminação geral:				
	Na sala	100	Branca morna ou neutra	1B	Ofuscamento reduzido para pacientes
	Na área da cama	300	Branca morna ou neutra	1B	
	Iluminação para exame:				Ofuscamento reduzido para pacientes
	Na área da cama:	1000	Branca morna ou neutra	1B	
	Iluminação noturna de observação	20	Branca morna ou neutra	1B	
Sala para Diálise	Iluminação geral				Ofuscamento reduzido para pacientes
	Na sala	100	Branca morna	1B	
	Na área da cama	500	Branca morna	1B	

Tabela 15: Dados para Planejamento da Iluminação como recomendado pela norma alemã DIN 5035 (parte 3). Em todos os casos: Limitação do ofuscamento direto classe 1 como definido na norma DIN 5035 (parte 1).

Fonte: Good lighting for health care premises 7. Frankfurt, Fordergemeinschaft Gutes licht, 1994, pág. 16

Capítulo 3:

Métodos e Modelos

Métodos e Modelos

3 Métodos e Modelos

3 Métodos e Modelos

O conceito de MÉTODO vem do grego: *méthodos*, *caminho para se chegar a um fim*, ou ainda *a arte de encontrar a verdade*. Assim também a palavra *téchne* vem dos gregos, pois o saber fazer não distinguia *a técnica da expressão artística* do objeto, o que a nosso ver é base do projeto de arquitetura e iluminação, onde a técnica é um instrumento para obtenção do espaço planejado e qualidade da luz, parte inseparável deste.

Por um lado, a pesquisa na área da tecnologia está sempre associada a uma contribuição concreta na produção do conhecimento, de forma que possa ser examinada e resolvida utilizando um método científico. Por outro lado, ao percorrer a ótica da percepção, encontramos, no decorrer do processo, variáveis que escapam ao controle da pura objetividade, pois as preferências de soluções permeiam o universo subjetivo, individual e cultural. Acreditamos que algumas questões, em especial as que envolvem conforto são mais estáveis e previsíveis, enquanto outras, que envolvem aspectos expressivos, culturais e emocionais são apenas *indicativas*.

Falar da percepção da luz é falar da percepção do espaço. O termo percepção vem do latim *perapere*: *compreender-se, dar-se conta*; ainda que as pessoas vejam o mundo de uma maneira mais ou menos igual, estructurem-no e avaliam de forma muito diferente. As pessoas observam e percebem o meio ambiente através dos sentidos, e qualquer informação nos chega pela percepção antes mesmo que qualquer significado simbólico apareça.

4.1 Caracterização da pesquisa

A pesquisa tem natureza aplicada, pois tem intenção de fornecer elementos aos profissionais do setor para decisões de projeto, e como objetivo o de gerar conhecimento para a aplicação prática em soluções de problemas específicos que envolvem projeto de arquitetura e de iluminação.

Com relação ao objetivo proposto, nossa pesquisa pode ser considerada exploratória, pois sua finalidade principal é o aprimoramento de ideias e a descoberta de intuições. Com relação à forma de abordagem, o trabalho se caracteriza como pesquisa qualitativa, que, segundo Chizzotti: “é uma designação que abriga correntes de pesquisa

muito diferentes que se fundamentam em alguns pressupostos contrários ao modelo experimental".³³

Godoy³⁴ recomenda que uma pesquisa qualitativa deva apresentar as seguintes características:

- Considerar o ambiente como fonte direta dos dados e o pesquisador como instrumento chave;
- possuir caráter descritivo;
- o processo ser foco principal de abordagem e não o resultado ou o produto;
- a análise dos dados ser realizada de forma intuitiva e indutivamente pelo pesquisador;
- não requerer o uso de técnicas e métodos estatísticos; e por fim,
- ter como preocupação maior a interpretação de fenômenos e a atribuição de resultados.

Segundo Boyce (1981), os estudos correlatos pretendem estabelecer uma correlação entre uma medida física e um julgamento subjetivo, a partir da maneira como as variações em iluminação aparecem para as pessoas. "A base deste método é relatar alguns julgamentos subjetivos da iluminação com uma descrição física da luz"³⁵

O ato de projetar e definir a iluminação, uma variável do projeto de arquitetura, envolve a seleção de uma série de outras variáveis e o estabelecimento de hierarquias conforme as exigências do projeto. Na pesquisa foram escolhidas as variáveis que se deseja investigar, procurando isolá-las para obter a resposta mais aproximada, definindo e alterando apenas uma variável de cada vez que se pretende comparar.

Para perceber o espaço iluminado, temos vários recursos ou modelos, desde os desenhos do projeto e entendimento da geometria da insolação para entender como a luz é captada e distribuída. Os cálculos quantificam em determinado ponto, no caso de

³³ In BRONDANI, Sérgio Antônio. A percepção da luz artificial no interior de ambientes edificadas. Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis, 2006, pág. 78

³⁴ Idem, pág.58

³⁵ BOYCE, P. R. Human factors in lighting. Londres, applied science publishers, 1981, pág. 255

escritórios, especialmente no plano de trabalho, a iluminância em lux obtida em certa hora e data. Neste parâmetro, conseguimos identificar o potencial de aproveitamento da iluminação natural, entretanto não é possível perceber a impressão causada por esta luz no espaço. Uma determinada situação de distribuição de luz num ambiente pode ser registrada através de dados numéricos de luminância, indicadas num desenho, entretanto como a luz causa impressão no observador, somente através de imagens ou mesmo estando dentro daquele espaço poderemos compreender e relacioná-las com a quantificação dos dados numéricos.

A pesquisa utiliza processos analíticos de avaliação da percepção, entendendo as variáveis envolvidas na interação do ambiente interno. Está dividida em duas partes: a primeira, teórica, onde as relações das variáveis envolvidas são estudadas e as hipóteses prévias são embasadas; a segunda é empírica, em que as relações estudadas serão avaliadas sobre um objeto ou modelo construído, ou seja, real.

O trabalho de pesquisa experimental será realizado a partir de um modelo em escala real, *mock up*. Neste caso, como a situação real foi construída, as variáveis modificadas em cada situação são justamente os aspectos da luz que se deseja investigar relacionando-as com as preferências obtidas. Procurou-se levar em consideração a visualização de uma situação em ambiente de trabalho. A vantagem de construir um modelo em escala real é não sofrer o risco de desconsiderar elementos que poderiam ter ampla repercussão, pois a percepção envolve aspectos amplos com complexidade de variáveis que ultrapassam a questão restrita da iluminação.

O conhecimento pode ser obtido através da teoria, assim como por meio da observação e estudo das situações reais. Isto se soma a prática profissional do projeto, experimentação e análise dos resultados com resposta dos usuários. A percepção talvez seja a que fornece menor capacidade de previsão objetiva, especialmente dos fenômenos físicos envolvidos na questão. Entretanto, julgamos ser a mais adequada para estudar as questões qualitativas da iluminação e parâmetros podem ser estabelecidos, alguns com referências numéricas ou mesmo indicativos de preferências.

A pesquisa não se preocupou apenas com as quantidades, mas com as qualidades das informações expostas. A pesquisa é descritiva e experimental sem deixar de ser fenomenológica e filosófica a partir de um estudo de caso. Como as realidades são múltiplas, foi necessário limitar o foco da pesquisa para obter maior controle das variáveis envolvidas. Será simulado um ambiente de escritório com mobiliário e objetos, de forma que as atividades sejam limitadas para o recorte da pesquisa.

4.2 Etapas da pesquisa

4.2.1 Revisão bibliográfica

Leitura, e revisão, atualização de dados, estudos iniciais e pesquisa exploratória sobre o objeto de estudo. A revisão da literatura foi sendo feita à medida que o estudo foi progredindo. Os temas de interesse para fundamentação teórica foram os seguintes:

- ✓ Luz, ótica, aspectos físicos da percepção da luz e cor;
- ✓ relação da iluminação, saúde e produtividade;
- ✓ luz como expressão da linguagem arquitetônica;
- ✓ normas nacionais – ABNT e internacionais – IES-CIE-DIN.

4.2.2 Escolha de modelos

Procurou-se experimentar os modelos que representassem a luz no espaço, verificando suas vantagens e limitações, conforme o objetivo no desenvolvimento do projeto de iluminação. No projeto de iluminação, o modelo matemático, com as relações numéricas representando fenômenos físicos da luz e necessidades humanas, permite um tratamento lógico de dados. Este modelo, abordando apenas aspectos quantitativos, mesmo que se refira a padrões de qualidade, tem se mostrado insatisfatório. Isto porque o fenômeno não se apresenta apenas como quantidades, mas também como formas e desenhos dentro do espaço.

Foram utilizados modelos analógicos, como desenhos e plantas do ambiente estudado, além de modelos icônicos como fotografias. O Modelo físico reduzido, a maquete, foi realizada após o projeto arquitetônico, para visualização prévia da modelagem da luz no espaço, de forma a fazer ajustes para o modelo em escala real.

Figuras 130 e 131: Vista da maquete nas orientação leste e norte; vista interna mostrando o espaço sem entrada de radiação direta no horário registrado.

As maquetes que têm sido usadas na avaliação do desempenho quantitativo e qualitativo do sistema de iluminação natural variam de simples modelos físicos do edifício exterior e seu entorno, em escala pequena, a modelos físicos em escala real do ambiente, ou *mock up*, adotado como modelo mais adequado para investigar aspectos da percepção e estudos comparativos entre diferentes modelagens da luz.. A escala natural, o estar contido no espaço e ser envolvido por ele permite uma apreensão completa da arquitetura em três dimensões e medições reais das situações simuladas.

As simulações obtidas com os modelos computacionais permitiram uma pré-visualização do ambiente iluminado. Optamos por utilizar, para efeito de comparação, o software AGi-32 para cálculo e visualização de projetos luminotécnicos empregando luz artificial e/ou luz natural, que vem sendo desenvolvido há 25 anos pela empresa norte-americana *Lighting Analysts Inc.*, de Littleton, Colorado, EUA. Apresenta-se como uma opção de pré-visualização e estudo das situações de iluminação devido à sua interface amigável, resultados gráficos e imagens renderizadas.

As mesmas situações e variáveis realizadas no *mock up* serão simuladas no modelo computacional, considerando as características relevantes do ambiente a fim de avaliar a eficiência deste recurso. Neste ambiente simulado, somente a iluminação é variável ou ainda aspectos que interferem diretamente em sua percepção, como as cores e texturas por exemplo. A alteração poderá conduzir a não modificar a iluminação, mas a qualidade das superfícies do ambiente, cores, texturas ou ainda incluir elementos externos e/ou internos de controle da luz solar. Os *softwares* permitem a elaboração de cálculos rápidos onde é possível obter valores ponto a ponto das iluminâncias e luminâncias nos planos horizontais e verticais, facilitando a avaliação dos resultados. Além disto, são um recurso precioso para obter a pré-visualização dos ambientes iluminados. Trabalhamos com o software americano Agi-32, para simular as situações e tipos de distribuição ou modelagens da luz estudadas.

4.2.3 Projeto e construção do *mock up*

Foi elaborado projeto do *mock up*, simulando um ambiente de trabalho com mobiliário e objetos, em que as aberturas projetadas poderiam ser fechadas ou liberadas, criando tipologias distintas de captação de luz, seja lateral, nas diversas orientações e/ou zenital. As variáveis seriam as posições e dimensões das aberturas para luz natural e inserção de luz artificial complementar.

No desenvolvimento do projeto, foram elaborados estudos para as proteções solares. O objetivo era trabalhar com a luz filtrada, sem radiação direta, lançando mão de um beiral contínuo que protegesse as janelas baixas e inserção de prateleira de luz, para controle da

luz proveniente da janela alta. Para tanto fez-se necessário um levantamento dos dados relativos à luz natural local com estudo dos ângulos de incidência solar nas aberturas em estudo.

O *mock up* foi construído em lote urbano de uma quadra residencial, tendo sido implantado nas orientações norte-sul, leste-oeste. Tem como vizinhos, a sudoeste um prédio de pilotis e três pavimentos, a noroeste o Parque do Sítio da Trindade e a nordeste uma residência de dois pavimentos, conforme vemos na imagem de satélite. O lote aparece com a construção do *mock up*, que pode ser observado em seu entorno. Não tem obstáculos para radiação solar direta, a partir das 9:00h nos solstícios de inverno e equinócios, período em que foram coletados os dados dos experimentos da pesquisa.

Nosso objetivo foi o de criar um espaço sem entrada de radiação solar direta nos horários pesquisados de forma que apenas a luz da abóbada seja considerada; Os fechamentos opacos e transparentes serão flexíveis permitindo a alteração da distribuição da luz, desde aberturas laterais e/ou zenitais, em variáveis selecionadas para cada experimento. Nestes experimentos a fachada norte possui as aberturas para entrada de luz devido à maior liberação de incidência solar e pela qualidade de luz mais adequada para ambientes de trabalho, por ser mais uniforme, ao longo do dia, e com melhor possibilidade de controle pelas proteções do beiral contínuo proposto.

Figuras 132 e 133: Lote de implantação do mock up

Fonte: Google Earth

Figura 134: Planta de Locação

Figura 135: PLANTA BAIXA

Figura 136: CORTE AA

Figura 137: CORTE BB

Figura 138: CORTE CC

Figura 139: FACHADA NORTE

O *mock up* foi organizado para simular um ambiente de escritório, mas foi projetado para poder simular ambientes diversos com possibilidades de captação de luz em todas as orientações, com janelas baixas e/ou altas, assim como captação zenital, de forma a poder ser utilizado em pesquisas futuras. Sua flexibilidade permite simular usos e atividades, como por exemplo, um quarto de hospital, galeria de arte, etc. Aliás, flexibilidade é um dado importante para cada projeto, a fim de que o usuário possa interagir e ajustar a situação para seu melhor conforto.

As refletâncias do espaço construído seriam as mesmas para teto, piso e paredes, de forma a perceber variações de brancos sob a luz e a sombra. Optou-se, a princípio, pela ausência da cor pigmento apenas para avaliar a luz e seus contrastes, como uma foto em preto e branco. O *lay out* foi definido para reproduzir um ambiente de escritório individualizado, com mesa em madeira, tampo em laminado branco fosco, aparador de apoio e tampo em laminado branco fosco, cadeiras pretas com estrutura em aço cromado, vaso com palmeira natural. Os objetos e quadros complementam a ambientação, criando atrativos cromáticos e formais, a fim de facilitar a percepção da luz e suas variações. Na mesa, revistas, computador e papéis do questionário para preencher.

Figuras 140,141,142 e 143: Espaço Interno do Mock up mostrando as aberturas e o fechamento das janelas da fachada sul e do forro removível. A iluminação atingiu 4000lux na mesa, com todas as aberturas, livres.

Figura 140: Espaço Interno do Mock up

Figuras 144 e 145: Vista externa do Mock up mostrando a proteção contínua do beiral nas fachadas

4.2.4 Software Agi-32

O AGi32 é um software para cálculo e visualização de projetos luminotécnicos empregando luz artificial e/ou luz natural, que vem sendo desenvolvido há 25 anos pela empresa norte-americana Lighting Analysts Inc., de Littleton, Colorado, EUA.

Ao longo do tempo, o AGi32 vem sendo atualizado para incorporação de novas funcionalidades, acompanhando o progresso da ciência e da tecnologia na área da iluminação, além da impressionante evolução tecnológica dos recursos de software e hardware observados no período.

Dentre as principais características do AGi32 destacam-se as seguintes:

- Utilização direta de arquivos fotométricos em formato digital nos padrões IES, EULUMDAT e TM14;
- execução e análise de projetos luminotécnicos em geral, em conformidade com os requisitos das normas ABNT, CIE e IES, com determinação da configuração ótima da instalação em cada caso, considerando-se os custos associados o investimento inicial, ao consumo da energia e à manutenção das instalações.
- importação de desenhos 2-D ou 3-D construídos nas mais recentes versões do AutoCAD;
- renderização pelos processos *Radiosity*, *Pseudocolor* e *Raytracing*, gerando imagens com alto grau de realismo;
- recursos para a execução de projetos de iluminação natural com suporte à verificação da compatibilidade destes com os requisitos necessários à Certificação

LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) concedida pela USGBC (*United States Green Building Council*).

Figura 146: Modelagem do Mock up inicial – Parâmetros de Luz Natural

Figuras 147,148,149 e 150: Vista interna do teto, volume, vista interna aberturas e abertura janela norte

Maquete Física

Modelagem no Software AGI32

Imagem Renderizada - Método Radiosity

Foto

AGI32 - Software para projetos de iluminação com recursos para cálculo e visualização pelos métodos Radiosity, Pseudocolor (Cor Falsa) e Raytracing. O software possui suporte para projeto e análise de ambientes iluminados com luz natural e/ou artificial.

