

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

MESTRADO EM DINÂMICAS DO ESPAÇO HABITADO  
DEHA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA ILUMINAÇÃO  
NATURAL EM SALAS TÍPICAS DE EDIFÍCIOS DE  
ESCRITÓRIOS EM MACEIÓ-AL

**Sara de Oliveira Cardoso**

**MACEIÓ  
2006**

**Sara de Oliveira Cardoso**

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA ILUMINAÇÃO  
NATURAL EM SALAS TÍPICAS DE EDIFÍCIOS DE  
ESCRITÓRIOS EM MACEIÓ-AL**

Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de  
Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de  
Alagoas, como requisito final para a obtenção do grau  
de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Carvalho Cabús

MACEIÓ  
2006

C268a Cardoso, Sara de Oliveira.

Avaliação das condições da iluminação natural em salas típicas de edifícios de escritórios em Maceió-AL / Sara de Oliveira Cardoso. – Maceió, 2006.

**xiv, 174f. : il.**

**Orientador: Ricardo Carvalho Cabús.**

Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo : Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2006.

**Bibliografia: f. 121-128.**

Apêndices: f. 129-174.

1. Iluminação de interiores. 2. Escritórios -- Iluminação natural. I. Título.

CDU: 749.2(813.5

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

MESTRADO EM DINÂMICAS DO ESPAÇO HABITADO  
DEHA

**Sara de Oliveira Cardoso**

**AValiação das condições da Iluminação Natural  
em Salas típicas de Edifícios de Escritórios em  
Maceió-AL**

Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de  
Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de  
Alagoas, como requisito final para a obtenção do grau  
de Mestre em Arquitetura e Urbanismo

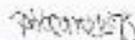
Aprovada em 11/10/2006

BANCA EXAMINADORA



---

Prof. Dr. RICARDO CARVALHO CABÚS  
Centro de Tecnologia - UFAL



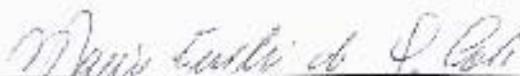
---

Prof. Dr. PAULO SÉRGIO SCARAZZATO  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - USP



---

Prof. Dr. GIANNA MELO BARBIRATO  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFAL



---

Prof. Dr. MARIA EMÍLIA GUSMÃO COUTO SARMENTO  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFAL

**Ao meu pai e à minha mãe, a quem devo tudo. Meu reconhecimento e gratidão pela paciência, compreensão e apoio constante, nesta etapa e em todas as outras da minha vida.**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Ricardo Carvalho Cabús, que orientou este trabalho com competência, segurança e paciência, elementos indispensáveis para a conclusão deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL), pela bolsa de estudos, que possibilitou o desenvolvimento desta dissertação.

À Banca Examinadora, pelas contribuições ao aprimoramento da dissertação.

Aos demais Professores do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) que, de alguma forma contribuíram para a minha formação acadêmica e para realização deste estudo.

Ao meu irmão, namorado e amigos próximos que por tantas vezes suportaram minhas angústias, dando apoio e incentivo para seguir adiante.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>VI</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS .....</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>X</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>XIII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XIV</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Considerações iniciais .....	2
1.2 Justificativa.....	3
1.3 Objetivo geral .....	4
1.4 Objetivos específicos.....	4
1.5 Estrutura do trabalho .....	5
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>7</b>
2.1 Breve histórico.....	8
2.2 A luz natural .....	12
2.3 Fontes de luz natural.....	13
2.3.1 Luz direta do sol .....	13
2.3.2 Luz difusa do céu.....	14
2.3.3 Luz refletida no entorno .....	15
2.4 Propriedades de controle da luz.....	16
2.5 Sistemas de iluminação natural .....	17
2.5.1 Aberturas laterais.....	18
2.5.2 Aberturas zenitais .....	20
2.5.3 Espaços de transição.....	22
2.6 Elementos de controle e redirecionamento da luz.....	23
2.6.1 Separadores convencionais.....	24
2.6.2 Cortinas.....	24
2.6.3 Persianas internas .....	25
2.6.4 Cobogós.....	25
2.6.5 Toldos .....	26
2.6.6 Venezianas.....	26
2.6.7 Brises .....	27
2.6.8 Marquises .....	27
2.6.9 Beirais.....	28
2.6.10 Prateleiras de luz.....	28
2.6.11 Dutos de luz.....	29
2.7 Iluminação artificial.....	30

2.8 Tendências da iluminação .....	31
2.9 Ferramentas para avaliação da luz natural.....	32
2.9.1 Modelos em escala reduzida.....	33
2.9.2 Ferramentas simplificadas .....	35
2.9.3 Códigos computacionais.....	36
2.9.3.1 O programa TropLux v-2.25 .....	37
2.9.3.2 O software DLN .....	38
<b>3. ETAPAS METODOLÓGICAS.....</b>	<b>40</b>
3.1 Levantamento de dados .....	41
3.2 Caracterização das tipologias .....	42
3.2.1 Dimensões .....	42
3.2.2 Características constantes.....	43
3.2.3 Características variáveis .....	44
3.3 Seleção da ferramenta de simulação.....	47
3.4 Critérios para definição das simulações .....	48
3.4.1 Simulação I: Diagnóstico da situação típica atual.....	49
3.4.2 Simulação II: Propostas de intervenção “A” .....	51
3.4.3 Simulação III: Propostas de intervenções “B” .....	53
3.5 Apresentação dos resultados.....	55
<b>4. RESULTADOS E ANÁLISES .....</b>	<b>58</b>
4.1 Levantamento de dados .....	59
4.2 Simulação I: situação típica atual .....	64
4.2.1 Salas com janela central (JC) .....	64
4.2.1.1 Salas 4,00 x 6,00m <sup>2</sup> – Janela central.....	65
4.2.1.2 Salas 6,00 x 6,00m <sup>2</sup> – Janela central.....	69
4.2.1.3 Salas 8,00 x 6,00m <sup>2</sup> – Janela central.....	72
4.2.1.4 Análise das salas com janela central .....	75
4.2.2 Salas com janela lateral (JL).....	79
4.2.2.1 Salas 4,00 x 6,00m <sup>2</sup> – Janela lateral .....	79
4.2.2.2 Salas 6,00 x 6,00m <sup>2</sup> – Janela lateral .....	83
4.2.2.3 Salas 8,00 x 6,00m <sup>2</sup> – Janela lateral .....	85
4.2.2.4 Análise das salas com janela lateral .....	88
4.3 Simulação II: propostas de intervenções “A” .....	91
4.3.1 Salas com janela central (JC) + prateleira de luz (PL).....	92
4.3.2 Salas com janela lateral (JL) + prateleira de luz (PL) .....	95
4.3.3 Análise das salas com prateleira de luz .....	98
4.4 Simulação III: propostas de intervenções “B” .....	99
4.4.1 Salas com janela alta (JA) + abertura contínua (AC).....	100
4.4.2 Salas com janela alta (JA) + cobogó concreto (CC).....	103
4.4.3 Salas com janela alta (JA) + cobogó branco (CB) .....	106

4.4.4 Análise das salas com janela alta.....	109
4.5 Considerações finais.....	111
<b>5. CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES .....</b>	<b>115</b>
5.1 Conclusões.....	116
5.2 Limitações do trabalho .....	120
5.3 Sugestões para futuros trabalhos .....	120
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>121</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>129</b>
APÊNDICE 1 .....	130
Levantamento das tipologias dos edf. de escritórios.....	131
APÊNDICE 2 .....	154
Cálculo da refletância das superfícies internas.....	155
APÊNDICE 3 .....	158
Carta solar x prateleira de luz.....	159
APÊNDICE 4 .....	166
Hora legal x hora solar .....	167
APÊNDICE 5 .....	168
Estudo piloto para definição do pavimento de simulação .....	169
APÊNDICE 6 .....	171
Perfil climático da cidade de maceió.....	172

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diferença entre os níveis de iluminância das fachadas.....	2
Figura 2: Imagens de Stonehenge na Inglaterra em planta baixa (a),.....	9
Figura 3: Zíngate de Ur.....	9
Figura 4: Pirâmide de Quéops.....	9
Figura 5: Vista externa (a) e vista interna do Panteão (b). ....	10
Figura 6 : Edf. Sede da ONU em NY (a) e Edf. Ocean Tower em Maceió-AL (b) .....	11
Figura 7: Reflexão especular (a), reflexão difusa (b) e reflexão mista (c). ....	16
Figura 8: Transmissão especular (a), transmissão difusa (b) e transmissão mista (c).....	17
Figura 9: Exemplos de janela de madeira no quarto(a) e de madeira com vidro na sala de jantar(b) .....	18
Figura 10: Exemplo de porta em terraço numa residência em Maceió-AL,.....	18
Figura 11: Parede translúcida (a) e pele de vidro no Edf. Ocean Tower (b).....	19
Figura 12: Exemplo de clarabóia no almoxarifado do Núcleo de Desenvolvimento Infantil da UFAL.....	20
Figura 13: Exemplo de cobertura dente-de-serra, Carnes&Verdes, Maceió-AL. ....	21
Figura 14: Exemplo de teto transparente.....	21
Figura 15: Exemplo de domo opaco com perfurações (a) e domo.....	21
Figura 16: Exemplo de lanternim numa residência em Maceió-AL, .....	22
Figura 17: Exemplo de pátio no prédio da reitoria da UFAL.....	22
Figura 18: Atrio Central Plaza Las Américas,.....	23
Figura 19: Corte esquemático (a) e exemplo de cortina em quarto infantil (b).....	24
Figura 20: Corte esquemático (a) e exemplo de persiana(b). ....	25
Figura 21: Corte esquemático (a) e exemplo de elemento vazado no .....	25
Figura 22: Corte esquemático (a) e exemplo de toldo em edifício comercial(b). ....	26
Figura 23: Corte esquemático (a) e exemplo de veneziana (b). ....	26
Figura 24: Corte esquemático (a) e exemplo de brise na Biblioteca da UFAL,.....	27
Figura 25: Corte esquemático (a) e exemplo de marquise (b).....	28
Figura 26: Corte esquemático (a) e exemplo de beiral (b). ....	28
Figura 27: Corte esquemático (a) e exemplo de uma prateleira de luz localizada no .....	29
Figura 28: Exemplo de maquete (a) e simulação, utilizando um heliodon, localizado na UFAL (b). ....	33
Figura 29: Exemplo de simulação com o método gráfico, onde se vêem, respectivamente: corte de uma edificação com abertura zenital (a), transferido (b), diagrama de pontos para o céu encoberto (c) e sobreposição da máscara de sombra com o diagrama de pontos (d). ....	36
Figura 30: Tela inicial do programa TropLux V-2.25.....	38
Figura 31: Tela do software DLN .....	38
Figura 32: Esquema do Tipo A - tipologia com corredor central.....	43
Figura 33: Esquema do Tipo B - tipologia com corredor lateral.....	43
Figura 34: Salas com largura fixa e 4,00m (a), 6,00m (b) e 8,00m (c) de profundidade .....	45
Figura 35: Salas com janela central (a), lateral (b) e corte janela baixa (c). ....	45
Figura 36: Salas com janela central (a), lateral (b) e corte janela alta(c). ....	46
Figura 37: Planta baixa da prateleira de luz na janela lateral (a), na janela central (b) e corte transversal de ambas as tipologias (c). ....	46
Figura 38: Janela contínua.....	47
Figura 39: Elementos vazados.....	47

Figura 40: Corte modelo Tipo A. ....	49
Figura 41: Corte modelo Tipo B (b).....	49
Figura 42: Localização dos pontos de simulação na planta baixa das salas com 4,00 x 6,00m <sup>2</sup> (a), .....	50
Figura 43: Localização dos pontos de simulação na planta baixa das salas com 4,00 x 6,00m <sup>2</sup> (a), .....	50
Figura 44: Planta baixa da prateleira de luz na janela lateral (a), na janela central (b) e .....	52
Figura 45: Visão do céu da Tipologia B.....	53
Figura 46: Modelo 01 .....	54
Figura 47: Modelo 02 .....	54
Figura 48: Modelo 03 .....	54
Figura 49: Exemplo da tabela gerada pelo software TropLux para a Sala 14,.....	55
Figura 50: Edifício Breda Center .....	60
Figura 51: Business Tower.....	60
Figura 52: Fachadas sem proteção solar, respectivamente:.....	62
Figura 53: Fachadas com proteção solar, respectivamente: .....	63
Figura 54: Fachadas com pele de vidro, respectivamente: .....	63
Figura 55: Exemplos de janela de correr (a) e maximar (b).....	63
Figura 56: Salas com janela central, largura fixa de 6,00m e profundidade variável de 4,00m (a), 6,00m (b) e 8,00m (c).....	65
Figura 57: Distribuição das iluminâncias médias por ponto em lux, sala 4,00 x 6,00m <sup>2</sup> ;.....	66
Figura 58: Distribuição das iluminâncias médias por ponto, sala 6x6m;.....	70
Figura 59: Comparação entre a localização dos Pontos 01 e 03, nas salas 4,00 x 6,00m <sup>2</sup> e 6,00 x 6,00m <sup>2</sup> . .....	71
Figura 60: Distribuição das iluminâncias médias por ponto, sala 8,00 x 6,00m <sup>2</sup> ;.....	73
Figura 61 : Localização geral dos pontos de simulação. ....	77
Figura 62: Relação entre iluminâncias e localização dos pontos. ....	77
Figura 63: Iluminâncias dos dias menos luminosos de cada orientação. ....	78
Figura 64: Salas com janela lateral, largura fixa de 6m e profundidade variável de 4m (a), 6m (b) e 8m (c). ....	79
Figura 65: Marcação dos cortes AA' e BB' para elaboração dos desenhos que demonstram a variação luminosa na largura e na profundidade do ambiente. ....	81
Figura 66: Distribuição das iluminâncias das salas 4,00 x 6,00m <sup>2</sup> com janela lateral, mostrando a variação luminosa na profundidade e na largura do ambiente.....	81
Figura 67: Distribuição das iluminâncias das salas 6,00 x 6,00m <sup>2</sup> com janela lateral, mostrando a variação luminosa na profundidade e na largura do ambiente.....	84
Figura 68: Distribuição das iluminâncias das salas 8,00 x 6,00m <sup>2</sup> com janela lateral, mostrando a variação luminosa na profundidade e na largura do ambiente.....	87
Figura 69: Relação entre iluminâncias e localização dos pontos nas salas com janela lateral. ....	89
Figura 70: Prateleira de luz na janela lateral (a) e na janela central (b). ....	92
Figura 71: Localização dos pontos na sala 8x6m com prateleira de luz. ....	92
Figura 72: Distribuição das iluminâncias das salas com janela central com e sem prateleira de luz nas orientações SE e SO. ....	93
Figura 73: Distribuição das iluminâncias das salas com janela central com e sem prateleira de luz nas orientações NO e NE.....	94
Figura 74: Distribuição das iluminâncias das salas com janela lateral, com e sem prateleira de luz na orientação SO, mostrando a variação luminosa na profundidade e na largura do ambiente. ....	96
Figura 75: Corte da sala com janela alta voltada para a circulação lateral de abertura contínua. ....	99

Figura 76: Corte da sala com janela alta voltada para a circulação lateral com fechamento em cobogó de piso a teto. ....	99
Figura 77: Abertura contínua.....	100
Figura 78: Distribuição das iluminâncias das salas com janela central, com e sem a janela alta voltada para a circulação lateral com abertura contínua.....	102
Figura 79: Distribuição das iluminâncias das salas com janela lateral, com e sem a janela alta voltada para a circulação lateral com abertura contínua.....	102
Figura 80: Cobogó de concreto.....	103
Figura 81: Distribuição das iluminâncias das salas com janela central, com e sem a janela alta voltada para a circulação lateral com cobogó de concreto. ....	105
Figura 82: Distribuição das iluminâncias das salas com janela lateral, com e sem a janela alta voltada para a circulação lateral com cobogó de concreto. ....	105
Figura 83: Cobogó pintado na cor branca.....	107
Figura 84: Distribuição das iluminâncias das salas com janela central, com e sem a janela alta voltada para a circulação lateral com cobogó de concreto. ....	108
Figura 85: Distribuição das iluminâncias das salas com janela lateral direita, com e sem a janela alta voltada para a circulação lateral com cobogó de concreto.....	108
Figura 86: Distribuição geral das iluminâncias das salas com janela central, com e sem a janela alta voltada para a circulação lateral. ....	110
Figura 87: Distribuição geral das iluminâncias das salas com janela lateral, com e sem a janela alta voltada para a circulação lateral.....	111
Figura 88: Vista lateral direita (a) e vista lateral esquerda (b). ....	155
Figura 89: Medição da luminância no piso (a) e no papel branco (b). ....	155
Figura 90: Medição da luminância no teto (a) e no papel branco (b). ....	156
Figura 91: Medição da luminância na parede (a) e no papel branco (b). ....	156
Figura 92: Carta solar de Maceió. ....	160
Figura 93: Vista JC.....	161
Figura 94: Vista JL.....	161
Figura 95: Corte JC/JL.....	161
Figura 96: Máscara de sombra JC/NE.....	161
Figura 97: Máscara de sombra JC/NO.....	161
Figura 98: Máscara de sombra JC/SE.....	161
Figura 99: Máscara de sombra JC/SO.....	161
Figura 100: Máscara de sombra JL/NE.....	161
Figura 101: Máscara de sombra JL/NO.....	161
Figura 102: Máscara de sombra JL/SE.....	162
Figura 103: Máscara de sombra JL/SO.....	162
Figura 104: Vista JC + PL.....	163
Fig Figura 105: Corte JC + PL.....	163
Figura 106: M. Sombra JC+PL/NE.....	163
Figura 107: M. Sombra JC+PL/NO.....	163
Figura 108: M. Sombra JC+PL/SE.....	163
Figura 109: M. Sombra JC+PL/SO.....	163
Figura 110: Vista JL + PL.....	164
Figura 111: Corte JL + PL.....	164
Figura 112: M. Sombra JL+PL/NE.....	164
Figura 113: M. Sombra JL + PL/NO.....	164
Figura 114: M. Sombra JL+PL/SE.....	164
Figura 115: M. Sombra JL + PL/SO.....	164
Figura 116: Gráficos da variação dos níveis de iluminação durante o dia.....	170

