

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

SOLANGE MARIA LEDER

**OCUPAÇÃO URBANA E LUZ NATURAL:  
PROPOSTA DE PARÂMETRO DE CONTROLE DA OBSTRUÇÃO DO CÉU  
PARA GARANTIA DA DISPONIBILIDADE À LUZ NATURAL**

Florianópolis, outubro 2007

**SOLANGE MARIA LEDER**

**OCUPAÇÃO URBANA E LUZ NATURAL:  
PROPOSTA DE PARÂMETRO DE CONTROLE DA OBSTRUÇÃO DO CÉU  
PARA GARANTIA DA DISPONIBILIDADE À LUZ NATURAL**

Tese  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Pós-Graduação em Engenharia Civil  
Área de concentração: Construção Civil

Orientador:

FERNANDO O. R. PEREIRA

Co-orientador:

ANDERSON CLARO

Florianópolis, 2007

**OCUPAÇÃO URBANA E LUZ NATURAL:  
PROPOSTA DE PARÂMETRO DE CONTROLE DA OBSTRUÇÃO DO CÉU  
PARA GARANTIA DA DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL**

**SOLANGE MARIA LEDER**

Tese julgada adequada para a obtenção do Título de DOUTOR em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

---

Prof. Dr. Glicério Trichês - Coordenador do PPGEC

---

Prof. Ph.D. Fernando Oscar Ruttkay Pereira – Orientador (Moderador)

---

Prof. Dr. Anderson Claro - Co-orientador

COMISSÃO EXAMINADORA:

---

Dr<sup>a</sup>. Claudia Naves David Amorim – FAU/UNB

---

Ph.D. Benamy Turkienicz - UFRGS

---

Ph.D. Roberto Lamberts - ECV/UFSC

---

Ph.D. EneDir Ghisi - ECV/UFSC

Aos meus pais e minha família.

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Fernando Oscar Ruttkay Pereira pela orientação, apoio e dedicação em todos esses anos de trabalho em conjunto, acima de tudo pela confiança e carinho.

Ao professor Anderson Claro pela co-orientação, apoio e dedicação em todos os momentos solicitados.

Às bolsistas de iniciação científica Marcela Gil Ramos e Letícia Niero Moraes, do LabCon do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, pelo grande empenho e dedicação nas atividades em conjunto no desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Benamy Turkienicz pela colaboração e disponibilização do programa Cityzoom, assim como pelo apoio da equipe do SimLab da Universidade Federal do Rio Grande do Sul em todos os momentos solicitados.

Aos professores membros da banca examinadora: EneDir Ghisi, Benamy Turkienicz, Roberto Lamberts e Claudia Naves David Amorim.

Aos professores Vera Moro Bins Ely e Miguel Aloysio Sattler, da Universidade Federal de Santa Catarina e Universidade Federal do Rio Grande do Sul respectivamente, pela participação e contribuições na banca de qualificação.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Ao professor Américo Ishida do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina pelo apoio e incentivo.

Aos amigos do LabCon do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, especialmente Roberto Pereira e Alexandre Toledo pela troca de conhecimento, amizade e incentivo.

Aos amigos que direta ou indiretamente contribuíram na realização deste trabalho.

## RESUMO

A garantia da disponibilidade de luz natural é um direito supostamente protegido pela legislação urbana e edilícia ao impor os limites de ocupação do meio urbano. Entretanto, esses limites constituem-se muitas vezes em critérios simplistas, visto que aspectos tais como alturas variadas, vazios existentes entre as edificações e a efetiva disponibilidade da luz natural costumam ser negligenciados. Considerando a lacuna existente, este trabalho consiste no desenvolvimento e na proposição de um parâmetro inovador para o controle do acesso à luz natural no meio urbano. A caracterização desse parâmetro compreendeu três aspectos principais: i) a contribuição de luz relativa de diferentes parcelas da abóbada celeste, ii) o efeito redutor associado ao cosseno do ângulo de incidência e iii) o percentual de visão da abóbada pelo ambiente interno. A consideração dessas três variáveis permitiu a caracterização do efetivo potencial de iluminação da abóbada celeste no ambiente interno. O parâmetro desenvolvido, denominado de JCP (Janela de Céu Preferível), consistiu na definição de uma porção do céu com maior potencial de iluminação natural sobre um plano horizontal localizado no ambiente interno. Essa porção localiza-se frontalmente à abertura e está delimitada por ângulos horizontais de 45° à esquerda e à direita e por ângulos verticais de 15° e 60°. A análise da luz natural proveniente do JCP, de um plano horizontal em alguns modelos de ambiente interno, e a comparação com a luz natural proveniente da área de céu remanescente confirmou a confiabilidade do mesmo. O parâmetro JCP foi aplicado ainda em dois cenários urbanos, situação atual e situação com a máxima ocupação permitida pela legislação, definidos a partir de uma situação real e existente na cidade de Florianópolis. Esses cenários foram modelados com o auxílio de um programa computacional de simulação urbana, o Cityzoom. O comportamento da luz natural foi simulado com o programa Apolux, na definição do parâmetro JCP e nas simulações com os cenários urbanos. Os resultados finais confirmaram forte correlação linear entre o JCP e a performance da iluminação natural no ambiente interno. Conclui-se que o parâmetro proposto apresenta grande possibilidade de utilização na legislação edilícia e urbana com objetivo de garantir a disponibilidade de luz natural.

**Palavras-chave:** Luz natural, Iluminação natural, Sustentabilidade urbana.

## ABSTRACT

Daylight availability should be guaranteed by urban planning law. Considering this premise, the urban legislation may set limits of land use to provide and protect rights to daylight and solar access. These limits of occupation are normally expressed as maximum angles of sky obstruction. However, only the definition of angles for limiting building height constitutes a simple criterion, since it does not consider urban variables such as gaps between the buildings, building height differences and the daylight contribution from different patches of the sky hemisphere. This study proposes a daylight availability control parameter in the urban environment. The characterization of this parameter takes into account three aspects: I) analysis of the relative contribution of different sky hemisphere patches, II) analysis of the light incidence angle, and III) analysis of the sky line view in indoor environment. The integration of these aspects characterizes the Sky vault illumination potential inside a room, which allowed for the definition of a sky area, called Preferential Sky Window. The Preferential Sky Window area has horizontal limits of  $45^\circ$  to the left and  $45^\circ$  to the right and vertical limits of  $15^\circ$  to  $60^\circ$ , from the horizon. The daylight performance from the Preferential Sky Window in an indoor environment was analyzed. The results have shown strong correlation between the proposed parameter and the indoor daylighting performance. The parameter Preferential Sky Window was also applied to urban scenarios. These scenarios resulted from a real situation and the application of the urban planning law, as defined by the building regulations. The software used for scenario generation was Cityzoom and the one used for daylight performance simulation was Apolux. Based on the study, it can be concluded that the proposed parameter may be extensively used by building regulations to safeguard daylight availability.

**Keywords:** Daylight, Daylighting, Sustainable Environment.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1 – Corte ilustrando o controle da obstrução através de um ângulo de obstrução .....	21
Figura 1. 2 – Imagens com lente olho de peixe (projeção equidistante) com diferentes condições de obstrução do entorno.....	23
Figura 1. 3 – Imagens com lente olho de peixe (projeção equidistante) com diferentes condições de obstrução do entorno.....	25
Figura 2. 1 – Mapa conceitual do capítulo 2: Luz e Iluminação natural.....	2727
Figura 2. 2 - Potsdammerplatz em Berlin (autora).....	28
Figura 2. 3 - Variação espectral da luz em diferentes horas do dia, épocas do ano, condições de céu (KRAMER; VON LOM, 2002) .....	31
Figura 2. 4 – Fatores determinantes no aproveitamento da luz natural (ASSAF; PEREIRA, 2003) .....	32
Figura 2. 5 – Trajetória da luz proveniente de uma fonte pontual (MOORE, 1985)...	33
Figura 2. 6 - Iluminação proveniente de fonte difusa (MOORE, 1985).....	34
Figura 2. 7 – Iluminação como resultado da dimensão aparente da fonte, distância e inclinação (Moore, 1985).....	34
Figura 2. 8– Projeção da abóbada com a distribuição de luminâncias para céu encoberto (MOORE, 1986) .....	38
Figura 2. 9 – Diagrama solar para a cidade de Florianópolis (RORIZ, 1995).....	39
Figura 2. 10- Imagem gerada com o programa Apolux representando a obstrução da abóbada celeste .....	40
Figura 2. 11 - Superposição máscara do entorno e carta solar, (a) ambiente externo e (b) máscara de um elemento de proteção (ZEILMANN, 2003) .....	42
Figura 2. 12 – Globo dividido em 60 faixas com 5.902 parcelas (CLARO; PEREIRA, 2002).....	44
Figura 2. 13 - Projeto dividido em triângulos e detalhe das divisões (CLARO; PEREIRA, 2002) .....	45
Figura 2. 14 – Imagem gerada com o programa Apolux com as iluminâncias sobre as superfícies em um cenário urbano .....	45
Figura 2. 15 – Indicação de formato da janela para diferentes WWR (ABCB, 2001 apud PEDRINI, 2002) .....	47
Figura 3. 1 – Mapa conceitual do capítulo 3: Luz natural no ambiente externo .....	57
Figura 3. 2 – Percentual de ocorrência de céu para 2002 e 2003 em Florianópolis, CC – céu claro, CI – céu intermediário, CE – céu encoberto (adaptado de SOUZA e PEREIRA, 2004) .....	59
Figura 3. 3 – Iluminância global média mensal nos anos 2002 e 2003, em Florianópolis (SOUZA; PEREIRA, 2004).....	60
Figura 3. 4 – Iluminância difusa média mensal nos anos 2002 e 2003, em Florianópolis (SOUZA; PEREIRA, 2004).....	60
Figura 3. 5 – Divisão da abóbada proposta por Tregenza (1993) .....	61
Figura 3. 6 – Diagrama de Contribuição Relativa da Luz (DCRL) para céu claro, altitude solar de 15° (NBR 15215-3, 2005) .....	62
Figura 3. 7 – Corte esquemático com a recomendação de Littlefair (1991).....	66
Figura 3. 8 – Ângulos indicadores da obstrução do céu proposto por Hopkinson (1975).....	68



Figura 3. 9 – Ângulos de obstrução recomendados por Great Britain Department of the Environment Welsh Office (1972) .....	69
Figura 3. 10 – Ângulo sólido do céu medido no centro da abertura (CAPELUTO, 2003) .....	75
Figura 3. 11 – Croqui representando um hemisfério (2¶) e meio hemisfério (1¶) .....	75
Figura 3. 12 – Aplicação do método da área de visão desobstruída (NG, 2003) .....	76
Figura 3. 13 – Método de identificação da linha de não visão do céu (LITTLEFAIR, 1991) .....	77
Figura 3. 14 – Corte e planta baixa com a linha de não visão do céu (LITTLEFAIR, 1991) .....	77
Figura 3. 15 – Indicador da luz do céu para cálculo da componente celeste vertical (LITTLEFAIR, 1991) .....	80
Figura 3. 16 – Vista tridimensional de um cenário urbano gerado com o programa Cityzoom (CITYZOOM, 2007) .....	83
Figura 3. 17 – Cenário gerado utilizando o conceito de envelope solar .....	84
Figura 4. 1 – Mapa conceitual do capítulo 4: Iluminação natural no ambiente interno .....	87
Figura 4. 2 – Formato habitual de edifícios: linear, nuclear, perimetral e radial (BAKER, 1993) .....	89
Figura 4. 3 – Profundidade recomendada para iluminação natural (O’CONNOR, 1997) .....	90
Figura 5.1 – Mapa conceitual mostrando as etapas do desenvolvimento da metodologia .....	101
Figura 5. 2 – Modelo analítico da iluminação produzida em um plano pela abóbada celeste .....	103
Figura 5. 3 – Influência do ângulo de incidência em relação à normal da superfície do plano iluminado .....	105
Figura 5. 4 – Visualização de uma parcela (zona) do céu por uma parcela no ambiente interno .....	106
Figura 5. 5 – Esquema com o potencial de iluminação da abóbada celeste: influência da área de visibilidade e a contribuição relativa (ângulo de incidência e luminância da zona) .....	110
Figura 5. 6 - Modelo com o céu desobstruído na região da Janela de Céu Preferível: (a) vista frontal do ambiente interno + modelo de obstrução externa; (b) vista de fundos do ambiente interno + modelo de obstrução externa .....	112
Figura 5. 7 – Modelo com o céu obstruído na região da Janela de Céu Preferível e a área de céu remanescente desobstruída: (a) vista lateral e frontal do ambiente interno + modelo de obstrução externa; (b) vista de fundos do ambiente interno + modelo de obstrução externa .....	113
Figura 5. 8 – Tela do Apolux com perspectiva do ambiente interno + modelo de obstrução externa .....	114
Figura 5. 9 – Ambiente interno de análise .....	119
Figura 5. 10 – Local do estudo, ao centro a ilha de Santa Catarina e à direita o centro de Florianópolis. A área em vermelho é o recorte urbano escolhido (IPUF, 2006) .....	120
Figura 5. 11 – Superposição da Aerofotocarta com a planta cadastral do recorte urbano em análise (IPUF, 2006) .....	121
Figura 5. 12 – Indicação de referenciais urbanos do local .....	122