**Mock up Pesquisa Doutorado Arq. Claudia Torres
Recife PE Brasil**

Simulações Realizadas com o
Emprego do Software AGI32

4.3 Definição de métodos e técnicas

4.3.1. Registro fotográfico e medições

Fotos do ambiente com mobiliário e objetos nas situações planejadas com diferentes captações de luz natural. O equipamento utilizado foi máquina digital Nikon CoolPix 4500.

A definição das variáveis a serem analisadas e respectivas situações foram resultados das questões e hipóteses levantadas. Para cada pergunta, situações eram montadas e observadas. A oportunidade de realizar as medições das iluminâncias e luminâncias em escala real trouxe dados objetivos a serem analisados na pesquisa. nos planos de trabalho e planos verticais com luxímetro e luminancímetro, nas situações simuladas e construídas.

As medições foram realizadas com luxímetro digital portátil ICEL, modelo LD-510. A curva do luxímetro está de acordo com a curva internacional padrão de sensibilidade do olho humano (CIE). A exatidão está especificada por um período de um ano após a calibração, em porcentagem da leitura mais número de dígitos menos significativos, sendo válida na faixa de temperatura compreendida entre 18°C a 28°C e umidade relativa inferior a 80% sem condensação.

Função	Escala	Resolução	Exatidão
Lux	2.000 Lux	1 Lux	±3% (calibrado por uma lâmpada padrão de tungstênio de 2.854K) ±5% para outras fontes de luz
	20.000 Lux	10 Lux	
	50.000 Lux	100 Lux	

Fonte: Manual do fabricante

4.3.2 Pesquisa experimental

O objetivo desta pesquisa experimental foi identificar indicativos de preferências quanto às diversas modelagens de luz natural apresentadas num ambiente de trabalho, simulado e construído em escala real, *mock up*, incluindo luz artificial complementar. Foram utilizados questionários assim como entrevistas simultâneas.

A análise levará em conta o tipo de espaço e atividades desenvolvidas. Procura unir em um instrumento de análise aspectos relacionados ao uso da luz natural no interior das edificações, conforto luminoso, passando pela percepção. A pesquisa é qualitativa, com ênfase nos aspectos de conforto luminoso (visual e não visual), percepção visual (fisiológica e psicológica) e sensações.

Questionários e entrevistas: Ao mesmo tempo em que preenche um questionário, o entrevistado responde também às questões levantadas, justificando sua preferência e fazendo comentários complementares opcionais. (Ver anexo 3)

4.3.2.1. Pesquisas piloto e experimental final

Após a construção do *mock up* e mesmo antes de uma pesquisa piloto para avaliação inicial dos resultados e ajustes no questionário e também no próprio espaço, foi realizada uma avaliação detalhada dos resultados, havendo a participação de apenas um entrevistado. Após esta avaliação preliminar foram corrigidas as sistemáticas de apresentação das diferentes situações, em que o entrevistado saía da sala para depois retornar com a situação modificada e voltar a responder a segunda parte das questões. Como as modificações no espaço eram relativamente pequenas, a percepção não resultou muito evidente e havia possibilidade de esquecimento. A partir daí, diminuímos e objetivamos as perguntas para cobrir um número maior de variáveis e as modificações passariam a ser realizadas na frente do entrevistado.

A etapa da pesquisa piloto anterior permitiu ajustes para a pesquisa final, tanto no questionário, que ficou mais objetivo e simplificado, quanto no tratamento do espaço para que as mudanças e comparações ficassem mais evidentes. A pergunta básica, *qual iluminação das duas situações você prefere para trabalhar?* Conduziu a uma resposta objetiva e possível de ser quantificada. As justificativas eram opcionais, mas importantes para o entendimento das respostas. As medições realizadas no momento da pesquisa permitiram também um comparativo quantitativo com aspectos das qualidades de distribuição da luz no ambiente. A partir desta tabulação, foi possível analisar os resultados através de um estudo comparativo dos valores e indicativos de preferências resultantes.

4.3 Método de avaliação dos resultados

Na medida em que se procurou testar as hipóteses, as respostas obtidas geraram ideias e novas questões para a pesquisa pois o raciocínio não é apenas lógico e dedutivo, mas também dialético e intuitivo. Ao mesmo tempo em que procurou estabelecer relações e causas, procurou descrever significados e descobertas, utilizando instrumento de medição e também a comunicação e observação. Ao invés de generalizações foi possível encontrar particularidades.

Tanto na pesquisa inicial quanto na final, foram realizadas medições das iluminâncias, em especial do plano de trabalho, com luxímetro quantidade da luz natural das

iluminâncias e das superfícies no plano horizontal de trabalho e paredes no campo visual do entrevistado, a partir do ponto de observação. Estas medições servem como parâmetro para compreensão das preferências dos entrevistados e qualidades importantes na iluminação de escritórios que puderam ser identificadas. A mensuração procurou tornar mais objetiva a compreensão ou indicar em valores o que a percepção interpretava. Os elementos básicos de análise não são os números em si que possibilitam a análise estatística, mas as ideias e palavras das interpretações individuais e as narrativas.

Os dados obtidos foram classificados em função das perguntas. Como as respostas eram objetivas, foi então possível tabulá-las. Registramos os comentários que justificam muitas das preferências, inclusive com suas diferenças e contradições. Conseguimos então identificar preferências por determinadas qualidades. Apesar das diferenças individuais de percepção, foi possível registrar indicativos de preferências do grupo, com maiorias expressivas em certos aspectos. As conclusões foram realizadas a partir da comparação destes resultados e confirmação ou não das hipóteses formuladas inicialmente.

4.4 Definição dos experimentos

- Características do ambiente de trabalho: escritório
- Atividades: ler, escrever, digitar no computador, atender ao telefone.

O diagrama morfológico desenvolvido pela profa. Cláudia Amorim da FAU- UNB foi utilizado como um roteiro de tipologias da captação da luz natural e suas variáveis, que seleciona sistemas e estratégias efetivas para luz natural em edifícios. O diagrama - ao combinar parâmetros e variáveis - procura representar uma série de soluções de projeto, dentro de uma “gramática tipológica arquitetônica”.

Segundo AMORIM, “O ambiente ou espaço (externo ou interno) é visto como um conjunto de planos formando o piso, as paredes com aberturas, o teto, etc. A combinação de vários planos produzem muitos “ambientes” diferentes; os planos que compõem este ambiente são os “PARÂMETROS” do DIAGRAMA MORFOLÓGICO, e as várias possibilidades de configuração de pisos, paredes, janelas são suas “VARIÁVEIS”. Identificamos, para nossa pesquisa, as variáveis, destacadas abaixo em negrito, que serão investigadas nos experimentos, a partir dos parâmetros a seguir:

- ✓ PARÂMETRO: **Planta Baixa** (entrada de luz: norte/leste/oeste)

VARIÁVEIS: 1. **unilateral**

2. **bilateral**

3. ambiente profundo

4. outros

- ✓ PARÂMETRO: **Posição do coletor de luz**

VARIÁVEIS: 1. **No centro do plano lateral**

2. **No centro do plano zenital**

3. Entre planos

4. **Ao longo do canto entre planos**

5. Parede aberta

6. outros

- ✓ PARÂMETRO: **Dimensão do coletor de luz**

VARIÁVEIS: 1 – Abertura lateral até 15%

2 – **Abertura lateral entre 15 e 30%**

3 – Abertura lateral maior que 30%

4 – **Abertura zenital de até 15%**

5 – *Abertura zenital entre 15 e 30%*

6 – Abertura zenital maior que 30%

- ✓ PARÂMETRO: **Forma do coletor de luz**

VARIÁVEIS: 1 - Janela intermediária

2 – **Janela horizontal**

3 – Janela Vertical

4 – Cortina de vidro

5 – abertura zenital horizontal

6 – abertura zenital vertical

7 – teto envidraçado

✓ **PARÂMETRO: Controle da entrada de luz**

VARIÁVEIS: 1 – peitoril

2 – Prateleiras de luz

3 – Beirais ou toldos

4 – Brises

5 – Cobogós

6 – Cortinas, películas ou vidros especiais

7 – outros

✓ **PARÂMETRO: Controle e integração da iluminação artificial**

VARIÁVEIS: **1 – on/off**

2 – On/off com sensor

3 – *Dimming*

4 – Dimming com sensor

5 – Sensor de presença ou temporizador

6 – Outros

✓ **PARÂMETRO: Vista Para O Exterior:** Identificação de problemas com ofuscamento, devido à porção visível da abóbada celeste.

Foi realizada seleção dos parâmetros e variáveis que serão construídas no espaço para registros, medições e avaliação da amostra pesquisada. O acionamento da luz artificial entra como um componente, uma possibilidade importante a ser considerada.

As situações têm como objetivo criar diferentes qualidades de luz, conforme o tipo de captação da luz solar, desde uma iluminação uniforme até variações intencionais na

distribuição de luz e sombra, com o objetivo de identificar preferências a partir das variáveis estudadas. O que vemos e como vemos têm implicações e relações não visíveis, psicológicas, emocionais que também têm a ver com as experiências individuais. *Nosso objetivo é identificar indicativos de preferências dentro do universo da amostragem pesquisada, a fim de procurar similaridades e diferenças, comparar com as medições de luz que representam quantitativamente o fenômeno e investigar se é possível definir referências a serem consideradas em novos projetos.*

- **EXPERIMENTO 1**

Questão: Os ambientes onde a luz vem de mais de uma abertura em diferentes direções costumam ser mais atrativos? Acreditamos que, de um modo geral, as pessoas preferem a luz de um ambiente proveniente de mais de uma direção.

PARÂMETRO: **Planta Baixa**

VARIÁVEIS: **unilateral** (Janela fachada norte) **x** **bilateral** (Janela fachada norte + seteiras fachadas leste e oeste)

- **EXPERIMENTO 2**

Questão: Ambientes com menores contrastes e maior uniformidade são preferíveis para o trabalho?

PARÂMETRO: **Forma do coletor de luz**

VARIÁVEIS: **Janela intermediária** (fachada norte e alta na fachada norte) **x** **Janela horizontal** (fachada norte)

- **EXPERIMENTO 3**

Questão: Contrastes excessivos propiciam o acionamento de luz complementar artificial, a fim de equilibrar o conforto luminoso, mesmo que os níveis mínimos estejam dentro das recomendações?

PARÂMETRO: **Controle e integração da iluminação artificial**

VARIÁVEIS: **1 – on/off** (Janela fachada norte x janela fachada norte + Iluminação artificial no fundo da sala)

- **EXPERIMENTO 4**

Questão: É perceptível visualmente a qualidade da luz natural ou artificial quando a luz é zenital e não temos expectativa da visão da paisagem?

As pessoas têm preferência por locais com visão do exterior-paisagem e não apenas entrada de luz natural?

PARÂMETRO: Forma do coletor de luz

VARIÁVEIS: Abertura zenital horizontal (luz natural x artificial) x
abertura zenital vertical (luz natural)

Capítulo 5:

Pesquisa Experimental

Pesquisa Experimental

5 Pesquisa Experimental

5 Pesquisa Experimental

5.1 Pesquisa preliminar

Após a conclusão do *mock up*, foi realizada uma primeira entrevista com apenas um participante para uma sondagem e verificação do roteiro inicialmente proposto, que foi traduzido e adaptado pelo Prof. Paulo Scarazzato (FAUUSP) a partir de um modelo proposto pela CIE (*Comission Internationale de l'Eclairage*) para avaliação da iluminação em ambientes existentes. Embora tenha sido elaborado para avaliação da iluminação em escritórios pode ser aplicado em ambientes destinados a outras funções, desde que tenha com ajustes cabíveis a cada caso.

Figuras 151 e 152 : Implantação do Mock up Fachadas Sul (menor) e Leste; Fachadas Norte (menor) e Oeste.

O roteiro foi dividido em duas etapas, sendo a primeira para saber a impressão geral sobre o ambiente. “Sabe-se que nem sempre a primeira impressão sobre um espaço construído qualquer é a que prevalece após algum tempo de ambientação e da escolha definitiva de uma posição de trabalho”.

Na segunda etapa, uma análise do observador sobre a ambiência luminosa, quando executando uma tarefa padrão, no caso, preencher o roteiro no computador e ficha em papel com dados pessoais. Estas etapas foram feitas em duas situações distintas para análise comparativa. (Ver anexo 2)

O objetivo deste experimento preliminar foi o de identificar e corrigir algum desconforto das situações, verificar se as diferenças na captação e distribuição da luz eram perceptíveis, e testar o procedimento da entrevista e preenchimento do questionário. Após completar o roteiro de cada situação, o entrevistado escolhia a de sua preferência justificando a resposta.

Entrevistado: Arquiteta de Iluminação idade: 46 anos

Data: 24/Fevereiro/2009

Horário: 9:40h às 10:20h

Tipo de céu: claro

5.1.1 Características do ambiente de escritório

Materiais de acabamento: Piso: cimentado/cinza claro

Parede e teto: Pintura fosca na cor branco neve

Mobiliário: Mesa e aparador em madeira machetada cor mel e tampo em laminado branco neve fosco, cadeiras em resina cor preto fosco e estrutura cromada.

Figuras 153,154,155 e 156 Situação Janela Fachada norte e cantos leste/oeste

Figuras 157 e 158: Situação Janela Corrida Fachada norte, janela estreita fachada leste e janela alta estreita fachada oeste, além de iluminação indireta linear zenital ao longo da parede de fundo.

Figuras 159 e 160: Situação Janela Corrida Fachada norte e Janela alta estreita fachada oeste, além de iluminação indireta zenital ao longo da parede de fundo. Observa-se a parede de fundo mais iluminada.

Figuras 161,162 e 163: Situação Janela Corrida
Fachada norte e janela estreita leste.

Nas duas situações as primeiras impressões dos ambientes foram consideradas boas, sendo a maior qualidade, a *luminosidade*. A impressão geral inicial foi assim descrita: *“ambiente muito claro. Do ponto de observação, já sentada à mesa, percebo mais luz à minha esquerda, o que me faz sentir vontade de proteger com a mão para equilibrar a luz no meu campo visual”*. Os níveis de iluminação obtidos no plano de trabalho com céu claro chegaram a 2780 lux e 4000 lux próximo à janela, enquanto que no mesmo período, com nuvens, medimos 1700 lux na mesa e 2300 lux na mesma posição.

O *lay out* foi avaliado como satisfatório; as condições de visualizar com facilidade a tarefa e objetos da sala e o ambiente visual favorável à concentração. *“A mesa está bem*

colocada em relação à entrada de luz natural evitando sombras no campo de trabalho, entretanto gostaria de poder observar os quadros coloridos”.

A aparência do mobiliário foi considerada *agradável*, enquanto que o sistema geral de cores, *razoavelmente bom*. *“Gostaria de ver uma superfície de cor mais quente” (...)* *“As cadeiras pretas localizadas à frente da mesa e o computador no plano de trabalho, também na cor preta conseguem equilibrar a incidência luminosa no campo visual”.*

Reflexões especulares no ambiente foram consideradas sem importância. Entretanto o tampo do aparador branco fosco, próximo à janela foi registrado como uma área de brilho desconfortável na observação do ambiente. O brilho no tampo da mesa de trabalho também foi assinalado, embora tenha afirmado que *“é compensado pela cor preta do computador”.* Com relação à distribuição da luminosidade considerou neutra e não uniforme devido à entrada maior de luz pela janela norte. Uma vez analisadas a composição, condições visuais e de iluminação, qualificou o ambiente com uma impressão geral de excelente.

Após uma análise mais detalhada, e de uma permanência mais prolongada no ambiente, provavelmente existem diferenças entre a primeira impressão. *“Pelo fato de ter entrado no ambiente sem orientação sobre os passos da pesquisa, senti sem observar todos os itens. Agora, após uma permanência prolongada, consigo perceber um equilíbrio entre o branco e as cores saturadas dos objetos”.*

A alteração da entrada de luz para a segunda situação foi realizada com o entrevistado fora da sala, entretanto, as modificações eram pouco percebidas, então o experimento foi repetido, mostrando as alterações para que pudesse visualizar as situações quase ao mesmo tempo. A preferência foi pela situação com a janela norte, considerando esta com menor luminosidade mais agradável, pois ao direcionar o olhar para dentro da sala a luz se tornava mais confortável, embora tenha comentado que *“a luminosidade maior entrando pela minha esquerda incomoda um pouco”.*

O ambiente de 3.00 x 4.00m e altura da janela 2.10m em toda extensão da fachada norte e ainda virando os cantos das fachadas leste e oeste, propiciou um alcance de iluminação bastante uniforme na profundidade da sala, especialmente por apresentar acabamento em pintura fosca na cor branco neve, de alta refletância. O resultado foi um ambiente bastante luminoso. Observe que a profundidade de 4.00m corresponde a praticamente duas vezes a altura da entrada de luz, menor que duas vezes e meia, parâmetro considerado como alcance da luz natural lateral.