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Características do vidro utilizado nas simulações.....	44
Gráfico 2: Comparação entre as médias de cada ponto e a profundidade da sala.....	57
Gráfico 3: Localização dos edifícios de escritórios.....	60
Gráfico 4: Quantidade de pavimentos e salas por pavimento .....	61
Gráfico 5: Tipologia das plantas.....	62
Gráfico 6: Comportamento da iluminação no interior do ambiente, sala 4,00 x 6,00m <sup>2</sup> com janela central.....	68
Gráfico 7: Comportamento da iluminação no interior do ambiente, sala 6,00 x 6,00m <sup>2</sup> com janela central.....	71
Gráfico 8: Comportamento da iluminação no interior do ambiente, sala 8,00 x 6,00m <sup>2</sup> com janela central.....	74
Gráficos 9 e 10: Relação entre as médias de cada sala e a localização dos pontos no solstício de inverno nas orientações sudeste e sudoeste. ....	78
Gráficos 11 e 12 : Relação entre as médias de cada sala e a localização dos pontos no solstício de inverno nas orientações nordeste e noroeste.....	78
Gráfico 13: Comportamento da iluminação no interior do ambiente, sala 4,00 x 6,00m <sup>2</sup> com janela lateral.....	82
Gráfico 14: Comportamento da iluminação no interior do ambiente, sala 6,00 x 6,00m <sup>2</sup> , com janela lateral.....	85
Gráfico 15: Comportamento da iluminação no interior do ambiente, sala 6,00 x 6,00m <sup>2</sup> , com janela lateral.....	87
Gráficos 16 e 17: Relação entre as médias dos pontos na sala 4,00 x 6,00m <sup>2</sup> , no solstício de inverno na orientação Sudeste e no solstício de verão na orientação Nordeste.....	90
Gráficos 18 e 19: Relação entre as médias dos pontos na sala 6,00 x 6,00m <sup>2</sup> , no solstício de inverno na orientação Sudeste e no solstício de verão na orientação Nordeste.....	91
Gráficos 20 e 21: Relação entre as médias dos pontos na sala 8,00 x 6,00m <sup>2</sup> , no solstício de inverno na orientação Sudeste e no solstício de verão na orientação Nordeste.....	91
Gráfico 22: Comportamento da iluminação no interior do ambiente, salas 8,00 x 6,00m <sup>2</sup> com janela central, com e sem o uso da prateleira de luz.....	94
Gráfico 23: Horas em que é necessária a utilização da luz artificial no ambiente, salas 8,00 x 6,00m <sup>2</sup> com janela lateral, com e sem o uso da prateleira de luz. ....	97
Gráficos 24 e 25: Distribuição das iluminâncias nas salas com e sem prateleira de luz, tipologia com janela central (a) e com janela lateral (b). ....	98
Gráfico 26: Distribuição geral das iluminâncias das salas com abertura contínua, fechamento em cobogó de concreto e cobogó pintado na cor branca. ....	110

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Níveis de iluminância, segundo a NBR 5413/1992.....	30
Tabela 2: Propriedades físicas dos materiais empregados no edifício modelo .....	44
Tabela 3: Simulação I - diagnóstico da situação típica anual.....	51
Tabela 4: Simulação II - Propostas de intervenção A .....	52
Tabela 5: Simulação III - Propostas de intervenções B.....	54
Tabela 6: Exemplo da tabela geral que foi exportada do software TropLux. ....	56
Tabela 7: Comparação entre os Pontos 01 no dia 22/03. ....	56
Tabela 8: Comparação entre os Pontos 01 na orientação SE. ....	56
Tabela 9: Comparação dos três pontos no dia menos luminoso da orientação SE.....	57
Tabela 10: Comparação entre as médias de cada ponto e a profundidade da sala.....	57
Tabela 11: Levantamento dos edifícios de escritório da cidade de Maceió .....	59
Tabela 12: Orientação das maiores fachadas.....	61
Tabela 13: Iluminâncias no dia menos luminoso de cada orientação, sala 4,00 x 6,00m <sup>2</sup> , janela central, tabela ponto x hora, dados em lux. ....	65
Tabela 14: Decréscimo percentual das iluminâncias médias dos Pontos 02 e 03 em relação ao Ponto 01 em cada orientação, na sala 4,00 x 6,00m <sup>2</sup> com janela central. ....	67
Tabela 15: Iluminâncias no dia menos luminoso de cada orientação, sala 6,00 x 6,00m <sup>2</sup> , janela central, tabela ponto x hora, dados em lux. ....	69
Tabela 16: Decréscimo percentual das iluminâncias médias dos Pontos 2 e 3 em relação ao Ponto 1 em cada orientação, na sala 6,00 x 6,00m <sup>2</sup> com janela central. ....	70
Tabela 17: Comparação entre as médias das iluminâncias dos Pontos 01 e 03, nas salas 4,00 x 6,00m <sup>2</sup> e 6,00 x 6,00m <sup>2</sup> com janela central, dados em lux. ....	70
Tabela 18: Iluminâncias no dia menos luminoso de cada orientação, sala 8,00 x 6,00m <sup>2</sup> , com janela central, tabela ponto x hora, dados em lux.....	73
Tabela 19: Decréscimo percentual das iluminâncias médias dos Pontos 2 e 3 em relação ao Ponto 1 em cada orientação, na sala 6,00 x 6,00m <sup>2</sup> com janela central. ....	74
Tabela 20: Comparação entre as médias das iluminâncias dos Pontos 1 e 3, nas salas 4,00 x 6,00m <sup>2</sup> e .....	74
Tabela 21: Tabela comparativa para análise geral das médias das iluminâncias das salas com janela central, em lux. ....	76
Tabela 22: Média das iluminâncias no dia menos luminoso de cada orientação, sala 4,00 x 6,00m <sup>2</sup> , com janela lateral, tabela ponto x hora, dados em lux. ....	80
Tabela 23: Médias das iluminâncias dos Pontos de Simulação Simplificados das salas 4,00 x 6,00m <sup>2</sup> com janela lateral, dados em lux. ....	80
Tabela 24: Decréscimo percentual das iluminâncias médias dos Pontos Simplificados 02, 02', 03 e 03' em relação ao Ponto 01 e 01' em cada uma das orientações, na sala 4,00 x 6,00m <sup>2</sup> com janela lateral. ....	82
Tabela 25: Média das iluminâncias no dia menos luminoso de cada orientação, sala 6,00 x 6,00m <sup>2</sup> , com janela lateral, tabela ponto x hora, dados em lux. ....	83
Tabela 26: Médias das iluminâncias dos Pontos de Simulação Simplificados das salas 6,00 x 6,00m <sup>2</sup> com janela lateral, dados em lux. ....	83
Tabela 27: Decréscimo percentual das iluminâncias médias dos Pontos Simplificados 02, 02', 03 e 03' em relação ao Ponto 01 e 01' em cada uma das orientações, na sala 6,00 x 6,00m <sup>2</sup> com janela lateral. ....	84
Tabela 28: Comparação entre as médias das iluminâncias dos Pontos 01 e 03, nas salas 4,00 x 6,00m <sup>2</sup> e 6,00 x 6,00m <sup>2</sup> com janela lateral. ....	84

Tabela 29: Média das iluminâncias no dia menos luminoso de cada orientação, sala 8,00 x 6,00m <sup>2</sup> , com janela lateral, tabela ponto x hora, dados em lux. ....	86
Tabela 30: Médias das iluminâncias dos pontos de simulação simplificados das salas 6,00 x 6,00m <sup>2</sup> com janela lateral, dados em lux. ....	86
Tabela 31: Decréscimo percentual das iluminâncias médias dos Pontos Simplificados 2, 2', 3 e 3' em relação ao Ponto 1 e 1' em cada uma das orientações, na sala 8,00 x 6,00m <sup>2</sup> com janela lateral' .....	87
Tabela 32: Comparação entre as médias das iluminâncias dos Pontos 01 e 03, nas salas 4,00 x 6,00m <sup>2</sup> e 6,00 x 6,00m <sup>2</sup> com janela lateral. ....	87
Tabela 33: Tabela comparativa dos pontos simplificados para análise geral das salas com janela lateral.....	88
Tabela 34: Comparação entre as médias das iluminâncias dos Pontos 1 e 3, nas salas 4,00 x 6,00m <sup>2</sup> e .....	90
Tabela 35: Médias e variação das iluminâncias (U <sup>a</sup> e U <sup>b</sup> ) das salas 8,00 x 6,00m <sup>2</sup> com janela central com prateleiras de luz (JC + PL) e das salas sem prateleira de luz (JC sem PL). ....	93
Tabela 36: Médias das iluminâncias da sala com prateleiras de luz (JC + PL) e da sala sem prateleira de luz (JC sem PL). ....	95
Tabela 37: Médias e variação das iluminâncias (U) das salas com prateleiras de luz (JL + PL) e das salas sem prateleira de luz (JL sem PL). ....	96
Tabela 38: Iluminâncias da sala com janela alta + abertura contínua (JA+AC) .....	100
Tabela 39: Iluminâncias e variação luminosa (U) entre os Pontos 1 e 2 e os Pontos 1 e 3 das salas com janela alta + abertura contínua (JA+AC). ....	101
Tabela 40: Médias e variação das iluminâncias (U) das salas com a inclusão da janela alta + abertura contínua (JA + AC) e das salas sem a intervenção.....	101
Tabela 41: Iluminâncias da sala com janela alta + fechamento em cobogó de concreto de piso a teto (JA+CC).....	103
Tabela 42: Iluminâncias e variação luminosa (U) entre os Pontos 1 e 2 e os Pontos 1 e 3 das salas com janela alta + cobogó de concreto (JA+CC). ....	104
Tabela 43: Médias e variação das iluminâncias (U) das salas com a inclusão da janela alta + cobogó de concreto (JA + CC) e das salas sem a intervenção.....	104
Tabela 44: Variação entre as iluminâncias (U) geradas pela abertura contínua e pelo fechamento em cobogó de concreto de piso a teto na circulação lateral.....	105
Tabela 45: Iluminâncias da sala com janela alta + fechamento em cobogó pintado na cor branca de piso a teto (JA+CB).....	106
Tabela 46: Iluminâncias e variação luminosa (U) entre os Pontos 1 e 2 e os Pontos 1 e 3 das salas com janela alta + cobogó pintado na cor branca(JA+CB). ....	107
Tabela 47: Médias e variação das iluminâncias (U) das salas com a inclusão da janela alta + cobogó de concreto (JA + CC) e das salas sem a intervenção.....	107
Tabela 48: Variação entre as iluminâncias (U) geradas pela abertura contínua e pelo fechamento em cobogó de concreto de piso a teto na circulação lateral.....	109
Tabela 49: Tabela comparativa das iluminâncias proporcionadas pela janela alta contínua nos fundos das salas, dados em lux. ....	109
Tabela 50: Comparação entre as profundidades das salas e os tipos de abertura.....	112
Tabela 51: Comparação geral das salas com janela central, dados em lux. ....	113
Tabela 52: Comparação geral das salas com janela lateral, dados em lux. ....	113

Tabela 53: Tabela resumo dos resultados – variação das iluminâncias entre os Pontos 01 e 03, respectivamente o mais próximo e o mais afastado da abertura.....	119
Tabela 54: Valores e médias das iluminâncias encontradas na bateria de medição 01, no piso.....	154
Tabela 55: Valores e médias das iluminâncias encontradas na bateria de medição 01, no piso. ....	156
Tabela 56: Valores e médias das iluminâncias encontradas na bateria de medição 02, no teto. ....	157
Tabela 57: Valores e médias das iluminâncias encontradas na bateria de medição 03, na parede. ....	157
Tabela 58: Normais Metereológicas da cidade de Maceió.....	172

## RESUMO

A cidade de Maceió possui uma quantidade de luz abundante, proveniente do sol e do céu. Por sua vez, os sistemas de iluminação artificial funcionam integralmente ao longo do dia em muitos edifícios de escritórios. Esta pesquisa tem como objetivo avaliar o desempenho da iluminação natural em salas típicas de edifícios de escritórios implantados na cidade, de modo a sugerir diretrizes e recomendações para futuras construções, tendo em vista a racionalização do uso da iluminação artificial. Foi desenvolvida com base em simulações computacionais em salas de escritório padronizadas, a partir de um diagnóstico da situação atual dos edifícios de escritórios localizados em Maceió. Foram realizadas três baterias de simulações: na primeira, obteve-se uma avaliação das condições de iluminação natural das salas de escritórios nos solstícios e equinócios e nas quatro orientações mais recorrentes na cidade em estudo. Na segunda etapa, foram adicionadas prateleiras de luz às aberturas das salas mais profundas nas quatro orientações. Na terceira, foi incluída uma abertura alta contínua voltada para a circulação lateral do edifício nas salas mais profundas e em duas orientações. A inclusão dos elementos construtivos nas duas últimas etapas de simulação teve como objetivo investigar suas influências na melhoria da uniformidade luminosa das salas de escritórios. Como resultado da primeira etapa de simulação, verificou-se uma média de 75% de variação entre as iluminâncias dos pontos mais próximos e mais afastados da abertura nas salas mais profundas; com a inclusão das prateleiras de luz, essa variação diminuiu para, em média, 70% nas salas com as mesmas dimensões e com a inclusão da janela alta contínua para 65%. Se forem adicionadas as duas intervenções propostas nas salas (prateleira de luz + abertura contínua voltada para a circulação lateral), essa variação entre os pontos será de 50%. Então, os resultados obtidos por meio das simulações computacionais mostram que a utilização das intervenções propostas melhorou significativamente a uniformidade luminosa do ambiente. Portanto a utilização destas intervenções pode implicar em projetos mais eficientes em relação ao uso da iluminação natural, e conseqüentemente uma melhora na eficiência energética da edificação.

## ABSTRACT

Maceió, the capital of a North-eastern state in Brazil, has abundant sun and sky light during the whole year. Despite this natural resource the electrical lighting system works in full-scale throughout the day in many office buildings. The main objective of this study is to evaluate the performance of the natural light in typical office buildings of the city, in order to suggest and recommend guidelines for future constructions, taking into account the rationalization of artificial lighting use. The study was based on a previous diagnosis of the actual conditions of different office buildings in Maceió, and was developed through computer simulations of standard office buildings. The investigation was divided in three stages: the first was an assessment of the conditions of sun lighting in the office rooms in a typical luminous day of each of the four seasons, considering the buildings' four most recurrent directional references. In the second stage, light shelves were added to the openings of the largest rooms in reference to the four directions. Lastly, it was added a high continuous window turned to the side corridor of the building's largest rooms in two directions. The insertion of constructive elements in the last two stages of the simulation aimed at investigating the influence of the performed changes in the improvement of the lighting uniformity in the office rooms. As a result of the first stage of the simulation, it was verified an average of 75% of variation in the illuminance between the nearest and the most distant points from the opening for the largest rooms; the addition of light shelves caused this rate to decrease to an average of 70% in the rooms with the same dimensions and of 65% with the addition of a continuous high window. The addition of the two proposed interventions (light shelves and continuous opening turned to the corridor) caused the variation between points to decrease to 50%. Therefore, the results obtained through computer simulations show that the changes suggested have significantly improved the lighting uniformity of the ambiance.

# 1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais .....	2
1.2 Justificativa.....	3
1.3 Objetivo geral .....	4
1.4 Objetivos específicos .....	4
1.5 Estrutura do trabalho .....	5

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Desde o início dos tempos, pode-se perceber a preocupação do homem em possuir e controlar a luz. Segundo BURGER (1996), essa empatia transcende a existência dos anos, a evolução do homem e da sociedade.

Assim, passou-se da brasa à tocha, da vela à lamparina, do lampião à lâmpada elétrica, inventada por Thomas Edison. O aperfeiçoamento desta última levou ao desenvolvimento da lâmpada fluorescente, e o aumento da sua eficácia produziu a primeira possibilidade de competir com o Sol e o céu, como uma fonte viável de luz para interiores.

A iluminação artificial passou, então, a ser usada indiscriminadamente no decorrer de todo o dia. E, além do gasto de energia com a própria iluminação, tem-se o aquecimento do ambiente interno, devido à pouca quantidade e qualidade das aberturas, e à necessidade do uso de condicionadores de ar, originando um aumento na demanda de energia elétrica.

Além do desenvolvimento da iluminação artificial, também ocorreram avanços das técnicas construtivas, como o uso do concreto armado e do aço, ocasionando um aumento no gabarito das edificações. A malha urbana, no entanto, continuou praticamente a mesma, pois nem sempre as ruas foram alargadas, ocasionando o aumento da densidade populacional e a redução dos recuos e afastamentos entre as edificações (GRAZIANO JUNIOR, 2000).

Essa verticalização dos edifícios aumentou o uso da energia elétrica com a inserção de elevadores, climatização artificial de ambientes, maior quantidade de pessoas, além de ter atuado de forma negativa em relação ao aproveitamento da iluminação natural, pois essa contribuição é diretamente proporcional à altura e ao afastamento das edificações.



**Figura 1: Diferença entre os níveis de iluminância das fachadas em função das alturas das edificações e largura das ruas.**

Fonte: Arquivo pessoal da autora

Com essas alterações, percebeu-se que o domínio da luz natural foi desafiado e passou a ter menor importância na concepção dos projetos, devido à facilidade da utilização da luz artificial e ao aparecimento de novas técnicas e interesses construtivos.

No Brasil, grande parte da energia elétrica é utilizada em edifícios de escritórios. Nesse sentido, deve-se observar que o uso da iluminação natural é muito importante, principalmente em lugares onde há Sol em abundância, sobretudo no horário comercial, quando os escritórios estão ativos.

Sabe-se que a utilização indiscriminada da iluminação artificial é desnecessária em climas onde o Sol é abundante, como no caso do clima quente e úmido.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A praticidade e facilidade de acesso à energia elétrica fizeram com que seu uso fosse intensificado, a ponto de a iluminação natural ser pouco considerada nos ambientes.

No Brasil, 48% da energia gerada são consumidas em edifícios residenciais, comerciais e públicos, de acordo com dados do PROCEL (2003), e, segundo dados do BEN (Balanço Energético Nacional) em 2004, o setor comercial foi responsável por, aproximadamente, 23% do consumo de energia elétrica. Destes, cerca de 70% da energia consumida nos edifícios de escritórios é relacionada aos sistemas de condicionamento de ar e iluminação (GONÇALVES, 2004). Segundo SIGNOR (1999), aproximadamente 30% a menos de energia são consumidos em edifícios com projetos adequados climaticamente.

De acordo com os dados apresentados, percebe-se o quanto é importante um projeto adequado às condições climáticas e ao entorno da edificação para uma boa eficiência energética da edificação e um bom conforto térmico e luminoso dos usuários.

A luz natural tem um ótimo desempenho luminoso, pois apresenta definições de cores mais reais que a proporcionada pela luz artificial e proporciona a visualização do meio externo, que, de acordo com CORRÊA (1997), influencia psicologicamente no bem estar do ser humano, já que o homem, mesmo estando em um ambiente interno, deseja estar em contato com os elementos do universo do qual faz parte.

O ambiente interno de um edifício de escritórios deve ser saudável e estimulante, pois o tempo de permanência dos ocupantes em lugares dessa tipologia é relativamente alto.

É por isso que a qualidade visual do ambiente de trabalho, além de outras condições, tem que atender às exigências de normas técnicas, principalmente a NBR 5413 da ABNT, que mostram níveis ideais de iluminação exigidos para a iluminância de interiores<sup>1</sup>. Também devem buscar a uniformidade luminosa do ambiente, estudando-se a distribuição para que sejam evitados os ofuscamentos, os reflexos e os grandes contrastes entre as superfícies de cores diferentes.

Por tudo isso, deve ser incentivado o uso da iluminação artificial como complemento e não como o único tipo de iluminação para os ambientes internos durante o dia. Devem-se criar etapas de acionamento da luz artificial, para que ela seja utilizada apenas quando o nível de iluminação estiver baixo.

O que leva à realização desta pesquisa é o intuito de mostrar que é possível fazer uso da iluminação natural para obtenção de um bom desempenho luminoso no interior de ambientes.

### 1.3 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar o desempenho da iluminação natural em salas típicas de edifícios de escritórios implantados em Maceió-AL, de modo a sugerir diretrizes e recomendações para futuras construções.