Figura 5. 13 – Edificação histórica no entorno da praça Olívio Amorin .....	123
Figura 5. 14 – Planta cadastral do recorte urbano escolhido .....	124
Figura 5. 15 – Inserção da planta cadastral do recorte urbano em análise no Cityzoom .....	125
Figura 5. 16 – Perspectiva da simulação do cenário atual no programa Cityzoom ..	126
Figura 5. 17 – Planta baixa do cenário atual .....	127
Figura 5. 18 – Perspectiva do cenário legislação 100% .....	129
Figura 5. 19 – Planta baixa cenário 100% legislação .....	130
Figura 5. 20 – Áreas objeto de levantamento fotográfico das fachadas frontais .....	132
Figura 5. 21 - Fachada de edifício existente na área em estudo .....	133
Figura 5. 22 – Fachada utilizada para cálculo das áreas proporcionais .....	133
Figura 5. 23 – Procedimento de medição da refletância em ambientes (FONTOYNONT, 1999) .....	134
Figura 5. 24 – Posicionamentos do luminômetro na medição da luminância das amostras .....	135
Figura 5. 25 – Modelo da abertura sem elemento de proteção (a) e com elemento de proteção interno na cor branca (b) .....	137
Figura 5. 26 – Planta baixa do recorte em estudo com a localização dos eixos de análise e detalhamento do posicionamento dos ambientes internos .....	140
Figura 5. 27 – Esquema adotado na nomenclatura dos ambientes de análise nos cenários .....	141
Figura 6. 1 – Mapa conceitual do desenvolvimento do capítulo das análises .....	145
Figura 6. 2 – Subdivisão da abóbada em 333 zonas e a contribuição relativa (%) sobre um plano horizontal (imagem gerada com o programa Apolux) .....	147
Figura 6. 3 - Subdivisão da abóbada em 333 zonas e a contribuição relativa (%) sobre um plano vertical (imagem gerada com o programa Apolux) .....	148
Figura 6. 4 – Representação da subdivisão da abóbada em faixas horizontais e verticais .....	149
Figura 6. 5 – Contribuição das faixas verticais sobre plano horizontal .....	149
Figura 6. 6 – Contribuição das faixas verticais sobre plano vertical .....	149
Figura 6. 7 – Contribuição relativa das faixas horizontais sobre plano horizontal ...	150
Figura 6. 8 - Contribuição relativa das faixas horizontais sobre plano vertical .....	150
Figura 6. 9 - Curva do cosseno do ângulo de inclinação em relação à normal sobre o plano .....	151
Figura 6. 10 – Percentual de visão da abóbada no ambiente interno 4x7,5 m – janela 1 (imagem gerada com o programa Apolux) .....	153
Figura 6. 11 – Percentual de visão da abóbada no ambiente interno 4x7,5 m – janela 2 (imagem gerada com o programa Apolux) .....	154
Figura 6. 12 – Percentual de visão da abóbada no ambiente interno 4x7,5m–janela2 ext (imagem gerada com o programa Apolux). .....	154
Figura 6. 13 – Percentual de visão da abóbada no ambiente interno 5x6 m – janela 1 (imagem gerada com o programa Apolux) .....	155
Figura 6. 14 – Percentual de visão da abóbada no ambiente interno 5x6 m – janela 2 (imagem gerada com o programa Apolux) .....	156
Figura 6. 15 – Percentual de visão da abóbada no ambiente interno 5x6 m – janela 2 extrema (imagem gerada com o programa Apolux) .....	156
Figura 6. 16 – Percentual de visão da abóbada no ambiente interno 7,5x4 m – janela 1 (imagem gerada com o programa Apolux) .....	157

Figura 6. 17 – Percentual de visão da abóbada no ambiente interno 7,5x4 m – janela 2 (imagem gerada com o programa Apolux) .....	157
Figura 6. 18 – Percentual de visão da abóbada no ambiente interno 7,5x4–janela 1 extrema (imagem gerada com o programa Apolux) .....	158
Figura 6. 19 – Percentual de visão da abóbada no ambiente interno 7,5x4 – janela 2 ext. (imagem gerada com o programa Apolux) .....	158
Figura 6. 20 – Faixa limite do céu visível no fundo da sala para profundidade de 7,5 e 4 metros .....	159
Figura 6. 21 - Potencial de iluminação do céu no ambiente interno 4x7,5 m – janela 1 (imagem gerada com o programa Apolux) .....	161
Figura 6. 22 - Potencial de iluminação do céu no ambiente interno 4x7,5 m - janela 2 (imagem gerada com o programa Apolux) .....	161
Figura 6. 23 - Potencial de iluminação do céu no ambiente interno 4x7,5 m – janela 2 extrema (imagem gerada com o programa Apolux) .....	162
Figura 6. 24 - Potencial de iluminação do céu no ambiente interno 5x6 m - janela 1 (imagem gerada com o programa Apolux) .....	163
Figura 6. 25 - Potencial de iluminação do céu no ambiente interno 5x6 m – janela 2 (imagem gerada com o programa Apolux) .....	163
Figura 6. 26 - Potencial de iluminação do céu no ambiente interno 5x6 m – janela 2 extrema (imagem gerada com o programa Apolux) .....	164
Figura 6. 27 - Potencial de iluminação do céu no ambiente interno 7,5x4 m – janela 1 (imagem gerada com o programa Apolux) .....	164
Figura 6. 28 - Potencial de iluminação do céu no ambiente interno 7,5x4 m – janela 2 (imagem gerada com o programa Apolux) .....	165
Figura 6. 29 - Potencial de iluminação do céu no ambiente interno 7,5x4 m - janela 1 extrema (imagem gerada com o programa Apolux) .....	165
Figura 6. 30 - Potencial de iluminação do céu no ambiente interno 4x7,5 m - janela 2 extrema (imagem gerada com o programa Apolux) .....	166
Figura 6. 31 – Gráfico do potencial de iluminação do céu sobre o plano no ambiente interno com a definição da área de céu preferível sobre o mesmo .....	168
Figura 6. 32 - Elevação lateral com o ambiente interno e o modelo de obstrução externa representando a situação com a Janela de Céu Preferível desobstruída .....	170
Figura 6. 33 - Elevação lateral com o ambiente interno e o modelo de obstrução externa representando a situação com a Janela de Céu Preferível obstruída .....	171
Figura 6. 34 – Distribuição percentual das classes de iluminância para o céu desobstruído .....	172
Figura 6. 35 - Distribuição percentual das classes de iluminância para a Janela de Céu Preferível .....	172
Figura 6. 36 – Distribuição percentual das classes de iluminância para o céu remanescente .....	172
Figura 6. 37 – Gráfico com a média de ocorrência no intervalo de 100 a 2000 lux .....	173
Figura 6. 38 – Gráfico da diferença percentual entre a média de ocorrências para o céu remanescente e céu preferível em relação à media obtida com céu desobstruído .....	173
Figura 6. 39 - Agrupamento das classes de iluminância conforme ambiente - 8:00 h .....	174
Figura 6. 40 - Agrupamento das classes de iluminância conforme ambiente - 10:00 h .....	174

Figura 6. 41 - Agrupamento das classes de iluminância conforme ambiente - 12:00 h .....	174
Figura 6. 42 – Percentual no intervalo de FLD x ambiente + condição de obstrução do céu .....	175
Figura 6. 43 – Gráfico com o FLD médio .....	176
Figura 6. 44 - Gráfico diferença percentual entre o FLD com céu preferível e céu remanescente em relação ao céu totalmente desobstruído.....	176
Figura 6. 45 – Gráfico com as classes de iluminâncias x percentual da Janela de Céu Preferível.....	178
Figura 6. 46 – Gráfico do FLD x percentual de céu preferível.....	179
Figura 6. 47 – Iluminâncias x subdivisão Janela de Céu Preferível inferior, média e superior .....	179
Figura 6. 48 – FLD x subdivisão da Janela de Céu Preferível em inferior, média e superior .....	180
Figura 6. 49 – Edificação utilizada no cálculo do coeficiente de reflexão médio apresentado na tabela 6.7.....	185
Figura 6. 50 – Planta esquemática do cenário com exemplo de nomenclatura no eixo D .....	186
Figura 6. 51 - Percentual do plano de análise no ambiente interno nos intervalos de FLD - cenário atual.....	188
Figura 6. 52 – Gráfico com as curvas resultantes do FCV médio, FCP médio e o FLD superior a 2% nos ambientes em análise do cenário atual .....	193
Figura 6. 53 – Gráfico de dispersão: FCV médio x FLD e FCP médio x FLD .....	193
Figura 6. 54 – Gráfico com o traçado do comportamento do FCV, FCP e iluminância superior a 100 lux nos ambientes em análise do cenário atual.....	194
Figura 6. 55 – Gráficos de dispersão: FCV médio x iluminância superior a 100 lux e FCP médio x iluminância superior a 100 lux .....	195
Figura 6. 56 – Percentual do plano de análise no ambiente interno nos intervalos de FLD - cenário legislação.....	197
Figura 6. 57 – Curva do Fator de Céu Visível, Fator de Céu Preferível e FLD inferior a 2%.....	202
Figura 6. 58 – Gráfico de dispersão: FCV médio x FLD e FCP médio x FLD - Cenário Legislação.....	202
Figura 6. 59 – FCV médio, FCP médio e percentual do ambiente com iluminância superior a 100 lux.....	203
Figura 6. 60 – Gráficos de dispersão: FCV médio x iluminância superior a 100 lux e FCP médio x iluminância superior a 100 lux – Cenário Legislação.....	204
Figura 6. 61 – Mapa com a indicação do ponto do observador na posição 1, 2 e 3205	
Figura 6. 62 – Simulação da luz natural no cenário legislação.....	205
Figura 6. 63 – Imagem em cor falsa do cenário atual .....	206
Figura 6. 64 – Imagem em cor falsa representando a luminância.....	207

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3. 1 – Indicadores de controle propostos por Hopkinson et al. (1975) .....	67
Tabela 3. 2 - Indicadores de controle propostos por Robbins (1986).....	68
Tabela 3. 3 – Ângulos de obstrução recomendados para Florianópolis.....	71
Tabela 4. 1 – Profundidade recomendada para ambientes iluminados naturalmente .....	91
Tabela 4. 2 – Recomendação de área de janela x área de parede externa.....	93
Tabela 4. 3 – Iluminâncias recomendadas para escritórios .....	96
Tabela 5. 1 – Relação das variáveis a serem adotadas no ambiente interno .....	109
Tabela 5. 2 - Tabela com a classe de iluminâncias utilizadas na análise da iluminação natural .....	115
Tabela 5. 3 - Classe de FLD utilizado na análise da iluminação natural .....	116
Tabela 5. 4 – Nomenclatura adotada para os ambientes internos de análise no cenário atual.....	141
Tabela 5. 5 – Nomenclatura adotada para os ambientes de análise no cenário legislação .....	141
Tabela 5. 6 – Intervalos utilizados na análise do Fator de Céu Visível e Fator de Céu Preferível.....	143
Tabela 6. 1 – Modelos de configuração da obstrução do ambiente externo .....	170
Tabela 6. 2 - Tabela com as variações no modelo de obstrução céu preferível 20, 40, 60 e 80%.....	177
Tabela 6. 3 – Divisão da área de céu preferível: inferior, mediano e superior .....	177
Tabela 6. 4 - Levantamento de fachadas localizadas no recorte urbano em análise .....	182
Tabela 6. 5 - Refletância média encontrada para as variáveis analisadas no modelo da abertura.....	183
Tabela 6. 6 - Refletância média encontrada para a abertura com céu real.....	184
Tabela 6. 7 - Amostra de resultado da aplicação do método de cálculo da refletância média .....	185
Tabela 6. 8 – Percentual do plano de análise no ambiente interno com FLD superior a 2% - cenário atual .....	187
Tabela 6. 9- Percentual do plano de análise no ambiente interno com iluminância superior a 100lux - cenário atual .....	188
Tabela 6. 10 – FCV e FCP – Percentual do plano de análise nos intervalos e média – cenário atual.....	189
Tabela 6. 11 - Máscaras sobre plano vertical externo nos ambientes internos – cenário atual.....	191
Tabela 6. 12 – Correlação linear de Pearson entre FCV, FCP e FLD – cenário atual .....	193
Tabela 6. 13 – Correlação linear de Pearson entre FCV, FCP e iluminância – cenário atual .....	195
Tabela 6. 14 – Correlação Linear de Pearson entre o Céu Remanescente, FLD e iluminância – Cenário atual .....	195
Tabela 6. 15 – Percentual do plano de análise no ambiente interno com FLD superior a 2% - cenário legislação .....	196