5.1.2 Conclusões

A preferência pela situação com entrada de luz apenas pela fachada norte e justificada pela afirmativa de maior conforto ao focalizar o outro lado da sala indica excesso de luz vindo desta direção, o suficiente para criar uma “caixa de reflexões”, suavizadas na área do fundo da sala, para onde o olhar buscou conforto. Percebemos, já a partir da entrevista preliminar, que para comparar situações, as diferenças precisariam ser claramente perceptíveis, pois se fossem muito sutis não reforçariam as modificações realizadas e não iria conseguir obter a resposta para a pergunta realizada, deixando o entrevistado em dúvida. A partir de então, foram realizados os seguintes ajustes:

- Substituir o tampo da mesa por um laminado fosco marfim ao invés de branco para evitar o excesso de brilho e desconforto visual;
- no aparador deixar o tampo removível com a opção de branco ou madeira clara;
- pintar a parede de fundo na cor *branco gelo* para reduzir a refletância neste campo de visão; Embora a cor branca fosse mais eficiente para reflexão da luz no fundo da sala, as dimensões reduzidas do ambiente e entrada também de luz rasante na segunda situação, levou a reduzir o brilho, diminuindo a refletância;
- fechar os cantos da janela norte para diminuir o excesso de luz vindo nesta direção;
- abrir outra janela estreita na fachada oeste para intensificar o efeito de luz no fundo da sala, tornando-o mais perceptível em toda extensão da parede.

5.2 Pesquisa piloto

A pesquisa piloto ou inicial foi realizada a partir da observação e comparativo, de duas situações, as mesmas da pesquisa preliminar com os ajustes realizados, além de comparativo com o registro fotográfico do mesmo ambiente. Procurou-se definir uma amostragem de participantes com arquitetos atuantes no mercado, ou seja, profissionais

que têm uma sensibilidade no trato com a iluminação e tomam decisões no tratamento da luz em seus projetos, totalizando 12 participantes.

Esta etapa foi importante para uma análise mais detalhada dos aspectos relevantes do tratamento geral do espaço e da iluminação, tais como lay out, mobiliário, distribuição das cores, assim como identificar algum tipo de desconforto e possíveis zonas de ofuscamento. A partir, daí seria possível fazer as devidas alterações para que a pesquisa final focasse mais nas variáveis da luz, conforme o objetivo de cada questão colocada. A ficha do questionário em anexo detalha as perguntas realizadas a partir da vivência das duas situações apresentadas, num questionário objetivo, que incluiu também justificar a preferência de uma situação em relação à outra.

A observação direta apresentou resultados mais seguros, pois através das fotografias, não era possível perceber as diferenças mais sutis da luz. Isto levou à escolha de se trabalhar apenas com a pesquisa *in loco*. As variações de luz são percebidas na sua totalidade, inclusive as variações em função da abóbada celeste.

Nesta pesquisa experimental, foram comparadas duas situações:

Entrada de luz pela fachada Norte apenas e outra onde eram acrescentadas entrada de luz pela fachada Leste, através de uma seteira no fundo da sala. O objetivo era identificar a preferência pela luz unilateral ou proveniente de mais de uma direção, mesmo que não houvesse ganhos expressivos de visão da paisagem pelas pequenas aberturas acrescentadas.

A pesquisa foi realizada da seguinte maneira:

O entrevistado entrava na sala com a situação de uma sala de escritório conforme *lay out* apresentado e se acomodava à mesa de trabalho para um tempo de 15 minutos de adaptação, com a janela norte já aberta.

Uma conversa inicial procurava esclarecer o objetivo daquele trabalho e como seria realizado. Era pedido que observasse o ambiente, mobiliário, objetos e se ambientasse com o espaço. Preenchia os dados pessoais no computador e depois a ficha impressa com o roteiro. Cada pergunta era orientada, caso houvesse dúvidas.

Para registrar a preferência da primeira impressão das duas situações, a modificação era realizada na frente do entrevistado de maneira que ele acompanhasse as mudanças e marcasse de imediato a que lhe parecia melhor para o ambiente de trabalho. A princípio,

somente janela norte (situação “A”) e depois com o acréscimo das janelas leste e oeste (situação “B”).

Ao finalizar o preenchimento e fazer perguntas eventuais, primeiro da situação inicial e, em seguida, com o cenário modificado, a resposta da preferência após um tempo desenvolvendo uma tarefa deveria ser justificada por escrito.

O tempo total de cada pesquisa foi em média de 50 minutos, contando com a parte de adaptação inicial. A amostragem experimental reuniu 13 pessoas:

11 mulheres, arquitetas:	Até 40 anos = 5
	Entre 40 e 55 anos = 5
2 Homens, arquitetos:	Até 40 anos = 1
	Entre 40 e 55 anos = 1

Figura 164: Situação A - Janela Norte

Data: 14/abril/2010 Horário: 10:30h Céu claro

Figuras 165 e 166: Situação B - Janela Norte e Janelas Leste/oeste

Data: 14/abril/2010 Horário: 10:30h Céu claro

Figura 167: Situação A: Janela Norte

Data: 14/abril/2010 Horário: 10:30h Céu claro

Figura 168: Situação B - Janela Norte e Leste/oeste

Horário: 10:30h Data: 14/abril/2010 Céu claro

Figura 169: Situação A - Janela Norte

Data: 14/abril/2010 Horário: 10:30 Céu claro

Figura 170: Situação B - Janela Norte e Janelas Leste/oeste

Data: 14/abril/2010 Horário: 10:30h Céu claro

5.2.1 Resultados

Dentre as razões apontadas pelos entrevistados para escolha inicial da situação “A” destacamos o *“conforto visual do ambiente, que é excelente para desempenhar tarefas como escrever, sem que force a visão”, ou ainda: “Na apresentação geral da sala preferi com as janelas fechadas, mas para o desenvolvimento de tarefas, não observei diferença na aparência do ambiente”*.

SUAS PRIMEIRAS IMPRESSÕES PODEM SER CLASSIFICADAS COMO SENDO:					
SITUAÇÃO A		SITUAÇÃO B		SITUAÇÃO PREFERIDA	
Desfavoráveis	1	Desfavoráveis		SITUAÇÃO A	3
Indiferentes	1	Indiferentes	1		
Boas	10	Boas	7	SITUAÇÃO B	10
Excelentes	1	Excelentes	5		

Tabela 16: Pesquisa Piloto – Primeiras impressões

Para escolha da situação “B”, que foi de 77%, selecionamos as razões comentadas pelos entrevistados:

“No que se refere a uma área de trabalho, me senti mais em contato com o exterior. A luz me deixou mais atenta para o trabalho, enquanto que a opção inicial traz um melhor conforto visual e relaxamento”.

“Quando entrei na sala tive uma boa impressão; com o passar do tempo senti necessidade de mais iluminação na parede direita”.

“Gostei mais da distribuição de luz, considero mais equilibrada”.

“Mais equilíbrio de luz no fundo da sala e maior sensação de contato com o exterior”.

“Pela sensação de conforto ampliada, provavelmente pela redução da sombra com mais área para entrada de luz natural”.

“Porque gosto de um ambiente mais iluminado, com mais luz”.

“Porque tive mais facilidade para visualizar o espaço”.

“Sensação de mais frescor”.

Em seguida, apresentamos os resultados das questões respondidas:

VISUALIZAÇÃO DA TAREFA NO CAMPO VISUAL IMEDIATO:		
	SITUAÇÃO "A"	SITUAÇÃO "B"
Com dificuldade		
Não tão bem	1	
Relativamente bem		1
Facilmente	12	12

Tabela 17: Visualização da tarefa

Nas duas situações, a visualização da tarefa no campo visual foi considerada com facilidade, pois os níveis de iluminação medidos não foram menores do que 400 lux na área da mesa de trabalho, na data desta pesquisa.

EXISTE ALGUMA ÁREA ILUMINADA NO CAMPO VISUAL QUE CHAME A ATENÇÃO?						
	SITUAÇÃO "A"			SITUAÇÃO "B"		
Ofuscante						
Atrativo	5	Janela FN/Paisagem	2	8	Janela FN/Paisagem	2
					Vaso com Palmeira	2
					Janela Leste	
Dispersivo	2	Janela FN/Paisagem	2	3	Reflexo no vidro do quadro	1
Sem importância	6			2		

Tabela 18: Área do campo visual x atenção

Sabemos que uma área mais iluminada no campo de visão chama a atenção e atrai instintivamente o olhar, podendo se tornar atrativa. Se o brilho é mais intenso e a atividade desenvolvida requer concentração, pode ocorrer dispersão; e ainda se este brilho traz real desconforto, pode ser causa de ofuscamento. Nas situações observadas, não foi indicado nenhum ponto de ofuscamento. Foi considerada atrativa a janela Norte e outros a acharam dispersiva devido à visão da paisagem. A Janela da fachada leste e o vaso com a palmeira se tornaram atrativos na situação "B". Basicamente estes três itens foram comentados.

Quando o brilho é maior, de atrativo, passa a ser dispersivo, como foi a janela norte na primeira situação, mas, depois que se abrem as leste/oeste, equilibra mais, daí a janela fica atrativa e não foi considerada dispersiva. Atração visual tem a ver com destaque de iluminação, mais luz e também com o que se vê a partir daí.

Ao olhar ao redor para descansar e movimentar seus olhos, percebe um ponto de descanso visual?			
	Sim		Não
SITUAÇÃO "A"	Parede em frente à mesa	3	
	Janela/Paisagem Fachada Norte	5	
	Parede sul sem janelas	3	
	Bancada de madeira da janela/cadeiras pretas à frente	02	
SITUAÇÃO "B"	Parede em frente à mesa	8	
	Janela/Paisagem Fachada Norte	2	
	Planta no vaso	3	

Tabela 19: Descanso visual no campo de visão

Ao desenvolvermos uma atividade focalizando um trabalho, buscamos momentos de alternância no campo de visão e que traga descanso para a musculatura ocular do cristalino que fica em posição de relaxamento, sem focalizar qualquer objeto. Na questão realizada acima, tanto numa situação como na outra, todos os participantes afirmam ter um ponto de descanso visual. Nas duas situações, os pontos foram a janela fachada norte, a parede em frente com quadros. Na situação "B" a direção do olhar se modificou, incluindo a planta como elemento de descanso, que passou a ser percebido com a iluminação recebida através da janela na fachada leste e, além disto, a parede sul com mais luz localizada deixou de ser um ponto de descanso visual.

COMO É, NA SUA OPNIÃO A ILUMINAÇÃO DESTE AMBIENTE?		
	SITUAÇÃO "A"	SITUAÇÃO "B"
Desconfortável	1	
Indiferente		
Confortável/Boa	11	7
Confortável/Excelente	1	5

Tabela 20: Classificação da iluminação no ambiente

Observamos satisfação com a iluminação do ambiente, com indicativo de conforto luminoso, entretanto ao procurar qualificar ou atribuir adjetivos à iluminação das duas situações, não existem diferenças muito expressivas que cheguem a alterar as qualidades. Os dados assinalados indicam ambas *suaves*, embora a segunda seja mais assinalada como *clara* e a primeira como *variada*. Entenda-se variada com variações no nível de iluminação, um suave degradê a partir da janela na fachada norte. As qualidades atribuídas são bem similares, evidenciando que o julgamento subjetivo das qualidades da iluminação são bastante variáveis para percepção individual.

QUAIS OS ADJETIVOS QUE MELHOR DEFINEM A QUALIDADE DE ILUMINAÇÃO DA SALA		
	SITUAÇÃO "A"	SITUAÇÃO "B"
Opaca	3	
Ou Clara	4	7
Dura	1	1
Ou suave	9	8
Fria	2	2
Ou morna	3	2
Variada	7	4
Ou uniforme	3	3

Tabela 21: Qualidades associadas à iluminação do ambiente

Depois de uma análise mais detalhada e de uma permanência mais prolongada no ambiente, foi perguntado qual a situação de distribuição e qualidade da luz preferida. Dos treze arquitetos entrevistados, dez preferiram a situação "B" com Janela fachada norte e janelas estreitas fachadas leste/oeste e apenas três optaram pela primeira situação "A". Dentre as razões apontadas pelos entrevistados para escolha da situação "A" destacamos as seguintes:

"A situação inicial apresenta uma iluminação mais agradável sem tantos contrastes entre as sombras do ambiente, tornando-se mais agradável aos olhos. Não sinto a necessidade de forçar a visão para me adaptar ao ambiente".

"Depois de vivenciar os dois ambientes pude perceber que a opção inicial traz uma melhor concentração, apesar de ser um ambiente mais aconchegante, sem muita

iluminação direta e a opção modificada, como tinha falado inicialmente, me deixou um pouco dispersa, pois me chamou muita atenção para o exterior, e isto dificultou mais a minha concentração”.

“A situação modificada para mim foi indiferente, mesmo percebendo um pouco de compensação na entrada de luz na outra lateral. Mas, como a entrada de luz da janela grande já é suficiente para iluminar o ambiente, não tive sensações diferentes”.

Dentre as razões apontadas pelos entrevistados para Escolha da SITUAÇÃO “B”, repetem-se com frequência, o equilíbrio alcançado pela uniformidade, como mostramos a seguir:

“A uniformidade de luz traz uma sensação melhor para o ambiente de trabalho”.

“Devido à entrada de luz pelo lado direito, a luz fica mais equilibrada no campo de trabalho”.

“A iluminação no ambiente de trabalho se tornou mais uniforme com a abertura das esquadrias laterais, valorizando grande parte dos objetos contidos no espaço”.

“Promove um equilíbrio no nível de iluminação do ambiente, proporcionando maior conforto visual”.

“Menos sombra, mais luz natural, mais brilho ou menos “frieza” no ambiente”.

“Realmente me sinto melhor, mais confortável e ambientada com a situação com mais luz”.

“É mais equilibrada. É agradável, mas não causa dispersão. Abrindo as duas seteiras, a sensação é mais agradável”.

“Além de mais clara, a situação modificada me pareceu mais homogênea com a iluminação mais bem dividida”.

“Equilíbrio da luz no fundo da sala”.

“Porque gosto de um ambiente mais iluminado, mais luz”.

“Quando entrei na sala tive uma boa impressão; com o passar do tempo, senti necessidade de mais iluminação na parede da direita (fundo da sala)”.

5.2.2 Conclusões

Na montagem do *mock up*, para a pesquisa piloto, optamos por acabamento na cor branco neve na parede e teto com o objetivo de perceber as diferenças de luz, incidente e refletida (percebida). A partir desta observação, percebemos o ambiente, de dimensões pequenas (3.00m x 4.00m) como uma caixa de reflexões da luz, de iluminâncias altas, de distribuição bastante uniforme.

Um ambiente totalmente branco pode agir de modo quase tão irritante quanto o vermelho, pois reflete todos os comprimentos de onda, de maneira bastante estimulante fisicamente, mas não para um trabalho intelectual e criativo, onde o corpo “repousa” e a mente trabalha. Neste sentido procuramos diminuir esta brancura apenas mudando para a pesquisa final, a tonalidade de branco para um menos branco, digamos assim, na família dos brancos off-white, como é conhecido no mercado de tintas.

A princípio, apenas a parede oposta às janelas foi pintada, primeiro com cinza. Mas a luz ficaria bem diferente neste plano, importante na consideração da pesquisa. Pintou-se então de branco gelo, em contraste com o branco neve do resto do ambiente, para alongar visualmente, dando uma sensação de profundidade maior.

O objetivo da pesquisa piloto também seria identificar algum tipo de desconforto, pois procurou-se planejar uma iluminação confortável nas suas variações de situações. Se algo fosse mencionado, estudariamos o ajuste necessário.

Todos os entrevistados preferiram o revestimento em madeira, na bancada junto da janela, ao invés de laminado branco, que consideraram desconfortável, com excesso de brilho, ou seja, muita luz refletida, alta luminância e conseqüente ofuscamento, pois as iluminâncias neste ponto variaram de 1500 a 3700 lux.