### 1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Abaixo segue uma lista dos objetivos específicos deste estudo:

- a) Diagnosticar a situação atual de edifícios de escritórios localizados em Maceió-AL;

---

<sup>1</sup> Esta norma é de iluminação artificial, porém como a norma que diz respeito à iluminação natural ainda não foi totalmente elaborada e publicada, decidiu-se utilizar a NBR 5413 da ABNT como parâmetro de comparação.

b) Avaliar as condições de iluminação natural em salas de escritório padronizadas, nos solstício e equinócios e nas quatro orientações mais recorrentes na cidade de Maceió, investigando a influência da localização das aberturas e a profundidade das salas em relação à uniformidade luminosa da luz natural no interior dos ambientes;

c) Propor diretrizes de projeto para futuras construções de edifícios de escritórios em Maceió, em relação à iluminação natural.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação é dividida em cinco seções, referências e apêndices. Na primeira seção, é apresentada uma visão geral do tema estudado, seguida, pela justificativa, pelos objetivos geral e específicos e pela estruturação geral da pesquisa.

A segunda seção apresenta a revisão bibliográfica em que foi embasada a pesquisa. Inicia-se com um breve histórico da relação luz x homem, seguida pelo estudo da luz natural, das fontes de luz natural, dos mecanismos de controle da luz, dos sistemas de iluminação natural e finalizada por um breve estudo da iluminação artificial e das tendências da iluminação, além de um estudo sobre as ferramentas de simulação e uma descrição do software escolhido para a pesquisa.

Na terceira seção, são descritos os procedimentos metodológicos empregados na elaboração desta dissertação. Inicialmente são apresentados os caminhos percorridos para a obtenção dos dados levantados para a elaboração das tipologias, seguidos pela elaboração destes edifícios tipo, a seleção da ferramenta de simulação e os critérios para a definição dos modelos para simulação.

A seção seguinte apresenta e discute os dados coletados nas simulações computacionais. Primeiramente, são apresentadas as conclusões obtidas no levantamento de dados, necessário para a elaboração das tipologias; e, em seguida, são apresentados os resultados das etapas de simulação.

Na quinta e última seção, são apresentadas as conclusões encontradas nesta pesquisa, acrescida das limitações do trabalho e sugestões para trabalhos futuros, seguidas pelas referências.

No Apêndice 1, encontram-se as planilhas elaboradas para o agrupamento das informações adquiridas no levantamento das tipologias dos edifícios de escritórios. O Apêndice 2 apresenta as medições e cálculos realizados para a obtenção da refletância das superfícies internas das salas a serem simuladas. No Apêndice 3, é realizado um estudo para a definição das dimensões das prateleiras de luz que serão utilizadas em um dos modelos de simulação. No Apêndice 4, é mostrada uma tabela com a relação entre a hora solar e a hora legal. O Apêndice 5 apresenta o um estudo piloto para definição do pavimento de simulação, e no Apêndice 6, é apresentada uma breve descrição do perfil climático da cidade de Maceió .

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Breve histórico.....	8
2.2 A luz natural .....	12
2.3 Fontes de luz natural.....	13
2.3.1 Luz direta do sol .....	13
2.3.2 Luz difusa do céu.....	14
2.3.3 Luz refletida no entorno .....	15
2.4 Propriedades de controle da luz.....	16
2.5 Sistemas de iluminação natural .....	17
2.5.1 Aberturas laterais.....	18
2.5.2 Aberturas zenitais .....	20
2.5.3 Espaços de transição.....	22
2.6 Elementos de controle e redirecionamento da luz.....	23
2.6.1 Separadores convencionais.....	24
2.6.2 Cortinas.....	24
2.6.3 Persianas internas: .....	25
2.6.4 Cobogós .....	25
2.6.5 Toldos .....	26
2.6.6 Venezianas.....	26
2.6.7 Brises .....	27
2.6.8 Marquises .....	27
2.6.9 Beirais.....	28
2.6.10 Prateleiras de luz.....	28
2.7 Iluminação artificial.....	30
2.8 Tendências da iluminação .....	31
2.9 Ferramentas de simulação .....	32
2.9.1 Modelos em escala reduzida.....	33
2.9.2 Ferramentas simplificadas .....	35
2.9.3 Códigos computacionais.....	36
2.9.3.1 O programa TropLux v-2.25 .....	37
2.9.3.2 O software DLN .....	38

Nesta seção, é apresentada uma revisão bibliográfica com relação ao tema iluminação natural. Inicia-se a partir de um breve histórico, seguido de uma abordagem de alguns aspectos relevantes ao projeto de sistemas de iluminação natural e seus mecanismos de controle e redirecionamento da luz solar. Logo após, têm-se alguns sistemas de abertura para implementação da iluminação natural do ambiente interno, acompanhado por um breve levantamento sobre a iluminação artificial e as tendências da iluminação. Também são tratados os métodos de simulação e é realizada uma breve introdução sobre a ferramenta computacional selecionada para o desenvolvimento da pesquisa.

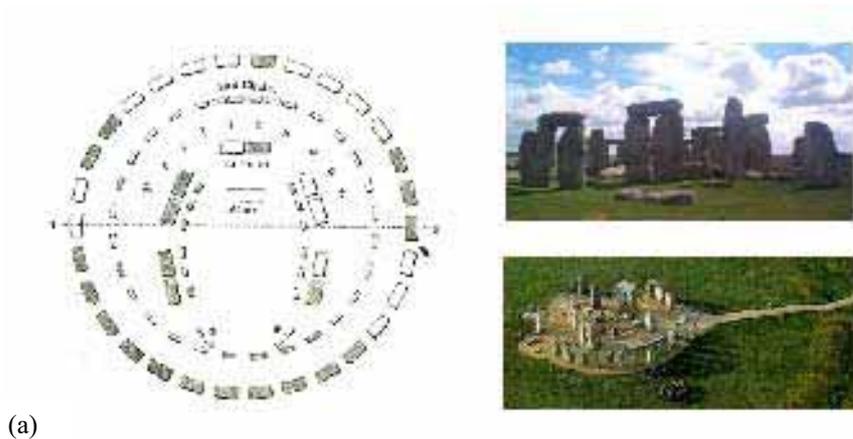
## 2.1 BREVE HISTÓRICO

Durante milênios, a humanidade se desenvolveu tendo o sol como fonte de luz (ALLEN, 1990). O tempo das atividades humanas tinha de ser adequado à disponibilidade da luz, pois, apesar da existência do fogo, sua intensidade luminosa não era suficiente para atender a certos tipos de tarefas.

Os benefícios do sol foram reconhecidos, louvados e rezados (LAM, 1986), porém foi necessária a construção de edificações que produzissem ambientes protegidos dos raios solares para evitar o calor, a degradação de materiais, o ofuscamento causado pelo alto contraste entre áreas mais e menos iluminadas, brilhos e reflexos incômodos. Esse processo evoluiu de acordo com as características climáticas e culturais de cada região do planeta.

Existem diversas indicações de que os povos antigos já observavam cuidadosamente os movimentos dos corpos celestes. Vários princípios foram elaborados a partir dessas observações, como, por exemplo, período para plantio, jornada de trabalho, estações do ano, construções. Segundo PEREIRA (1993), o uso consciente da luz solar estava simbolicamente relacionado com a arquitetura religiosa.

Uma das construções mais antigas e famosas da Inglaterra é o monumento pré-histórico Stonehenge. Trata-se de um altar de pedras que foi utilizado há cerca de 5000 anos e, até hoje, não se tem certeza absoluta de qual era sua finalidade: rituais Druidas, cerimônias em homenagem ao sol ou portal para seres de outros planetas são algumas das possibilidades. Nesse monumento, é possível observar quando o sol aparece no primeiro dia de verão, no enquadramento central da arcada de pedra. (ver Figura 2).



**Figura 2: Imagens de Stonehenge na Inglaterra em planta baixa (a), vista frontal (b) e perspectiva (c).**

Fonte: <http://www.fromoldbooks.org/OldEngland/pages/0002-Stonehenge> (a, b e c)



**Figura 3: Zigurate de Ur**

Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Zigurate>

Na arquitetura Mesopotâmica, tem-se o Zigurate de Ur como outro exemplo da devoção das antigas civilizações pelos corpos celestiais. Foi construído para o deus da lua, Nanna, entre os anos de 2113 e 2096 a.C. Esse templo consistia em sete pavimentos e seu santuário se localizava no terraço superior, tendo o acesso através de estreitas escadarias que rodeavam os muros.

No Egito, a matrização da luz era um dos aspectos mais salientes da arquitetura. Assim como as outras pirâmides, a de Quéops (ver Figura 4) orienta as suas faces para os quatro pontos cardeais, permitindo que os raios da estrela Sírio, ao passar pelo meridiano, entrem na câmara do núcleo da pirâmide, através de um duto, no momento em que se anunciava o princípio do ano egípcio e o início das inundações, como a luz da estrela Polar entrava pelos dutos do norte (GOITIA, 1995).

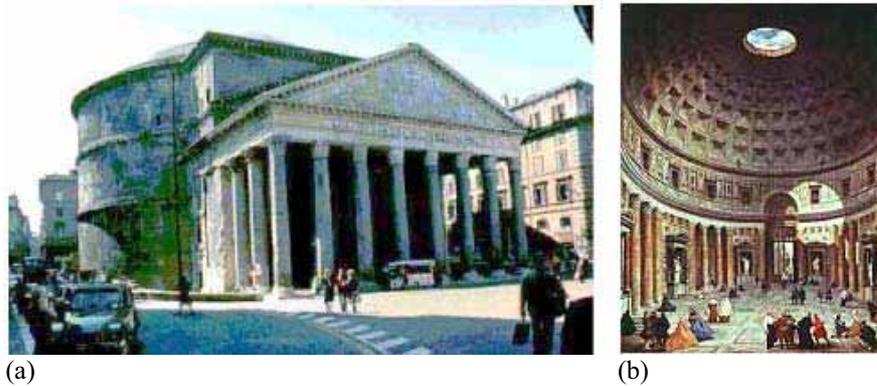


**Figura 4: Pirâmide de Quéops.**

Fonte: <http://www.projetoockham.org>

Na Grécia, a iluminação dos templos era proveniente, em grande parte, das aberturas laterais. Os grandes pórticos e colunas funcionavam como proteção do sol de verão, porém admitiam a entrada direta da luz quando o sol estava com baixa altitude.

Em Roma, o Panteão possui uma cúpula circular no alto, de onde provém a iluminação. Essa luz reflete-se nas paredes internas e é difundida para todo o ambiente (ver Figura 5, a e b).



**Figura 5: Vista externa (a) e vista interna do Panteão (b).**

Fonte: MORRIS, 1994 (a) e <http://educaterra.terra.com.br/voltaire/atuabilidade/pimage/governo2> (b)

Nas igrejas do período Gótico, as paredes não são estruturais. Os vãos que iriam ser paredes foram substituídos por elementos translúcidos e coloridos. Na Renascença, esses elementos coloridos desaparecem. Nessa época, acreditava-se que a luz branca, difundida de forma indireta, dava um caráter simbólico e místico às edificações (BENÉVOLO,1976).

Durante todo esse período, as atividades continuavam a ser regradas pela luz do dia, auxiliadas à noite por tocha ou vela. O homem pré-industrial tinha necessidades bem diferentes das atuais; passava a maior parte do tempo ao ar livre. As atividades domésticas eram bastante simples e não demandavam grandes quantidades de luz.

Porém, com o advento da Revolução Industrial, no séc. XIX, diversos aspectos da sociedade foram alterados (BURGNER, 1996). Houve a necessidade de mais tochas e velas para atender os turnos extras de trabalho. Em 1885, Welsbach inventou o gás incandescente (BAKER, 1993) e as antigas fontes de iluminação artificial passaram a ser substituídas pela luminária a gás, inicialmente nas áreas públicas e indústrias e, posteriormente, nas residências. Com o aparecimento da lâmpada elétrica, entre os séculos XVIII e XIX, e o baixo custo da eletricidade, os ambientes passaram a ser cada vez mais iluminados artificialmente (LAM,1986 e ENERGY RESEARCH GROUP, 1994).

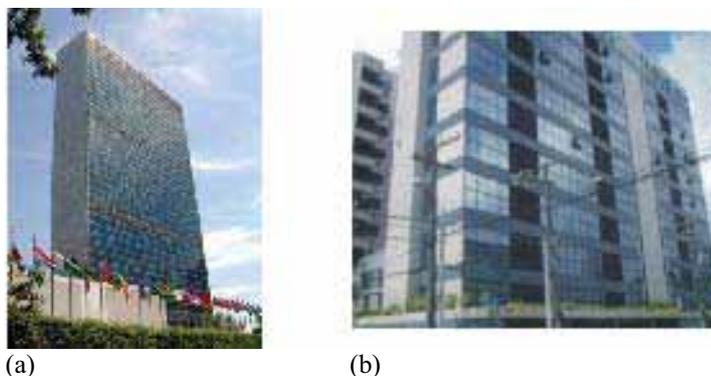
Além dos avanços com relação à iluminação artificial, a Revolução Industrial também trouxe uma maior liberdade de criação com a descoberta do concreto armado e da estrutura metálica – deixando as paredes livres de sua função estrutural, promovendo mudanças quanto

ao tamanho, à modulação e à qualidade dos painéis de vidro. BAKER (1993) afirmou que a nova arquitetura do ar e da luz estava surgindo.

A partir daí, a função térmica das paredes passaram a ser substituídas pelos sistemas mecânicos de aquecimento e refrigeração e a iluminação dos ambientes não estava mais restrita às regiões próximas às aberturas. O domínio da luz natural foi desafiado e passou a ter menor importância na concepção dos projetos (MASCARÓ,1991).

No entanto, alguns arquitetos como Le Corbusier na França, Alvar Aalto na Finlândia e Frank Lloyd Wright nos Estados Unidos ainda consideravam a luz natural como fator determinante de um projeto e conseguiram criar novos vocabulários arquitetônicos com excelente qualidade luminosa.

Com o surgimento do Estilo Internacional (onde a mesma concepção arquitetônica pode ser usada em países de climas diferentes – ver Figura 6, a e b), surgiram diversas construções com grandes envidraçamentos, que permitiam uma excessiva penetração de luz e calor. Esse estilo, de acordo com LAM (1986), foi “incentivado” pelos custos de energia relativamente baixos.



**Figura 6 : Edf. Sede da ONU em NY (a) e Edf. Ocean Tower em Maceió-AL (b)**  
Fonte: <http://www.igadi.org> (a) e arquivo pessoal da autora (b).

PEREIRA (1995) afirmou que houve muita valorização da arquitetura do volume externo, do formal e da monumentalidade, em detrimento do conforto do ambiente e da arquitetura de interior. Porém, em 1973, com a crise do petróleo, essa situação tornou-se insustentável e os benefícios da iluminação natural voltaram a ser significativos. Projetar levando o clima local em consideração para a elaboração dos projetos voltou a ser discutido e colocado em prática gradativamente.

## 2.2 A LUZ NATURAL

Numa época em que a escassez de recursos naturais tem se tornado tão evidente, torna-se necessária a utilização de todos os artifícios possíveis para reduzir o uso da energia elétrica, sem abrir mão do conforto.

A luz natural é aquela proveniente do Sol, seja de forma direta, através dos raios solares, de forma difusa, em função da refração e reflexão dos raios na atmosfera com ou sem nuvens, ou de forma refletida através do entorno.

De acordo com KOENINGSBERGER et al. (1973), a luz natural também é proporcionada pelo sol, porém sua aparência, distribuição e quantificação estão condicionadas à predominância da constituição atmosférica da abóbada celeste, que pode variar de clara a encoberta.

A luz natural é um recurso gratuito e inesgotável que apresenta vantagens significativas – como economia de energia, maior qualidade da luz e do ambiente, contato com o exterior, além de benefícios físicos e psicológicos aos usuários – por isso, deve ser bem explorada (PEREIRA, 1998).

De acordo com MAGALHÃES (1995), as variáveis que interferem no projeto de iluminação natural são:

- a) Condicionantes locais: clima, orientação, época do ano e dia;
- b) Implantação da edificação: influência do entorno natural ou edificado;
- c) Forma, tamanho e localização das janelas;
- d) Dimensões dos compartimentos;
- e) Elementos externos próximos.

A luz natural tem muita influência na qualidade de vida dos ambientes internos (ROBBINS, 1986). Devido às suas características direcionais, contribui para a orientação espacial e temporal; possui fonte de espectro completo e excelente reprodução de cor; e pode compensar a necessidade da luz elétrica, podendo ser considerada como uma estratégia para conservação de energia.

Portanto, a utilização da luz natural como fonte de iluminação em residências e edifícios comerciais deve ser bem estudada pelos projetistas, devendo-se observar todas as necessidades do projeto, ponderando-as de acordo com sua importância (MOORE, 1991). No entanto, não se pode esquecer de tratar outras variáveis, tais como, as condições térmicas, o uso de protetores solares e um bom projeto de iluminação artificial (CABÚS, 2002).

## 2.3 FONTES DE LUZ NATURAL

É possível caracterizar as fontes de luz como luz direta do sol, luz difusa do céu e luz refletida no entorno, explicadas a seguir:

### 2.3.1 Luz direta do sol

A luz natural proveniente do sol é um elemento climático que necessita ser trabalhado por meio de soluções arquitetônicas do edifício, pois ela não atinge uniformemente todos os pontos de um ambiente, nem o ilumina com a quantidade de luz necessária para as mais diversas tarefas a serem realizadas nele (VIANNA e GONÇALVES, 2001; HOPKINSON et al., 1975).

Ao utilizar a luz do sol como fonte iluminação de um ambiente, deve-se ter em mente suas vantagens e desvantagens, pois o excesso de luz pode causar tanto o desconforto físico, quanto o psicológico dos ocupantes. Isso se dá devido ao alto conteúdo energético da luz solar (luz + calor), que geralmente é excluído do ambiente construído, devido ao desconforto térmico (superaquecimento), luminoso (ofuscamento) e a integridade física dos materiais (PEREIRA, 1993).

As condições explicitadas acima justificam a utilização da luz solar de forma indireta. Portanto, ao identificar o local no ambiente em que a iluminação é desejada, deve-se, a partir desse ponto, localizar as melhores superfícies para a reflexão da luz externa. Para aperfeiçoar esse direcionamento, existem algumas recomendações que devem ser seguidas (LAM, 1986):

- a) Utilizar altas refletâncias no teto, que devem ser mais simples, altos e sem muitas articulações, pois quanto mais simples melhor a distribuição de luz;

- b) Maximizar a refletância das superfícies que recebem luz direta do sol, para um melhor redirecionamento da luz para o teto;
- c) Para não haver ofuscamento, deve-se direcionar o plano de reflexão da luz direta, de forma a evitar o nível dos olhos.

Para a elaboração dos projetos, além dessas recomendações, os profissionais devem conhecer a geometria solar local, pois existe uma grande variação da luz solar e disponibilidade de iluminação natural ao longo do dia e do ano.

### **2.3.2 Luz difusa do céu**

De acordo com MOORE (1991), os níveis de iluminação provenientes da abóbada celeste podem variar de 5.000 a 20.000 lux, números consideravelmente menores do que os produzidos pela luz solar direta.

Em 1997, KITTLER et al. propuseram 15 distribuições de céus que foram adotadas pela Commission Internationale De L'eclairage – CIE (2002). Dentre essas distribuições, CABÚS (2002), aplicando para Maceió um método simplificado proposto por ele<sup>2</sup>, propõe a escolha de três tipos de céu para a região: o céu uniforme (CIE 5), o céu parcialmente nublado (CIE 10) e o céu claro (CIE 14).

No céu uniforme, não há luz solar direta atingindo o solo, e a luz do céu é difundida uniformemente através das nuvens, de modo que o padrão de iluminância do céu é visualmente simétrico com relação ao zênite (LYNES, 1968; PEREIRA, 1995). Essa distribuição permanece constante ao longo do dia, porém a iluminância absoluta do céu varia com a altura do sol (MOORE, 1991). A abóbada apresenta-se como uma fonte de iluminação na cor cinza brilhante e apresenta mais brilho ao meio dia solar.