Tabela 6. 16 – Percentual do plano de análise no ambiente interno com iluminância superior a 100 lux - cenário legislação .....	198
Tabela 6. 17 – FCV e FCP - Percentual do plano de análise nos intervalos e média – cenário legislação .....	198
Tabela 6. 18 - Máscaras sobre plano vertical externo no cenário legislação .....	199
Tabela 6. 19 – Correlação linear de Pearson entre FCV, FCP e FLD.....	202
Tabela 6. 20 – Correlação linear de Pearson entre FCV, FCP e Iluminância superior a 100 lux.....	203
Tabela 6. 21 – Correlação linear de Pearson entre Céu remanescente, FLD e iluminância – Cenário Legislação.....	204

## LISTA DE SIGLAS

ASHRAE - American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

BSI - British Standard Code

CIBSE - Chartered Institution of Building Services

IBAM - Instituto Brasileiro de Administração Municipal

IES - Illuminating Engineering Society of North America

IPUF - Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis

LEED - Leadership in Energy and Environmental Design - Green Building Rating System

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia

AVD - Área de Visão Desobstruída

CCV - Componente Celeste Vertical

DCRL - Diagrama da Contribuição Relativa da Luz

FCV - Fator de Céu Visível

FLD - Fator da Luz do Dia

FLDV - Fator da Luz do Dia Vertical

FCP - Fator de Céu Preferível

IULN - Iluminância Útil da Luz Natural

JCP - Janela de Céu Preferível

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	18
1.1 INTRODUÇÃO .....	19
1.2 JUSTIFICATIVA .....	22
1.3 HIPÓTESES .....	23
1.4 OBJETIVOS .....	24
1.5 ESTRUTURA DA TESE .....	24
<b>2 LUZ NATURAL</b> .....	26
2.1 INTRODUÇÃO .....	27
2.2 JUSTIFICATIVAS PARA USO DA LUZ NATURAL .....	28
2.2.1 Entendimento do fenômeno da iluminação natural .....	33
2.3 PROJETO DA ILUMINAÇÃO NATURAL .....	36
2.3.1 Métodos gráficos e simplificados .....	37
2.3.2 Métodos computacionais .....	40
2.3.3 O programa computacional Apolux .....	43
2.4 LEGISLAÇÃO E NORMAS .....	46
2.4.1 Plano diretor .....	48
2.4.2 Código de edificações .....	51
2.5 CONCLUSÕES SOBRE O CAPÍTULO 2 .....	55
<b>3 LUZ NATURAL NO AMBIENTE EXTERNO</b> .....	56
3.1 INTRODUÇÃO - LUZ NATURAL NO AMBIENTE EXTERNO .....	57
3.2 VARIÁVEIS DE INFLUÊNCIA NA LUZ NATURAL NO AMBIENTE EXTERNO .....	58
3.2.1 A disponibilidade de luz natural .....	58
3.2.2 Distribuição de luminâncias na abóbada .....	61
3.2.3 O entorno e a obstrução do céu .....	63
3.2.3.1 Indicadores de controle da obstrução do céu .....	65
3.2.3.2 Envelope Solar .....	70
3.2.4 Coeficiente de reflexão das superfícies externas .....	72
3.3 PARÂMETROS DE ANÁLISE DA LUZ NATURAL NO MEIO URBANO .....	74
3.3.1 Fator de céu visível .....	74
3.3.2 Linha de não visão do céu .....	77
3.3.3 Fator da Luz do Dia Vertical e Componente Celeste Vertical .....	78
3.4 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS URBANOS .....	80
3.4.1 O programa Cityzoom .....	82
3.5 CONCLUSÕES SOBRE O CAPÍTULO 3 .....	84
<b>4 ILUMINAÇÃO NATURAL NO AMBIENTE INTERNO</b> .....	86
4.1 INTRODUÇÃO - ILUMINAÇÃO NATURAL NO AMBIENTE INTERNO .....	87
4.2 VARIÁVEIS DA ILUMINAÇÃO NATURAL NO AMBIENTE INTERNO .....	88
4.2.1 Orientação .....	88
4.2.2 Formato do edifício e do ambiente interno .....	89
4.2.3 Aberturas ou sistemas de passagem da luz .....	92
4.3 PARÂMETROS DE ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO NATURAL NO AMBIENTE INTERNO .....	93
4.3.1 Fator da luz do dia e Iluminância .....	95
4.3.3 Autonomia da Luz Natural e Iluminância Útil da Luz Natural .....	96



4.4 CONCLUSÕES SOBRE O CAPÍTULO 4 .....	98
<b>5 METODOLOGIA .....</b>	<b>99</b>
5.1 INTRODUÇÃO - METODOLOGIA .....	100
5.2 DEFINIÇÃO DO PARÂMETRO JANELA DE CÉU PREFERÍVEL .....	102
5.2.1 Distribuição de luminâncias na abóbada .....	104
5.2.2 Efeito redutor do cosseno sobre o ângulo de incidência .....	105
5.2.3 Percentual de visão do céu no ambiente interno.....	105
5.2.3.1 Metodologia de cálculo do percentual de visão do céu no ambiente interno.....	106
5.2.3.2 Modelos de ambiente interno.....	107
5.2.4 Potencial de iluminação do céu sobre um plano no ambiente interno..	109
5.3 ILUMINAÇÃO NATURAL NO INTERIOR DEVIDO À JANELA DE CÉU PREFERÍVEL .....	111
5.3.1 Modelos de obstrução do céu.....	112
5.3.2 Modelo de obstrução do céu com a subdivisão da Janela de Céu Preferível .....	113
5.3.3 Modelos de ambiente interno.....	113
5.3.4 Metodologia de análise dos resultados .....	114
5.3.5 Considerações sobre a verificação da Janela de Céu Preferível.....	116
5.4 VERIFICAÇÃO DA JANELA DE CÉU PREFERÍVEL NO MEIO URBANO ....	116
5.4.1 Metodologia de construção e simulação da luz natural nos cenário urbanos.....	117
5.4.2 Definição do recorte urbano .....	120
5.4.3 Construção dos cenários urbanos .....	124
5.4.3.1 Cenário atual .....	125
5.4.3.2 Cenário legislação .....	1288
5.4.4 Caracterização de um coeficiente de reflexão médio para superfícies verticais .....	131
5.4.4.1 Caracterização do coeficiente de reflexão dos fechamentos verticais opacos.....	131
5.4.4.2 Caracterização do coeficiente de reflexão dos fechamentos transparentes.....	134
5.4.5 Especificações utilizadas nos cenários para a simulação da luz.....	138
5.4.6 Metodologia de análise dos resultados obtidos com os cenários.....	138
5.5 RESUMO SOBRE O CAPÍTULO 5.....	138
<b>6 RESULTADOS E ANÁLISES.....</b>	<b>144</b>
6.1 INTRODUÇÃO - RESULTADOS E ANÁLISES.....	145
6.2 DEFINIÇÃO E ANÁLISE DA JANELA DE CÉU PREFERÍVEL.....	146
6.2.1 Análise da contribuição relativa da luz sobre a abóbada.....	146
6.2.2 Análise do efeito cosseno sobre o ângulo de incidência .....	151
6.2.3 Análise do percentual de visão do céu no ambiente interno .....	151
6.2.4 Análise do potencial de iluminação sobre o plano no ambiente interno	160
6.2.5 Definição da Janela de Céu Preferível .....	160
6.3 ILUMINAÇÃO NATURAL NO INTERIOR DEVIDO À JANELA DE CÉU PREFERÍVEL.....	168
6.3.1 Análise sobre a região da Janela de Céu Preferível obstruída e desobstruída .....	181
6.3.2 Análise da região da Janela de Céu Preferível subdivida .....	176

6.4 VERIFICAÇÃO DO CÉU PREFERÍVEL NOS CENÁRIOS URBANOS.....	180
6.4.1 Caracterização do coeficiente de reflexão médio das superfícies verticais .....	181
6.4.1.1 Levantamento fotográfico sobre as fachadas .....	181
6.4.1.2 Definição de coeficientes de reflexão para as aberturas .....	181
6.4.1.3 Definição do coeficiente de reflexão médio para superfícies verticais .....	184
6.4.2 Resultados e análises com o cenário atual .....	196
6.4.3 Resultados e análises com o cenário legislação .....	196
6.4.4 Análise das imagens dos cenários .....	204
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	208
7.1 CONCLUSÃO .....	209
7.1.1 Conclusões sobre a definição do parâmetro Janela de Céu Preferível .....	210
7.1.2 Conclusões sobre a verificação da iluminação natural no ambiente interno proveniente da Janela de Céu Preferível.....	212
7.1.3 Conclusões sobre a Janela de Céu Preferível nos cenários urbanos.....	213
7.1.4 Conclusões finais.....	215
7.1.5 Sugestões para trabalhos futuros.....	216
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	208
<b>ANEXO</b> .....	208



# capítulo 1

---

## 1 introdução

## 1.1 INTRODUÇÃO

O uso da luz natural como fonte de iluminação primária no ambiente interno é uma estratégia de projeto que pode proporcionar maior qualidade do espaço e conforto aos usuários, além da possibilidade de economia de energia. Contudo, deve-se considerar que variáveis como o clima e a disponibilidade de luz natural do local, a configuração do entorno edificado, dimensões e forma dos edifícios, espaçamento relativo, geometria dos espaços abertos, propriedades ópticas dos materiais, presença de água e vegetação são variáveis que influenciam na recepção da radiação solar. A definição dessas variáveis pode melhorar (ou piorar) as condições do ambiente externo e interno (ASCHEHOUG et al., 2000; LITTLEFAIR, 2001).

A densidade e forma do entorno construído agregam variáveis como área de superfície externa, refletância das superfícies das edificações, visão do céu e do sol. Essas variáveis, além da influência sobre a incidência da radiação solar, influenciam o movimento do ar no exterior e interior da edificação e nas temperaturas mínimas e máximas (YANNAS, 2001). No estudo realizado por Brandão e Alucci (2005) a influência da obstrução do entorno, no consumo de energia com iluminação artificial, representa um aumento de 31%. Os autores simularam uma edificação quadrada de 60 metros de largura e com ambientes internos de 6x6x3 e 3x3x3 metros, localizada na cidade de São Paulo. Em uma análise do efeito de diferentes configurações de fachadas sobre a iluminação natural em escritórios, Ünver et al. (2003) afirmam que a obstrução do entorno, a orientação da fachada e a razão entre área de abertura e fachada são as principais variáveis.

Para Mesa e Morillón (2005), toda situação na qual é possível a substituição dos recursos fósseis pelos renováveis deve ser explorada através do controle do território. Sendo necessário conter a tendência de crescimento das cidades através da exploração racional dos recursos renováveis. Deste modo, segundo os autores, para que o aproveitamento da energia solar nas edificações seja factível, a incidência da radiação solar é uma variável que pode ser controlada através do tamanho do conjunto de construções (bloco edificado), tamanho dos lotes e as orientações das ruas e dos edifícios.

No meio urbano a condição de acesso à luz natural deu origem a uma das primeiras legislações referente ao direito à luz do sol, surgida no Antigo Direito Romano e adotada hoje por muitos países. Para Robbins (1986), deve ser atribuição do Estado garantir que a edificação tenha as condições mínimas de disponibilidade de luz natural. Esse direito atualmente está representado nas leis de uso do solo como taxa de ocupação, gabarito, recuos e afastamentos, que regulam a ocupação urbana.

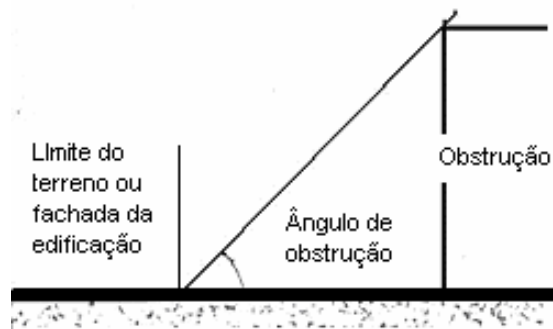
Segundo Assis (2005), há consenso entre os pesquisadores sobre o impacto do ambiente construído no clima, pelo menos a nível local ou mesoclimático. Certas variáveis condicionantes da forma urbana estão diretamente ligadas à mudança climática local. Faz-se necessário o desenvolvimento de critérios e métodos de projeto para aplicação no processo de síntese da forma urbana. A autora sugere a análise espacial sistemática de realidades urbanas, o uso de modelos para a simulação de variações climáticas e a interação entre esses dois processos, para auxiliar na concepção desses critérios e métodos. Embora muito genérica, a variação da altura dos edifícios com o objetivo de melhorar as condições locais de ventilação e uma adequada orientação solar e arranjo dos edifícios são diretrizes estabelecidas pela World Meteorological Organization (WMO, 1996, apud Assis, 2005) para o planejamento e projeto urbano climaticamente responsável.

Uma das propostas de ocupação do meio urbano que tem como condicionante a luz natural é conhecida por Envelope Solar (KNOWLES, 2003). Nela, o volume externo das edificações não pode ultrapassar determinados limites, representados por medidas angulares, as quais garantem que o conjunto de edificações receba uma insolação mínima no período mais crítico do inverno. Entretanto, para efetivamente garantir o direito à luz natural, a legislação urbana deve, além da insolação da edificação, também considerar a porção de céu visível, já que a abóbada celeste apresenta-se invariavelmente como a principal fonte de luz natural (DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT WELSH OFFICE, 1972).