Foi questionado se seria necessário acionar a luz artificial complementar e a resposta foi negativa. As iluminâncias no plano de trabalho, entre março e abril, no horário entre 9:00h e 11:00h variaram de 800 a 2500 lux. Ao serem indagados quanto à opção de fechar as persianas, todos afirmaram não ser necessário, porque a situação estava confortável. Como já havíamos trocado o tampo para laminado fosco na cor marfim, estas variações foram aceitas sem citação de desconforto nos níveis registrados.

Apenas 10% da amostra preferiram a situação “A” e justificaram que se tem muita entrada de luz pela fachada norte, que já julgavam satisfatórias, prefeririam que não

houvesse mais aberturas para eles focalizarem o olhar na zona menos clara da sala. 90% preferiram a situação “B” pelas razões já citadas.

Na posição onde o entrevistado fica sentado, não fica visível a abóbada celeste, pois o muro alto e o beiral delimitam a visão externa que mais se parece com um pátio. Isto traz bastante conforto ao ambiente, pois mesmo com iluminações altas, não foi identificado nenhum ponto de ofuscamento, salvo quando a bancada junto da janela era modificada para branco neve fosco.

5.3 Pesquisa experimental

5.3.1 *Mock up*: versão final

Vários comentários qualificaram o ambiente como frio, não apenas se referindo à aparência da luz, mas também pela cor branco neve dominante no ambiente. No horário da pesquisa entre 9:00h e 11:30h, a luz solar tem uma aparência mais fria, desde a visão da abóbada celeste azul.

Após a pesquisa piloto, as paredes pintadas de branco neve fosco foram pintadas novamente, desta vez com um branco *off White*, ou seja, um branco de refletância mais baixa que o branco neve pois diminuía a sensação de “muita luz”. O teto permaneceu com o branco neve, posto que ampliava a percepção das proporções do espaço e colaborava na distribuição mais uniforme da luz. Além disto, incluímos quadros com cores nas paredes, procurando quebrar a monocromia dominante.

5.3.2 Amostragem

Para o experimento final, percebemos a necessidade de que o questionário fosse mais objetivo e permitisse, numa única visita, obter o maior número de respostas com a criação de diversas situações que pudessem ser modificadas na frente do observador. Reduzimos as questões e conseguimos criar quatro experimentos comparando as situações conforme detalhado a seguir, e deixamos as justificativas como opcionais. Uma vez apresentadas as situações era feita simplesmente a pergunta: *Qual das duas situações de iluminação você prefere?* A maior parte dos arquitetos entrevistados justificava suas respostas que foram registradas no próprio questionário ou verbalizadas e registradas pelo pesquisador. (ver anexo 3)

Amostra: Quantidade total: 32 arquitetos

Sendo: 22 Mulheres: idade até 40 anos: 9 10 Homens: idade até 40 anos: 3

Entre 40 e 55 anos: 12 Entre 40 e 55 anos: 3

Superior a 55 anos: 1 Superior a 55 anos: 4

Figura 171: Situação 4: Janela Norte + Iluminação artificial fundo da sala (ft 3907)

5.3.3 Preferências de iluminâncias

Ao entrar na sala o entrevistado se acomodava à mesa de trabalho para um tempo de adaptação de quinze minutos. Desta vez, as janelas e persianas fechadas. A primeira pergunta se referia ao nível de iluminação que considerava aceitável para trabalhar. O controle era feito com as persianas e a medição realizada. Um percentual de 59% preferiu considerar o patamar dos 200 lux mais adequado para começar, enquanto que 25%, somente a partir dos 300 lux. Iluminâncias menores que 130 lux foram consideradas confortáveis para relaxar ou outras atividades.

	Nível de iluminação aceitável para trabalhar	Nível de iluminação preferido para trabalhar	
A partir de 130 - 180 Lux	5	A partir de 250 - 290	4
A partir de 200 – 275 Lux	19	A partir de 340 – 370 Lux	5
A partir de 300 – 390 Lux	8	A partir de 400 - 490 Lux	12
		A partir de 500 - 580 Lux	7
		A partir de 600 - 750	4

Tabela 22: Iluminâncias preferidas para o trabalho em escritórios

Entretanto o percentual mais expressivo para o nível de iluminação preferido foi entre 400 e 550 lux, ou seja, 53% da mostra pesquisada. Apenas 12% preferiram trabalhar na faixa dos 250 lux, mesmo percentual para a faixa dos 600 lux.

“Para pensar, criar e usar o computador, desenhar croquis, prefiro 350 lux; a luz ajuda na introspecção”.

5.3.4 Experimento 1: direção da luz

SITUAÇÃO 1: Abertura Janela Norte x SITUAÇÃO 2: Abertura Janela Norte + Seteiras Leste-Oeste

Tipo de céu: parcialmente coberto

Horário: 10:00 às 11:00h Data: junho a julho/ 2010

O objetivo desta comparação era verificar a hipótese de que as pessoas preferem a luz natural distribuída no ambiente, proveniente de mais de uma direção, e também de que uma luz complementar no fundo da sala, seria uma posição estratégica, que traria mais uniformidade no campo de visão equilibrando os contrastes próximos à janela iluminada e ao fundo da sala. As janelas estreitas foram planejadas para propiciar entrada de luz sem incluir visão maior da paisagem, para que apenas a variável luz fosse avaliada nas duas distribuições distintas.

Figura 172: Situação 1-Janela Norte (ft 3863)

Data: 12/julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Figura 173: Situação 2- Janela Norte + Seteiras leste-oeste (ft 3872)

Data: 12/julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Figura 174: Situação 1: Janela Norte (ft 3864)

Data: 12/Julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Figura 175: Situação 2: Janela Norte + seteiras leste-oeste (ft 3874)

Data: 12/Julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Figura 176: Situação 1 - Janela Norte (ft 3865)

Data: 12/Julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Figura 177: Situação 2 - Janela Norte + seteiras leste-oeste (ft 3879)

Data: 12/Julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Figura 178: Situação 1- Janela Norte (ft 3871)

Data: 12/Julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Figura 179: Situação 2 - Janela Norte + seteiras leste-oeste (ft 3881)

Data: 12/Julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Os comentários dos entrevistados, selecionados abaixo, procuram justificar as preferências assinaladas nas situações 1 e 2.

- **Situação 1: Janela lateral fachada norte:**

“Prefiro esta porque a luz que vem do lado direito incomoda”.

“Prefiro esta pois a situação com as janelas estreitas leste-oeste causam sombras incômodas”.

“Prefiro esta pois luz que vem do lado direito incomoda” (referindo-se à luz das seteiras).

“Não fica o ambiente todo iluminado”.

- **Situação 2: Janela contínua fachada norte e duas janelas estreitas leste e oeste**

“Equilibra a iluminação do ambiente, sensação de conforto visual, apesar de ter 700 lux fica melhor, porque a distribuição pelo ambiente, a sensação é melhor, é mais agradável”.

“Prefiro a distribuição bilateral”.

“Janela lateral Fachada Norte”.

“Pela sensação de equilíbrio no espaço”.

“A iluminação fica distribuída no ambiente de forma mais homogênea”.

5.3.4.1 Resultados

A maioria, 78%, preferiu a situação com as três aberturas. As razões comentadas pelos participantes foram citadas no item anterior..

As iluminâncias variam de 370 a 830 lux na “situação 1”, e de 330 a 830 na “situação 2”. É interessante observar que, comparativamente, a iluminância no plano da mesa de trabalho não aumenta significativamente, 10 a 20%, entretanto a sensação é de mais luminosidade no ambiente pelo aumento das iluminâncias nos planos verticais das paredes.

EXPERIMENTO 1: DIREÇÃO DA LUZ	
<i>Qual a iluminação que prefere?</i>	
1. Janela lateral Fachada Norte	7
2. Janela contínua Fachada Norte e duas janelas estreitas Fachadas leste e oeste	25

Tabela 23: Preferências Experimento 1

5.3.5 Experimento 2: prateleira de luz

SITUAÇÃO 1: Abertura Janela Norte x SITUAÇÃO 3: Abertura Janela Norte + prateleira de luz

Tipo de céu: parcialmente coberto

Horário: 10:00h às 11:00h Data: junho a julho 2010

O objetivo deste experimento foi o de registrar a diferença da distribuição de luz no espaço a partir de uma janela com altura de 2.10m na fachada norte, sem entrada de radiação direta pela proteção do beiral contínuo, nos horários avaliados da manhã, e comparar com a situação onde se acrescentou a janela alta, acima da existente, sem proteção externa, mas com prateleira de luz. Procurou investigar a hipótese levantada de que as pessoas preferem para o trabalho situações de menores contrastes de luz, obtida neste caso com a condução da luz de forma indireta para o teto e redistribuída no ambiente com mais uniformidade.

Figura 180: Situação 1 - Janela Norte (ft 3863)

Data: 12/Julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Figura 181: Situação 3 - Janela Norte + prateleira de luz (ft 3883)

Data: 12/Julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Figura 182: Situação 1- Janela Norte (ft 3864)

Data: 12/Julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Figura 183: Situação 3 - Janela Norte + prateleira de luz (ft 3884)

Data: 12/Julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Figura 184: Situação 1- Janela Norte (ft 3865)

Data: 12/Julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Figura 185: Situação 3: Janela Norte + prateleira de luz (ft 3885)

Data: 12/Julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Figura 186: Situação 1: Janela Norte (ft 3871)

Data: 12/Julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Figura 187: Situação 3 - Janela Norte + prateleira de Luz (ft 3889)

Data: 12/Julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Os comentários abaixo selecionados procuram esclarecer algumas preferências dos participantes com relação às situações vivenciadas.

- **Situação 1. Janela contínua fachada norte**

(variações de 260 a 550 lux)

“Prefiro esta situação por ter menos claridade alta”.

“Prefiro menos luz na parte de cima; aletas das persianas para baixo”.

“Prefiro esta por ser um pouco mais intimista (350 lux), enquanto que com a janela alta a sensação é de excesso de luz (680 lux)”.

“Prefiro esta (530 lux) pois com a janela alta e prateleira de luz (790 lux) temos um contraste acentuado e não acrescentou conforto”.

- **Situação 3. Janela continua Fachada norte e janela alta com prateleira de luz fachada norte**

(variações de 350 a 940 lux)

“Excesso de luz” (680 lux).

“Prefiro menos luz na parte de cima”.

“Não gostei por conta do brilho acima da janela.

“Luz mais estimulante”; (760 lux).

“Não gostei por conta do brilho acima da janela (840 lux). Comparativamente tínhamos 600 lux apenas com janela baixa fachada norte”.

“A luz fica mais difusa e aumenta a iluminação na parte superior da sala”.

“Prefiro uma iluminação mais direta para o ambiente de trabalho”.

5.3.5.1 Resultados

Existe um aumento real de iluminância no plano da mesa de duas a três vezes, percebidos suavemente e, principalmente, na claridade da parede de fundo e parte superior das paredes, criando contrastes mais acentuados próximos à entrada de luz da janela alta que não tem proteção externa. A prateleira de luz em madeira pintada de branco neve faz o controle e proteção da visão direta da abóbada. O plano do teto fica perceptivelmente mais iluminado e colabora na redistribuição da luz. O espaço se expande verticalmente.

EXPERIMENTO 2: PRATELEIRA DE LUZ	
<i>Qual a iluminação que prefere?</i>	
1..Janela lateral Fachada Norte	6
3. Janela continua Fachada NORTE e Janela alta com prateleira de luz	26

Tabela 24: Preferências Experimento 2

5.3.6 Experimento 3: luz artificial complementar

SITUAÇÃO 1: Abertura Janela Norte x SITUAÇÃO 4: Abertura Janela Norte + iluminação artificial complementar fundo da sala.

Tipo de céu: parcialmente coberto

Horário: 10:00h às 11:00h

Data: junho/julho 2010

As pessoas buscam trabalhar em condições de conforto e ajustam as situações de forma a obter o melhor resultado. Se não é possível uma solução com luz natural, pelas frequentes limitações de orientação dos ambientes, a luz artificial complementar pode ser uma solução. Não apenas usada para a sala inteira, ao longo do dia, temos a hipótese de que uma iluminação artificial que equilibre com a entrada de luz das janelas, conduzirá a um menor acionamento do restante da iluminação artificial, desde que a natural atinja os níveis mínimos de 200 lux como referência.

Figura 188: Situação 1 - Janela Norte (ft 3863)

Data: 12/Julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Figura 189: Situação 4- Janela Norte + Iluminação artificial fundo da sala (ft 3899)

Data: 12/Julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Figura 190: Situação 1 - Janela Norte (ft 3864)

Data: 12/Julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Figura 191: Situação 4 - Janela Norte + Iluminação artificial fundo da sala (ft 3900)

Data: 12/Julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Figura 192: Situação 1 - Janela Norte (ft 3865)

Data: 12/Julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Figura 193.: Situação 4- Janela Norte + Iluminação artificial fundo da sala (ft 3901)

Data: 12/Julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Figura 194: Situação 1 - Janela Norte (ft 3871)

Data: 12/Julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Figura 195: Situação 4- Janela Norte + Iluminação artificial fundo da sala (ft 3907)

Data: 12/Julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Selecionamos a seguir alguns comentários que justificam as opiniões dos entrevistados:

- **Situação 1: abertura janela norte**

“O brilho da luz artificial incomoda, ver a lâmpada” (nesta medição a luz natural na mesa era de 500lux.)

“Para esta atividade a iluminação natural é preferida, embora a iluminação artificial não incomode”.

“Prefiro a luz natural porque é mais agradável e confortável” (450 lux na mesa).

- **Situação 4: Abertura Janela Norte + iluminação artificial complementar fundo da sala.**

“Para luz artificial complementar à luz do dia, prefiro a indireta à direta acima das cabeças”; (nesta medição, a iluminação natural chegou a 400 e depois 600 lux).

“Com relação à posição da luz artificial preferência pela luz direta do que lateral direta “mas sem visibilidade da fonte”.

“Preferiu a luz artificial no fundo da sala por conta da distribuição mais uniforme no ambiente, pois a luz natural mais forte vem só alta à esquerda”.

“Iluminação mais clara mais confortável”.

“Prefiro o jogo de iluminação natural e artificial, pois é um jogo de luz branca e luz amarela (que prefiro para trabalhar), conciliando conforto visual (luz branca) com conforto físico / sensações (luz amarela)”.

5.3.6.1 Resultados

Mesmo a luz natural sendo suficiente para atingir o fundo da sala, com níveis mínimos superiores a 100 lux e contrastes médios de $\frac{1}{4}$, 68% dos entrevistados, preferiram a “situação 4” com iluminação artificial complementar no fundo da sala. Acreditamos que este percentual tenda a aumentar quanto maior for a profundidade da sala, a fim de equilibrar a distribuição da luz. Observamos, em alguns comentários, a preferência em ter luz, mas não ver a fonte, com iluminação indireta. Como a luz artificial foi instalada muito próxima à parede de fundo, a luz incidente marca a fotometria com um excesso de brilho próximo à luminária e isto foi comentado por alguns entrevistados.

Mesmo com níveis mínimos superiores a 200 lux na “situação 1”, inclusive no fundo da sala, houve preferência por acionar a luz artificial no fundo da sala, por acharem mais confortável. Lançando outra hipótese que seria para futuras pesquisas, levaria a iluminação complementar artificial a não ter um papel apenas de complementar a luz necessária para uma tarefa, mas um papel importante na luz da arquitetura, equilibrando contrastes, em espaços iluminados apenas por uma fachada e com profundidades maiores que duas vezes e meio a altura da janela. Isto levaria a uma distribuição de circuito que não apenas utilizasse em separado a linha de luminárias mais próximas as janelas, como também as luminárias em situação oposta, mais distantes. Isto reforça o conceito das zonas de luz, com o dado novo de considerar não apenas a iluminância horizontal, mas a percepção dos planos verticais como elemento importante para o entendimento do uso da iluminação natural e artificial.

EXPERIMENTO 3: ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL COMPLEMENTAR	
<i>Qual a iluminação que prefere?</i>	
1. Janela lateral Fachada Norte	13
4. Janela contínua Fachada Norte e Iluminação Artificial fundo da sala	19

Tabela 25: Preferências Experimento 3

5.3.7 Experimento 4: iluminação artificial x natural

Situação 5: Iluminação Natural Zenital x Situação 6: Iluminação Artificial

Na “situação 5” as variações de iluminâncias no plano da mesa foram de 80 a 150 lux com céu encoberto, e predominância média de 430 lux, atingindo até 750 lux com céu claro. A situação com iluminação natural zenital inclui a claraboia central e a abertura zenital

vertical, obtida a partir da janela alta, aberta apenas até a metade, sem visibilidade por conta da prateleira de luz e adaptada à situação para conseguir uma equivalência da iluminância obtida com luz artificial. Esta foi planejada para 300 lux na área da mesa, apenas com a luminária central. Conforme a quantidade de luz natural, quando superior aos 300 lux, poderíamos acionar a iluminação artificial no fundo da sala, simétrica à entrada de luz natural para atingir no plano da mesa 480 lux.