O céu parcialmente nublado é uma combinação de céu claro, de fundo, com nuvens sobrepostas a ele. De acordo com CABÚS (2002), é a forma mais comum em locais de clima quente e úmido, onde a incidência da radiação solar direta se dá de diversos modos diferentes, no decorrer do dia e do ano, para cada fachada da edificação. A padronização da intensidade de sua iluminância é a maior dificuldade para esse tipo de céu, pois, como já foi dito, ela varia

---

<sup>2</sup> O autor do método simplificado ressalva que essa metodologia foi baseada numa amostra restrita. Portanto, seu resultado pode ser modificado se utilizado numa amostra mais significativa.

ao longo das horas e pode apresentar-se muito diferente de um dia para o outro, dependendo da quantidade de nuvens formadas na atmosfera (MOORE, 1991).

Já o céu claro se caracteriza pela baixa nebulosidade. A presença pontual da luz do Sol faz com que a iluminação seja variável ao longo do dia, tanto na distribuição quanto na intensidade.

### **2.3.3 Luz refletida no entorno**

Para que a presença da luz solar no interior dos ambientes não se torne incômoda (superaquecimento e ofuscamento) e para que a iluminação seja distribuída de maneira mais uniforme, são utilizados elementos de proteção a fim de refletir ou difundir essa luz.

De acordo com CABÚS (2004), o uso desses elementos de proteção solar nas regiões tropicais reduz a captação da luz natural a partir da abóbada celeste, além de proteger contra os raios diretos do sol. Nesses casos, a luz do sol, refletida difusamente nas superfícies externas, pode se tornar uma importante fonte de iluminação.

Existem dois tipos principais de luz refletida no entorno: a luz refletida no solo e a luz refletida nas obstruções, ambos exemplificados a seguir.

LAM (1986) trata da luz solar refletida no solo para edificações localizadas em baixas latitudes e durante o verão; TREGENZA (1995) apresenta um estudo onde permite o cálculo da componente refletida no solo por método simplificado na iluminação média do plano de trabalho e de outras superfícies; mais recentemente, CABÚS (2002, 2004 e 2005) apresenta estudos específicos sobre a influência da luz refletida no solo tropical, afirmando que a parcela de luz refletida pelo solo é significativa em relação à luz do sol refletida difusamente nas superfícies externas.

O estudo mais recente sobre a luz refletida no entorno foi elaborado por ARAÚJO (2006), onde foi analisada a influência do entorno construído e da luz refletida para a iluminação natural de edificações no trópico úmido, avaliando a eficácia do parâmetro fator de céu, a influência da orientação da abertura e a contribuição percentual da luz refletida pelo entorno.

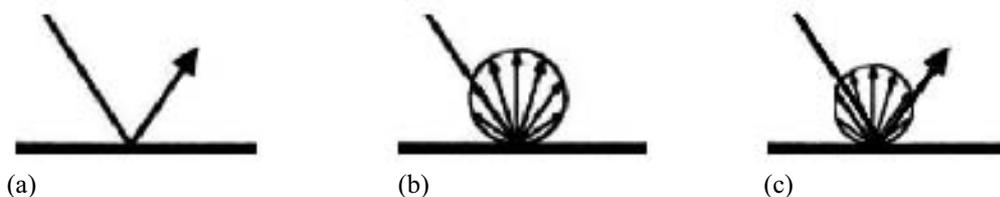
Então, pode-se dizer que a luz natural refletida no entorno influencia na quantidade da iluminação interna dos ambientes. Portanto, as soluções arquitetônicas do edifício como fontes indiretas de luz devem ser estudadas de forma criteriosa, assim como sua implantação no terreno e revestimento da área externa.

## 2.4 PROPRIEDADES DE CONTROLE DA LUZ

Para que seja possível um bom projeto de iluminação natural, deve-se conhecer o movimento e os principais mecanismos de manipulação da luz solar, além das propriedades físicas dos materiais internos e externos do ambiente.

Abaixo segue uma explicação dos principais tipos de controle da luz solar:

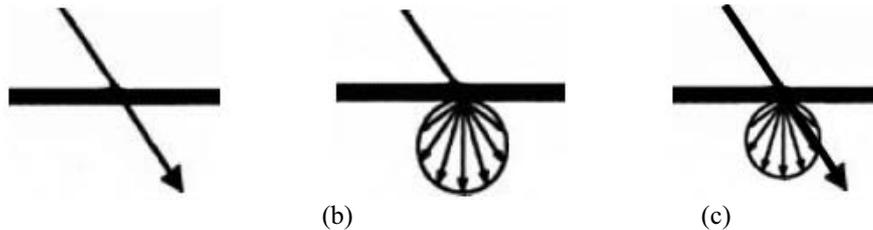
- a) Reflexão: a reflexão da luz é de forma especular quando mantém a aparência, a direcionalidade e o tamanho da fonte original; e é dita difusa quando o ângulo de reflexão independe do ângulo de incidência (ver Figura 7, a, b e c). Num ambiente interno, levando em consideração a luz solar, pode-se dizer que o uso de superfícies especulares seria bom como refletores primários, para refletir a luz do sol para dentro da sala, e a utilização de superfícies difusas (teto), para distribuir a luz no espaço interno;



**Figura 7: Reflexão especular (a), reflexão difusa (b) e reflexão mista (c).**

Fonte: BAKER et al., 1993.

- b) Transmissão: dá-se através de superfícies não opacas. É obtida em função do ângulo de incidência da luz e das características difusoras do material (ver Figura 8, a, b e c). Num projeto, seria ideal um material que transmitisse a maior parte da luz visível e não permitisse a transmissão dos raios ultravioleta e infravermelhos do espectro solar.



(a) (b) (c)  
**Figura 8: Transmissão especular (a), transmissão difusa (b) e transmissão mista (c)**  
Fonte: BAKER et al., 1993.

## 2.5 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO NATURAL

O conhecimento do comportamento da luz natural é de grande importância na elaboração de um projeto arquitetônico. Seu uso gera a necessidade de estudos integrados de qualidade visual, controle de ofuscamento e reflexos, níveis de contraste, reprodução de cores, uso correto de materiais e conhecimento de suas propriedades, junto à necessidade da complementação com a iluminação artificial, requisitos térmicos e interações com o meio externo.

De acordo com ROBBINS (1986), o objetivo de um sistema de iluminação natural, semelhante a qualquer outro sistema de iluminação, é prover as edificações de certa quantidade de luz onde houver necessidade, bem como provocar um bom desempenho visual no ambiente interno. Para tanto, muitas vezes é necessária a elaboração de elementos que colaborem com o desempenho das aberturas.

Esses elementos são concebidos para melhorar a luz natural, quando ela é necessária, ou obstruí-la, quando for indesejável, de acordo com o uso do espaço, situação geográfica, altitude, cultura, clima, necessidade de evitar o ganho térmico que advém da iluminação excessiva, dentre outros aspectos.

Segundo ROBBINS (1986), existem sete critérios de iluminação: lateral, zenital, inclinada, com luz direta do sol, indireta, por espaços de transição e suas combinações. A seguir têm-se uma descrição dos sistemas mais utilizados:

### 2.5.1 Aberturas laterais

A iluminação lateral tem como característica a distribuição da luz solar de forma desigual no plano de trabalho, o que é indesejável em ambientes como salas de aula ou escritórios. O uso de elementos de redirecionamento da luz do sol pode minimizar esses efeitos e melhorar a uniformidade luminosa (ARAÚJO, CAVALCANTE e CABÚS, 2005).

Os componentes de passagem de luz lateral são as janelas, as portas em terraços, paredes translúcidas e cortinas de vidro (ver Figuras 9, a e b; 10 a e b; e, 11, a e b). A utilização correta dessas aberturas possibilita que trocas térmicas, luminosas e visuais entre o interior e o exterior do edifício aconteçam de modo a privilegiar o conforto físico e o psicológico do usuário.



(a)



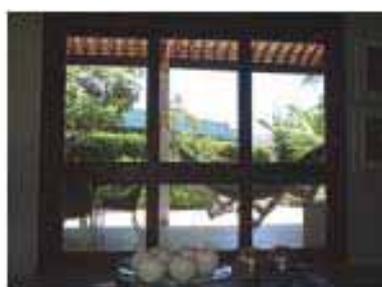
(b)

**Figura 9: Exemplos de janela de madeira no quarto(a) e de madeira com vidro na sala de jantar(b) de uma residência em Maceió-AL.**

Fonte: Arquivo pessoal da autora.



(a)



(b)

**Figura 10: Exemplo de porta em terraço numa residência em Maceió-AL, vista externa (a) e vista interna (b).**

Fonte: Arquivo pessoal da autora.



(a)



(b)

**Figura 11: Parede translúcida (a) e pele de vidro no Edif. Ocean Tower (b)**

Fonte: <http://www.vitruvius.com.br/institucional/inst73/inst73.gif> (a) e arquivo pessoal da autora (b).

Além da iluminação natural, as aberturas laterais também são responsáveis por grande parte das trocas de ar no interior dos ambientes (BITTENCOURT, 1995). De acordo com GIVONI (1982), a ventilação depende: do tamanho e da orientação das aberturas em relação à ventilação dominante; da existência de ventilação cruzada nos ambientes; das subdivisões dos espaços internos; e da existência de dispositivos de filtragem.

Por outro lado, sempre se deve ter em mente que o calor e a luz se propagam juntos, fazendo com que a utilização da luz solar seja tratada como um problema e não como uma oportunidade de uso (MOORE, 1991). De acordo com esse parâmetro, o projeto das aberturas depende do desejo das pessoas pela luz do sol. Sua admissão, quando existe necessidade de aquecimento, e sua exclusão, para evitar o superaquecimento, ofuscamento e desgastes dos materiais.

Porém, não basta conhecer as finalidades das aberturas para que seu uso seja feito da maneira correta. Existem outros parâmetros de geometria e execução que devem ser levados em consideração no momento da realização do projeto. Esses dizem respeito às posições relativas das janelas nas paredes que as contêm, assim como seu formato e dimensões em relação à profundidade da sala.

De acordo com BITTENCOURT et al. (1995), a dimensão das aberturas é o fator que mais exerce influência nos níveis de iluminação natural. Quanto à localização, afirmam que, para uma mesma área aberta, a eficiência se torna melhor se a mesma for distribuída uniformemente em várias janelas, independentemente da forma que elas possuam, e que as janelas altas produzem uma melhor distribuição do fluxo luminoso, reduzindo os níveis de iluminação natural nas regiões mais próximas às aberturas e aumentando nas regiões mais afastadas.

### 2.5.2 Aberturas zenitais

A iluminação zenital é aquela onde a luz natural penetra no ambiente através de aberturas situadas no teto (ROBBINS, 1986). Segundo LAM (1986), existem diversos edifícios com estas características no Norte da Europa, onde o céu é predominantemente nublado e é necessária a utilização da luz difusa como fonte dominante ou principal.

Uma das principais características da iluminação zenital é proporcionar uma iluminação uniforme, além de atingir áreas não iluminadas pelas aberturas laterais em ambientes mais profundos (LAM, 1986; ROBBINS, 1986; MOORE 1991; e ENERGY RESEARCH GROUP, 1994). Segundo ROBBINS (1986), esse tipo de iluminação possui maior facilidade de integração com a iluminação artificial, pois ambas chegam ao plano de trabalho a partir do teto. O aumento no número dessas aberturas melhora o desempenho do ambiente em relação à distribuição de iluminâncias (CABÚS e PEREIRA, 1997).

Em relação às desvantagens, tem-se a questão do aquecimento interno por meio da radiação adquirida pela cobertura, que, de acordo com MASCARÓ; MASCARÓ (1992), pode ser minimizado mediante um projeto eficiente. A seguir, alguns exemplos das aberturas zenitais:

- a) Clarabóia: é uma abertura vertical ou inclinada construída no teto que permite a entrada zenital da luz no ambiente, evitando a radiação solar direta (ver Figura 12), podendo proporcionar um aumento na uniformidade da iluminação natural obtida, além de elevar a iluminância no interior do ambiente (BITTENCOURT e BATISTA, 2003);



**Figura 12: Exemplo de clarabóia no almoxarifado do Núcleo de Desenvolvimento Infantil da UFAL.**  
Fonte: Arquivo pessoal da autora.

- b) Dente-de-serra: seu uso é comum em fábricas e ambientes com grandes vãos. Caracterizam-se por aberturas sucessivas e paralelas verticais ou inclinadas, com cobertura inclinada na orientação oposta (ver Figura 13, a e b);



(a) (b)  
**Figura 13: Exemplo de cobertura dente-de-serra, Carnes&Verdes, Maceió-AL.**  
**Vista geral (a) e vista aproximada da cobertura (b).**

Fonte: Arquivo pessoal da autora.

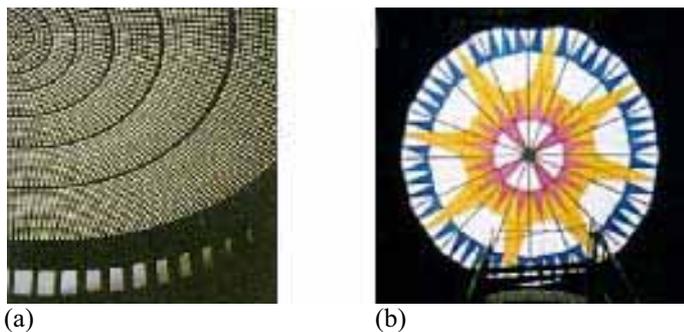
- c) Teto transparente: abertura horizontal coberta por material translúcido, com a finalidade de separar o ambiente interno do ambiente externo (ver Figura 14). Seu uso não é adequado nos trópicos, devido à grande quantidade de calor que transmite;



**Figura 14: Exemplo de teto transparente.**

Fonte: BAKER et al. (1993)

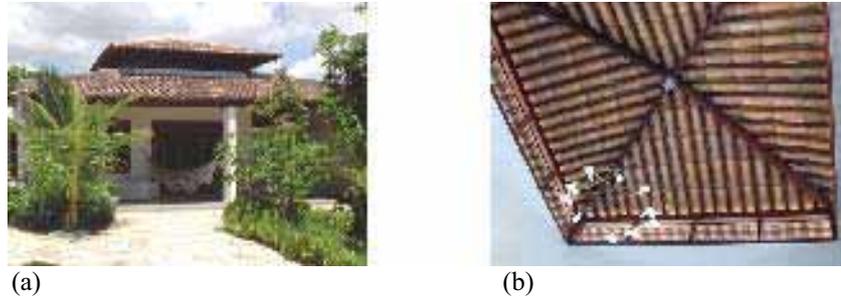
- d) Domo: é caracterizado por uma abertura formada por superfície hemisférica, podendo ser construído com material opaco com perfurações ou com material translúcido (ver Figura 15, a e b);



(a) (b)  
**Figura 15: Exemplo de domo opaco com perfurações (a) e domo translúcido, localizado no Hotel Meliá, Panamá (b).**

Fonte: BAKER et al., 1993 e [http://www.daylighting-solutions.com/images/la\\_doma.jpg](http://www.daylighting-solutions.com/images/la_doma.jpg)

- e) Lanternim: caracteriza-se por uma elevação geralmente na parte mais alta do telhado (ver Figura 16, a e b).



(a) (b)  
**Figura 16: Exemplo de lanternim numa residência em Maceió-AL, vista externa (a) e vista interna (b).**

Fonte: Arquivo pessoal da autora

### 2.5.3 Espaços de transição

São espaços intermediários, por onde a luz passa antes de chegar aos ambientes internos. A seguir, alguns exemplos dos mais comuns de acordo com BAKER (1993):

- a) Pátios: espaço aberto para o céu, cercado por prédios ou muros, normalmente um local público onde as pessoas circulam livremente. O pátio pode ser cercado por vários volumes pertencentes a um condomínio ou por edifícios independentes dispostos em torno dele (LAM, 1986);



**Figura 17: Exemplo de pátio no prédio da reitoria da UFAL.**  
Fonte: Arquivo pessoal da autora.

- b) Átrios: ambiente central de um edifício, fechado no topo com material translúcido ou transparente (ver Figura 18), com característica de seu uso ser mais voltado para as funções de edifício (LAM, 1986). Podem ser cobertos por elementos que captam a luz

zenital e a distribuem para os diversos níveis, causando efeito estufa pelo aquecimento do ar. Sua eficiência luminosa é em função da largura do vão e da quantidade de pavimentos. De acordo com LEMES e PEREIRA (2003/2005), seu uso tem crescido muito nos últimos anos e diversos estudos têm sido realizados, a fim de aumentar a exploração da luz natural nas estruturas do átrio, no sentido de obter uma melhor uniformidade luminosa e uma redução no consumo final de energia da edificação.



**Figura 18: Atrio Central Plaza Las Américas,**  
Fonte: [www.plazalasalamericas.net](http://www.plazalasalamericas.net)

## 2.6 ELEMENTOS DE CONTROLE E REDIRECIONAMENTO DA LUZ

São elementos que funcionam como filtros e barreiras, que protegem os componentes de passagem ou de condução da quantidade ou direção indesejada da luz, pois nem toda luz que incide na edificação deve passar para o meio interno. Esses dispositivos têm que ser bem especificados no projeto, pois, caso contrário, irão interferir de forma significativa no rendimento da iluminação (BASSO, 1997). Já foram tema de diversos estudos e grande parte deles prova a importância desses elementos para a implementação do uso da iluminação natural. A seguir alguns exemplos das pesquisas já realizadas nessa área.

Em 1997, CORRÊA fez um estudo do desempenho luminoso de salas de aula com o uso da iluminação zenital; nesse mesmo ano, BASSO publicou uma avaliação do desempenho de sistemas de controle de insolação e sua interferência na iluminação natural. No ano de 2001, GRAZIANO JR. realizou um estudo sobre o redirecionamento da luz natural, utilizando elementos do tipo prateleiras de luz. Em 2003, BITTENCOURT e BATISTA estudaram o efeito de dutos de luz verticais na iluminação natural de ambientes escolares; ainda, em 2003, LEMES e PEREIRA pesquisaram sobre a influência da configuração dos átrios na iluminação

de espaços adjacentes. ARAÚJO et al., seguiram esta linha de estudos em 2005, quando pesquisaram sobre a influência de prateleira de luz sobre marquise na uniformidade da iluminação natural em interiores.

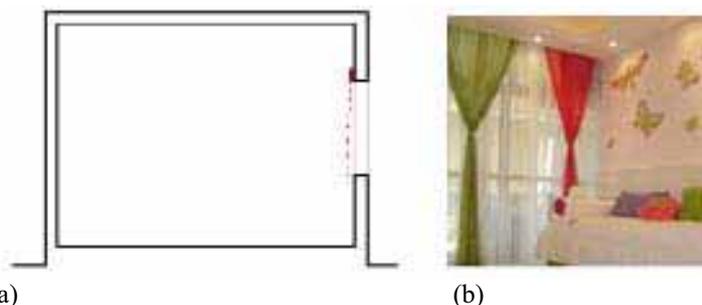
Segundo BAKER et al (1993), alguns destes elementos são: separadores convencionais, cortinas, persianas internas, cobogós, toldos, venezianas, brises, marquises, beirais e prateleiras de luz.