A obstrução do entorno influencia diretamente duas principais fontes de luz natural: a luz solar direta e da abóbada celeste. Com base nessa realidade os mecanismos de controle e garantia de luz natural nas edificações tem como foco o controle da obstrução do entorno edificado.

Os indicadores de controle da obstrução do céu são parâmetros de controle de ocupação no meio urbano que visam garantir à edificação condições mínimas de

insolação e de acesso à luz natural. Segundo Hopkinson et al. (1975), esses indicadores garantem que um padrão suficiente de luz natural atinja a fachada do edifício. Consistem basicamente em ângulos máximo de obstrução, Figura 1.1, medidos a partir da fachada da edificação ou no limite do lote e a partir dos quais não é permitido edificar (LITTLEFAIR, 1991; ROBBINS, 1986). No cenário nacional a adoção dos indicadores de obstrução são iniciativas isoladas. Alguns locais como na cidade de Florianópolis um ângulo limite de obstrução é adotado.



**Figura 1. 1 – Corte ilustrando o controle da obstrução através de um ângulo de obstrução**

Contudo, o estabelecimento de um ângulo limite padrão apresenta a limitação de não considerar a iluminação proveniente do afastamento existente entre as edificações, ou seja, a descontinuidade da obstrução. A alternativa encontrada por Hopkinson (1976) foi a indicação de um conjunto de ângulos, na impossibilidade de um determinado ângulo ser atendido, outro poderá ser utilizado. Também em substituição a adoção de um ângulo único de obstrução, a proposta apresentada em Littlefair (1991) é o cálculo da Componente Celeste Vertical, que consiste no cálculo da parcela de iluminação proveniente da abóbada celeste sobre um ponto sobre o plano vertical (fachada). A limitação encontrada nessas propostas é de constituírem-se em aplicações isoladas, cada caso deve ser analisado individualmente. Tratam-se também de métodos simplificados.

Mais recentemente autores como Capeluto (2003) e NG (2005) propõem métodos mais complexos, ao inserir a simulação computacional como ferramenta.

Objetivando a obtenção de um indicador passível de utilização na legislação edilícia e com base na hipótese de que a identificação de uma determinada área de céu visível seria um indicador da performance da luz natural, Ng (2005a; 2005b; 2004; 2001) propõe o parâmetro Área de Visão Desobstruída (AVD), que consiste na

determinação de um cone de visão do céu dentro do qual determinada parcela de visão do céu estaria desobstruída. A partir da simulação da luz natural em um conjunto de cenários urbanos o autor desenvolve um método adequado à condição climática e de ocupação urbana (alta densidade) para a cidade de Hong Kong, atualmente em vigência na legislação edilícia do local.

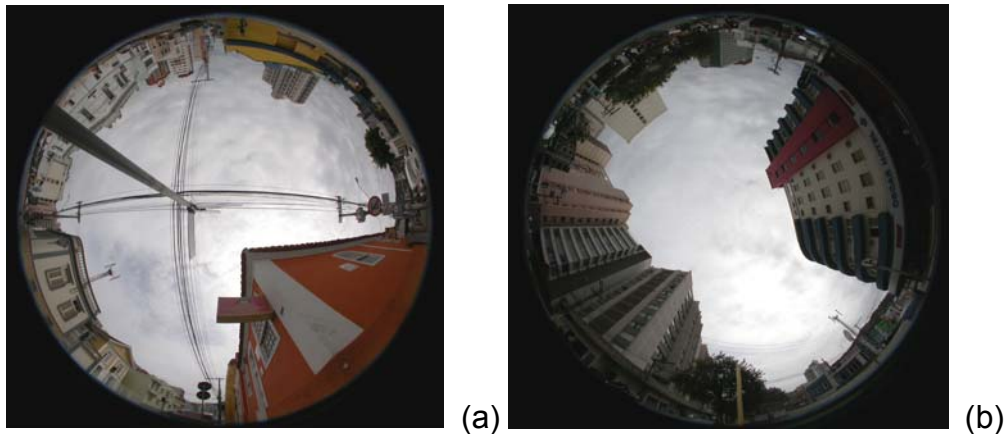
## 1.2 JUSTIFICATIVA

Uma das possibilidades de redução no consumo de energia com iluminação artificial é sem dúvida a substituição da mesma pela natural, que é gratuita. Essa possibilidade tem resultado em inúmeras pesquisas sobre o aproveitamento da luz natural nas edificações. Programas como o Joule, na União Européia, IEA Task 21 - "Iluminação natural em edifícios" - e mais recentemente IEA Task 31 - "Iluminação natural em edifícios no século 21" - tem recebido apoio financeiro internacional. Esses movimentos juntam-se à criação de novos laboratórios voltados ao estudo da iluminação natural e comprovam a importância do estudo da luz natural como uma importante área da ciência das habitações (SOLER e OTEIZA, 1997; SCIUTO, 1998; JOHNSEN, 1998; LEE et al, 2004; IEA SHC TASK 21 e IEA SHC TASK 31, 2006). Pode-se observar que existe a preocupação com a eficiência energética nas edificações. Com o surgimento, nos últimos anos, de normas sobre essa eficiência, limites de consumo de energia foram estabelecidos, bem como certificados de eficiência energética para edificações (HOFFMANN et al., 2005).

Contudo, além da edificação isolada, a geometria urbana apresenta-se como uma das principais variáveis associadas ao desempenho energético de uma edificação. Segundo Ratti, Baker e Steemers (2005), a mesma influencia a disponibilidade de luz solar e luz natural na fachada da edificação: áreas urbanas muito densificadas apresentam redução na disponibilidade de luz natural e ganho solar. Reduções significativas podem resultar em maior necessidade de consumo energético.

Como decorrência, surge a necessidade do planejamento urbano inserir o estudo da luz natural e da insolação nos critérios de definição das leis que "modelam" o meio urbano edificado. Para Pereira et al (2001), o planejamento da insolação e da iluminação natural é essencial para obterem-se os benefícios da energia solar. O primeiro passo é a garantia de que a luz do sol e do céu esteja presente no exterior

e interior dos edifícios. A configuração da obstrução externa é um importante aspecto determinante no aproveitamento da luz natural, Figura 1.2. Os estudos de Ng (NG, 2005; NG e WONG, 2004) mostram que, para uma mesma densidade de ocupação do solo, variações na altura das edificações podem conduzir a diferentes níveis de acesso à luz natural.



**Figura 1. 2 – Imagens com lente olho de peixe (projeção eqüidistante) com diferentes condições de obstrução do entorno**

Principalmente no cenário nacional os critérios que definem a ocupação no meio urbano não são claros quanto à garantia da luz natural como condicionante. Assim, como propostas dessa natureza são ainda limitadas e adequadas a cenários não necessariamente adequados a qualquer realidade climática e de ocupação urbana. Nesse contexto se justifica a proposta desse trabalho, a proposição de um parâmetro de controle da ocupação urbana, baseado no controle da disponibilidade da luz natural.

### 1.3 HIPÓTESES

Considerando que o céu apresenta ao longo de sua superfície uma potencialidade de iluminação variável, a principal hipótese desse trabalho é de que há possibilidade de identificar e determinar uma área do céu de maior potencial de iluminação em um plano horizontal interno através de aberturas laterais.

Hipóteses subjacentes:

- A variação do percentual de visibilidade de uma parcela do céu influencia o potencial de iluminação daquela parcela.



- O percentual de área de céu visível, associado à identificação das parcelas do céu com maior potencial de iluminação, pode gerar um parâmetro de análise da disponibilidade da luz natural em meios urbanos.

#### 1.4 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é a proposição de um parâmetro utilizável no aprimoramento da legislação urbanística para possibilitar o controle da disponibilidade de luz natural no ambiente externo e, conseqüentemente, no ambiente interno. Como objetivos específicos destacam-se:

- Caracterizar o potencial luminoso da abóbada celeste sobre um plano horizontal localizado no ambiente interno, através da análise das principais variáveis intervenientes.
- Identificar a porção do céu com maior potencial de iluminação sobre um plano horizontal localizado em um ambiente interno.
- Caracterizar um coeficiente médio de reflexão para superfícies verticais em um meio urbano.
- Promover a troca de dados entre o programa Cityzoom, utilizado na geração dos cenários urbanos, e o programa Apolux, utilizado na simulação da luz natural.
- Verificar a correlação existente entre a iluminação natural no ambiente interno e o parâmetro da disponibilidade de luz natural, desenvolvido neste trabalho, em dois cenários de ocupação urbana: cenário real e cenário resultante da aplicação dos limites máximos de ocupação permitidos pela legislação.

#### 1.5 ESTRUTURA DA TESE

O trabalho se desenvolve seguindo o esquema apresentado na Figura 1.1. O capítulo 1 consiste na introdução ao tema do trabalho e na apresentação da justificativa, das hipóteses e dos objetivos. No capítulo 2, são abordados aspectos relativos a luz e iluminação naturais, destacando a importância de sua utilização; o projeto da iluminação natural e os métodos de apoio; e ainda, as normas e a legislação que tratam da insolação e luz natural. O capítulo 3 trata da luz natural no ambiente externo, compreendendo as variáveis associadas à luz natural no exterior

e seus parâmetros de análise, finalizando com uma abordagem relativa à modelagem de cenários urbanos.

O capítulo 4 reserva-se à luz natural no ambiente interno e à apresentação das variáveis relativas à iluminação natural em ambientes internos e seus parâmetros de análise.

No capítulo 5, é apresentada a metodologia do desenvolvimento do trabalho, incluindo a subetapa destinada à caracterização do coeficiente de reflexão das superfícies verticais. A metodologia do desenvolvimento do trabalho compreende principalmente o processo de definição do parâmetro a ser proposto. Subsequentemente apresenta-se a verificação da hipótese do referido parâmetro na iluminação natural no ambiente interno e, finalmente, o impacto do parâmetro a ser proposto nos cenários urbanos, correlacionando-o com a iluminação natural no ambiente interno.

O capítulo 6 compreende os resultados e as análises, primeiramente com a definição do parâmetro a ser proposto. Em seguida, apresentação dos resultados e das análises com a verificação do parâmetro na iluminação natural em ambientes internos e, por último, os resultados e análises obtidas com a inserção do parâmetro nos cenários urbanos. Para finalizar, a conclusão e as sugestões para trabalhos futuros.

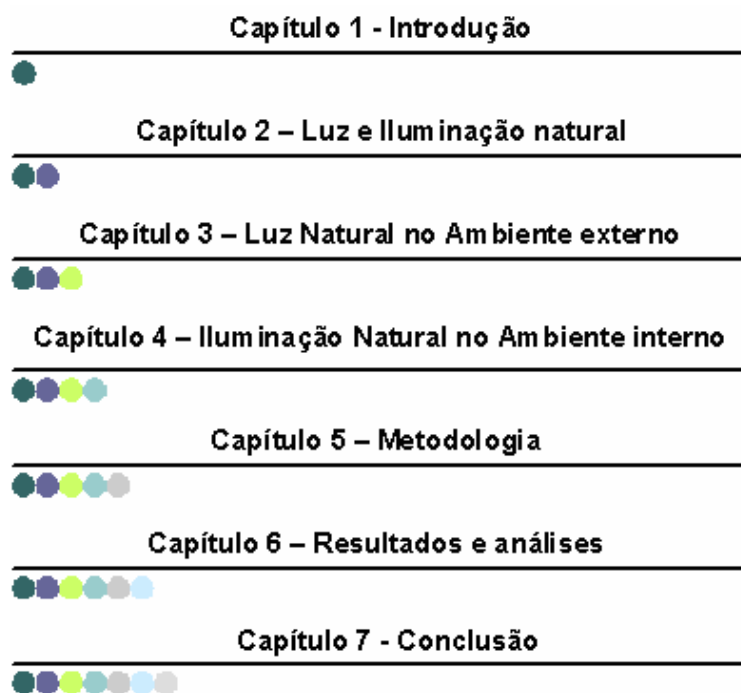


Figura 1. 3 – Estrutura do trabalho



## capítulo 2

---

# 2 iluminação natural

## 2.1 INTRODUÇÃO

A iluminação natural em um ambiente interno é aquela obtida através do uso de fontes diretas e/ou indiretas da luz natural. Sua utilização como fonte de luz em um ambiente interno requer, por parte do projetista da edificação, domínio das variáveis que influenciam no seu desempenho. Esse capítulo aborda os aspectos considerados de maior relevância no desenvolvimento do projeto com iluminação natural. A Figura 2.1 apresentada abaixo ilustra o mapa conceitual do desenvolvimento desse capítulo.

O capítulo inicia destacando dois aspectos: a importância do uso da luz natural e o entendimento do fenômeno da iluminação natural em um ambiente interno. Entende-se que esses aspectos devem estar absolutamente claros para que efetivamente a luz natural seja considerada no projeto.