O objetivo era de comparar a preferência por luz natural ou artificial. Não conseguimos criar uma situação onde o entrevistado não soubesse quando era uma ou outra, pois as regulagens eram feitas no mesmo momento, mas isto não invalidou o experimento, pois era perceptível, mesmo nestas condições, as diferenças de brilho e distribuição da iluminação natural ou artificial.

Tipo de céu: parcialmente coberto

Horário: 10:00 às 11:00h Data: junho/julho 2010

Figura 196: Situação 5 - Iluminação Natural Zenital/Detalhe do Teto (ft 3898)

Data: 12/Julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Figura 197: Situação 5 - Iluminação Natural Zenital (ft 3890)

Data: 12/Julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Figura 198: Situação 6 - Iluminação Artificial (ft 3909)

Data: 12/Julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Figura 199: Situação 5 - Iluminação Natural Zenital (ft 3891)

Data: 12/Julho/ 2010
Horário: 10:00/11:00h

Figura 200: Situação 6 - Iluminação Artificial (ft 3911)

Data: 12/Julho/ 2010
Horário 10:00/11:00h

Figura 201: Situação 6 - Iluminação Artificial (ft 3912)

Data: 12/Julho/ 2010 Horário:
10:00/11:00h

Figura 202: Situação 5 - Iluminação Natural Zenital (ft 3894)

Data: 12/Julho/ 201 Horário: 10:00/11:00h

Figura 203: Situação 6 - Iluminação Artificial (ft 3916)

Data: 12/Julho/ 2010

Horário: 10:00/11:00h

Figura 204: Situação 5 - Iluminação Natural Zenital (ft 3895)

Data: 12/Julho/ 2010 Horário: 10:00/11:00h

Figura 205: Situação 6 - Iluminação Artificial (ft 3920) na mesma direção da natural

Data: 12/Julho/ 2010 Horário: 10:00/11:00h

Figura 206: Situação 6 - Iluminação Artificial (ft 3921) lateral e frontal periférica

Data: 12/Julho/ 2010 Horário: 10:00/11:00h

A seguir, selecionamos comentários e observações dos entrevistados.

- **Situação 5: iluminação natural zenital**

“A natural proporciona uma sensação de conexão, sensação de conforto”.

“Prefiro, desde que atinja min 300lux, suficiente para o trabalho”.

“Prefiro est,a e se abrisse uma das seteiras ficaria melhor ainda criando maior vivacidade e interesse, entretanto a janela aberta talvez fosse dispersar.

“Prefiro esta, pois vejo a luz mas não vejo a fonte”.

“Prefiro a luz natural zenital desde que atinja um nível de iluminação adequado ao trabalho; (no momento da medição 80 lux e artificial 300 lux”.

“Para esta atividade a iluminação natural é preferida, embora a iluminação artificial não incomode”.

“Porque a zenital vertical me remete à luz divina (que vem do céu; é mágica também); quando se vê a paisagem fica ainda mais agradável”.

“Luz mais equilibrada”.

- **Situação 6: iluminação Artificial zenital**

“Prefiro, pois os brilhos são mais evidentes; Com relação à posição da luz artificial tenho preferência pela luz direta do que lateral indireta”.

“Preferi esta porque a luz natural (no momento da medição) não chegou a um índice de iluminamento confortável (120 lux contra 330 lux da artificial)”.

“Prefiro a iluminação artificial central à do fundo da sala”.

“Gosto mais, embora o nível de iluminação natural tenha sido mais alto, pois com a luz natural o teto ficou muito iluminado com uma luz muito difusa, e alta luminância”.

“Frio, pouco estimulante para o trabalho, considerando o hábito pessoal de trabalhar com luz artificial”.

5.3.7.1 Resultados

Dos entrevistados, 87% preferiram trabalhar com luz natural, desde que atendesse aos níveis mínimos considerados para trabalhar, acima de 200 lux, argumentando conforto e bem-estar. Para as duas situações, alguns entrevistados comentaram que, com abertura ficaria ainda melhor para estabelecer ligação com a paisagem, mesmo que fosse de pequenas dimensões.

Conforme a solução de captação zenital, podemos perceber luz, mas não percebemos a fonte. A qualidade da luz natural e artificial são perceptíveis se comparadas quase simultaneamente, mesmo com distribuição bastante similares. O brilho da luz artificial é percebido ao incidir nas superfícies.

EXPERIMENTO 4; LUZ NATURAL ZENITAL OU ARTIFICIAL	
Qual a iluminação que prefere?	
5. Iluminação Natural zenital	28
6. Iluminação Artificial zenital	4

Tabela 26: Preferências Experimento 4

5.3.8 Preferência geral de iluminação

Após a conclusão destes quatro experimentos comparativos, o entrevistado identificava, de todas as situações apresentadas, a que mais lhe agradava para o trabalho e atividades de um escritório.

De todas as situações observadas, qual a de sua preferência? Justifique.	
1. Janela lateral Fachada Norte	3
2. Janela contínua Fachada Norte e duas janelas estreitas Fachadas leste e oeste	14
3. Janela contínua Fachada NORTE e Janela alta com prateleira de luz	2
4. Janela contínua Fachada Norte e Iluminação Artificial fundo da sala	3
5. Iluminação Natural zenital	10
6. Iluminação Artificial zenital	0

Tabela 27: Preferência geral de iluminação

Os comentários dos entrevistados repetem os já realizados nos experimentos anteriores que justificam suas escolhas. As duas situações mais votadas foram: em primeiro lugar com 44%, a “situação 2” com janela contínua na fachada norte e duas janelas estreitas nas fachadas leste e oeste, seguida da “situação 5”, com iluminação natural zenital.

Observamos nestas duas situações, uma preferência pela iluminação natural que consegue maior uniformidade na distribuição da luz no espaço e equilíbrio no campo visual dos entrevistados sentados à mesa. A primeira opção oferece também a visão da paisagem e se torna mais estimulante, razão provável para que tenha sido a mais votada.

5.3.9 Comparativo de temperatura de cor

Neste experimento, com a janela da fachada norte aberta, ou seja, “situação 1”, foram acionados dois sistemas de iluminação artificial com lâmpadas fluorescentes T5, de 14 e 28W e de temperaturas de cores distintas, 3000K e 4000K. A primeira instalada próxima à parede frontal, com temperatura de cor branco morno, e a segunda próxima à parede sul, de temperatura de cor branco neutro.

Figura 207: Situação 6 - Iluminação Artificial (ft 3910) Temperaturas de cor de 3000k à esquerda e 4000K à direita
Data: 12/Julho Horário: 10:30h

APARÊNCIA DE COR DAS LÂMPADAS x LUZ NATURAL	
Qual a aparência de cor das lâmpadas apresentadas que prefere para trabalhar?	
3000K	9
4000K	23

Tabela 28: Preferência de temperatura de cor

A seguir, selecionamos alguns comentários dos entrevistados

“Como tenho grande sensibilidade à luz, fotofobia, prefiro a temperatura de cor morna”.

“Prefiro a luz mais amarela porque é mais confortável e não interfere tanto nas cores”.

“Prefiro a luz amarela para trabalhar”.

“Prefiro a luz artificial branca para o trabalho, mas para o conforto visual prefiro a amarela; a luz mais branca ajuda na concentração do trabalho”.

“Luz mais branca é melhor para trabalhar, me deixando mais estimulada para trabalhar no computador”.

“Para o trabalho, prefiro branco neutro, enquanto que para repouso branco morno”.

A maior parte, 23 dos 32 entrevistados, ou seja 70%, preferiram iluminação com temperatura de cor 4000K, branco neutro, considerando-a mais adequada ao trabalho. Esta aparência de cor ficava mais parecida com a luz do dia no horário avaliado, entre 9:00h e

11:00h. No entanto alguns arquitetos mostraram preferência por 3000K, afirmando que a iluminação assim se diferenciava da luz natural, não precisando ser de 4000K ou mais para se parecer com a luz do dia, e que gostava exatamente desta diferença.

5.4 Simulações com o software Agi-32

Quando se considera o cálculo da iluminação natural para um determinado tipo de céu é necessária uma “calibração” na entrada de dados do software para reproduzir as condições reais do projeto. Assim por exemplo, “céu parcialmente nublado” é uma situação não bem definida e precisa ser devidamente ajustada sob o aspecto luminotécnico. Para isso, o programa permite o ajuste das condições do céu mediante a determinação do chamado “Fator Zênite de Luminância Absoluta” (*Absolute Zenith Luminance Factor*).

Isto significa que você deve considerar as condições reais do céu medindo primeiramente a Luminância a céu aberto no local considerado e depois comparar o resultado com o valor calculado pelo programa. Como você pode observar, existe muita imprecisão no cálculo sob condições de luz natural, cujos resultados dependem do ajuste deste fator, além da calibração do fotômetro e sobretudo do conhecimento dos coeficientes de refletância de todas as superfícies envolvidas.

Para contornar esses problemas, fizemos o seguinte: tomamos como base as iluminâncias que foram medidas no local e ajustamos o *Absolute Zenith Luminance Factor* de modo a obter os resultados calculados próximos aos medidos. Assim sendo, o efeito de todas as máscaras e volumes externos (obstáculos e superfícies que interferem nos cálculos) é considerado no projeto.

É importante observar que não se trata de um “chute” puro e simplesmente. A precisão dos resultados vai depender principalmente do ajuste correto do Fator Zenith, sendo portanto totalmente infrutífero e impreciso o estudo considerando todos os volumes e elementos externos ao *mock up* tal como pretendíamos inicialmente.

Iluminação artificial: Luminária quadrada com quatro lâmpadas 16w/4000k e distante 30cm da parede
Nas paredes da fachada sul três luminárias com lâmpada t5 14w/4000k

Simulação Iluminação Natural					
Local	Latitude	Longitude	Bilanda	Outro	Arquivo
Recife	-8.057	-34.917	50	7/12/2009	10-30-00 AM 57
					Parcialmente Nublada

Simulação Cálculos			
Bêrão	Unidades	Módulo	Módulo
Plano Trabalho	Luz	368.34	513
Sobre o Mesa	Luz	462.25	513
			423

Mock up Pesquisa Doutorado Arq. Claudia Torres
Recife PE Brasil

Case 5 - Iluminação artificial

Simulações Realizadas com o
Emprego do Software AGI32

Data 12/Ju/2010

Capítulo 6:

Conclusões

Conclusões

6 Conclusões

A pesquisa é descritiva e experimental sem deixar de ser fenomenológica, realizada a partir de um estudo de caso, simulando um ambiente de escritório, no *mock up* construído. Não se preocupou apenas com as quantidades, mas com as qualidades das informações expostas. Ao mesmo tempo em que procurou estabelecer relações e causas, a pesquisa procurou descrever significados e descobertas, utilizando instrumento de medição, assim como utilizou comunicação e observação.

Pessoas de diferentes culturas divergem na forma de perceber seus espaços, de atribuir valores às suas partes e medi-las. Entretanto existem certas semelhanças culturais comuns e elas repousam basicamente no fato de que o homem é a medida de todas as coisas. Ao invés de generalizações, foi possível encontrar particularidades, a partir dos resultados.

O uso correto da luz possibilita novas alternativas de soluções para os diversos tipos de espaços e, para diferenciar os ambientes em que habitamos. Novas pesquisas produzem novos conceitos e, por consequência qualificam os projetos, gerando ao usuário maior satisfação em seus níveis físico, psicológico e consciente.

Na medida em que se procurou testar as hipóteses iniciais da tese, as respostas obtidas, a partir da pesquisa experimental, geraram ideias e novas questões para futuras pesquisas, pois o raciocínio não é apenas lógico e dedutivo, mas também dialético e intuitivo.

6.1. Conclusões

A partir das hipóteses levantadas inicialmente nesta pesquisa, analisamos os resultados obtidos e chegamos a algumas conclusões, descritas a seguir.

6.1.1 Iluminação natural e artificial

“As pessoas preferem luz natural à artificial”

Uma das hipóteses levantadas era a de que as pessoas preferiam iluminação natural à artificial, incluindo todos os ambientes na maior parte dos usos. A preferência pela iluminação artificial recai na limitação de controle da luz solar. Acreditamos que isto deveria ser um desafio para os arquitetos ao estudar e lançar soluções com controle da luz natural arquitetural e flexibilidade no controle para o desenvolvimento de tarefas, pois as observações dos entrevistados mostraram, em 90% dos casos, observações de preferência, por razões aparentemente subjetivas de maior conforto, bem-estar e conexão com a natureza.

Na pesquisa, simulando um ambiente de trabalho, observamos uma preferência constante pela luz natural, considerando uma situação de conforto luminoso que atendesse quantidade e qualidade de luz. Na opção por luz natural, *“uma luz que está no ambiente, mas não fico visualizando a fonte”*, a ligação com a paisagem foi sempre incluída, se possível, mas mesmo sem paisagem, a iluminação natural zenital foi preferida em relação à iluminação artificial.

Observamos também uma satisfação com luz natural com relativamente pouca luz, 200 a 400 lux. Entretanto, observamos uma aceitação das variações até valores próximos a 1000lux. Na pesquisa piloto, realizada em abril e maio, com iluminâncias mais altas, medições em torno de 1500 lux foram aceitas como sendo confortáveis. Uma nova hipótese foi formulada a partir destas observações, de que as variações de luz natural são aceitas desde níveis mínimos, para a atividade de trabalho, até níveis superiores aos 1000lux, enquanto que estes mesmos valores com iluminação artificial podem parecer extremamente brilhantes.

Permaneceu a pergunta se seria perceptível, visualmente, a qualidade da luz natural ou artificial quando a luz é zenital, e não temos visão da fonte de luz ou da paisagem. No experimento realizado, era possível perceber a diferença, pois a mudança era realizada na frente do entrevistado, e também o brilho das lâmpadas no acrílico leitoso da luminária era perceptível; a luz natural, entrando por uma superfície similar de acrílico era indireta e não tinha o mesmo brilho.

Acreditamos que nosso organismo reconhece a luz natural e tem preferência por esta, entretanto, para atividades de trabalho, as exigências de iluminação requerem qualidades que a luz artificial pode assegurar com constância e eficiência, quando a luz natural não puder atender, seja pelas condições do projeto ou mesmo pelas variações do clima.

6.1.2 Percepção dos contrastes

“A uniformidade é um critério importante para o trabalho em escritórios”

Na pesquisa, identificamos a preferência pela uniformidade, ou seja, quanto mais igualmente distribuída, melhor.

Alguns relatos apontam para o entendimento que variações de luz podem causar distração, dificultando mais a concentração. Uma nova hipótese seria de imaginar que nossa percepção ocular simétrica é mais equilibrada, ou seja, olhar para um campo onde o lado esquerdo e direito sejam similares. Cremos que as pessoas se colocam no *lay out* em posições onde isto pode ocorrer.

De todas as situações simuladas, a maior preferência se deu quando na situação onde a luz era lateral norte e com aberturas baixas, incluindo as estreitas janelas nos cantos leste e oeste que iluminavam, de maneira rasante, a face interna da fachada sul aparecendo, desta maneira, em destaque, com maior brilho aparente.

A preferência expressiva pela iluminação zenital que ficou em segundo lugar,, demonstra este controle e conforto da luz no ambiente, com maior flexibilidade e similaridade no campos visuais, sem muitas variações.

Na situação com iluminação proveniente do somatório janela fachada norte, tanto baixa quanto alta, foi registrado um aumento real de iluminância no plano da mesa, de duas a três vezes. A prateleira de luz limita a visão direta da abóbada pela janela alta que não tem proteção externa sendo preferível, a se ter apenas a janela norte. Esta apenas atenderia aos requisitos quantitativos, mas a luz canalizada da janela alta se projeta mais no fundo da sala. Percebe-se, suavemente, maior claridade da parede de fundo e teto, criando contrastes mais acentuados de muito claro e menos claro, próximos à entrada de luz.

Mesmo vindo de uma direção apenas, embora com ângulos diferentes de penetração no ambiente, 80% dos entrevistados preferiram a situação que incluía a janela alta e cuja distribuição era mais uniforme no ambiente. Como a janela alta não tem beiral, a prateleira de luz é como um beiral invertido, alguns entrevistados comentaram que o brilho da janela alta incomodava um pouco, ao criar no teto próximo uma zona de luz refletida e brilhante.