### 2.6.1 Separadores convencionais

São os vidros e os policarbonatos, transparentes ou translúcidos. Segundo MACEDO (2002), o vidro é, sem dúvida alguma, o material mais importante para ser utilizado no controle seletivo. Permite o contato visual entre o interior e o exterior, assim como a entrada de luz, ao mesmo tempo em que impede a entrada da chuva, de insetos e de poeira. Como desvantagens, têm-se a perda de privacidade, a associação da luz ao calor (efeito estufa) e, dependendo da espessura, pouco isolamento térmico e acústico. De acordo com MAGALHÃES (1993), ao se projetar um ambiente onde se deseja utilizar os recursos da luz natural, a escolha do vidro a ser empregado deve levar em conta várias características para que este cumpra sua função no controle da luz.

### 2.6.2 Cortinas

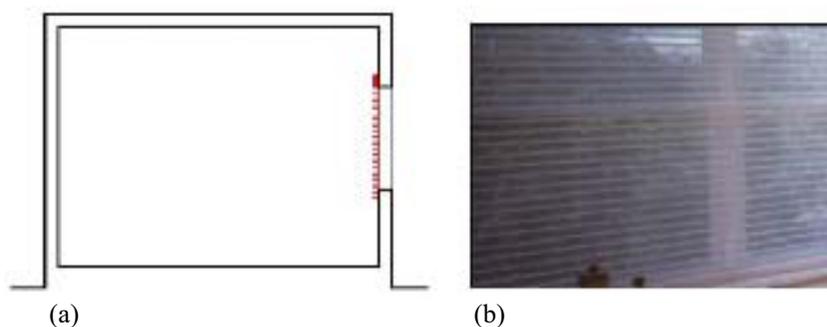
São instaladas do lado interno do ambiente e compostas de materiais flexíveis. Podem ser movimentadas, liberando a visão e a admissão da radiação solar (ver Figura 19, a e b).



**Figura 19: Corte esquemático (a) e exemplo de cortina em quarto infantil (b).**  
Fonte: Arquivo pessoal da autora

### 2.6.3 Persianas internas

São elementos compostos por lâminas paralelas, dispostas de forma horizontal ou vertical, possibilitando a regulação da inclinação das lâminas em função da necessidade de ventilação, iluminação, visão e controle de ofuscamento (Figura 20, a e b).



**Figura 20: Corte esquemático (a) e exemplo de persiana(b).**

Fonte: Arquivo pessoal da autora

### 2.6.4 Cobogós

São elementos planos e vazados regularmente, que permitem o controle da radiação solar e regulação da admissão da luz natural, protegendo o ambiente interno contra a visão externa, permitindo a ventilação permanente (ver Figura 21, a, b e c).

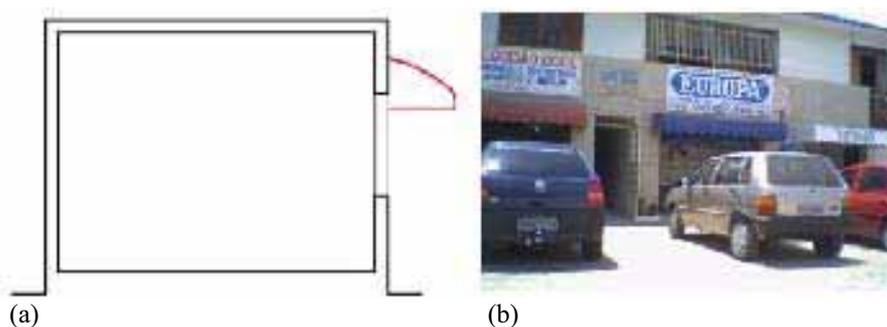


**Figura 21: Corte esquemático (a) e exemplo de elemento vazado no Prédio de Física da UFAL, vista externa (b) e vista interna (c).**

Fonte: Arquivo pessoal da autora

### 2.6.5 Toldos

São elementos flexíveis opacos ou difusores, localizados do lado de fora dos componentes de passagem, protegendo-os da radiação solar direta. Na maior parte dos casos, são móveis (ver Figura 22, a e b).

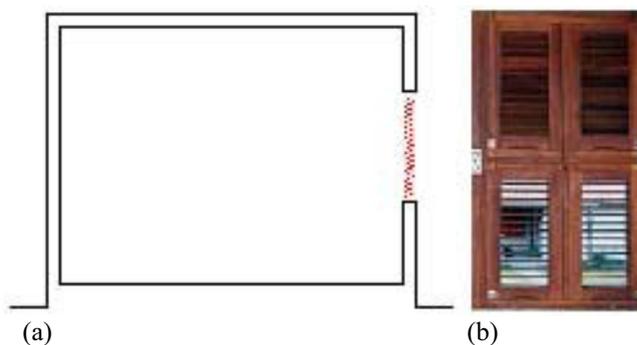


**Figura 22: Corte esquemático (a) e exemplo de toldo em edifício comercial(b).**

Fonte: Arquivo pessoal da autora

### 2.6.6 Venezianas

São elementos compostos por lâminas paralelas externas,dispostas de forma horizontal ou vertical, dependendo da sua orientação. Podem ser fixas ou móveis (ver Figura 23, a e b).



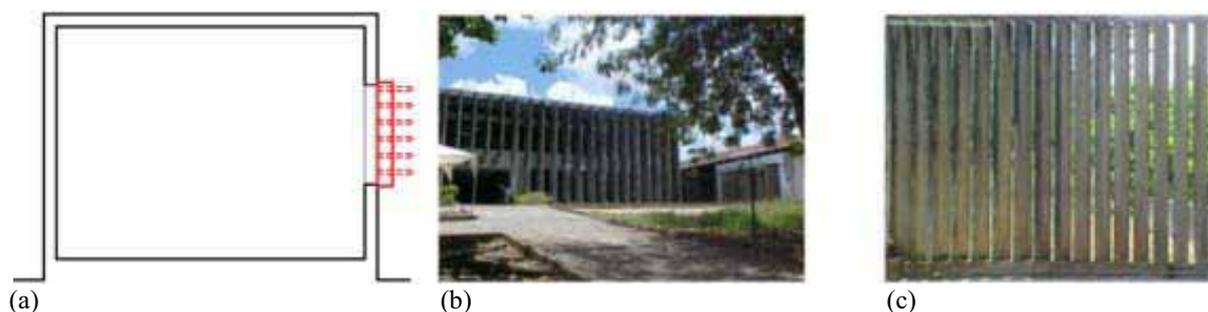
**Figura 23: Corte esquemático (a) e exemplo de veneziana (b).**

Fonte: Arquivo pessoal da autora

### 2.6.7 Brises

São elementos externos verticais, horizontais ou mistos que podem ser fixos ou móveis. A definição do tipo de brise a ser projetado vai variar, dentre alguns fatores, como: eficiência da proteção, plasticidade, privacidade, luminosidade, ventilação, visibilidade (BITTENCOURT, 1996). Proporcionam sombreamento de abertura e promovem um melhor aproveitamento ou redirecionamento da luz (ver Figura 24, a, b e c).

Segundo MARAGNO (2001), surgiram como resposta às transformações arquitetônicas introduzidas pelas novas possibilidades tecnológicas e pelos conceitos da arquitetura moderna, permitindo a iluminação natural e a integração visual do interior com o exterior, ao mesmo tempo em que evita a incidência direta dos raios solares e os ganhos térmicos ocasionados por ela.

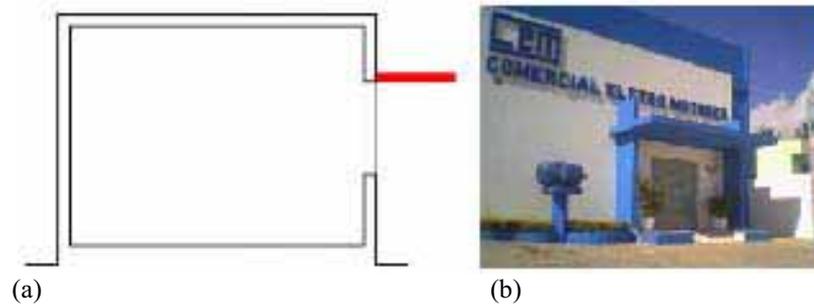


**Figura 24: Corte esquemático (a) e exemplo de brise na Biblioteca da UFAL, vista externa (b) e vista interna (c).**

Fonte: Arquivo pessoal da autora.

### 2.6.8 Marquises

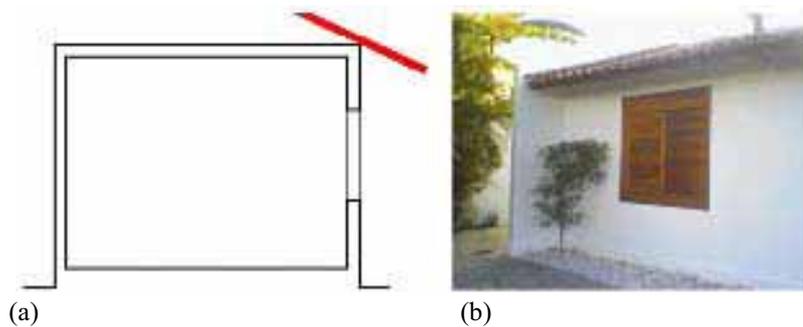
Constituem parte da edificação e se localizam acima das aberturas. Interceptam a radiação solar direta e, por conseqüência, reduzem os níveis de iluminação internos. São bastante utilizados no trópico úmido (ver Figura 25, a e b).



**Figura 25: Corte esquemático (a) e exemplo de marquise (b).**  
 Fonte: Arquivo pessoal da autora.

### 2.6.9 Beirais

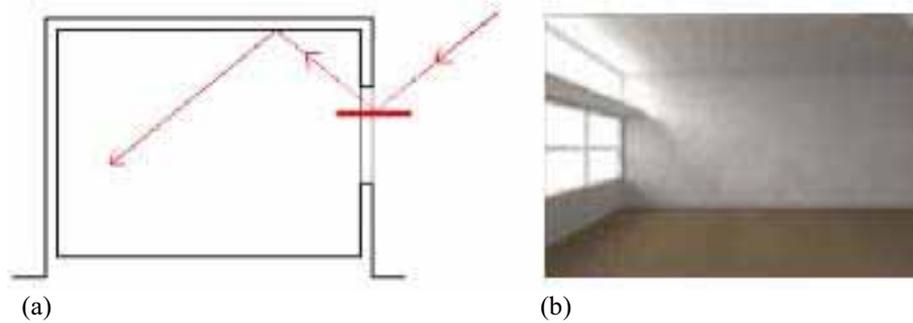
São extensões do telhado utilizadas para interceptar a radiação solar direta (ver Figura 26, a e b). Segundo ARAÚJO, CAVALCANTE e CABÚS (2005), são bastante utilizados no trópico úmido, devido às chuvas freqüentes, que geram a necessidade de proteção da fachada e aberturas.



**Figura 26: Corte esquemático (a) e exemplo de beiral (b).**  
 Fonte: Arquivo pessoal da autora

### 2.6.10 Prateleiras de luz

São elementos horizontais que se localizam um pouco abaixo da bandeira do componente de passagem. Bloqueiam parte considerável da insolação e redirecionam o fluxo luminoso para o teto, que distribui a luz difusa para as áreas mais distantes da abertura e, conseqüentemente, melhoram a uniformidade luminosa da sala (ver Figura 27, a e b). Porém, é importante salientar que, no caso apresentado abaixo, a função da prateleira de luz foi praticamente anulada por meio da veneziana horizontal que foi inserida na porção superior da janela.



**Figura 27: Corte esquemático (a) e exemplo de uma prateleira de luz localizada no Centro de Pesquisas Multidisciplinar da UFAL (b).**

Fonte: Arquivo pessoal da autora.

De acordo com estudos anteriores sobre prateleiras de luz (BURT, 1984; LAM, 1986; PEREIRA, 1993 e 1995; BELTRAN, 1997 e GRAZIANO JUNIOR, 2000), pode-se afirmar que suas principais características são:

- a) Redução ou até possível eliminação do ofuscamento causado pela janela, dispensando outros tipos de elementos de controle;
- b) Permissão de contato com o exterior, pois se situam acima da linha de visão;
- c) Possibilidade de ser um elemento dinâmico, variando o ângulo de inclinação de acordo com o clima, insolação, latitude, altitudes e trajetória solar do lugar em que serão implantadas;
- d) Custo da execução compensado pela redução na sua manutenção e durabilidade.

Ou seja, alteram o desempenho da abertura em relação à distribuição da luz natural no ambiente (GRAZIANO JUNIOR, 2000), promovendo um sombreamento sem perturbar a visão do exterior (MAGALHÃES, 1997 e MAJOROS, 1998) diminuindo os níveis de iluminação natural e melhorando a uniformidade luminosa no interior dos ambientes (ARAÚJO et al., 2005).

### 2.6.11 Dutos de luz

Dutos de luz é o recurso utilizado para proporcionar luz natural aos espaços que não são usados por grandes períodos de permanência, como os banheiros. Algumas vezes, são utilizados para iluminação de cozinhas, áreas de serviços e outros ambientes, porém, pelo seu dimensionamento, nem sempre os níveis de iluminação e ventilação são satisfatórios.

## 2.7 ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

Neste estudo, a iluminação artificial será tratada como uma complementação da iluminação natural, pois, segundo TREGENZA (1993) e GIRARDIN (1994), o uso da luz natural não exclui a necessidade global do emprego da luz artificial, além de promover a necessidade de um sistema integrado entre esses dois tipos de iluminação.

A utilização da luz artificial como suplemento da luz solar faz com que a iluminação chegue aos locais mais distantes das aberturas, além de manter seu nível adequado durante o decorrer das horas, independentemente das variações que ocorrem com a luz do dia.

NETO (1980) ressalta que a iluminação artificial é aquela que se obtida com fontes artificiais (lâmpadas) transformadoras de energia elétrica em luz e que a grande vantagem desse tipo de iluminação é permitir o desenvolvimento dos trabalhos sem limitações de horário, podendo estender-se durante a noite.

Na iluminação com luz artificial, dois fatores exercem grande importância:

- a) Qualidade de iluminação: escolha do tipo adequado de lâmpada, sua distribuição e localização, visando à obtenção de uma boa uniformidade luminosa, assim como a orientação do feixe de luz;
- b) Quantidade de luz: refere-se aos níveis de iluminamento, que devem permitir a realização da tarefa visual com o máximo de exatidão, rapidez, facilidade e comodidade do usuário.

A NBR 5413/1992 determina os níveis de iluminância recomendados para iluminação artificial para diferentes tarefas (ver Tabela 1).

**Tabela 1: Níveis de iluminância, segundo a NBR 5413/1992**

<b>CLASSE</b>	<b>TAREFA VISUAL</b>	<b>LUX</b>
<b>A</b> Iluminação geral para áreas usadas intermitentemente ou com tarefas visuais simples	Áreas públicas com arredores escuros	20-30-50
	Orientação simples para permanência curta	50-75-100
	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos	100-150-200
	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios	200-300-500

<b>B</b> Iluminação geral para área de trabalho	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios	500-750-1000
	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.	1000-1500-2000
<b>C</b> Iluminação adicional para tarefas visuais	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno	2000-3000-5000
	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica	5000-7500-10000
	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia	10000-15000-20000

Nota: As classes, bem como os tipos de atividade não são rígidos quanto às iluminâncias limites recomendadas, ficando a critério do projetista avançar ou não nos valores das classes/tipos de atividade adjacentes, dependendo das características do local/tarefa.

Fonte: NBR 5413/1992

Conforme GRANDJEAN (1991), a intensidade da iluminação, a uniformidade local das densidades luminosas, a uniformidade temporal da luz e o arranjo isento de ofuscamento das luminárias são condições de grande importância para o desempenho e conforto visual dos ambientes.

Para que se possa obter uma condição confortável para a vista, evitando-se a fadiga visual responsável por grande parte da queda de produção nos escritórios, é necessário levar em consideração diversos fatores, que incluem não só a quantidade de luz, mas também o tipo de lâmpada, a disposição das luminárias, dos móveis, dos computadores e dos demais elementos funcionais ou decorativos. Abaixo, seguem três aspectos que devem ser bem atendidos num ambiente de trabalho:

- a) Bom desempenho da visão: diminuição de erros e melhoria da qualidade do trabalho, além de contribuir para o bem estar psíquico dos ocupantes e redução de acidentes;
- b) Economia na execução: dimensionamento correto e escolha adequada do tipo de iluminação e da fonte a ser usada;
- c) Facilidade de manutenção.

## 2.8 TENDÊNCIAS DA ILUMINAÇÃO

Segundo BORMANN (2003), existem duas tendências em relação à iluminação dos ambientes: a primeira diz respeito à produção e disponibilização de lâmpadas com maior rendimento luminoso (mais iluminância por potência instalada de iluminação) e a segunda, ao

uso crescente do conceito da iluminação natural. De acordo com o objetivo geral do trabalho, a segunda tendência será mais explicitada neste tópico.

TREGENZA (1993) ressalta que o uso da luz natural não exclui a necessidade global do emprego da luz artificial, afirmando a necessidade de um sistema integrando a luz artificial à luz natural. Esse uso conjugado da luz natural e artificial pode contribuir tanto para a economia dos recursos energéticos quanto para o aumento da satisfação dos usuários (CISBE, 1994).

O uso da iluminação natural deve ser incentivado e seus níveis melhorados através de controles de ofuscamento, elementos de redirecionamento, dimensões adequadas das aberturas, limpeza e manutenção dos vidros, e outros (GRAZIANO JUNIOR, 2000).

O uso da iluminação artificial, sempre que possível, deve ser utilizado apenas como complemento da iluminação natural, pois, os projetos que priorizam a iluminação natural trarão economia de energia para as edificações, podendo ocorrer de duas maneiras distintas (OPDAL e BREKKE, 1995):

- a) Economia direta com a redução da potência da luz artificial necessária;
- b) Geração de menos quantidade de calor no ambiente, por parte da luz natural, reduzindo a necessidade de resfriamento.

## 2.9 FERRAMENTAS PARA AVALIAÇÃO DA LUZ NATURAL

Para o estudo da iluminação natural, existe a necessidade de utilizar uma metodologia que considere a complexidade das inter-reflexões e das múltiplas interações das superfícies e que possam trazer respostas quantitativas, com relativa rapidez, nos resultados ao fazer alterações das variáveis (GRAZIANO JUNIOR, 2000).

Diversas estratégias de projeto devem ser estudadas, a fim de conseguir níveis e uniformidade satisfatórios de iluminamento nos ambientes internos por meio da iluminação natural.

Uma adequada localização, forma e tamanho das aberturas pode:

- a) Fornecer um ambiente luminoso interno que atenda às exigências de conforto visual e, como consequência, aumente a produtividade;

- b) Reduzir a demanda de energia para a iluminação artificial;
- c) Reduzir as cargas de resfriamento devido ao uso da ventilação natural.

Porém, algumas vezes, a sensibilidade do projetista não é suficiente para alcançar os parâmetros desejados e é por esse motivo que eles necessitam de ferramentas que simulem ou quantifiquem suas escolhas. No caso da luz natural, o conceito de “exatidão” envolve muitos aspectos que, segundo BAKER et al. (1993), pode ser agrupados em duas categorias:

- a) Desempenho ambiental: qualidade do ambiente luminoso do ponto de vista das reações humanas;
- b) Desempenho energético: necessidades de consumo de energia não renovável, para garantir condições confortável para os ocupantes.

Algumas das ferramentas mais utilizadas em estudos de iluminação natural são os modelos em escala reduzida, as ferramentas simplificadas e os códigos computacionais.