A seção seguinte aborda os métodos e ferramentas de apoio ao projeto da iluminação natural, destacando-se os métodos gráficos, simulação computacional e o programa Apolux.

Por último, apresenta-se a descrição dos aspectos da legislação urbana e edilícia que abordam a iluminação natural.

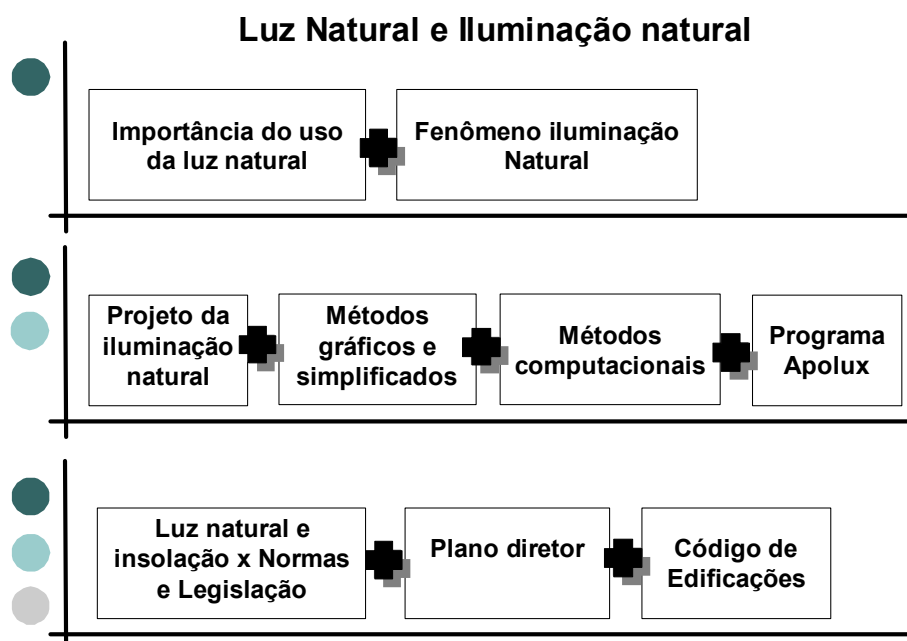


Figura 2. 1 – Mapa conceitual do capítulo 2: Luz e Iluminação natural

## 2.2 JUSTIFICATIVAS PARA USO DA LUZ NATURAL

Resultado da combinação da luz do sol com a luz do céu, a luz natural é a fonte de luz que mais se aproxima da nossa resposta visual, é a luz com a qual estamos acostumados há milhões de anos e que proporciona maior qualidade visual ao ambiente.

As pessoas preferem a luz natural devido aos benefícios psicológicos e fisiológicos que a mesma traz e que não podem ser obtidos com a luz artificial. A presença de uma abertura permite inúmeras vantagens, a começar pela visão e contato com o exterior, que proporcionam relaxamento através da paisagem e da orientação sobre condições do tempo e hora do dia e também benefícios físicos, como o alívio na atividade visual pelas mudanças na distância focal com a visualização de uma paisagem exterior (THERMIE ENERGY RESEARCH GROUP, 1994). Espaços iluminados predominantemente com luz natural, ver Figura 2.2, garantem ao local características dinâmicas de sombreamento, cor, reflexos e sombras.



Figura 2. 2 - Potsdamerplatz em Berlin (autora)

A luz, percebida pelos olhos, é o mais importante estímulo ambiental de regulação do sistema circadiano<sup>1</sup> e incide sobre o ânimo, a saúde e o comportamento das pessoas, bem como regula nosso relógio biológico interno. Além da produção da vitamina D, com a absorção da radiação ultravioleta, a iluminação artificial que simula o espectro solar pode também induzir esse processo metabólico no organismo humano, porém a quantidade de radiação ultravioleta disponível em fontes artificiais é normalmente baixa: 8 horas de exposição a uma fonte artificial de 100 candelas, por exemplo, equivalem a 3 minutos no exterior com céu claro (BAKER, 1993; LAM, 1986).

Estudos evidenciam que a dose de iluminação recebida por pessoas que permanecem a maior parte do dia em locais iluminados artificialmente pode ser insuficiente. Begemann e Beld (1997) conduziram pesquisas sobre os níveis de iluminação preferidos pelas pessoas em ambientes internos. Os resultados mostraram que elas normalmente optam por uma variação na iluminação seguindo o ciclo do dia, ao invés de níveis constantes, preferindo inclusive níveis de iluminação mais altos nos horários em que possivelmente ocorreria uma estimulação biológica através da luz. Observaram também que os níveis desejados pelas pessoas são significativamente maiores que aqueles exigidos pelas normas, sugerindo fortemente que a necessidade biológica de iluminação é diferente da necessidade visual.

A ausência da chamada “vitamina da luz” pode causar problemas de saúde, visto que a estimulação biológica influencia sensações como performance e disposição, qualidade do sono, conforto e bem estar. Com isso, do ponto de vista da necessidade biológica, pode-se inferir que muitos problemas de saúde têm sua origem na permanência prolongada das pessoas em espaços pouco iluminados (BEGEMANN; BELD, 1997).

O reconhecimento desses aspectos conduz ao entendimento de que a iluminação em um ambiente interno deve estar associada não somente ao atendimento da tarefa visual, mas também às necessidades psico-fisiológicas dos indivíduos. Contudo, atualmente, as normas que definem os níveis mínimos de iluminação em ambientes internos são feitas considerando somente as exigências para o desenvolvimento da tarefa visual (ASSAF; PEREIRA, 2003).

---

<sup>1</sup> Ciclo circadiano (*circa dies* do latim, cerca de um dia) corresponde a oscilações das funções fisiológicas do organismo humano associadas normalmente a determinados períodos do dia, por exemplo, a temperatura interna do corpo sofre variações de 1,1 a 1,2° C, sendo maior de dia e menor à noite. O ritmo circadiano é comandado principalmente pela presença da luz solar (LIDA, 1990).

No relatório elaborado pela CIE (2003), destacam-se os seguintes efeitos relacionados com a exposição à luz e com a saúde dos indivíduos:

- Há indícios de que a dose de iluminação recebida pelas pessoas dos países ocidentais poderia ser insuficiente para a sua saúde;
- As alterações no ciclo circadiano estão associadas a diferentes tipos de câncer e infecções imunológicas.

Uma das conseqüências do uso da luz artificial é que os dias se tornaram mais longos e as noites mais curtas. As pessoas passam atualmente grande parte do dia (senão o dia inteiro) em ambientes internos iluminados artificialmente. A permanência nesses ambientes, com níveis de iluminação considerados baixos para o atendimento das necessidades biológicas, significa que esses indivíduos recebem doses de radiação luminosa inferiores ao necessário.

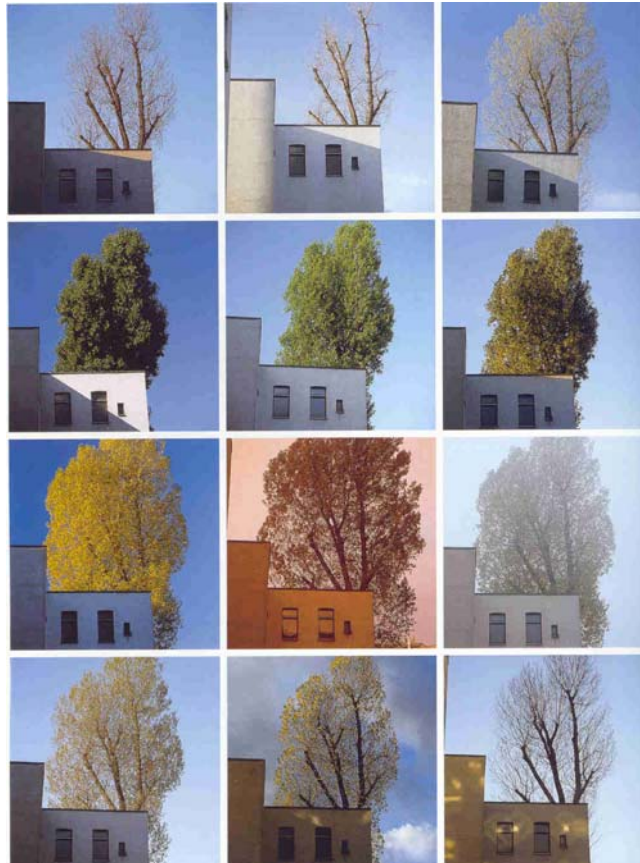
O conhecimento sobre a neurofisiologia da exposição à luz é ainda insuficiente para a reformulação de normas, mas o surgimento de doenças como a desordem emocional associada à estação do ano (*SAD - seasonal affective disorder*), síndrome associada à falta de luz nos períodos de inverno, comprova a necessidade e a dependência dos seres humanos em relação a níveis maiores de iluminação.

Sem dúvida, a presença de aberturas como possibilidade, mesmo que complementar, de iluminar naturalmente espaços internos, é a alternativa atualmente disponível de atendimento às necessidades psico-fisiológicas dos usuários.

A visão do exterior proporciona relaxamento e alívio de stress, assim como a visão do céu fornece informações sobre as condições climáticas, horário dia e estação do ano. É também uma das características da edificação exigidas pelo LEED - Leadership in Energy and Environmental Design - Green Building Rating System (2004). Em 90% dos espaços ocupados regularmente a visão e o contato com o exterior devem ser possíveis pelo usuário.

Outro aspecto inerente à luz natural é sua variabilidade. Durante o dia ocorrem pequenas variações nas propriedades de cor e intensidade luminosa, como conseqüência do horário, do mês, das estações anuais, do tipo de céu, da nebulosidade e das condições do ambiente externo. A Figura 2.3 exemplifica essa condição de variabilidade: para uma mesma situação, o autor, utilizando o mesmo filme, câmera e posição da câmera, registrou diferentes horas do dia e diferentes épocas do ano. O resultado é uma seqüência de imagens com grande variabilidade de cor e sombra.

Fontoynt (2002) ressalta ainda que, em decorrência dos aspectos positivos associados à luz natural, resultante da variabilidade na sua composição espectral e do contato com o mundo exterior que a mesma proporciona, torna-se difícil a simples comparação entre iluminação natural e artificial, através dos mesmos parâmetros.



**Figura 2. 3 - Variação espectral da luz em diferentes horas do dia, épocas do ano, condições de céu (KRAMER; VON LOM, 2002)**

Fanchiotti e Amorim (2001) ressaltam a tendência na arquitetura de procurar aumentar o uso da luz natural nos ambientes internos. Fato que se deve, muito provavelmente, à associação da mesma a uma melhora na qualidade dos ambientes internos, além da potencialidade de economia energética, que teria como resultado edifícios mais eficientes, saudáveis e confortáveis.

A luz natural é uma fonte gratuita e renovável que, ao substituir fontes artificiais, pode resultar em significativa economia de energia. Com a substituição da iluminação artificial pela natural tem-se uma economia direta, enquanto uma economia indireta pode ser obtida, por exemplo, com o aproveitamento da radiação solar no aquecimento do edifício em períodos frios. Em edifícios de escritórios, o



potencial de economia de energia com a substituição da iluminação artificial pela natural pode representar valores de 50% até 80% (GUTJAHR; MUELLER, 1996; BODART; DE HERDE, 2002; GALASIU; ATIF, 2002).

Segundo Assaf e Pereira (2003), os fatores que determinam o uso da iluminação natural podem ser agrupados segundo variáveis físicas, fisiológicas e psico-sociais, (ver Figura 2.4). As variáveis físicas referem-se à disponibilidade da luz natural no ambiente externo e à quantidade admitida no ambiente interno, enquanto as variáveis fisiológicas referem-se aos aspectos relativos ao conforto visual. Por último, as variáveis denominadas de psico-sociais referem-se ao comportamento do usuário em relação ao aproveitamento da luz natural. Para que o aproveitamento da luz natural efetivamente ocorra, todas essas variáveis devem ser avaliadas e consideradas no desenvolvimento do projeto, na implantação e no monitoramento dos sistemas de iluminação natural.