Sabe-se que as pessoas reagem aos contrastes. O conforto luminoso é essencial no ambiente. As pessoas irão sempre buscar condições adequadas e mais confortáveis para trabalhar. Seja com a luz natural, controlando a entrada de luz e/ou radiação com cortinas e persianas, seja acionando a iluminação artificial ou com ambas. É importante observar os

pontos extremos de luz e tentar equilibrar estas diferenças no campo visual, pois contrastes excessivos podem gerar distração, desconforto ou mesmo ofuscamento. Para o trabalho, as condições devem estabelecer um equilíbrio nos dois hemisférios do campo visual, principalmente na intensidade de luz percebida assim, como também, de preferência na direção e distribuição da luz. Acreditamos que as pessoas buscam, instintivamente, este equilíbrio que favorece a concentração nas atividades mentais do trabalho em escritórios.

A norma alemã inclui contrastes de luminâncias, com recomendações de contrastes de 1/3 no campo de visão imediato, 1/5 no campo médio e 1/10 no ambiente. É importante que a norma brasileira possa incluir esta abordagem e referências. A pesquisa mostrou esta variável como um dado importante na percepção e como requisito de conforto luminoso, pela escolha de situações com distribuição de luz mais uniforme.

No *mock up*, os contrastes variaram de $\frac{1}{4}$, ou seja, bastante uniformidade no ambiente, entretanto as preferências puderam ser registradas não apenas pela questão quantitativa, mas por variações da distribuição da luz. A sensação de ambiente claro se dá não apenas pela iluminação no plano da mesa de trabalho, como também, a sensação de mais luminosidade é intensificada e associada ao aumento das iluminâncias nos planos verticais das paredes, no campo visual do ambiente por inteiro.

6.1.3 Iluminação e conforto luminoso

“A preferência pela quantidade de luz está associada ao tipo de atividade, necessidade visual e estímulo fisiológico”.

A relação da luz com a fisiologia humana é um dado importante para ser considerado nos projetos, e não apenas questões visuais. A luz interfere em nosso estado de humor e pode favorecer o desenvolvimento das diversas atividades. A luz pode contribuir para o relaxamento ou estímulo físico e/ou mental. Se o ambiente é para repouso físico, a luz com intensidades mais baixas estão associadas ao estado de relaxamento, enquanto que para o trabalho físico, os níveis de iluminação mais elevados e a sensação de claridade são mais estimulantes. Para o trabalho intelectual, as opiniões são divididas.

Na pesquisa realizada, 60% consideraram uma iluminância mínima superior a 200 lux como referência, 25% a partir de 300 lux. Valores inferiores estão associados a um ambiente pouco estimulante para o trabalho. Como preferência para o trabalho, 37%, preferiram valores a partir dos 400 lux e 40%, valores acima dos 500lux.

Na pesquisa piloto, realizada nos meses de abril e maio, os níveis de iluminação medidos na mesa de trabalho eram bem mais altos, variando de 400 a 1500 lux e bem aceitos pelos entrevistados, como apropriados e confortáveis para o trabalho.

6.1.4 Iluminação natural e artificial

“Os usuários preferem ter controle sobre a iluminação”

Ao longo de um dia inteiro de trabalho, o organismo humano apresenta variações e necessidades também diferenciadas. A possibilidade de controlar a iluminação torna-se um desejo para obter conforto luminoso. Como a iluminação artificial é passível de controle mais eficiente, a inércia faz com que as pessoas prefiram uma situação que oferece estabilidade e, ao mesmo tempo, controle. Embora aprecie as mudanças da luz natural, estas podem estar contempladas pela simples visão da paisagem que oferece aos seus usuários um espetáculo diário mutante de cores e luzes. Todavia, dentro de seu ambiente produtivo, as condições mais estáveis são melhores assimiladas.

A solução de janela alta com prateleira de luz gera uma distribuição mais uniforme, o teto fica mais iluminado e redistribui a luz no ambiente, alcançando uma profundidade percebida até o final da sala. Isto modifica as zonas de luz percebidas, e, com maior uniformidade, a iluminação artificial tende a ser menos utilizada

Maior flexibilidade parece ser necessária, entretanto, a nosso ver, dá-se mais com o uso da iluminação artificial complementar nas mesas de trabalho, e controle de cortinas. Se no campo visual, considerando mesa e arredores, existe radiação direta, certamente existe ofuscamento. O controle de fechar as cortinas e acionar a iluminação artificial é feito imediatamente, mesmo com luz natural.

Na distribuição dos circuitos, em áreas da sala onde se identifique uma possível necessidade de luz artificial complementar, zona de luz abaixo dos 200 lux, já teria um circuito para acionar como luz geral. Nas demais zonas intermediárias ou próximas às janelas, a opção mais racional, se não são escritórios individuais, seria a utilização de sensores e ajuste automatizado dos níveis de iluminação pretendidos.

Identificamos a preferência pela luz natural, desde que atenda aos requisitos de conforto luminoso em todas as situações pesquisadas. Na iluminação natural dos ambientes não vemos a fonte de luz propriamente, “esquecemos dela” e apenas percebemos a luz. Na iluminação artificial, na maior parte das vezes, visualizamos as fontes, que muitas vezes

“ferem” a visão, com excesso de brilho. Por um lado, se a luz natural é difusa, a iluminação artificial indireta recriaria uma qualidade similar. Por outro lado, se a luz tem radiação direta no ambiente, a iluminação artificial direta pode propiciar uma distribuição mais balanceada. Na pesquisa, a luz artificial no fundo da sala, tinha o objetivo de equilibrar o brilho no ambiente. Entretanto, como as fontes de luz estão localizadas muito próximas à parede, criaram um “estouro” de luz marcando a parte mais alta da parede com a fotometria das luminárias, tornando o brilho desconfortável, apesar de não ser percebida a visão direta da lâmpada a partir da mesa de trabalho.

A maioria dos entrevistados preferiu a luz natural à artificial, nas situações onde a luz natural atendeu aos níveis pretendidos e ofereceu conforto luminoso, mantendo-se a direção das luzes constantes. Entretanto, sabiam qual era uma ou outra. A luz artificial direta é percebida pelo seu brilho ao atingir as superfícies e também pela luminância da lâmpada + luminária, mesmo que em iluminação indireta. Muitas vezes o brilho da luz “fere” a visão com o excesso de brilho concentrado. A luz natural entra nos ambientes sem que visualizemos sua fonte, em raios paralelos e com níveis semelhantes apresenta “menos brilho” que a artificial. O resultado seria: “ver” luz, mas não ver a fonte, como acontece com a natural. Na mesa de trabalho, por exemplo, com 1500lux de luz natural, o entrevistado experiente em iluminação julgava ter 500lux apenas. Uma das sugestões comentadas pelos entrevistados, foi de que a luz artificial complementar durante o dia deveria ser indireta, e não pontos visíveis acima das cabeças, pois a luz natural difusa, sem radiação, é assim percebida.

Variações não tão grandes são assimiladas pelos usuários, entretanto para atividades de trabalho, estas podem distrair atrapalhando a concentração. A iluminação artificial diurna complementar poderá assegurar este nivelamento com a instalação de sensores em áreas estratégicas ou mesmo nas mesas de trabalho.

6.1.5 Direção da luz e modelagem

“As pessoas preferem a luz no ambiente vinda de mais de uma direção”

Na pesquisa, existe um forte indicativo para acreditar nisto. A luz natural que entra no ambiente, proveniente de mais de uma orientação/fachada promove uma distribuição de luz mais equilibrada, é também onde se minimiza a percepção da variação constante da luz natural ao longo do dia, que apresenta níveis de iluminâncias extremamente variáveis. A

situação preferida entre todas era a que possuía captação de luz pela janela maior da fachada norte, e duas aberturas estreitas nas fachadas leste e oeste.

Isto em regra geral nos parece válido, pois a luz natural quando vem de mais de uma orientação, distribui-se no ambiente criando uma variedade de estímulos sem tanto *degradê*, a partir de uma abertura apenas. Além disto, assegura níveis mais altos de luz natural ao longo da permanência. A variação de direções cria mais estímulos, tem maior vivacidade para a fisiologia humana.

Houve preferência por aberturas em outras fachadas, ao comparar com o uso da prateleira de luz, na mesma orientação. A luz natural que incide em mais de uma fachada suaviza a percepção das grandes variações da luz solar, pois as variações são menos bruscas e as zonas de claros e escuros, dentro do ambiente, não ficam tão evidentes, acreditamos também que preferem pelo equilíbrio gerado. A pesquisa aponta, indica esta preferência. Nem sempre é possível conseguir esta distribuição pela disposição dos ambientes no projeto. Uma opção é a iluminação artificial complementar para se obter distribuição similar de luz.

Nosso campo visual se organiza a partir de um eixo central, simétrico e do periférico que, ao perceber situações muito distintas tenta se adaptar, como por exemplo: luz de janela baixa de um lado e do outro, luz de janela alta de um lado e do outro.

Em todas as situações simuladas, mais da metade dos entrevistados preferiu as situações com iluminação proveniente de mais de uma abertura, ou mesmo com complementar artificial vinda de outra direção, afirmando um melhor equilíbrio da luz no ambiente. Entretanto, se existe muita luz entrando de uma abertura apenas com níveis nos planos de trabalho e superfícies altos, há uma tendência a preferir a situação com apenas uma entrada de luz, pois esta outra abertura aumentaria ainda mais o brilho no campo visual, fazendo o usuário voltar o olhar para zonas de menor brilho.

6.1.6 Lay out e cores

“O Lay out e cores dos materiais de acabamento são variáveis importantes do projeto de iluminação”

O *lay out* é extremamente importante na organização do trabalho, pois delimita um campo visual e aspectos do conforto luminoso que irão interferir no bem-estar e produtividade. Mesas muito próximas ou encostadas às janelas terão muito provavelmente

problemas com ofuscamento direto e/ou refletido e frequente entrada de radiação direta em alguns horários do dia, o que pode causar um comportamento de fechar com cortinas e acionar a luz artificial, permanecendo por todo o dia. Esta área deveria ser ocupada, preferencialmente, com mobiliário de apoio e não postos de trabalho.

A preferência de 100% dos entrevistados indicou que os materiais do mobiliário, especialmente dos planos horizontais, deverão ter refletâncias mais baixas próximas ou no limite das aberturas, a fim de evitar excessos de brilhos que forcem adaptações frequentes. As mesas de trabalho com materiais claros são mais apropriadas, pois permitem melhor visibilidade com menos contraste com os papéis em geral brancos e contribui com sensação de maior luminosidade e estímulo ao trabalho. Na pesquisa, a preferência de 100% foi de não usar a cor branca, optando-se por um tom pastel, marfim. Madeira clara apareceu como segunda opção.

As cores mais claras, piso, paredes e teto - nos ambientes de trabalho - tornam o espaço mais luminoso pelas refletâncias mais altas e contribuem também para redução de iluminação artificial complementar, tornando o ambiente mais eficiente. O predomínio de cores claras são mais indicadas. A cor branca, apesar de sua aparente neutralidade, poderá tornar-se tão irritante quanto a vermelha, pois reflete todos os comprimentos de onda. Revestimentos, objetos, quadros poderão modificar esta sensação criando atrativos cromáticos diversos. O teto de cores mais claras, pela sua importância como superfície de rebatimento e distribuição da luz apresenta maior eficiência. Os pisos contribuem menos, podendo ter refletâncias bem menores.

O *mock up*, pintado, internamente, a princípio com branco neve, foi modificado para branco off White, com refletância menos alta, a partir da resposta dos entrevistados que consideraram esta opção mais confortável, com brilhos menos vibrantes de luz refletida. Usamos na pesquisa final um *branco off White*, ou um branco “sujo” para que o ambiente ficasse menos frio, mas que ainda fossem perceptíveis os contrastes de luz nas paredes de refletâncias iguais. O teto permaneceu branco neve para contribuir melhor na distribuição da luz.

Recomendamos evitar usar o branco nas bancadas de trabalho, pois sua alta reflexão conforme a hora de incidência da luz pode causar ofuscamento pela alta refletância, luminância. Especialmente próximo às aberturas evitar também, o uso de cores como branco, pois o ofuscamento refletido é bastante desconfortável. Aliás, deviam-se evitar postos de trabalho encostados, ou muito próximos às aberturas que não apresentem

controle, com visão da abóbada e luz com bastante intensidade, devendo estes espaços ser ocupados por mobiliário, etc. Como disse Louis Khan, cada espaço pede sua própria luz.

Se precisarmos de luz com espectro completo para a saúde, precisamos também de todas as cores. É importante que o ambiente de trabalho possa inserir cor, saindo da habitual neutralidade absoluta, em proporções não dominantes, seja em componentes do mobiliário, divisórias ou objetos.

6.1.7 Iluminação e paisagem

“As pessoas têm preferência por locais com visão do exterior-paisagem e não apenas entrada de luz natural”

O contato com o exterior, a paisagem, oferece sensação de orientação ao usuário, ou seja, a janela lateral não é apenas para iluminar, mas especialmente para permitir esta integração interior e exterior. O descanso visual também pode ser explicado, pois ao contemplar um horizonte mais distante, os olhos não se adaptam para focalizar, ou seja, o cristalino, que é uma membrana esponjosa, distende-se ficando em estado de relaxamento. Ao desenvolver uma tarefa, estamos frequentemente movimentando nossos olhos e fitando pontos de descanso no ambiente.

Os Contrastes entre a área próxima das aberturas, ou mesmo a visão da abóbada com alta luminância e o fundo da sala, ou pontos mais distantes das aberturas podem propiciar o acionamento de luz complementar artificial, a fim de tornar a iluminação geral mais uniforme, ou distribuída com mais equilíbrio ou harmonia. Isto pode acontecer mesmo que os níveis estejam dentro das recomendações

As janelas altas, protegidas da radiação direta, apresentam grandes vantagens na distribuição de luz em ambientes de trabalho, maior uniformidade pelo maior alcance, menores possibilidades de ofuscamento, por estarem acima do campo visual de quem trabalha sentado, menor ou nenhuma visão da abóbada celeste. A altura do posto de trabalho favorece menor possibilidade de ofuscamento, pelo excesso de luminância.

6.2 Aplicações no projeto

Os resultados da pesquisa experimental não são conclusivos, entretanto registram indicativos de preferências no tratamento da luz no espaço para determinada atividade. Considerar o homem, o usuário, como centro do projeto de arquitetura e iluminação levará a resultados mais satisfatórios, afinal arquitetura não envolve apenas questões estéticas ou numéricas. Números representam intensidades de luz e sua apreensão no espaço só se apresenta com a percepção destas nas superfícies do ambiente.

É importante e necessário continuar as pesquisas neste campo da percepção da luz no espaço, a fim de gerar parâmetros para o projeto de arquitetura e também de iluminação. A maioria dos especialistas de iluminação ou *lighting designers* não costumam considerar a iluminação natural em seus projetos, seja nos aspectos quantitativos e/ou qualitativos.

A evolução tecnológica dos sistemas de controle e preocupações com a racionalização e economia de energia fez com que os projetos de iluminação considerassem estes sistemas com sensores e acionamentos mais individualizados ou setorizados, em função da contribuição da luz natural. Determinadas zonas de luz mais próximas às aberturas poderiam ter estes controles, separados de outras áreas do ambiente, propiciando uma real economia de energia, sem afetar a qualidade da iluminação geral.

Os resultados das pesquisas, nesta área da percepção da luz, poderão gerar informações que possam contribuir para a revisão de nossa legislação de normas de iluminação de interiores, muito restrita aos índices de iluminâncias nos planos de trabalhos.

6.3 Repercussões e desenvolvimentos futuros

Para compreendermos a influência da luz no espaço da arquitetura, à luz de uma teoria de projeto, é preciso começar por desvelar os procedimentos de projeto relativos ao sol, na obra e no pensamento de arquitetos contemporâneos e do passado, comparando suas diferentes abordagens e estudando suas evoluções que permitem mostrar modos diferentes de projetar, em que a consideração da luz do sol é parte importante da invenção.

Trabalhar com o modelo do *mock up* foi muito gratificante, pois a observação do fenômeno diretamente contribuiu para o entendimento das questões de conforto luminoso, adaptações humanas e preferências. Se o homem é prioridade em nossa atenção e seu

bem-estar o objetivo final de nossas instalações, então, torna-se fundamental ampliar e prosseguir em pesquisas de percepção da luz no espaço para diversas atividades humanas.