### 2.9.1 Modelos em escala reduzida

Os arquitetos utilizam modelos de escala reduzida ou maquetes há séculos para o estudo de vários aspectos do projeto e construção dos edifícios. Esses modelos seduzem os profissionais e proprietários, pois é possível ver a solução e testar os resultados de algo que ainda não foi construído de forma concreta e mensurável (ver Figura 28, a e b).



(a)



(b)

**Figura 28: Exemplo de maquete (a) e simulação, utilizando um heliodon, localizado na UFAL (b).**

Fonte: Arquivo pessoal da autora.

De acordo com LITTLEFAIR (1989), o uso desse tipo de modelo é indicado quando:

- a) A edificação tem geometria complexa;
- b) O impacto visual no interior do ambiente necessita ser avaliado diretamente;
- c) A entrada da luz no ambiente ocorre de maneira incomum;
- d) Os modelos computacionais ou outros métodos de cálculo precisam passar por validação.

Ao contrário do modelo térmico, acústico e estrutural, sabe-se que o modelo físico para o estudo da iluminação não requer nenhuma correção de escala (MOORE, 1991 e BEKER et al., 1993). Isso ocorre porque a luz reflete nas superfícies internas do modelo da mesma forma que no espaço real. Salas que são reduzidas na sua geometria fornecem a mesma quantidade e qualidade de iluminação natural, caso as cores usadas nas maquetes sejam as mesmas utilizadas na sala real. Assim a impressão visual do modelo será a mesma do caso real. O uso do modelo reduzido para estudos de iluminação natural oferece uma série de vantagens:

- a) É uma ferramenta de projeto simples que pode ser facilmente compreendida pelos projetistas e proprietários;
- b) A edificação pode possuir geometria complexa (BAKER et al., 1993);
- c) Permite estudos precisos de opções de projeto e variações na composição espacial, no uso da cor e na ambientação dos ambientes internos;
- d) Fornece dados qualitativos das observações fotográficas e visuais e quantitativos da iluminação no espaço (ROBBINS, 1986), podem ser realizadas medições para determinar os níveis de iluminamento da luz natural;
- e) É um artifício importante para o convencimento do cliente quanto à necessidade do uso dos dispositivos, facilitando a visualização da relação custo/benefício da proposta para o ambiente a ser construído (SOUZA e VALADARES, 1995).

E algumas desvantagens:

- a) A iluminação elétrica não pode ser integrada em modelos de escala para uma análise quantitativa. A integração entre a iluminação natural e a iluminação artificial só pode ser testada em salas-modelo de tamanho real;

- b) A validação desse método mostra que os resultados são, geralmente, maiores que os níveis reais de iluminância (CANNON-BROOKES, 1997).

No entanto, para conseguir resultados confiáveis, é necessária a construção de modelos com um alto grau de detalhamento e, conseqüentemente, um custo elevado de execução. Abaixo seguem alguns cuidados que devem ser tomados durante a elaboração de um modelo:

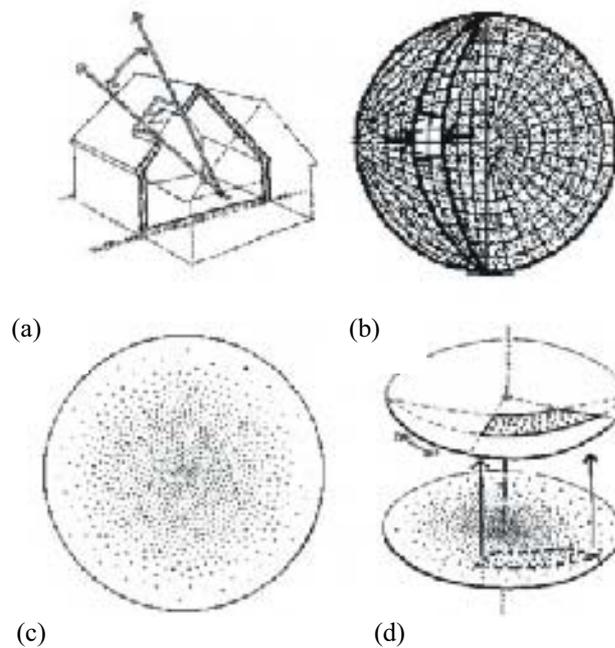
- a) Acabamento das superfícies com a máxima fidelidade à realidade;
- b) Não deve existir vazamento de luz nas junções dos materiais utilizados;
- c) Alguns materiais devem ser pintados para não serem translúcidos;
- d) As aberturas envidraçadas devem receber materiais transparentes na mesma proporção que o tamanho real;
- e) Devem existir orifícios em locais adequados para inserção da lente da câmera fotográfica e esses, devem ser protegidos, para que não ocorram vazamentos de luz.

### **2.9.2 Ferramentas simplificadas**

Com esse método, é possível a obtenção de resultados rápidos e aproximados no que diz respeito à iluminação natural, porém seu uso é mais adequado ao estudo da componente direta (componente do céu e componente refletida externamente) que da componente indireta (componente refletida internamente) da luz. Por esse motivo, é apropriado o cálculo dessas duas partes, usando-se dois procedimentos diferentes. Esses modelos podem ser obtidos por:

- a) Métodos matemáticos: tratam de dados importantes como ângulo de incidência, horário e parcela de céu visível. Tornam-se inviáveis ao se tratar de inter-reflexão das superfícies, como a parcela do entorno, múltiplas reflexões entre as paredes, piso e teto.
- b) Métodos gráficos: consideram a geometria da iluminação. Determinam a parcela de visibilidade da abóbada celeste e os ângulos de obstrução, porém deixam a desejar em condições mais complexas, como, por exemplo, as interferências de umas superfícies nas outras. Como exemplo, tem-se o diagrama de ponto, na Figura 29 a. É mostrado o corte esquemático de uma edificação com abertura zenital, inicialmente, desenha-se

uma máscara de sombra (ver Figura 29b) e, em seguida, é feita a sobreposição da máscara de sombra com o diagrama de pontos (ver Figura 29, c e d). Contando-se o número de pontos disponíveis, é possível a obtenção da componente difusa multiplicando este valor por 0,1% da iluminância externa no plano horizontal;



**Figura 29: Exemplo de simulação com o método gráfico, onde se vêem, respectivamente: corte de uma edificação com abertura zenital (a), transferido (b), diagrama de pontos para o céu encoberto (c) e sobreposição da máscara de sombra com o diagrama de pontos (d).**

Fonte: MOORE (1991)

Um das desvantagens dessa ferramenta é a redução da precisão nos resultados; porém, por outro lado, existe uma economia de tempo. De acordo com WILKINSON et al.(1992), esse método é adequado para uma análise rápida da iluminância na fase de anteprojecto, ou até uma situação onde as hipóteses assumidas são adequadas àquelas estabelecidas pelos métodos simplificados.

### 2.9.3 Códigos computacionais

Os programas de computador desempenham um papel muito importante no sentido de auxiliar os projetistas e arquitetos. Em grande parte desses programas, é possível, além da obtenção dos aspectos quantitativos, tais como níveis de iluminância e luminância, a

visualização dos efeitos qualitativos da iluminação por meio de gráficos e imagens fotorealísticas (LIMA, 2002).

Segundo CABÚS (1997), esse método apresenta grandes vantagens de rapidez e flexibilidade. Os modelos computacionais são capazes de resolver, por meio de cálculos complexos, as diversas interações entre superfícies, parâmetros climáticos e atributos dos materiais e, pela sua velocidade e atual disponibilidade, os aplicativos podem considerar os diversos dados de forma independente ou em conjunto.

Há alguns anos, os modelos computacionais necessitavam de máquinas com grande capacidade de processamento e levavam muito tempo para geração dos resultados, o que, muitas vezes, inviabilizava a modelagem com tal metodologia. Entretanto, houve uma enorme evolução tecnológica dos equipamentos, os custos dessas máquinas diminuíram, deixando-as com um preço acessível à população, além do surgimento de aplicativos ou softwares que atendem com requisitos sofisticados. Por esse motivo, os códigos computacionais foram selecionados para o presente estudo.

#### 2.9.3.1 O programa TropLux v-2.25

O TropLux V-2.25 (CABÚS, 2002) encontra-se à disposição na página <http://www.grilu.ufal.br> e se propõe simular o desempenho da iluminação natural, com uma atenção particular para as características climáticas e arquitetônicas das regiões tropicais.

A metodologia do programa se baseia em três conceitos fundamentais: a técnica do raio traçado, com o método Monte Carlo e coeficientes de luz natural (CABÚS, 2002).

O objetivo principal do TropLux V-2.25 é permitir calcular a iluminância num ponto em função da trajetória da luz entre a fonte e o alvo, separando as contribuições do Sol e do céu em até 12 componentes (CABÚS, 2004).

Esse software foi desenvolvido em linguagem Matlab, em inglês, e é composto por cinco módulos (ver Figura 30): Entrada (Input), Configurações (Set up), Processamento (Run), Saída (Output) e Utilitário (Utility).

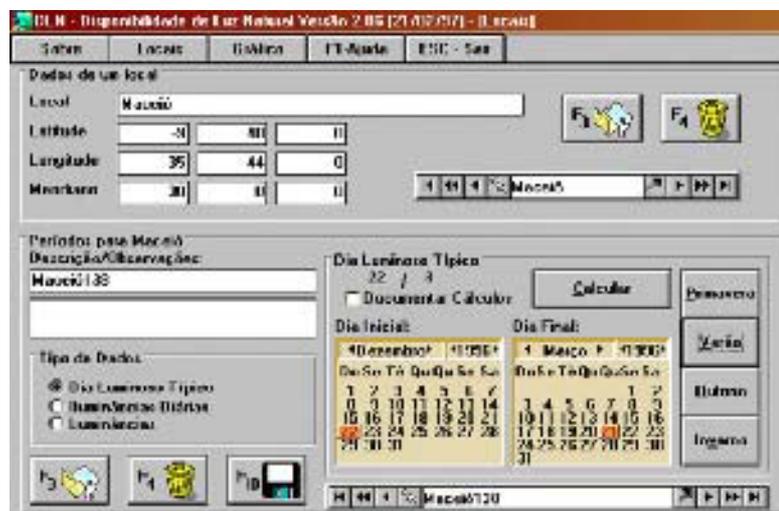


**Figura 30: Tela inicial do programa TropLux V-2.25**  
 Fonte: CABÚS, 2002.

O TropLux V-2.25 permite simular as características específicas da iluminação natural no ambiente dos trópicos, tanto nos aspectos climáticos, por intermédio da possibilidade da configuração ampla de céus, quanto nos aspectos arquitetônicos, com a modelagem de geometrias complexas(CABÚS, 2005). Usando o método Monte Carlo e a técnica do raio traçado para trás (backward raytracing), atinge um padrão aceitável de erro padrão dentro de um tempo razoável de processamento (CABÚS, 2005).

2.9.3.2 O software DLN

SCARAZZATO desenvolveu o software DLN, em 1995, em sua tese de doutoramento, que teve como objetivo básico contribuir com a formação de um modelo preditivo da disponibilidade de luz natural em planos horizontais e verticais externos às edificações em localidades brasileiras (ver Figura 31).



**Figura 31: Tela do software DLN**  
 Fonte: SCARAZZATO, 1997.

Esse programa computacional possui um amplo banco de dados de onde é possível a realização dos cálculos para a obtenção dos Dias Luminosos Típicos de Projeto – dia que apresenta o menor desvio-padrão entre as médias do período selecionado. Todos os valores são obtidos em separado para as três condições de céu (claro, encoberto e parcialmente nublado).

### 3. ETAPAS METODOLÓGICAS

3.1 Levantamento de dados .....	41
3.2 Caracterização das tipologias .....	42
3.2.1 Dimensões .....	42
3.2.2 Características constantes .....	43
3.2.3 Características variáveis .....	44
3.3 Seleção da ferramenta de simulação.....	47
3.4 Critérios para definição das simulações .....	48
3.4.1 Simulação I: diagnóstico da situação típica.....	49
3.4.2 Simulação II: propostas de intervenções A .....	51
3.4.3 Simulação III: propostas de intervenções B .....	53
3.5 Apresentação dos resultados .....	55

Nesta seção, são apresentados os processos e critérios utilizados para a elaboração deste trabalho.

A metodologia utilizada para o desenvolvimento desta pesquisa constitui-se em uma análise comparativa do desempenho luminoso, com relação à utilização da iluminação natural em salas típicas de edifícios de escritórios localizados na cidade de Maceió-AL.

Os edifícios modelos foram elaborados de acordo com levantamentos realizados em tipologias existentes na cidade. Por meio destas edificações-padrão, foram realizadas simulações computacionais, utilizando o software TropLux, com a finalidade de analisar variáveis – profundidade das salas, localização das aberturas, uso de prateleira e luz e abertura contínua voltada para a circulação lateral – que afetam seu desempenho luminoso.

### 3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

No ano de 2004, foi realizado um levantamento dos edifícios de escritórios existentes na cidade de Maceió para uma pesquisa nacional, denominada “Impactos da Adequação Climática sobre a Eficiência Energética e o Conforto Térmico de Edifícios de Escritório no Brasil”<sup>3</sup>. Este estudo teve como referência para o clima quente e úmido da cidade em questão.

Esse levantamento<sup>4</sup> teve como objetivo identificar a quantidade e as características construtivas dos edifícios de escritórios com mais de cinco pavimentos, devido à existência de elevador, para que fosse possível a definição de um modelo para a pesquisa.

---

<sup>3</sup> Foi uma pesquisa com duração de dois anos, financiada pela CNPQ, no programa CT-ENERG, que teve como objetivos: Diagnosticar a situação atual de edifícios de escritório localizados em oito regiões climáticas do Brasil, com relação ao consumo de energia, à eficiência energética e ao desempenho térmico; Avaliar a influência de parâmetros como área de janela, tipo de vidro, área de parede, tipo de parede, tipo de cobertura, cores externas, orientação, área de abertura para ventilação, e outros, no consumo de energia dos edifícios de escritório; Monitorar interna e externamente temperatura do ar e umidade relativa em escritórios; Estimar o uso final de energia em escritórios selecionados; Estabelecer parâmetros ou requisitos de projeto, através de simulação computacional, de forma a adequar os edifícios de escritório ao clima onde serão construídos, garantindo níveis adequados de conforto térmico e eficiência energética; Produzir subsídios para uma futura normalização relacionada à eficiência energética de edifícios de escritório; Disponibilizar publicações e resultados da pesquisa.

<sup>4</sup> Fiz parte da primeira etapa desta pesquisa e trabalhando em conjunto com Mara Rúbia Araújo e o Prof. Ricardo Cabús, concluímos o levantamento de acordo com a metodologia nacional proposta.

Foi realizado um levantamento descritivo e fotográfico de todas as edificações enquadradas no modelo proposto, onde foram resgatadas diversas informações solicitadas pela planilha “Caracterização das Tipologias” (ver Apêndice 1), que foi utilizada como padrão por todos os grupos da pesquisa nacional descrita no primeiro parágrafo deste capítulo.

Na etapa seguinte, foi efetuado um agrupamento das principais características levantadas nessas edificações (ver Capítulo 4, item 4.1), com a finalidade de possibilitar a elaboração de tipologias padronizadas, as quais serão utilizadas como ferramenta de investigação no decorrer da pesquisa.

## 3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS TIPOLOGIAS

Este trabalho se propõe a avaliar as condições do uso da iluminação natural em salas típicas de edifícios de escritórios implantados em Maceió. Para a elaboração destas tipologias, adotou-se como base de estudo o resultado do levantamento dos edifícios de escritórios localizados na cidade de Maceió, expostos adiante, no capítulo 4, no item 4.1.

### 3.2.1 Dimensões

De acordo com o levantamento realizado em Maceió (ver resultados no item 4.1), foram selecionados os dois tipos de edifícios de escritórios mais recorrentes na cidade para elaboração dos modelos que serão utilizados nas simulações: o primeiro modelo possui uma forma simétrica, com corredor central (Tipo A) e salas de ambos os lados, possuindo 08 pavimentos tipo e 10 salas em cada andar; e o segundo tipo consiste num corredor lateral (Tipo B), possuindo a mesma quantidade de pavimentos tipo e salas por andar.

Ambos os modelos possuem na área de circulação um pé direito de 2,80m, 2,50m de largura e 32,00m e 64,00m de comprimento, respectivamente, na primeira e segunda tipologias. Essas dimensões serão mantidas constantes em todas as simulações.

No Tipo A (tipologia com corredor central, ver Figura 32), existem 05 salas à direita e 05 salas à esquerda da circulação central. No Tipo B (tipologia com corredor lateral, ver Figura 33), existem 10 salas, posicionadas uma ao lado da outra. Essas salas possuem pé

direito de 2,80m, largura constante de 6,00m e comprimentos variáveis de 4,00m, 6,00m e 8,00m, baseados em estudos anteriores (BITTENCOURT, BIANNA E CRUZ, 1995 e CABÚS, 2004) e no levantamento descrito no item 4.1 da próxima seção.

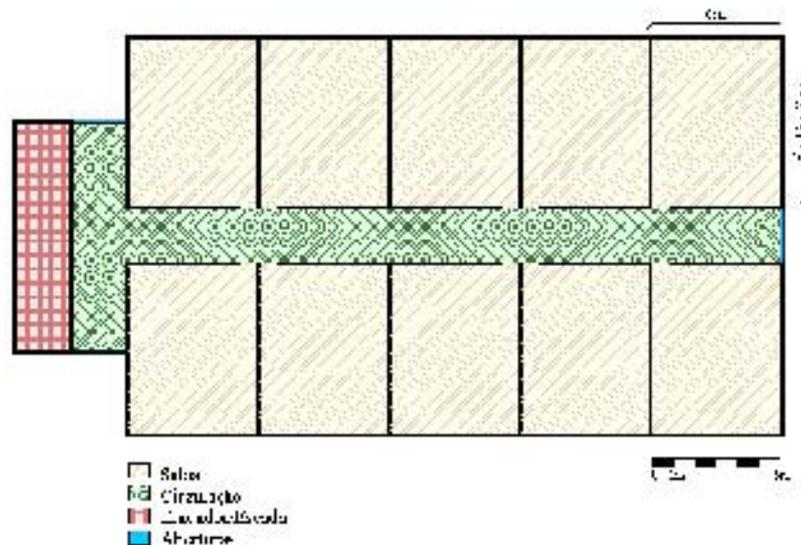


Figura 32: Esquema do Tipo A - tipologia com corredor central.

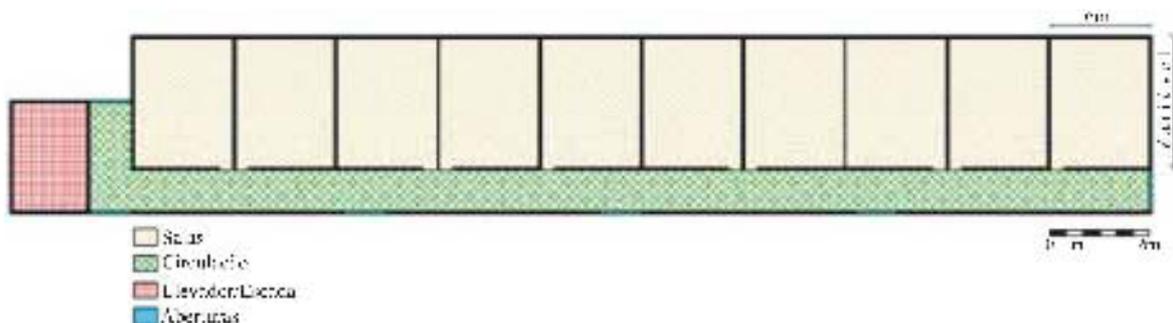


Figura 33: Esquema do Tipo B - tipologia com corredor lateral.