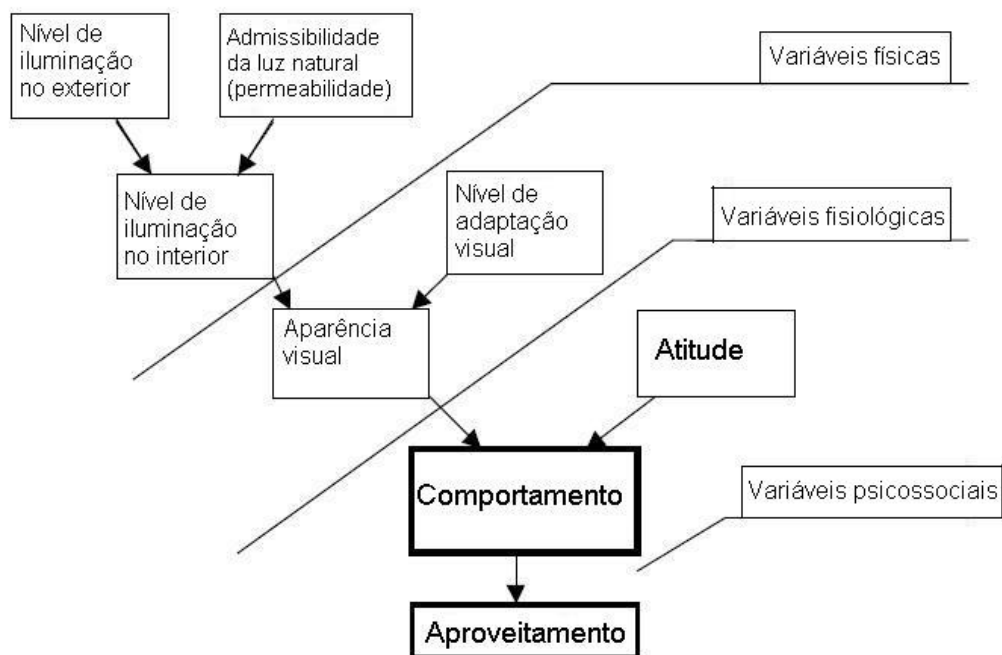
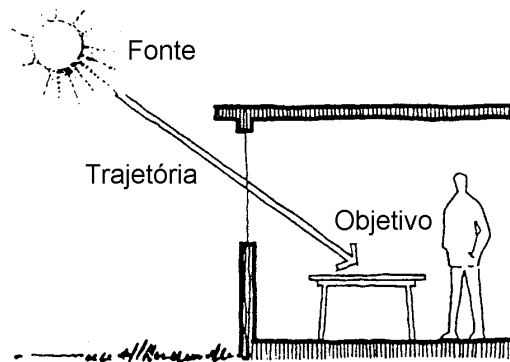


Figura 2. 4 – Fatores determinantes no aproveitamento da luz natural (ASSAF; PEREIRA, 2003)

### 2.2.1 Entendimento do fenômeno da iluminação natural

A motivação do projetista é uma variável de grande importância para que a luz natural seja incorporada no desenvolvimento do projeto. Contudo, se o profissional não tiver domínio sobre o fenômeno físico envolvido no processo de iluminação natural, muito provavelmente, as chances de aproveitamento da luz natural como fonte de iluminação serão reduzidas. Esse entendimento se faz necessário não somente para os profissionais que desenham ambientes internos, mas também para aqueles envolvidos com o planejamento das cidades, ou do meio urbano.

Para o entendimento da iluminação natural é necessário considerar dois fenômenos relacionados com a trajetória da luz. Simplificadamente, a luz pode ser entendida através de um fenômeno seqüencial entre o caminho a ser percorrido pelo raio de luz (trajetória) e o objeto a ser iluminado, apresentado na Figura 2.5 a seguir.



**Figura 2. 5 – Trajetória da luz proveniente de uma fonte pontual (MOORE, 1985)**

O esquema visualizado na Figura 2.5 descreve bem o fenômeno da luz proveniente de uma fonte pontual, como o sol ou uma lâmpada. Contudo, em se tratando de uma fonte difusa, como o céu encoberto, é necessária outra abordagem. Denominada de modelo conceitual (MOORE, 1986), essa abordagem considera a iluminação como uma função das áreas de brilho vistas pelo objeto iluminado, como mostrado na Figura 2.6.

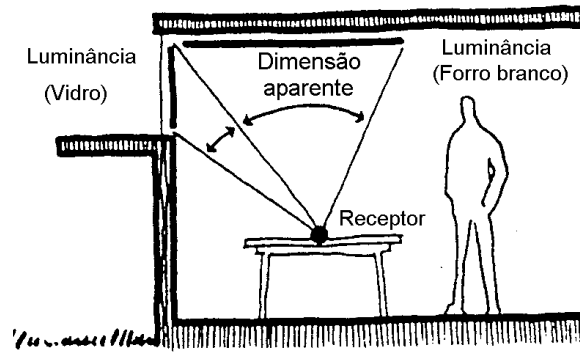


Figura 2. 6 - Iluminação proveniente de fonte difusa (MOORE, 1985)

O montante de luz que chega é produto da luminância de uma fonte particular multiplicada pela sua dimensão aparente vista no ponto a ser iluminado (receptor). A dimensão aparente da fonte vista pelo receptor é função da dimensão da fonte, da distância e da inclinação relativa da fonte em relação ao receptor (ver Figura 2.7).

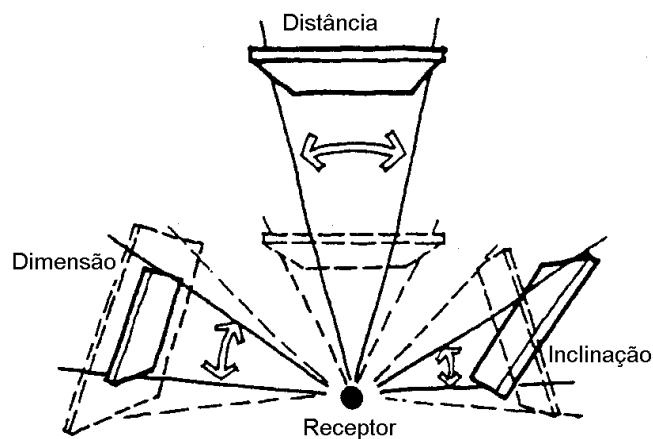


Figura 2. 7 – Iluminação como resultado da dimensão aparente da fonte, distância e inclinação (Moore, 1985)

Ao transpor o modelo conceitual de Moore (1986) para o entendimento do fenômeno da luz natural no meio urbano e, conseqüentemente da iluminação natural no ambiente interno, a abóbada celeste torna-se uma fonte de luz difusa que é vista parcialmente no ambiente interno. O fator de céu representa a parcela do céu visível para um determinado ponto (receptor) e está associado à dimensão da fonte, enquanto a inclinação da fonte depende de variáveis inerentes ao ambiente interno e da relação desse com o hemisfério. Considerando-se ainda que o céu apresenta

diferenças de brilho, tem-se a variável relativa a essa condição, associada ao tipo de céu e a diversas partes do mesmo.

A iluminação natural se constitui em um sistema e como tal possui variáveis intervenientes, sobre as quais o projetista deve ter domínio. Segundo Oral *et al.* (2004), as variáveis relacionadas com a iluminação natural no ambiente interno podem ser divididas em dois grupos: o do ambiente externo e o do ambiente edificado. Variáveis do ambiente externo são a radiação solar e o nível de iluminação externo, enquanto as variáveis do ambiente edificado dividem-se em variáveis do entorno, variáveis do edifício, variáveis do ambiente e variável dos elementos do edifício:

- As variáveis do entorno são a dimensão e orientação dos obstáculos externos (topografia, edifícios e outros), a refletividade das superfícies externas (luz direta e difusa) e a característica das superfícies horizontais externas (piso);
- As variáveis do edifício são orientação e formato da construção;
- As variáveis do ambiente são a posição do ambiente no edifício, suas dimensões e o fator de forma, sua orientação e coeficiente de reflexão das superfícies internas;
- As variáveis dos elementos do edifício relacionadas com a iluminação natural referem-se às propriedades dos componentes transparentes, que são as dimensões dos elementos transparentes, o número de camadas de vidro, os coeficientes de reflexão, a absorção e transmissão da radiação solar do vidro, o tipo de caixilho e o fator de manutenção do vidro.

Muller *et al* (1997) destacam as seguintes variáveis intervenientes na iluminação natural no ambiente interno:

- Entorno, forma e tamanho do edifício, orientação das aberturas;
- Profundidade e pé-direito do ambiente, e o coeficiente de reflexão das superfícies internas;
- Tipo de abertura (dimensionamento, posicionamento e detalhes), coeficiente de transmissão do vidro utilizado e o tipo de proteção contra a radiação solar.

## 2.3 PROJETO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

O avanço tecnológico na indústria da iluminação artificial e as facilidades de projeto que a mesma oferece contribuíram para o cenário atual, no qual a iluminação natural tem sido freqüentemente negligenciada, normalmente na fase de projeto e, conseqüentemente, na utilização do espaço construído.

A luz natural apresenta-se como uma alternativa de energia renovável e gratuita, no entanto, convive-se diariamente com o paradoxo da disponibilidade de luz natural no ambiente externo, enquanto ambientes internos, principalmente edifícios de escritórios, são iluminados artificialmente, incorrendo em grande consumo de energia com iluminação artificial (LAM; LI, 1999; LANGER, 1999; LAAR, 2002, IWASHITA, 1999; ORNSTEIN; 1999; SILVEIRA, 2001; WOTTON, 1998).

Considerando-se um típico processo linear de projeto, usado por muitos escritórios de arquitetura e composto das fases de pré-projeto, projeto esquemático e desenvolvimento do projeto, Robbins (1986) sugere que a consideração da iluminação natural deveria iniciar na fase de pré-projeto. Nessa fase, seriam desenvolvidos o planejamento da iluminação natural, a análise da disponibilidade de luz natural, a análise da insolação e do entorno. Nas etapas subseqüentes, seriam trabalhados o conceito e os sistemas de iluminação natural que se pretende utilizar. O autor sugere também que, tanto no desenvolvimento do projeto da iluminação natural quanto na análise do desempenho das soluções empreendidas, devem ser utilizados métodos e ferramentas de apoio ao desenvolvimento e análise do projeto.

Segundo Baker e Steemers (2002), os métodos e ferramentas auxiliam na obtenção dos seguintes objetivos:

- Prever os níveis de iluminação no ambiente interno;
- Analisar o acesso solar no ambiente interno e no entorno;
- Prever a ocorrência de ofuscamento;
- Analisar o desempenho do sistema de iluminação natural e dos elementos de controle da radiação solar;
- Prever a economia de energia com o uso da luz natural;
- Visualizar o projeto de iluminação natural.

Aschehoug et al. (2000) também destacam que as ferramentas de apoio ao projeto oferecem as seguintes possibilidades:

- Visualização do ambiente luminoso resultante de uma determinada solução de projeto;
- Estimativa do fator de luz do dia;
- Identificação de problemas como ofuscamento e análise sobre outros índices de conforto visual;
- Controle da penetração dos raios do sol e visualização do comportamento dinâmico da luz do sol.

Os métodos utilizados para o cálculo e análise da iluminação natural dividem-se em métodos gráficos, modelo em escala reduzida e simulação computacional. O cálculo da iluminação natural no ambiente interno é útil em várias fases do projeto. Os métodos simplificados permitem avaliações rápidas nas primeiras etapas do projeto, enquanto simulações detalhadas e complexas, através de simulação computacional, juntamente com outros aspectos como consumo de energia e carga térmica, são mais adequadas às etapas finais de definição do projeto (BAKER; STEEMERS, 2002).

Nos itens seguintes são apresentadas as ferramentas de apoio ao desenvolvimento do projeto, destacando-se os métodos gráficos e a simulação computacional. Além desses, são comentados também o método dos cenários e o programa Cityzoom, ferramentas utilizadas nesse trabalho para alcance dos objetivos pretendidos.

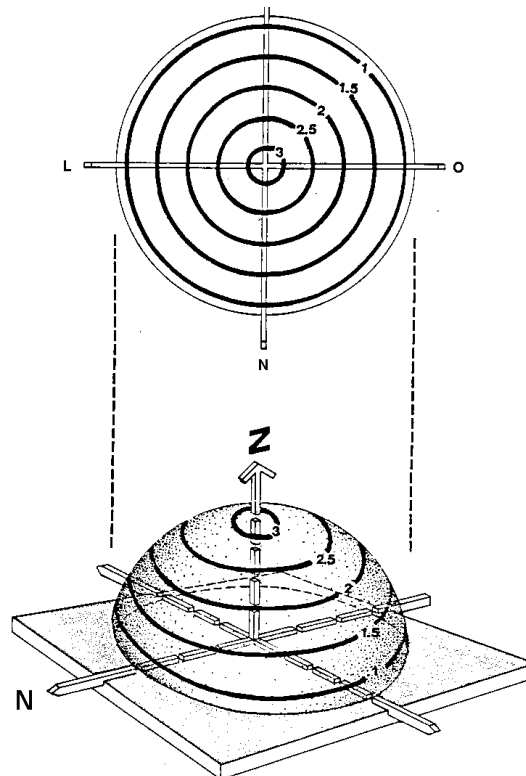
### 2.3.1 Métodos gráficos e simplificados

Métodos simplificados, matemáticos, gráficos ou tabulares apresentam a vantagem de possibilitar rapidamente uma avaliação dos níveis de iluminação natural, que pode ser muito útil nos primeiros estágios do projeto. Segundo Baker et al. (1993), cálculos da luz natural, como o Fator da Luz do Dia (FLD), têm várias formas de realização: utilizando-se equações, gráficos, ferramentas manuais, nomogramas e outros. Cada método pode ser mais ou menos adequado, de acordo com a preferência do usuário ou com o estágio e acuracidade do projeto.