Este é o ponto de partida, pois além da racionalidade de economia de energia, desejamos ambientes saudáveis e produtivos. O centro da discussão passa pelo homem e suas necessidades, exigências e expectativas. Precisamos do abrigo, ao mesmo tempo em que carecemos da imensidão da via láctea. A luz, parte da arquitetura, pode favorecer estados de espírito e nos acolher em seus limites, integrada à paisagem e ao clima, com suas limitações e tecnologia, e assim enfrentar as limitações, e retomar o desafio de trabalhar com luz natural, fonte de vida para nós, seres humanos.

Pretendemos, a partir do *mock up* construído, elaborar novas pesquisas acerca dos efeitos de luz na percepção humana do espaço iluminado. Mais do que gerar recomendações, compreender aspectos essenciais que podem ser manipulados para gerar sensações humanas. Se apropriadas ou não, cabe ao arquiteto e/ou *lighting designer* em função dos objetivos do projeto, decidir, sempre colocando o homem no centro destas decisões.

Referências

Referências

ALUCCI, Márcia Peinado. *Conforto térmico, conforto luminoso e conservação de energia elétrica. Procedimento para desenvolvimento e avaliação de projetos de edificações*. São Paulo, 1993. Tese de Doutorado, FAUUSP.

_____. *Manual para dimensionamento de aberturas e otimização da iluminação natural na arquitetura*. São Paulo, FAUUSP, 2006.

AMSONEIT, Wolfgang. *European architects*. Espanha, ed. Taschen, 1994.

ANDER, Gregg D. *Daylighting performance and design*. NY: Van Nostrand Reinhold, 1995.

AMORIM, Cláudia Naves David. Diagrama morfológico, parte I. Instrumento de análise e projeto ambiental com uso de luz natural. *Revista Paranoá*, n 3, 2007. FAU/UNB, Programa de pesquisa e pós graduação.

AMORIM, Cláudia Naves David. New components and design solutions for daylighting: Improving visual confort in commercial buildings. IN: CONFERENCE PLEA.. *Anais International*. Florianópolis, 2001.

BAKER, Mik; STEEMERS, Koen. *Daylight Design of buildings*. London: James & James Ltd., 2002.

BEHLING, Sophia e Stephan. *Sol Power: La evolucion de La arquitetura sostenible*. Barcelona: Gustavo Gilli, 2002.

BOYCE, P. R. *Human factors in lighting*. Londres: Applied science publishers, 1981.

BERTOLOTTI, Dimas. *Iluminação natural em projetos de escolas. Uma proposta de metodologia para melhorar a qualidade da iluminação e conservar energia*. Dissertação de mestrado, FAUUSP, São Paulo, 2006.

BITTENCOURT, Leonardo. *Uso das cartas solares: Diretrizes para arquitetos*. 3.ed. Maceió: EDUFAL. Universidade Federal de Alagoas, 2000. ISBN=8571770646.

BRANDI, Ulrike; BRANDI Christoph G. *Light Book: The practice of lighting design*. Berlim: Birkhauser, 2001.

BRANDSTON, Howard M. *Aprender a ver: a Essência do Design da Iluminação*. São Paulo: De Maio Comunicação e Editora, 2010.

BRENNAN, Bárbara Ann. *Mãos de luz: um guia para a cura através do campo de energia humana*. São Paulo, Ed. Pensamento, 2006.

BRONDANI, Sérgio Antônio. *A percepção da luz artificial no interior de ambientes edificados*. Florianópolis, 2006. Tese de Doutorado, UFSC.

COSTA, Gilberto José Correia. *Iluminação Econômica: cálculo e avaliação*. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2006.

COSTI, Marilice. *A influência da luz e da cor em salas de espera e corredores hospitalares*. Estudo de caso: o corredor espera. Porto Alegre, 2000. Dissertação de mestrado, FAU/UFRGS.

CREMONINI, Lorenzino. *Luce naturale-Luce Artificiale*. Firenze: Alínea editrice, 1992.

EUROPEAN COMMISSION. *Daylight in Architecture, a european reference book*, Dir. General XII for science, James 7 James, Londres, 1993.

_____. *Daylight in Buildings*, Dir. General XVII for energy, Energy Research Group, School of Architecture University College, Dublin, 1994.

EGAN, M. David. *Concepts in Architectural Lighting*. EUA: McGraw Hill, 1983.

FLEIG, Karl. *Alvar Aalto*. Barcelona, Ed. Gustavo Gilli, 1985.

FONTONoyANT, Marc. *Daylight performance of buildings*. Lyon: European Commission, 1999.

FRANCKOWIAK, Irene Tiski. *Homem, comunicação e cor*. 3.ed. São Paulo: Ed. Icone, 1997.

FROTA, Anésia Barros. *Geometria da insolação*. São Paulo, Ed. Geros Ltda, 2004.

FUTAGAWA, Yukio. *Light and space-modern architecture*-. Japan, AD.A: Tokyo co. Ltda, 1994. 2.v.

GOMES, Maria C.; RAMBAUSKE, Ana M.; SANTOS, Mauro. *Luz e cor nos espaços para saúde: um estudo sob o ponto de vista do conforto ambiental*. NUTAU, Tecnologias para o séc. XXI. USP, São Paulo, 1998.

HOPKINSON, R. G. *Architectural physics: Lighting*. Londres: HMSO, 1963.

_____. PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. *Iluminação Natural*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1966.

IIDA, Itiro. *Ergonomia, projeto e produção*. São Paulo: Edgar Blucher, 1990.

KALF, L.C. *Creative Light*. Philips Technical Library, Eindhoven, 1971.

KUPPERS, Harold. *Fundamentos de La teoria de los colores*. Barcelona: Ed. Gustavo Gili SA, 1992.

LAM, William M. C. *Perception and lighting as formgivers for architecture*. USA: MCgraw Hill, 1977.

MASCARÓ, Lucia Elvira. *Luz, clima, Arquitetura*. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 1975.

MILLET, Marietta S. *Light revealing architecture*. NY: Van Nostrand Reinhold, 1996.

MINGRONE, Antônio Carlos. *Iluminação: Importância e Metodologia de aplicação na Arquitetura*. Dissertação de Mestrado pela FAUUSP, São Paulo, 1984,2v.

NARBONI, Roger. *Lighting the Landscape: art design technologies*. Switzerland: Birkhäuser, 2004.

PEREIRA, Daniela Cardoso Laudaes. *Modelos físicos reduzidos: uma ferramenta para avaliação da iluminação natural*. Dissertação de mestrado, FAUUSP, São Paulo, 2006.

REA, Mark S (editor). *The IESNA Lighting Handbook: Reference & Application. Illuminating engineering society of North América*. New York: IESNA Publications, 2000.

_____. *The secret of the shadows. Light and shadow in architecture*. Deutches architektur museum, 2001.

_____. *Louis Khan*. Japão, A + U publishing Co. Ltd., 1983.

_____. *Barragán*. México, ed. Gustavo Gili, 1994.

_____. *Tectônica. Iluminación*. Editorial Barcelona, ed. Gustavo Gil, 2009.

ROBBINS, C. *Daylighting: design and analysis*. NY: Van Nostrand Reinhold, 1986.

ROCHA, Eunice Bonfim. *A luz natural na concepção arquitetônica de museus*. São Paulo, 2002. Tese de Doutorado, FAU USP.

_____. *Iluminação Natural através do sistema de Aberturas laterais: uma investigação sobre diferentes alternativas de seu emprego como parte integrante do projeto arquitetônico*. Dissertação de Mestrado, FAU UFRJ, 1991.

ROUSSEAU, René-Lucien. *A linguagem das cores. Energia, simbolismo, vibrações e ciclos das estruturas coloridas*. São Paulo: Ed. Pensamento, 1995.

SANTOS, José Paulo. *Álvaro Siza: obras e projetos*. Barcelon:, Ed. Gustavo Gilli, 1993.

SCARAZZATO, Paulo Sérgio. *Iluminação natural. Método de cálculo*. São Paulo: FAUUSP, 1999.

FAU USP

SCARAZZATO, Paulo Sérgio. *O conceito de dia típico de projeto aplicado à iluminação natural*. São Paulo, 1995. FAUUSP, Tese de Doutorado.

SILVA, Francisco Gonçalves; TORRES, Cláudia. *Conforto ambiental-iluminação de interiores*. João Pessoa, ed. união, 1992.

SZABO, Ladislao Pedro. *Visões de Luz: O Pensamento de Arquitetos modernistas sobre o uso da luz na arquitetura*. Universidade Mackenzie (FAUM), 1995. Dissertação de Mestrado.

SZENASY, Susan. *Light- the complete handbook of lighting design*. London: Columbus book, 1986.

TORRES, Cláudia. *Iluminação Artificial Externa: uma abordagem da Praça dos Três Poderes*. São Paulo, 2000. Dissertação de Mestrado pela FAUUSP.

TZONIS, Alexander. *Santiago Calatrava. The poetics of movement*. NY: Universe, 2004.

THUMANN, Aubert. *Lighting efficiency applications*. USA: Fairmont press, 1992.

VIANNA, Nelson Solano; GONÇALVES, Joana Carla. *Iluminação e arquitetura*. São Paulo: Virtus, 2001.

WILHIDE Elizabeth. *Lighting-creative planning for successful lighting solutions*. London: Ryland Peters & small, 1998.

Manuais:

IESNA, Illuminating Engineering Society of North America. *IESNA Lighting Handbook*. –HB-9-2000. Disponível em: <http://www.iesna.org>. Acesso em: 10 out. 2008.

Philips do Brasil. *Guia de Iluminação*. São Paul, 2005. Disponível em: <http://www.luz.philips.com>. Acesso em: 20 maio 2010.

_____. *Lighting with artificial light 1*. Frankfurt: Fordergemeinschaft gutes licht, 1994.

FAU USP

_____. *Good lighting for schools and educational establishments* 2. Frankfurt, Fordergemeinschaft gutes licht, 1994.

_____. *Good lighting for offices and office buildings* 4. Frankfurt: Fordergemeinschaft Gutes licht, 1994.

_____. *Good lighting for health care premises* 7. Frankfurt: Fordergemeinschaft Gutes licht, 1994.

Normas:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5382: Verificação de Iluminância de Interiores*, 1985.

_____. NBR 5413: Iluminância de Interiores (NB57), 1992.

_____. NBR 5413: Iluminação de Interiores, 1991.

_____. NBR 5413: Iluminação de Interiores, 1992.

_____. NBR 5382: Verificação de Iluminância de interiores, 1985.

_____. NBR 5461: *Iluminação: Terminologia*, 1991.

_____. ABNT/CB-02: *Iluminação Natural*, 2002.

Projeto 02.135.02-001 (1998) - Parte 1: Iluminação natural: conceitos básicos e definições

Projeto 02.135.02-002 (1998) - Parte 2: Iluminação natural: procedimentos de cálculo para a estimativa de disponibilidade de luz natural.

Projeto 02.135.02-003 (1998) – Parte 3: Iluminação natural: procedimentos de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos.

DIN 5034. Deutsches Institut Fur Normung. Daylight in interiors. Berlim, 1979.

IES – comitee for health care facilities, RP 29-95. Lighting for hospitals, health care facilities. New York: IESNA, 1995.

Sites

www.lrc.rpi.edu - site do Lighting Research Center do Rensselaer Polytechnic Institute do estado de New York, Estados Unidos.

www.lrc.rpi.edu/programs/daylightdividends/pdf/DaylightBenefits.pdf

<http://windows.lbl.gov/> - site do Lawrence Berkeley National Laboratory, laboratório do Departamento de Energia dos Estados Unidos administrado pela Universidade da Califórnia.

<http://windows.lbl.gov/pub/designguide/download.html>

www.healthy-light.de - “Light and Health – the most comprehensive study on the impact of office lighting on humans”, do Ergonomic Institute de Berlin.

www.cie.co.at/ - site da Comission Internationale de l'Éclairage.

Espectro visível: É a faixa de radiação que ocorre em um intervalo, com comprimento de ondas que variam de 380 a 780 nm, ou seja, da cor violeta à vermelha, passando pelo azul, verde, amarelo e laranja.

Eficácia luminosa: Relação entre fluxo luminoso e potência ou watts consumidos (lm/w). A eficácia luminosa da luz natural chega a 100 lumens por watt. As lâmpadas incandescentes têm de 10 a 15 lm/w, as lâmpadas de descarga fluorescentes e de multivapores metálicos apresentam eficácia de 70 a 100 lm/w por watt. Os LEDs (diodos emissores de luz) apresentam eficácia superior a 50 lm/watt.

Fator ou índice de reflexão: É a relação entre o fluxo luminoso e o incidente. Varia sempre em função das cores ou acabamentos das superfícies e suas características de refletâncias.

Fluxo Luminoso: radiação total emitida pela fonte luminosa dentro da porção visível do espectro eletromagnético (380 a 780 nm), sendo medida em lumens (lm). Para iluminação natural, o fluxo luminoso é a energia radiante emitida pelo sol e pela abóbada celeste, céu.

Iluminância (E): Fluxo luminoso (lm) recebido por unidade de área (m²) em uma superfície. A unidade é expressa por lux ou lm/m². É definida pela equação:

$E = \phi / A$, onde:

E = Iluminância

ϕ = Fluxo luminoso (lumens)

A = Área (m²)

Luminância (L): intensidade luminosa que emana de uma superfície por sua superfície aparente. Esta grandeza está relacionada à iluminância que chega a uma superfície e que depois de refletida por esta mesma superfície resulta na sensação de luminosidade sentida pelo olho humano. É definida pela equação:

$L = I / a \times \cos a$, onde:

L = Luminância, em cd/m²

I = Intensidade luminosa, em cd

A = Área projetada, em m²

a = ângulo considerado, em graus

Para uma superfície perfeitamente difusora, as variações de luminância são em função da refletância da superfície e da densidade de luz nesta superfície. Uma mesma iluminância incidente em superfícies diferentes pode gerar diferentes valores de luminância, caso estes objetos tenham diferentes refletâncias. É determinada pela equação:

$L = \rho \times E/\pi$, onde:

ρ = Refletância ou coeficiente de reflexão

E = Iluminância sobre esta superfície

Contraste (C): é a diferença relativa de luminância de um objeto e seu entorno. Pode ser expresso em termos de luminância, iluminância e refletividade entre as suas superfícies. Diferenças de luminâncias significam contrastes de cores. É definida pela equação:

$C = \frac{L_{objeto} - L_{fundo}}{L_{fundo}}$, onde:

L_{fundo}

L_{objeto} = Luminância de um objeto
objeto

L_{fundo} = Luminância do entorno do

Lighting Designer: profissional que projeta a iluminação natural e/ou artificial do espaço arquitetônico e urbano;

Luminosidade: É a distribuição das luminâncias no campo da visão

Ofuscamento: É a condição de visão em que existe desconforto visual ou uma redução na capacidade de enxergar, ou ambos os fenômenos.

Ofuscamento: É a condição de visão em que existe desconforto visual ou uma redução na capacidade de enxergar ou ambos os fenômenos;

Anexos

Anexos

projeto de arquitetura **MOCKUP**Prancha: **02/03** COORTE AA
ESCALA — 1/50 COORTE BB
ESCALA — 1/50

projeto de arquitetura **MOCKUP**

Prancha: **03/03**

projeto
luminotécnico

MOCKUP

01/01

Folha

PLANTA DE FORRO LUMINOTÉCNICA
ESCALA — 1/50

Estudo da Insolação para definição das proteções solares no projeto do *Mock up*

Mês: Abril = setembro

Horário: 9:00h

Ângulos: alfa, beta e Gama

Mês: Abril = setembro

Horário: 10:00h

Ângulos: alfa, beta e gama

Mês: Maio = Julho Horário: 9:00h

Ângulos: alfa, beta e gama

Mês: Maio = Julho

Horário: 10:00h Ângulos: alfa, beta e gama

Roteiro para avaliação da iluminação/ Pesquisa Experimental

Traduzido e adaptado pelo professor Paulo Sérgio Scarazzato a partir do modelo proposto pela CIE (*Comission Internationale de l'Eclairage*) para avaliação da iluminação em ambientes existentes.

Embora tenha sido elaborado para avaliação da iluminação em escritórios pode ser aplicado para ambientes destinados a outras funções, desde que com ajustes cabíveis a cada caso. Recomenda que sempre que possível o roteiro deve ser distribuído entre os usuários/funcionários, pois a coleta das impressões de várias pessoas auxilia numa melhor compreensão do ambiente objeto de estudo.

Etapa 1

Impressão geral sobre o ambiente

“Sabe-se que nem sempre a primeira impressão sobre um espaço construído qualquer é a que prevalece após algum tempo de ambientação e da escolha definitiva de uma posição de trabalho”

Objetivo da primeira etapa:

Conhecer a primeira impressão sobre o espaço escolhido. Portanto não há resposta correta ou errada.