### 3.2.2 Características constantes

As características dos materiais empregados para a elaboração do edifício modelo também foram baseadas no levantamento das tipologias, descrito no item 4.1 do próximo capítulo.

As refletâncias das superfícies internas foram medidas pelo método do “papel branco”. Nesse método, mede-se a iluminância de uma superfície e, no mesmo ponto, mede-se a

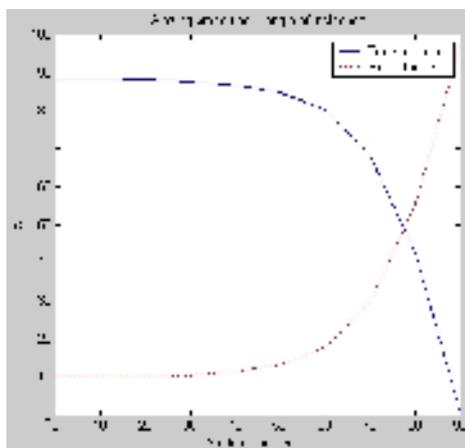
iluminância de uma folha de papel em branco, que possui refletância conhecida. Com base nesses dados, o nível de refletância do material em questão é obtido por uma regra de três simples (ver Apêndice 02).

**Tabela 2: Propriedades físicas dos materiais empregados no edifício modelo**

MATERIAIS	CORES	REFLETÂNCIAS
Piso	Cinza Claro	0.42
Teto	Branco Gelo	0.73
Paredes internas	Branco Neve	0.87

O tipo de vidro utilizado nas aberturas foi o transparente de 6mm. Abaixo tem-se um gráfico com as características do vidro padrão utilizado pela ferramenta de simulação selecionada – o TropLux (ver Gráfico 1).

**CARACTERÍSTICAS DO VIDRO TRANSPARENTE 6MM**

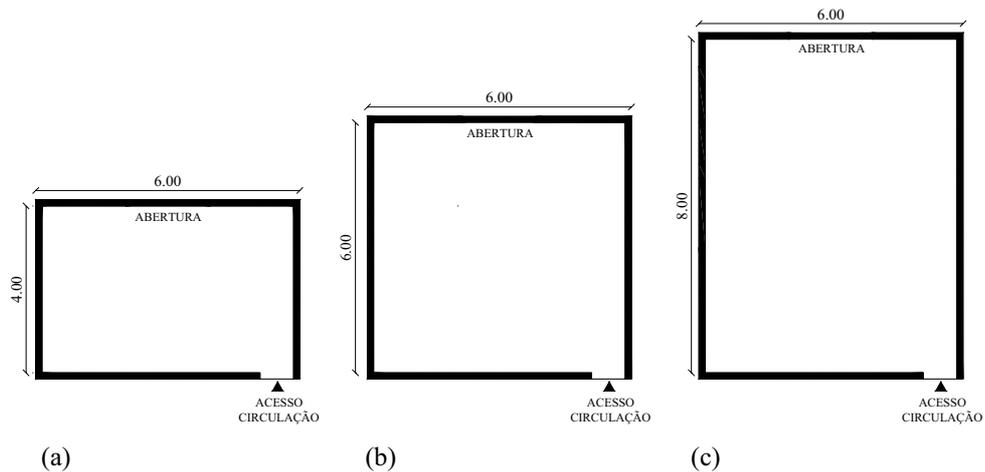


**Gráfico 1: Características do vidro utilizado nas simulações.**  
Fonte: CABÚS, 2002

### 3.2.3 Características variáveis

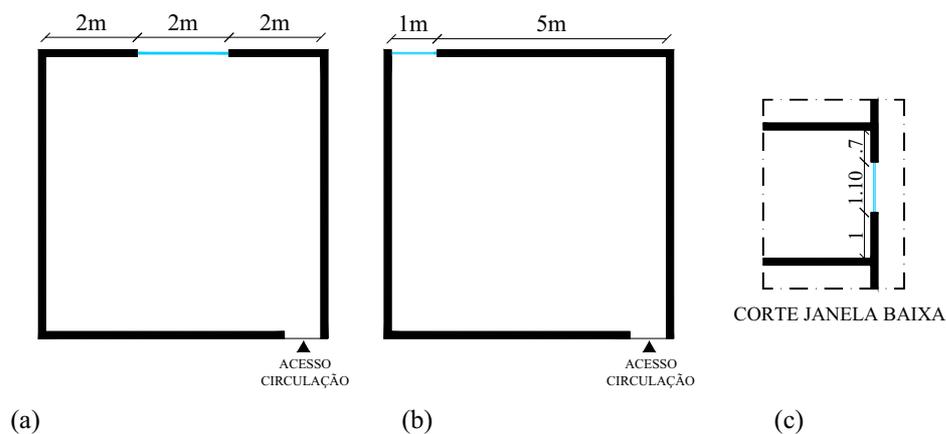
As simulações computacionais são realizadas a fim de construir um banco de dados para a fundamentação desta pesquisa. Para isso, foi necessária a variação de alguns parâmetros do edifício modelo que afetassem o desempenho luminoso do ambiente interno. Essas variações também foram embasadas pelo Levantamento das Tipologias, descrito no início do próximo capítulo (item 4.1).

a) *Profundidade da sala*: os níveis de iluminação natural próximo às janelas são consideravelmente mais altos que os níveis mais ao fundo do ambiente. Definiu-se variar esse parâmetro com o intuito de pesquisar artificiais que possam melhorar a uniformidade luminosa (ver Figura 34, a, b e c);



**Figura 34: Salas com largura fixa e 4,00m (a), 6,00m (b) e 8,00m (c) de profundidade**

b) *Localização das aberturas*: influenciam na distribuição da luminosidade nos ambientes. De acordo com o levantamento das tipologias (ver item 4.1), as esquadrias localizam-se ou no centro (maiores e de correr) ou na lateral (menores e maximar) das salas 5 (ver Figura 35, a, b e c);



**Figura 35: Salas com janela central (a), lateral (b) e corte janela baixa (c).**

<sup>5</sup> A área da janela central é duas vezes maior que a área da janela lateral (Área de (a) = 2x Área de (b)). Ver Figuras 35 e 36). Esse dimensionamento foi aplicado na pesquisa para que as simulações representassem a situação típica existente desse tipo de edificação. Por esse motivo, as iluminâncias internas das salas com janela central sempre serão mais altas que as das salas com abertura lateral. De toda forma, esta pesquisa enfoca mais a questão da uniformidade do que a da intensidade luminosa, ou seja, é mais importante a localização que o tamanho das aberturas para obtenção dos resultados desejados.

Serão realizadas simulações com as duas tipologias descritas acima, além da inclusão de uma janela alta contínua voltada para o corredor na terceira etapa de simulações (ver Figura 36, a, b e c).

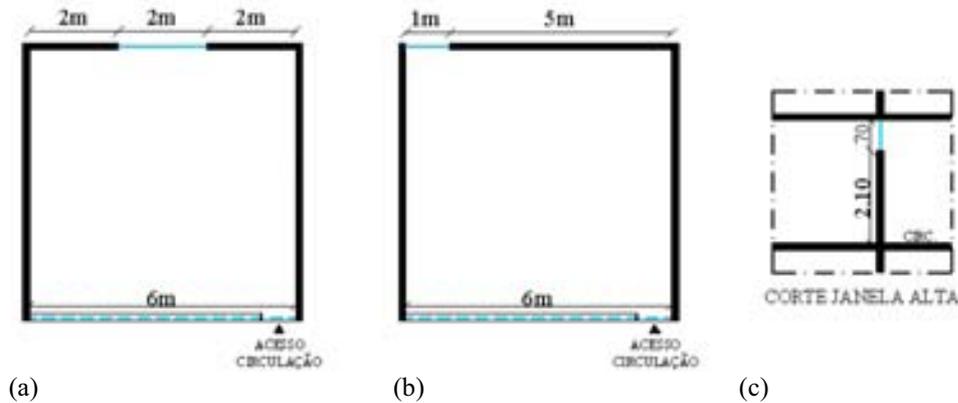


Figura 36: Salas com janela central (a), lateral (b) e corte janela alta(c).

c) *Tipo de proteção das aberturas:* serão adicionadas prateleiras de luz às aberturas externas na segunda etapa de simulações, a fim de confirmar a melhoria da distribuição da luz no ambiente interno (ver Figura 37, a, b e c) e o proteger da insolação direta. As dimensões das prateleiras de luz foram definidas em função do ângulo de corte necessário para a proteção, de acordo com a carta solar da cidade de Maceió (ver Apêndice 3). Essa intervenção é válida tanto para o Tipo A quanto para o Tipo B;

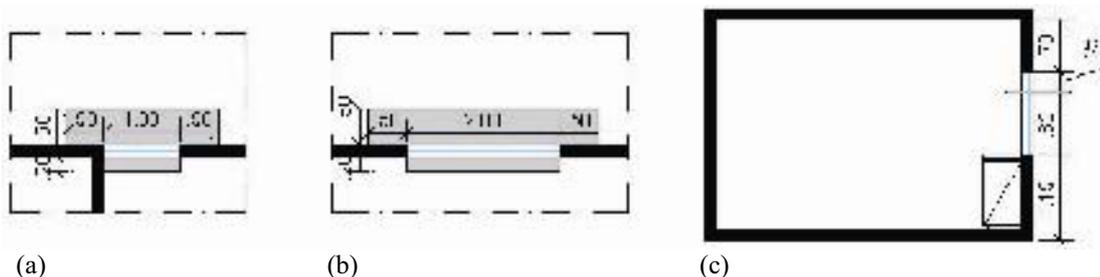


Figura 37: Planta baixa da prateleira de luz na janela lateral (a), na janela central (b) e corte transversal de ambas as tipologias (c).

d) *Tipo de fechamento da circulação:* essa intervenção será válida apenas para a segunda tipologia padronizada (Tipo B). A variação para a Tipologia A seria insignificante em relação aos níveis de iluminação natural, pois, nesse caso, a visão do céu é muito pequena (ver Item 3.4.3). Na primeira opção, será incluída uma

abertura contínua voltada para o exterior (ver Figura 38) e, na segunda, a parede será toda de elemento vazado – cobogó 15cm x 15cm – de piso a teto (ver Figura 39);



CORTE OPÇÃO 01

Figura 38: Janela contínua



CORTE OPÇÃO 02

Figura 39: Elementos vazados

- e) *Hora e data*: determinam a posição do sol (altura e azimute solar) e a quantidade de luz que chega na Terra no decorrer do dia. Serão realizadas simulações nos horários entre 8 e 17 horas (horário legal – ver Apêndice 4), nos solstícios e equinócios de Maceió (22/03, 22/06, 23/09 e 22/12);
- f) *Tipo de céu*: será investigado o céu parcialmente nublado, por se tratar do tipo mais recorrente na cidade de Maceió (ver item 2.3.2);
- g) *Orientação*: serão simuladas quatro orientações mais frequentes na cidade para as maiores fachadas – nordeste (NE), noroeste (NO), sudeste (SE) e sudoeste (SO) – com a finalidade de avaliar as condições da iluminação natural em implantações distintas.

### 3.3 SELEÇÃO DA FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO

Por proporcionar a obtenção de resultados considerados confiáveis e por permitir a geração de uma grande variedade de modelos, com rapidez e eficiência, definiu-se, dentre os métodos de simulação expostos no item 2.8. do capítulo anterior, a utilização da simulação computacional como sendo a técnica a ser realizada nesta pesquisa.

A grande maioria dos programas disponíveis para o processamento dos cálculos para iluminação natural não consegue simular satisfatoriamente a realidade da iluminação natural nos trópicos, quer seja por limitações nos padrões de distribuição de luminâncias do céu, quer

seja por dificuldades em simular as geometrias complexas da arquitetura tropical, com suas diversas formas de proteção contra a radiação solar direta (CABÚS, 2005).

As condições favoráveis, que resultaram na escolha da ferramenta de simulação, foram: a simplicidade de manuseio e a necessidade de conhecimento dos fenômenos envolvidos pelo usuário; a possibilidade de representação das condições climáticas da região em estudo e a disponibilidade da ferramenta para utilização neste estudo.

Além de possuir diversas potencialidades, o TropLux V-2.25 passou por um processo de validação consistente (CABÚS, 2005b), tendo inclusive utilizado o banco de dados do BRE (British Research Establishment) e IDMP (International Daylight Measurement Programme).

Este software proporciona uma análise do desempenho da iluminação natural e foi desenvolvido, principalmente, para o estudo nas regiões tropicais, procurando determinar uma visão geral da iluminância interna dos ambientes, permitindo sistemas de janelas complexos, levando em consideração as reais características das superfícies internas e externas (especularidade e difusividade), além de lidar com qualquer tipo de distribuição de céu, incluindo luz solar (ver item 2.8.3.1 do capítulo anterior).

### 3.4 CRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DAS SIMULAÇÕES

As propriedades dos materiais de construção do modelo deverão ser mantidas constantes em todas as simulações realizadas, assim como as condições de operação do edifício.

A pesquisa será dividida em três etapas de simulação:

- Etapa de simulação I: é realizado um diagnóstico das condições de iluminação natural em salas padronizadas;
- Etapa de simulação II: são selecionadas as maiores salas (8,00 x 6,00m<sup>2</sup>) das duas tipologias construtivas elaboradas, Tipo A e Tipo B, para a inclusão de prateleiras de luz nas aberturas voltadas para a fachada principal;

- Etapa de simulação III: são selecionadas as salas mais profundas (8,00 x 6,00m<sup>2</sup>) da segunda tipologia padronizada (Tipo B – corredor lateral) para a inclusão de uma janela alta contínua voltada para a circulação.

Para as etapas de simulação II e III são selecionadas as maiores salas, pois, como já foi afirmado anteriormente, os níveis de iluminação natural decrescem à medida que se afasta das janelas. A inclusão das prateleiras de luz e da janela alta contínua voltada para a circulação busca a criação de parâmetros construtivos que implementem o uso da luz natural em salas de escritórios.

Decidiu-se investigar o 4º pavimento de cada tipologia (ver Figuras 40 e 41), pois, numa pesquisa piloto, observou-se que os resultados desse pavimento condizem com a média das iluminâncias obtidas no primeiro e último pavimentos, quando simulados nas mesmas condições (ver Apêndice 4).

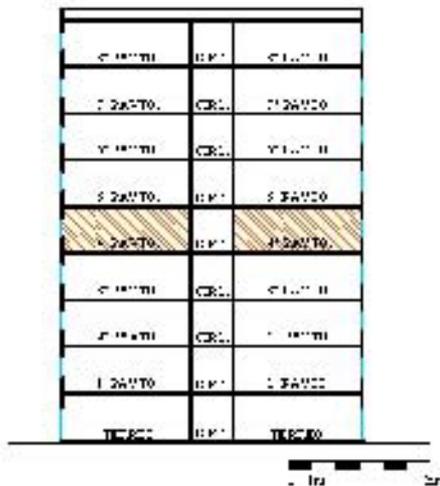


Figura 40: Corte modelo Tipo A



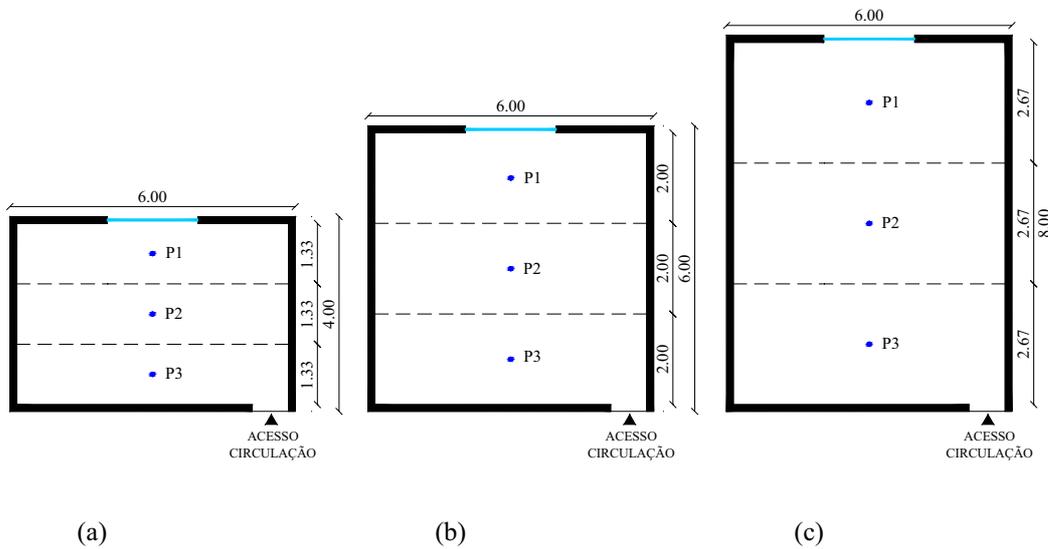
Figura 41: Corte modelo Tipo B (b).

### 3.4.1 Simulação I: Diagnóstico da situação típica atual

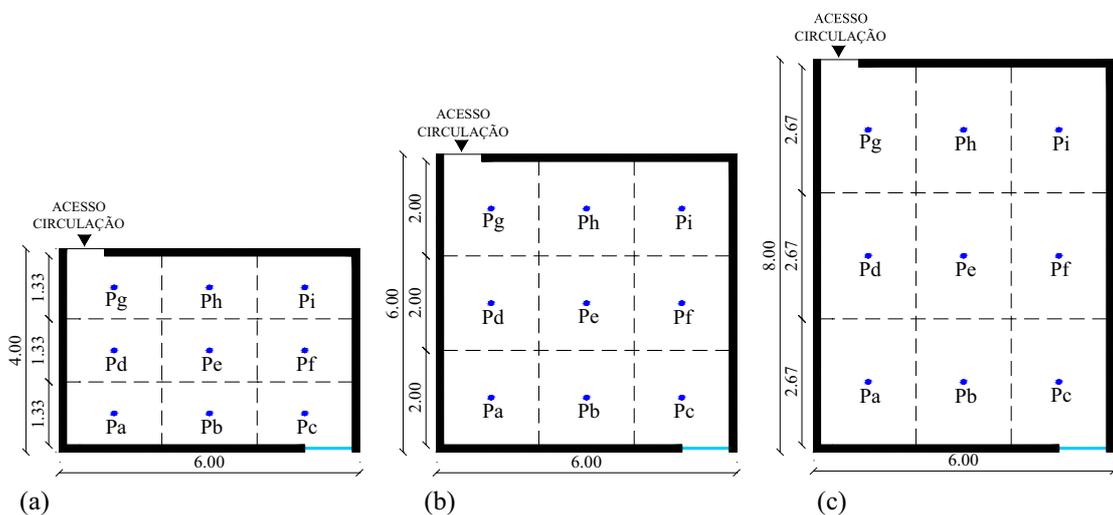
Inicialmente, será realizada uma simulação para diagnosticar a situação típica da iluminação natural, durante o ano, nos edifícios de escritórios.

Essas simulações serão realizadas nas salas padronizadas, com os dois tipos de aberturas (central e lateral); com as 3 profundidades (4,00m, 6,00m e 8,00m); durante o horário comercial (8 às 17h); nos quatro dias típicos de Maceió (22/03, 22/06, 23/09 e 22/12);

nas quatro orientações (NE, NO, SE e SO); com o céu parcialmente nublado; e em três ou nove pontos (dependendo do tipo de abertura) localizados na altura do plano de trabalho (75cm) e localizados conforme as Figura 42, a, b e c, e Figura 43, a, b e c.