No contexto desse trabalho, destacam-se os métodos gráficos utilizados na análise sobre a abóbada celeste, obstrução do céu visível e insolação.

A abóbada celeste é considerada como um hemisfério de raio infinito e unitário, que possui em seu centro o ponto de estudo considerado (NBR 15215-2, 2005). A

mesma pode ser representada sobre um plano bidimensional, através da projeção da superfície do globo terrestre sobre um plano, a partir de um determinado ponto (denominado de ponto impróprio, ponto de vista, de mira ou pólo de projeção). Diferentes posições desse ponto conduzem a diferentes tipos de projeções. Projeções eqüidistantes representam a esfera inteira, enquanto projeções estereográficas, gnomônicas e ortográficas representam um hemisfério (FONSECA, 1983; FROTA, 2004). Os tipos mais comuns de diagrama solar são aqueles obtidos através de projeção eqüidistante, ortográfica e estereográfica, sendo que o diagrama de projeção estereográfica é o mais utilizado (ENERGY RESEARCH GROUP, 2000). A Figura 2.8 representa a projeção da abóbada celeste sobre um plano com distribuição de luminâncias para céu encoberto.

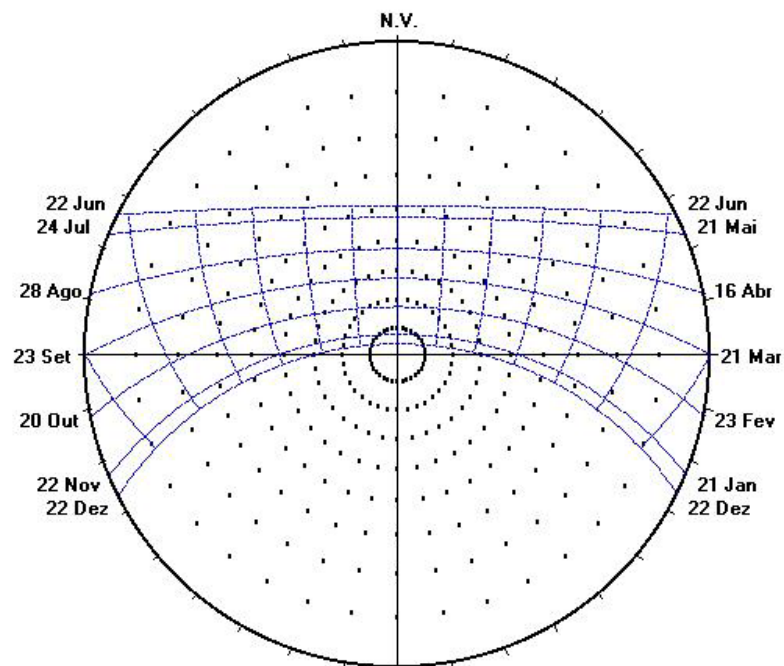


**Figura 2. 8– Projeção da abóbada com a distribuição de luminâncias para céu encoberto (MOORE, 1986)**

A projeção da abóbada é o primeiro passo para a obtenção dos diagramas de distribuição de luminâncias, que consiste na caracterização da contribuição relativa correspondente a cada parcela do céu, estando o mesmo subdividido em parcelas ou zonas (TREGENZA, 1993; LYNES, 1968). Outro aspecto de relevância é a

projeção das obstruções do entorno, que possibilita a análise da obstrução do céu visível para um determinado ponto.

A análise da insolação pode ser realizada utilizando-se a carta solar, que consiste na reprodução gráfica da trajetória solar em diferentes períodos do ano e hora do dia, para uma determinada latitude. A construção do diagrama solar é resultado da aplicação de conceitos da geometria descritiva, que consiste na projeção de arcos de círculos paralelos e inclinados sobre um plano horizontal (BITTENCOURT, 1990; OLGAYAY, 1998). A Figura 2.9 apresenta a carta solar para a cidade de Florianópolis (latitude  $27^\circ$  Sul), produzida com o programa Luz do Sol desenvolvido por Roriz (1995). As trajetórias solares na abóbada celeste se projetam como circunferências, arcos de circunferências ou retas e representam as diversas épocas do ano, indicadas nas laterais esquerda e direita da Figura 2.9. As linhas que cortam essas trajetórias indicam as horas do dia, em intervalos de uma hora, sendo que o horário das 12:00 horas coincide com a direção do Norte (linha central vertical na Figura).



**Figura 2. 9 – Diagrama ou Carta Solar para a cidade de Florianópolis (RORIZ, 1995)**

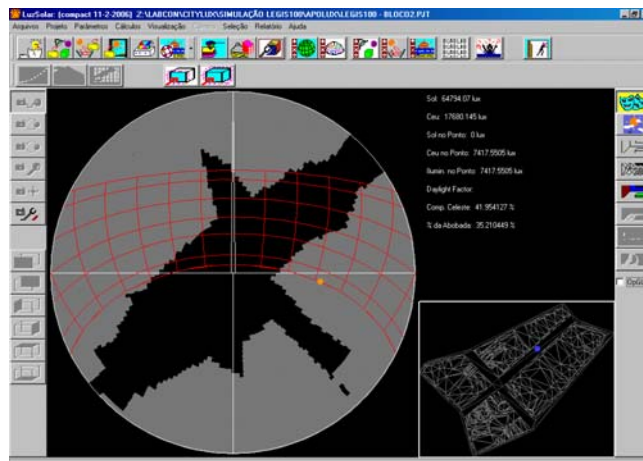
Cartas solares são indicadas na resolução de problemas de geometria da insolação, a partir de plantas, cortes e coordenadas horizontais do Sol acima do plano no horizonte de um lugar. Aplicada sobre uma planta e orientada em direção ao norte verdadeiro, a carta solar oferece uma visão clara das posições ocupadas



pelo sol em sua trajetória. Os usos mais comuns são: determinação de insolação de fachadas, determinação e traçado das sombras, identificação da penetração de sol nas aberturas e projeto de elementos de proteção da radiação solar (FROTA, 2004).

Através de um sistema de projeção é possível também representar graficamente as obstruções, resultantes do entorno natural ou edificado, que se interpõem entre um ponto em análise, a fachada ou espaço e a abóbada celeste. O gráfico resultante é denominado de máscara de sombra, através da qual pode-se visualizar partes da abóbada celeste que estarão visíveis ou obstruídas (BITTENCOURT, 1990). O cálculo da área visível do céu, para um determinado ponto, resulta no fator de céu visível.

A máscara de sombra pode ser construída manualmente, com o auxílio do transferidor de ângulos ou através de um programa computacional. A imagem apresentada na Figura 2.10 foi gerada no programa Apolux (ver item 2.3.3) e representa, para um ponto localizado no meio da rua, as projeções de obstruções (parte em cinza escuro) em um cenário urbano. A trajetória solar sobre as obstruções indica os horários e épocas do ano nas quais, para aquele ponto, haverá sombra.



**Figura 2. 10- Imagem gerada com o programa Apolux representando a obstrução da abóbada celeste**

### 2.3.2 Métodos computacionais

Os programas de simulação computacional para simulação da luz e da iluminação natural são basicamente de dois tipos: o baseado na cena (independente

do ponto de observação), como o método da radiosidade, e o baseado na imagem (dependente do ponto do observador), nesse caso o método Ray-tracing.

O método Ray Tracing, ou traçado de raios, se constitui no seguimento de raios, na direção inversa à direção de propagação destes. São traçados raios entre o ponto em que se localiza o observador e os objetos observados, passando por um anteparo que tem uma partição uniforme (os pixels). Esse anteparo é o plano de projeção da cena que se quer representar.

Radiosidade é um método de interação de superfícies difusas, no qual é aplicado um conceito de visibilidade aparente entre uma superfície luminosa e outra; esta relação é aplicada a todas as interações entre duas superfícies que se visualizam em um dado ambiente.

Ambos os métodos possibilitam avaliações quantitativas e qualitativas da iluminação natural em espaços edificados. Atualmente existe grande número de opções em programas que simulam o comportamento da luz natural, podendo ser citados: Desktop Radiance, Relux, Lightscape, Adeline, Lumenmicro, Dialux, Ecotect e Troplux, entre outros (ASCHEHOUG et al., 2000; MARSH, 2005; CABUS, 2005).

Uma das limitações dos programas computacionais é que não contemplam simultaneamente todos os aspectos que devem ser considerados no projeto, ou adequam-se somente a determinadas fases do projeto (GEEBELEN, 2001; AUGENBROE, 2004). Além disso, como visto anteriormente, existe grande dificuldade de integração entre o processo de desenvolvimento do projeto arquitetônico e as ferramentas de apoio (DE WILDE et al., 2004).

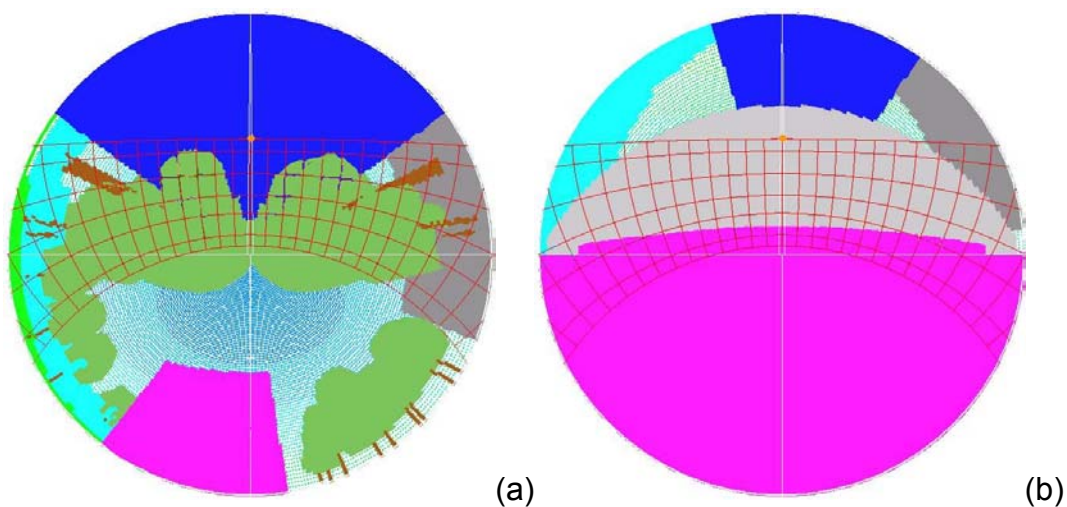
Essas constatações têm conduzido à tendência atual de desenvolvimento de ferramentas computacionais de apoio ao projeto, que efetivamente sejam utilizadas na tomada das principais decisões de projeto. Essas ferramentas, além de um ambiente CAD, integrariam a possibilidade de análise de desempenho do comportamento térmico, lumínico, de ventilação, etc. Os programas DAI - Design Analysis Integration – e o BDA – Building Design Advisor – podem ser citados como exemplos dessa nova geração de ferramentas de apoio (REICHARD, 2005; DE WILDE et al., 2004; AUGENBROE, 2003; HIEN et al, 2000; PAPAMICHAEL, 1999).

O programa BDA integra diferentes possibilidades de análise de performance, como térmica (DOE), iluminação (Radiance) e ventilação (COMIS). Considerando-se que é no estágio inicial de desenvolvimento do projeto arquitetônico que são tomadas as mais importantes decisões que afetam a performance energética da

edificação (HILLER et al, 1999; DE WILDE et al 1999), um dos principais objetivos desses programas é que é a sua utilização logo nos primeiros estágios de desenvolvimento do projeto arquitetônico, quando ainda detalhes de componentes e sistemas do edifício não foram especificados. Outro objetivo é que, ao agregar diferentes possibilidades de análise de desempenho, juntamente com uma ferramenta CAD, o arquiteto e a equipe de projeto podem simultaneamente fazer uso da mesma ferramenta computacional.

Dentro dessa tendência é importante observar que as ferramentas computacionais podem ser utilizadas nas diversas etapas do projeto, e, embora apresentem a possibilidade de estudos complexos, auxiliam na resolução de simples questionamentos, como a análise da insolação. Nesse caso, ferramentas computacionais de estudo da insolação oferecem a vantagem de maior rapidez e facilidade de manuseio, em que várias alternativas de projeto, como orientação e geometria, podem ser rapidamente analisadas (CAPELUTO, 2003).

Na Figura 2.11 observa-se um exemplo da justaposição do gráfico denominado máscara de sombra e a carta solar. A construção da figura foi feita através de projeção azimutal estereográfica com auxílio do programa Apolux, desenvolvido por Claro (1998). A imagem (a) trata de um ponto localizado em um espaço externo cercado por vegetação e edifícios. A imagem (b) representa uma abertura com elemento de proteção.



**Figura 2. 11 - Superposição máscara do entorno e carta solar, (a) ambiente externo e (b) máscara de um elemento de proteção (ZEILMANN, 2003)**

Shaviv e Yezioro (1997) desenvolveram uma ferramenta computacional simplificada para análise das sombras nas edificações provocadas pelo entorno. Através da mesma é possível avaliar aspectos qualitativos da insolação sobre uma fachada. Os autores utilizaram o termo coeficiente geométrico de sombra (CGS) para expressar a razão entre a superfície sombreada e a área total da superfície (ou fachada). A ferramenta auxilia no projeto de edifícios e entorno, bem como na localização de sistemas ativos e passivos de captação solar.