Etapa 2

Análise do observador sobre a ambiência luminosa, quando executando uma tarefa padrão.

ROTEIRO PARA AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO

Data: _____ **Horário:** (das ____ às ____)

Tipo de céu: Claro () Encoberto () Parcialmente Coberto ()

OBS: (Dados acima a serem preenchidos pelo pesquisador)

NOME:

DATA NASCIMENTO: _____ SEXO: F () M ()

PROFISSÃO:

ESTUDANTE:

GRADUAÇÃO: () PÓS-GRADUAÇÃO: Especialização ()
Mestrado ()
Doutorado ()

LOCAL DE TRABALHO:

Trabalha com alguma atividade relacionada à Iluminação?

ENDEREÇO PARA CONTATO:

Telefones:

e-mail:

Etapa 1: Impressão geral sobre o ambiente

Orientação: Percorra o espaço olhando em diferentes direções fazendo um reconhecimento geral, e registre suas impressões seguindo o roteiro abaixo:

1. Tente descrever, em poucas linhas, da maneira o mais completa possível sua primeira impressão.
2. Suas primeiras impressões podem ser classificadas como sendo:
Desfavoráveis ()
Indiferentes ()
Boas ()
Excelentes ()
3. Qual parece ser, sem a menor dúvida, a melhor qualidade do ambiente?
4. Qual parece ser, sem a menor dúvida, a melhor qualidade do ambiente?

Etapa 2: Análise do observador sobre a ambiência luminosa quando executando uma tarefa padrão.

Orientação: Sentar à mesa de trabalho e continuar a preencher o relatório;

Preencher no computador seus dados de identificação.

Depois de permanecer por algum tempo numa posição visual no espaço objeto de estudo, você deverá ser capaz de fazer um julgamento mais fundamentado sobre a tarefa executada e as condições visuais do ambiente

Assinale somente a palavra que melhor expresse sua opinião. Em seguida descreva as razões da escolha. Faça comentários e dê sugestões que possam melhorar o aspecto considerado.

1. O layout da sala parece: Desorganizado ()
Satisfatório ()
Eficiente ()

Por quê?

(Para responder a esta questão, leve em conta, além da distribuição do mobiliário, a de outros equipamentos, bem como as dimensões da sala, divisões, etc)

2. A aparência do mobiliário é: Repugnante ()
Aceitável ()
Agradável ()

Por quê?

3. Qual sua opinião sobre o esquema geral de cores deste ambiente?

Repugnante ()

Aceitável ()

Agradável ()

(Para responder esta questão, leve em conta as cores das paredes, pisos, teto, mobiliário, portas, etc e a harmonia entre elas)

4. Você pode ver as partes essenciais da tarefa (do campo de visão imediato):

Com dificuldade ()

Não tão bem ()

Relativamente bem ()

Facilmente ()

Por quê?

5. As superfícies dos objetos da sala são vistas:

Com dificuldade ()

Não tão bem ()

Relativamente bem ()

Facilmente ()

Por quê?

6. Com relação à concentração, o ambiente visual:

Estimula a concentração ()

É indiferente ()

Estimula a distração ()

Por quê?

7. Ao olhar ao redor para descansar e movimentar seus olhos, você facilmente percebe um ponto de descanso visual?

Sim ()

Não ()

Por quê? *(caso não considere importante esta questão, desconsidere-a)*

8. Qual é, na sua opinião, a qualidade da luz neste ambiente?

Desconfortável ()

Indiferente ()

Boa ()

Excelente ()

Por quê? *(a luz pode se opaca ou clara, dura ou suave, fria ou quente, variada ou uniforme)*

9. A aparência das instalações de luz é:

Desconfortável ()

Indiferente ()

Boa ()

Excelente ()

Por quê?

10. O brilho das instalações de luz é:

Intolerável ()

Desconfortável ()

Aceitável ()

Agradável ()

Por quê?

11. Há reflexões especulares no ambiente?

Ofuscantes ()

Irritantes ()

Dispersivas ()

Sem importância ()

Contribuindo com a “vida” do ambiente

Por quê?

12. Como são as cores do ambiente?

Pobre ()

Razoavelmente bom ()

Bom ()

Por quê?

13. Qual sua impressão sobre a distribuição da luminosidade?

Desagradável ()

Neutra ()

Uniforme ()

Por quê?

14. Você acabou de analisar a natureza deste ambiente, sua composição, as condições visuais e de iluminação. Se você considerar todos estes detalhes, como você o qualificaria agora, em termos de impressão geral?

Desagradável ()

Indiferente ()

Bom ()

Excelente ()

15. Depois de uma análise mais detalhada, e de uma permanência mais prolongada no ambiente, provavelmente há diferença entre a primeira impressão e a que acabou de ser registrada. Tente descrever estas diferenças.

(Se houver diferenças significativas nas respostas dos usuários a respeito da qualidade visual do espaço, anote quais seriam elas)

Roteiro para pesquisa piloto

DADOS PESSOAIS

NOME: _____

DATA NASCIMENTO: _____ SEXO: F () M (x)

PROFISSÃO: Arquiteto ()
Designer ()
Lighting Designer ()
Estudante Arquitetura()
Outros () _____

Trabalha com alguma atividade relacionada à Iluminação? Em caso afirmativo informe.

PÓS-GRADUAÇÃO: Especialização () Mestrado () Doutorado ()

Telefones: _____ e-mail: _____

OBS: (Dados abaixo a serem preenchidos pelo pesquisador)

Data: _____ Horário: Início: _____

Término: _____

Tipo de céu:

Claro () Encoberto () Parcialmente Coberto ()

IMPRESSÃO GERAL SOBRE O AMBIENTE

“Sabe-se que nem sempre a primeira impressão sobre um espaço construído qualquer é a que prevalece após algum tempo de ambientação e da escolha definitiva de uma posição de trabalho”

1. Suas primeiras impressões podem ser classificadas como sendo:

a. SITUAÇÃO INICIAL: Janela Fachada Norte

Desfavoráveis ()

Indiferentes ()

Boas ()

Excelentes ()

b. SITUAÇÃO MODIFICADA: Janela Fachada Norte + Janelas estreitas nas fachadas leste/oeste

Desfavoráveis ()

Indiferentes ()

Boas ()

Excelentes ()

2. Qual a iluminação que você prefere como primeira impressão? Justifique.

Análise da iluminação quando executando uma tarefa

Situação “INICIAL”: Janela Fachada Norte

1. Você pode ver a tarefa no campo de visão imediato:

Com dificuldade ()

Não tão bem ()

Relativamente bem ()

Facilmente ()

2. Existe alguma área iluminada no seu campo visual que chame a atenção?

Não. Sem importância ()

Sim (). Qual? _____

5.1, Porque? Atrativa()

Causa dispersão ()

Causa ofuscamento desconfortável ()

3. Ao olhar ao redor para descansar e movimentar seus olhos, você percebe um ponto de descanso visual?

Sim () Qual? _____

Não ()

4. Quais os adjetivos que melhor definem esta iluminação?

(Pode assinalar mais de um item)

Variada () ou uniforme ()

Fria () ou morna ()

Opaca () ou clara ()

Dura () ou suave ()

5. Como é, na sua opinião, a iluminação neste ambiente?

Desconfortável () Confortável/Excelente ()

Confortável/Boa () Indiferente ()

Análise da iluminação quando executando uma tarefa

Situação “MODIFICADA”: Janela Fachada Norte + Janelas estreitas nas fachadas leste/oeste

6. Você pode ver a tarefa no campo de visão imediato:

Com dificuldade ()

Não tão bem ()

Relativamente bem ()

Facilmente ()

7. Existe alguma área iluminada no seu campo visual que chame a atenção?

Não. Sem importância()

Sim (). Qual? _____

5.1, Porque? Atrativa()

Causa dispersão ()

Causa ofuscamento desconfortável ()

8. Ao olhar ao redor para descansar e movimentar seus olhos, você percebe um ponto de descanso visual?

Sim () Qual? _____

Não ()

9. Quais os adjetivos que melhor definem esta iluminação?

(Pode assinalar mais de um item)

Variada () ou uniforme ()

Fria () ou morna ()

Opaca () ou clara ()

Dura () ou suave ()

10. Como é, na sua opinião, a iluminação neste ambiente?

Desconfortável () Confortável/Excelente()

Confortável/Boa () Indiferente ()

Depois de uma análise mais detalhada, e de uma permanência mais prolongada no ambiente, provavelmente há diferença entre a primeira impressão e a que acabou de ser registrada.

Qual a situação que prefere?

SITUAÇÃO “INICIAL” ()

SITUAÇÃO “MODIFICADA” ()

Tente justificar em poucas linhas as razões de sua escolha:

Roteiro Pesquisa Experimental

NOME: _____

DATA DE NASCIMENTO: _____ SEXO: F () M ()

GRADUAÇÃO: Arquiteto () Designer () Estudante Arquitetura () Outros ()

EMPRESA: _____

Telefones: _____ e-mail: _____

Data: _____ Horário: Início: _____ Término: _____

Tipo de céu: Claro () Encoberto () Parcialmente Coberto ()

A partir de que nível de iluminação você acha aceitável para trabalhar? _____

A partir de que nível de iluminação você prefere para trabalhar? _____

SITUAÇÃO 1: LUZ NATURAL LATERAL BAIXA

Qual a iluminação que prefere?

- () Janela lateral Fachada Norte () Janela contínua Fachada Norte e duas janelas estreitas Fachadas leste e oeste

SITUAÇÃO 2; LUZ NATURAL LATERAL E ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

Qual a iluminação que prefere?

- () Janela lateral Fachada Norte () Janela contínua Fachada Norte e Iluminação Artificial fundo da sala

SITUAÇÃO 3: LUZ NATURAL LATERAL / ALTA

Qual a iluminação que prefere?

- () Janela lateral Fachada Norte () Janela continua Fachada NORTE e Janela alta com prateleira de luz

SITUAÇÃO 4; LUZ NATURAL ZENITAL E ARTIFICIAL ZENITAL

Qual a iluminação que prefere?

- () Iluminação Natural zenital () Iluminação Artificial zenital

De todas as situações observadas, qual a de sua preferência?

Qual a aparência de cor das lâmpadas apresentadas que prefere para trabalhar?

Maquete Física

Modelagem no Software AGI32

Imagem Renderizada - Método Radiosity

Foto

AGI32 - Software para projetos de iluminação com recursos para cálculo e visualização pelos métodos Radiosity, Pseudocolor (Cor Falsa) e Raytracing
O software possui suporte para projeto e análise de ambientes iluminados com luz natural e/ou artificial

**Mock up Pesquisa Doutorado Arq. Claudia Torres
Recife PE Brasil**

Simulações Realizadas com o
Emprego do Software AGI32

Sumário Iluminação Natural				
Local	Latitude	Longitude	Básicula	Data
Recife	-8.067	-34.917	90	4/14/2010
			Horário	Condição do Céu
			11:00:00 AM - 5T	Clara

Sumário Cálculos				
Refrão	Unidades	Média	Máxima	Mínimo
Plano Traseiro	Lux	1227	3144	325
Solares a Menos	Lux	1062	1628	688

Mock up Pesquisa Doutorado Arq. Claudia Torres

Recife PE Brasil

Case 1A - Somente Janela Norte

Simulações Realizadas com o

Emprego do Software AGI32

Céu Claro

Data 14/Abr/2010

Simulação Iluminação Natural				
Local	Latitude	Longitude	Altitude	Horário
Recife	-8.067	-34.917	90	4/14/2010 11:00:00 AM ST
			Condições do Céu	
			Claro	

Simulação Cálculo				
Râfalo	Unidades	Médio	Máximo	Mínimo
Plano Trabalho	Lux	1544	3530	495
Sobre o Mesa	Lux	1308	1901	959

Mock up Pesquisa Doutorado Arq. Claudia Torres

Recife PE Brasil

Caso 2A - Janela Norte e Janelas Estreitas Leste / Oeste

Simulações Realizadas com o

Emprego do Software AGI32

Céu Claro

Data: 14.04.2010

Simulação Transmissão Natural				
Local	Latitude	Longitude	Ângulo	Horário
Recife	-8.037	-34.917	90	7/12/2009 10:30:00 AM -5T
			Condições da Cta	
			Parcialmente Nublado	

Dados do Cálculo			
Refrat	Unidades	Médo	Máximo
Plano Trabalho	Lux	961.46	2.4619
Sobre o Mesa	Lux	854.67	1.352
			5.43

Mock up Pesquisa Doutorado Arq. Claudia Torres

Recife PE Brasil

Case 1 - Somente Janela Norte

Simulações Realizadas com o

Emprego de Software AGI32

Céu Parcialmente Nublado

Data: 12/ Jul2010

Simulação Iluminação Natural				
Local	Latitude	Longitude	Batente	Data
Recife	-8.0647	-34.9117	90	7/12/2009
				10:30:00 AM 57°
				Parcialmente Nublado

Simulação Cálculos			
Rótulo	Unidades	Valor	Máxima
Plano Trabalho	Lux	1.75	2784
Sobre o Mesa	Lux	999.97	1521
			705

Mock up Pesquisa Doutorado Arq. Claudia Torres
Recife PE Brasil
Casa 2 - Janela Norte e Janelas Estreitas Leste / Oeste

Simulações Realizadas com o **Céu Parcialmente Nublado**
Emprego do Software AGI32 **Data: 12/11/2010**

Sumário Iluminação Natural				
Local	Latitude	Longitude	Data	Horário
Recife	-8.0617	-34.9017	7/12/2009	10:30:00 AM -5'
Condições do Céu				Parcialmente Nublado

Sumário Cálculos			
Batido	Unidades	Medida	Módulo
Plano Trabalho	Lux	1072	2523
Sobre a Mesa	Lux	992.67	1430
			726

Mock up Pesquisa Doutorado Arq. Claudia Torres
Recife PE Brasil
Case 3 - Janela Norte e Janela Alta Norte com Prateleira de Luz

Simulações Realizadas com o
Emprego do Software AGI32

Céu Parcialmente Nublado
Data: 12 Jul 2010

Sumário Iluminação Natural				
Local	Latitude	Longitude	Batente	Data
Recife	-8.0617	-34.9117	90	7/12/2009
			Horário	Condições do Céu
			10:30:00 AM S1	Parcialmente Nublado

Sumário Cálculos				
Objeto	Unidades	Máximo	Mínimo	
Nome Trabalho	Lux	646.62	152.7	197
Sobre o Mesa	Lux	547.28	81.7	387

Mock up Pesquisa Doutorado Arq. Claudia Torres
Recife PE Brasil

Case 4 - Janela Norte e Janelas estreitas / seteiras Leste-Oeste

Simulações Realizadas com o
Emprego do Software AGI32

Céu Parcialmente Nublado
Data: 12/Jul/2010

Iluminação artificial: Luminária quadrada com quatro lâmpadas 16w/4000k e distante 30cm da parede
Nas paredes da fachada sul três luminárias com lâmpada t5 14w/4000k

Sumário Iluminação Natural				
Local	Latitude	Longitude	Data	Horário
Recife	-8.067	-34.917	7/12/2009	10:30:00 AM 5/1
			Coordenar do Céu	
			Parcialmente Nublado	

Sumário Cálculo				
Reflexo				
	Unidades	Máximo	Médio	Mínimo
Ponto Trabalho	Lux	348.34	51.3	12.4
Sobre o Mesa	Lux	482.25	51.2	42.3

Mock up Pesquisa Doutorado Arq. Claudia Torres

Recife PE Brasil

Case 5 - Iluminação artificial

Simulações Realizadas com o
Emprego do Software AGI32

Data: 13/Jul/2010

Iluminação natural zenital: clarabóia 65 x 65 cm com acrílico leitoso e entrada de luz pela janela alta
Três luminárias com lâmpada T5 14w/4000k distante 30cm da parede na fachada sul

Simulação Iluminação Natural				
Local: Recife	Latitude: -8.067	Longitude: -34.917	Batente: 90	Cenário: 7/7/2009 10:30:00 AM 57
			Horário: 10:30:00 AM 57	Condições da Célula: Parcialmente Nublado

Simulação Cálculos				
Referência	Unidades	Máximo	Mínimo	Média
Plano Trabalho	Lux	406.52	6.59	128
Sobre o Mesa	Lux	507.81	6.59	352

Mock up Pesquisa Doutorado Arq. Claudia Torres
Recife PE Brasil

Case 6 - Iluminação natural zenital

Simulações Realizadas com o
Emprego do Software AGI32

Céu Parcialmente Nublado
Data: 12/Jul/2010