**Figura 42: Localização dos pontos de simulação na planta baixa das salas com 4,00 x 6,00m<sup>2</sup>(a), 6,00 x 6,00m<sup>2</sup> (b) e 8,00 x 6,00m<sup>2</sup> (c) e janela central.**



**Figura 43: Localização dos pontos de simulação na planta baixa das salas com 4,00 x 6,00m<sup>2</sup>(a), 6,00 x 6,00m<sup>2</sup> (b) e 8,00 x 6,00m<sup>2</sup> (c) e janela lateral.**

Com relação às figuras anteriores, pode-se perceber que cada sala foi dividida em três ou nove partes iguais e cada ponto foi localizado no centro de cada uma dessas partes.

A seguir, encontra-se uma tabela com as simulações que serão realizadas, a fim de se conhecer o comportamento da iluminação natural nos edifícios de escritórios no decorrer do ano:

**Tabela 3: Simulação I - diagnóstico da situação típica anual**

<b>TIPOS DA SIMULAÇÃO I</b>				
<b>ORIENTAÇÃO</b>	<b>JANELA CENTRAL</b>	<b>JANELA LATERAL DIREITA</b>	<b>JANELA LATERAL ESQUERDA</b>	<b>DIA / HORA</b>
<b>NORDESTE</b>	4,00 x 6,00m <sup>2</sup>	4,00 x 6,00m <sup>2</sup>	4,00 x 6,00m <sup>2</sup>	22/03, 22/06, 23/09 e 22/12 das 8 às 17h
	6,00 x 6,00m <sup>2</sup>	6,00 x 6,00m <sup>2</sup>	6,00 x 6,00m <sup>2</sup>	
	8,00 x 6,00m <sup>2</sup>	8,00 x 6,00m <sup>2</sup>	8,00 x 6,00m <sup>2</sup>	
<b>NOROESTE</b>	4,00 x 6,00m <sup>2</sup>	4,00 x 6,00m <sup>2</sup>	4,00 x 6,00m <sup>2</sup>	22/03, 22/06, 23/09 e 22/12 das 8 às 17h
	6,00 x 6,00m <sup>2</sup>	6,00 x 6,00m <sup>2</sup>	6,00 x 6,00m <sup>2</sup>	
	8,00 x 6,00m <sup>2</sup>	8,00 x 6,00m <sup>2</sup>	8,00 x 6,00m <sup>2</sup>	
<b>SUDESTE</b>	4,00 x 6,00m <sup>2</sup>	4,00 x 6,00m <sup>2</sup>	4,00 x 6,00m <sup>2</sup>	22/03, 22/06, 23/09 e 22/12 das 8 às 17h
	6,00 x 6,00m <sup>2</sup>	6,00 x 6,00m <sup>2</sup>	6,00 x 6,00m <sup>2</sup>	
	8,00 x 6,00m <sup>2</sup>	8,00 x 6,00m <sup>2</sup>	8,00 x 6,00m <sup>2</sup>	
<b>SUDOESTE</b>	4,00 x 6,00m <sup>2</sup>	4,00 x 6,00m <sup>2</sup>	4,00 x 6,00m <sup>2</sup>	22/03, 22/06, 23/09 e 22/12 das 8 às 17h
	6,00 x 6,00m <sup>2</sup>	6,00 x 6,00m <sup>2</sup>	6,00 x 6,00m <sup>2</sup>	
	8,00 x 6,00m <sup>2</sup>	8,00 x 6,00m <sup>2</sup>	8,00 x 6,00m <sup>2</sup>	

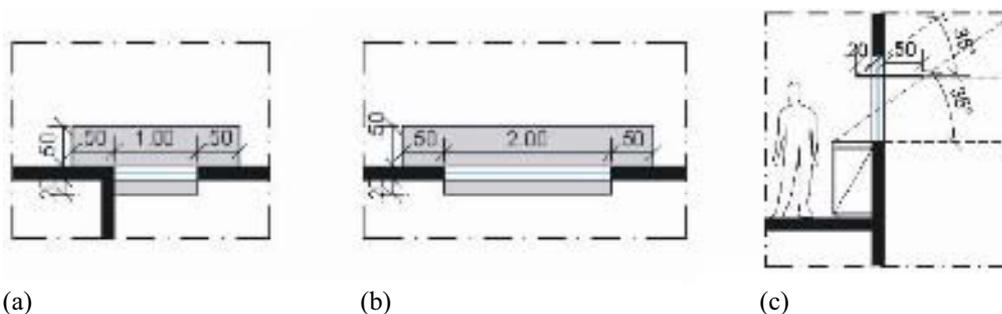
Para realizar essas simulações será necessária a construção de seis modelos. Cada modelo leva em média 30 minutos para ser desenvolvido e 1h30min para ser simulado, num computador AMD Sempron (tm) 2.400 + 1.67 Ghz, 224 MB de RAM, os cinco pontos, nas quatro orientações e em todos os dias e horários, o que totalizará 12 horas de trabalho para obtenção de 15.840 valores de iluminância que serão analisados por meio de gráficos e tabelas (ver Item 3.5).

### **3.4.2 Simulação II: Propostas de intervenção “A”**

De acordo com os dados obtidos na etapa de simulação anterior, serão selecionadas as salas mais profundas (8,00m), por se tratarem dos piores casos em relação à uniformidade luminosa, para a inclusão e posterior avaliação da utilização de prateleiras de luz como elemento de redirecionamento da iluminação natural.

Este elemento de redirecionamento da luz foi selecionado entre os demais estudados devido às suas características, que foram expostas na revisão bibliográfica desta pesquisa (ver Item 2.6.9).

Seguindo o estudo realizado através da carta solar de Maceió (ver Apêndice 05), este elemento terá as características expostas abaixo (ver Figura 44).



(a) (b) (c)  
**Figura 44: Planta baixa da prateleira de luz na janela lateral (a), na janela central (b) e corte transversal de ambas as tipologias (c).**

Serão seguidas as mesmas orientações (NE, NO, SE e SO), condições de céu e localização dos pontos da Simulação I, descritos no item 3.4.1. deste capítulo. Abaixo, seguem as simulações propostas para os casos que sofrerão intervenções:

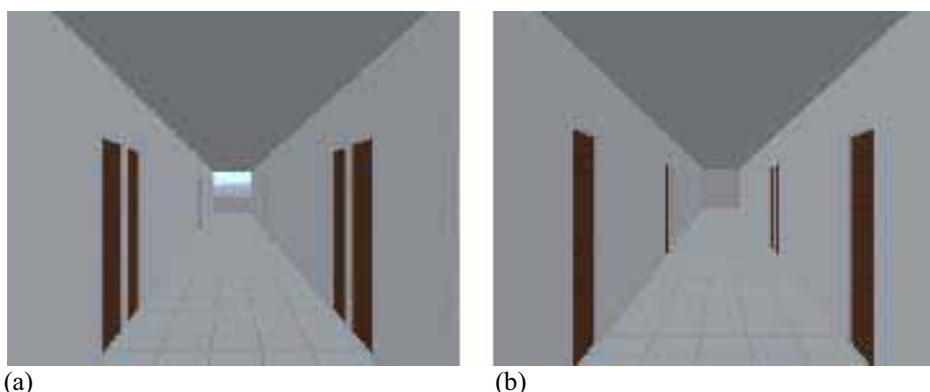
**Tabela 4: Simulação II - Propostas de intervenção A**

TIPOS DA SIMULAÇÃO III		
<b>NORDESTE</b>	Janela Central / 8,00 x 6,00m <sup>2</sup>	No dia menos luminoso das 8 às 17h.
	Janela Lateral / 8,00 x 6,00m <sup>2</sup>	
<b>NOROESTE</b>	Janela Central / 8,00 x 6,00m <sup>2</sup>	No dia menos luminoso das 8 às 17h.
	Janela Lateral / 8,00 x 6,00m <sup>2</sup>	
<b>SUDESTE</b>	Janela Central / 8,00 x 6,00m <sup>2</sup>	No dia menos luminoso das 8 às 17h.
	Janela Lateral / 8,00 x 6,00m <sup>2</sup>	
<b>SUDOESTE</b>	Janela Central / 8,00 x 6,00m <sup>2</sup>	No dia menos luminoso das 8 às 17h.
	Janela Lateral / 8,00 x 6,00m <sup>2</sup>	

Para realizar essas simulações será necessária a construção de dois modelos, que levarão em média 6 horas para serem modelados e simulados. Como resultado, haverá 5.280 dados que serão analisados por meio de gráficos e tabelas (ver Item 3.5).

### 3.4.3 Simulação III: Propostas de intervenções “B”

Após análise dos dados obtidos no diagnóstico da situação típica, serão selecionadas as salas mais profundas (8,00m) da segunda tipologia (tipo B), para a avaliação da primeira intervenção proposta. Como já foi dito anteriormente, essa intervenção seria insignificante na Tipologia A, devido à pequena área de visão do céu através do corredor de circulação (ver Figura 45, a e b).



(a)

(b)

**Figura 45: Visão do céu da Tipologia B**  
**Vista (a) – circulação sentido elevador/última sala**  
**Vista (b) – circulação sentido última sala/elevador**

Fonte: Desenhos desenvolvidos no Autocad e renderizados no Accurender pela autora.

Nesta etapa de simulação, será incluída uma janela alta contínua nos fundos das salas (ver Figura 36 no item 3.2.3), com a finalidade de avaliar as variações nos níveis de iluminação nos fundos dos ambientes. As aberturas (central ou lateral) voltadas para o exterior serão vedadas, pois, em estudos de iluminação natural, os resultados podem ser somados, quando simulados nas mesmas condições.

Serão elaborados três modelos para essa etapa de simulações:

- a) Modelo 01: a parede da circulação voltada para o meio externo será baixa, ou seja, existirá uma abertura contínua em toda a circulação (ver Figura 46);
- b) Modelo 02: a parede da circulação voltada para o meio externo será composta por elementos vazados e pré-moldados de concreto (cobogós – 15cm x 15 cm) sem pintura (ver Figura 47);

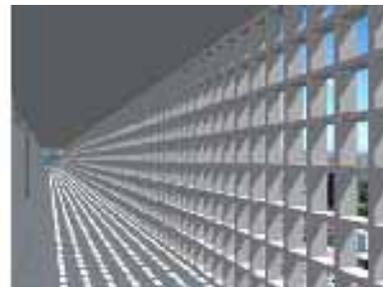
c) Modelo 03: semelhante ao Modelo 01, porém os elementos serão pintados na cor branca (ver Figura 48).



**Figura 46: Modelo 01**



**Figura 47: Modelo 02**



**Figura 48: Modelo 03**

Fonte: Desenhos desenvolvidos no Autocad e renderizados no Accrender pela autora.

Esta terceira etapa de simulação será realizada nas mesmas condições de céu, hora, data e localização dos pontos da Simulação I, descritos no item 3.4.1 deste capítulo. Serão avaliadas apenas duas orientações noroeste (NO) e sudoeste (SO), pois as aberturas principais das salas devem ser voltadas para sudeste (SE) e nordeste (NE), já que a cidade de Maceió está sob influência alternada dos ventos alísios do Sudeste – de velocidade fraca a moderada – e Nordeste - nos meses mais quentes – vide o perfil climático da cidade no Anexo 6.

A seguir, as simulações propostas para os casos que sofrerão intervenções:

**Tabela 5: Simulação III - Propostas de intervenções B**

<b>TIPOS DA SIMULAÇÃO III</b>		
<b>NOROESTE</b>	Abertura contínua / 8,00 x 6,00m <sup>2</sup>	No dia menos luminoso das 8 às 17h.
	Cobogós de concreto / 8,00 x 6,00m <sup>2</sup>	
	Cobogós na cor branca/8,00 x 6,00m <sup>2</sup>	
<b>SUDOESTE</b>	Abertura contínua / 8,00 x 6,00m <sup>2</sup>	No dia menos luminoso das 8 às 17h.
	Cobogós de concreto / 8,00 x 6,00m <sup>2</sup>	
	Cobogós na cor branca/8,00 x 6,00m <sup>2</sup>	

Para realizar essas simulações, será necessária a construção de três modelos. Devido à complexidade dos modelos, o tempo de processamento será mais lento, em média 5 horas por ponto, de acordo com simulações piloto, o que totalizará 75 horas de trabalho para obtenção de 7.920 valores de iluminância que serão analisados por meio de gráficos e tabelas (ver Item 3.5).

### 3.5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Nesta subseção, será apresentada a forma como os resultados serão expostos no decorrer da pesquisa.

O programa TropLux V-2.25 gera tabelas das iluminâncias de cada ponto, de acordo com a orientação, data e horários definidos pelo usuário no momento do processamento das iluminâncias (ver Figura 49).

Component	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
1 Direct	1270	1055.5	1810.4	2012.0	2175.1	2325	1957.2	1516.8	891.5	116.2
2 Internal Reflected	480.7	407.3	804.4	863.2	934.8	1140.7	1199.5	1091.1	727.4	26.7
3 Ground Reflected	87.0	76.1	23.1	30	31	32.6	33.6	30.2	26.1	3.9
4 Construction Reflected	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 Construction Direct	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 Ground Direct	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 Direct	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8 Internal Reflected	205.0	171	3	0	0	0	0	0	0	0
9 Ground Reflected	17	28.9	23	68.6	76.9	79.6	81	21.5	2.5	0
10 Construction Reflected	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11 Construction Direct	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12 Ground Direct	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	1897.6	1568.8	2767.1	2975.2	3105.2	3468.2	3156.5	2625.2	1641.9	216.8
Sum	302.9	263.3	23.1	68.6	76.9	79.6	81	21.5	2.5	0
Total	2200.5	1832.1	2800.2	3043.8	3182.1	3547.8	3237.5	2646.7	1644.4	216.8

Figura 49: Exemplo da tabela gerada pelo software TropLux para a Sala 14, com o azimute 45°, no dia 22/06, das 8 às 17h, com o tipo de céu 10.

Essas tabelas foram exportadas para o Microsoft Excel, trabalhadas e, por fim, gerados os gráficos com os principais resultados. Abaixo, é demonstrado o percurso utilizado para a obtenção dos resultados:

Inicialmente foram exportadas todas as tabelas (nas quatro orientações, nos quatro dias típicos e os três pontos de cada sala) e pintadas de amarelo as horas em que a insolação direta atingia o interior do ambiente (ver Tabela 6).

Tabela 6: Exemplo da tabela geral que foi exportada do software TropLux.

SALA 4X6 - JANELA CENTRAL - ORIENTAÇÃO SE - DIA 22/03											
		8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h
CÉU	1	Direta									
	2	Refletida internamente									
	3	Refletida do solo									
	4	Refletida no entorno									
	5	Direta no entorno									
	6	Direta no solo									
SOL	7	Direta									
	8	Refletida internamente									
	9	Refletida do solo									
	10	Refletida no entorno									
	11	Direta no entorno									
	12	Direta no solo									
CÉU											
SOL											
GLOBAL											

Legenda:  Período quando existe a incidência de insolação direta no interior do ambiente.

Em seguida, foram agrupados os pontos de mesma localização, fixando data e orientação com a finalidade de observar a orientação (ver Tabela 7) e o dia (ver Tabela 8) menos luminoso no decorrer do ano.

Tabela 7: Comparação entre os Pontos 01 no dia 22/03.

SALA 4X6 - PONTO 01 - DIA 22/03										
	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h
SE	15897,7	25267,8	5961,6	7349,9	7521,7	8330,1	8503,0	7226,7	4525,5	1458,5
SO	7106,6	8279,5	8154,5	7420,1	6497,9	5439,1	5148,5	15395,4	5357,6	878,8
NO	8260,7	10421,9	10603,0	9407,5	8360,6	35739,9	29135,5	17203,7	3052,6	880,8
NE	17357,1	28194,3	7393,5	8490,3	9444,2	10654,3	10215,5	8019,1	4646,3	1430,4

Legenda:  Período quando existe a incidência de insolação direta no interior do ambiente.  
 Momentos com menores iluminâncias

Tabela 8: Comparação entre os Pontos 01 na orientação SE.

SALA 4X6 - PONTO 01 - ORIENTAÇÃO SE										
	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h
22/mar	15897,7	25267,8	5961,6	7349,9	7521,7	8330,1	8503,0	7226,7	4525,5	1458,5
22/jun	3161,4	3610,1	4284,5	4858,9	5301,9	5457,1	5115,9	4104,4	2415,2	305,3
23/set	18380,6	5718,8	6186,4	6695,4	7709,6	8412,2	8291,4	6636,3	3769,7	752,6
22/dez	20921,7	32201,4	8170,5	8418,4	9962,8	11114,4	10742,2	8470,1	5095,2	1848,3

Legenda:  Período quando existe a incidência de insolação direta no interior do ambiente.  
 Momentos com menores iluminâncias

Após diagnosticar o dia menos luminoso de cada orientação, elaboraram-se quatro tabelas comparativas com os três pontos (P1, P2 e P3), das 8 às 17h, uma em cada orientação, onde foram calculadas as médias de cada ponto para facilitar a visualização da questão da uniformidade luminosa dos ambientes (ver Tabela 9).

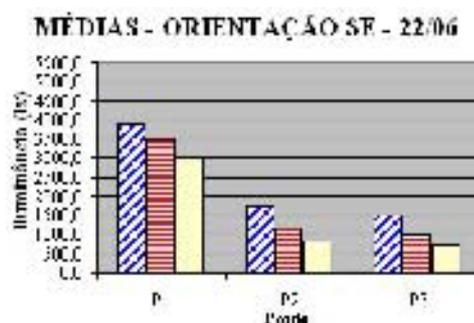
**Tabela 9: Comparação dos três pontos no dia menos luminoso da orientação SE.**

SALA 4X6 - ORIENTAÇÃO SE - DIA 22/06											
Ponto	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	Média
1	3161,4	3610,1	4284,5	4858,9	5301,9	5457,1	5115,9	4104,4	2415,2	305,3	3861,5
2	1721,8	1715,4	1994,2	2119,0	2229,5	2243,0	2102,9	1758,1	1111,2	149,4	1714,4
3	1440,4	1606,6	1734,3	1874,4	1964,6	1973,6	1852,8	1555,5	992,0	134,1	1512,8

O processo descrito acima foi realizado com as salas nas quatro profundidades (4,00m, 6,00m e 8,00m). E, para finalizar, foram elaboradas mais quatro tabelas e quatro gráficos, um de cada orientação, comparando as médias de cada ponto em cada uma das profundidades de sala propostas (ver Tabela 10 e Gráfico 2).

**Tabela 10: Comparação entre as médias de cada ponto e a profundidade da sala.**

MÉDIAS - ORIENTAÇÃO SE - 22/06			
	P1	P2	P3
Sala 4X6	3861,5	1714,4	1512,8
Sala 6X6	3460,4	1173,1	971,8
Sala 8X6	2957,3	843,1	721,4



**Gráfico 2: Comparação entre as médias de cada ponto e a profundidade da sala.**

Essa linha de raciocínio foi seguida em todas as etapas de simulação. Porém, como se decidiu analisar sempre o pior caso de cada orientação e a luz natural se comportaria da mesma forma em relação ao dia menos luminoso de cada orientação, as etapas seguintes foram analisadas somente nos dias 22/06 para as orientações sudeste e sudoeste e 22/12 para as orientações nordeste e noroeste. Essa decisão foi tomada de acordo com os resultados obtidos no item 4.2 da próxima seção.