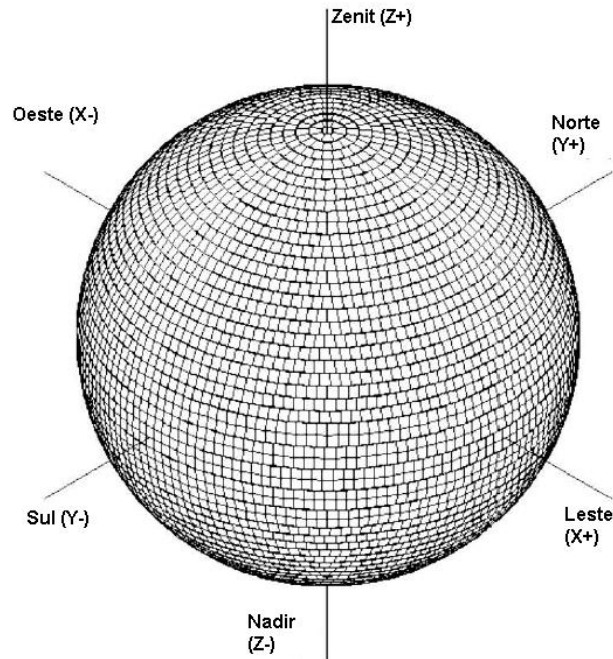
Ferramentas computacionais apresentam também a vantagem de estarem aliadas a outras tecnologias, como por exemplo, a fotogrametria digital que permite, de forma rápida e precisa, a reconstrução de modelos tridimensionais do meio urbano. O processo dá condições, por exemplo, de analisar o projeto de iluminação natural baseado em reais e complexas obstruções externas. Imagens aéreas ou de satélites, *scanners a laser* e outros, também podem ser citados como tecnologias promissoras de apoio ao projeto (NIKIFORIADIS, 2003).

### 2.3.3 O programa computacional Apolux

O programa Apolux tem como base de cálculo da luz natural o modelo vetorial esférico proposto por Claro (1998), professor e pesquisador do Laboratório de Conforto Ambiental (LabCon) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e utiliza o algoritmo da radiosidade para a determinação da iluminação natural e do modelo de luminância de céu proposto pela IES (Illuminating Engineering Society of North América). Comparações qualitativas com o programa Lightscape apontaram consistência no método (CLARO; PEREIRA, 2001 e 2002; PEREIRA et al, 2007).

O método desenvolvido para o programa utiliza um referencial único, ligando os pontos cardeais, associados a um sistema de representação cartesiana do projeto em análise, a um globo dividido em faixas subdivididas em parcelas aproximadamente homogêneas, sobre as quais são representadas tanto as características do céu quanto as relações de visibilidade entre cada parcela e todas as outras, assim como cada uma delas com o céu. No globo, a esfera celeste é dividida em faixas de variação uniforme na altura, por sua vez divididas em ângulos de azimute, de forma a subdividir cada faixa em parcelas iguais, sendo que no conjunto das faixas as parcelas representam ângulos esféricos aproximadamente

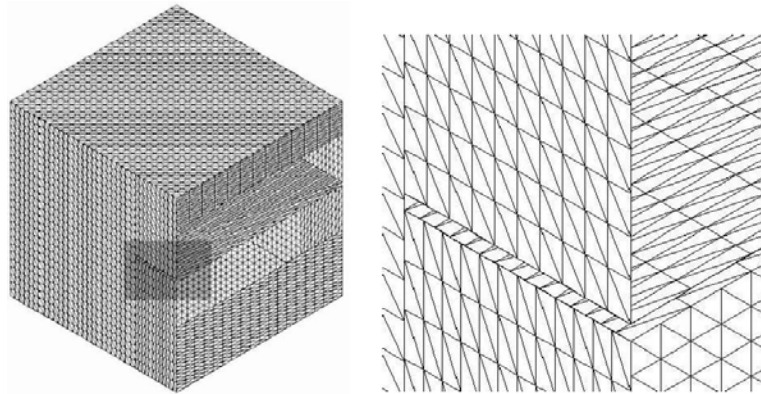
iguais. O programa faz uso de divisões entre aproximadamente 1.500 e 145.000 parcelas. A Figura 2.12 mostra o globo dividido em 60 faixas.



**Figura 2. 12 – Globo dividido em 60 faixas com 5.902 parcelas (CLARO; PEREIRA, 2002)**

A abóbada celeste consiste na representação da energia distribuída pelo céu, segundo o globo, no qual os valores unitários estão contidos em uma matriz, cujo índice corresponde à sua posição no globo. A posição do Sol também é dada por um índice que o posiciona no globo. O método utilizado para a definição dos valores da abóbada e da posição do sol é o descrito por Tregenza (1993).

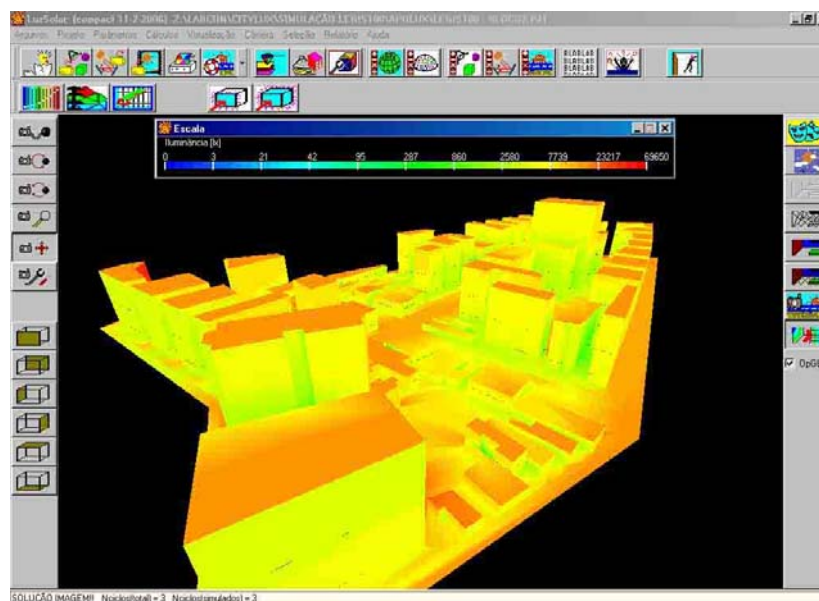
O projeto usado no modelo é representado sob dois aspectos: características geométricas (espaciais) e características físicas dos materiais. As características geométricas encontram-se apoiadas em um sistema cartesiano tradicional (eixos X, Y e Z). O sistema de referência do projeto tem orientação coincidente do eixo Z+ com o Zenit, o eixo X+ com a direção Leste e o eixo Y+ com a direção Norte. Sobre esses eixos se apóiam os cossenos diretores tanto obtidos a partir dos elementos de projeto quanto do globo. Os objetos são constituídos de planos, que são delimitados por vértices e possuem uma normal constituída de 3 cossenos diretores (x, y e z) e pela distância perpendicular do plano à origem do sistema cartesiano. Os planos são subdivididos em triângulos menores (fracionamento dos planos). A Figura 2.13 exemplifica o fracionamento em um modelo.



**Figura 2. 13 - Projeto dividido em triângulos e detalhe das divisões (CLARO; PEREIRA, 2002)**

As características físicas dos materiais se caracterizam no programa em três tipos básicos: opacos, translúcidos difusos e transparentes. Os planos representam a superfície dos objetos. Os materiais, opacos ou transmissores, podem ser caracterizados de difuso a especular (CLARO, 1998; CLARO; PEREIRA, 2002).

O programa permite simular o comportamento da luz natural e fornece informações de iluminâncias, luminâncias e FLD, para qualquer superfície nas diversas épocas do ano e horas do dia, em ambientes internos ou externos. Na Figura 2.14 visualiza-se uma imagem tridimensional produzida pelo programa. As cores estão relacionadas com as iluminâncias encontradas nas superfícies do modelo.



**Figura 2. 14 – Imagem gerada com o programa Apolux com as iluminâncias sobre as superfícies em um cenário urbano gerado com o Cityzoom**

## 2.4 LEGISLAÇÃO E NORMAS

Códigos de edificações, normas, leis locais ou federais são mecanismos utilizados para regular a construção das edificações em aspectos relativos à segurança contra incêndio, estrutural e de saúde, assim como a conservação de energia e a acessibilidade.

No caso dos Estados Unidos, muitos estados possuem algum tipo de legislação que prevê normas de conservação de energia, destacando-se nesse contexto, o Model Energy Code (MEC) e a norma da ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Energy Efficient Design of New Buildings Except Low-Rise Residential Building, de 1989 (SCOTT, 1997).

Na Europa estão incluídos, na Comunidade Européia, os comitês que tratam da regulamentação de normas e códigos sobre a limitação no consumo de energia das edificações. Países como Alemanha e Inglaterra possuem normas específicas sobre a iluminação natural em ambientes internos e no meio urbano, respectivamente a DIN 5034 e a BS 8206. Alucci et al. (1997) destacam, além das normas alemã e inglesa sobre iluminação natural, a norma Argentina, IRAM AADL J 20-02/69.

A norma Argentina, que trata especificamente da iluminação natural, estabelece os níveis de iluminação através do fator de luz diurna (FLD) e indica um método de cálculo para o FLD (IRAM AADL, 1969).

A norma britânica, segundo Littlefair (2001), estabelece que ambientes iluminados lateralmente devem atender requisitos como:

- Coeficiente de luz diurna de 2% em cozinhas, 1,5% em ambientes de estar e 1% em dormitórios. O ambiente interno não deve apresentar áreas significativas que não recebam luz direta do céu.

Embora a luz natural direta freqüentemente seja evitada, o BS 8206 recomenda que, em locais onde os usuários têm pouco contato com o exterior, o espaço receba luz solar direta para um mínimo de 25% das horas prováveis de luz solar direta e que no mínimo 5% dessas horas devem ocorrer no inverno (WOTTON, 1998).

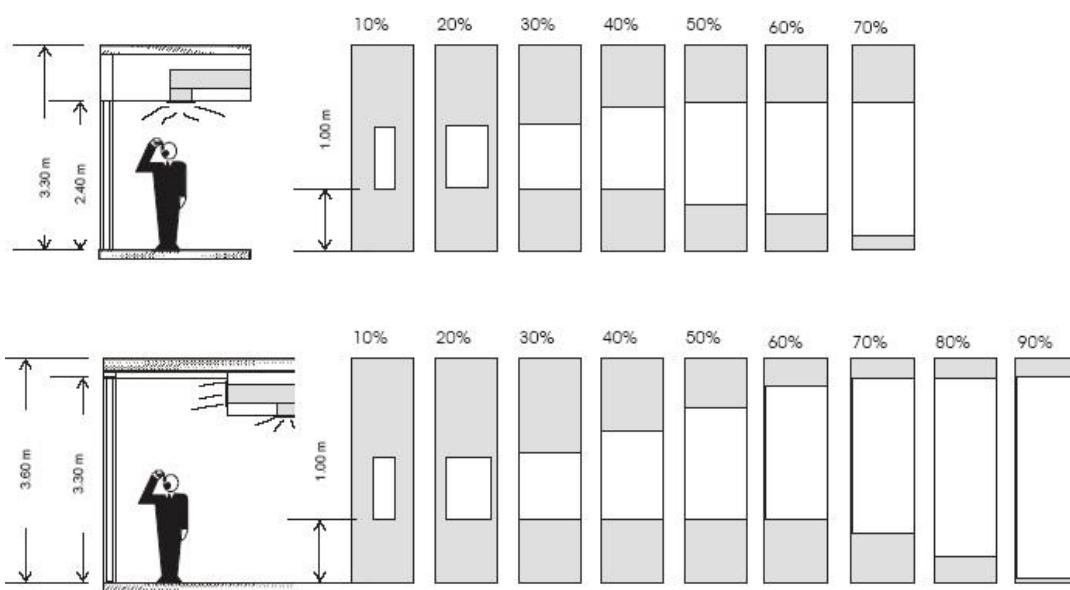
A DIN 5034, por sua vez, recomenda uma iluminação natural de no mínimo 0,6 daquela estabelecida como mínimo para luz artificial (DIN 5035), nos locais mais desfavoráveis à luz natural no ambiente, o que corresponde a uma iluminância de 300 lux para um escritório. A norma também sugere uma insolação, no meio da

abertura, de no mínimo quatro horas diárias e estabelece os coeficientes de reflexão das superfícies internas: 0,7 para o forro; 0,5 para paredes e 0,2 para o piso.

Alucci et al. (1997) ressaltam ainda que as normas produzidas na área da iluminação natural consideram as orientações da Commission Internationale de L'Eclairage (CIE), além das recomendações estabelecidas pela IES.

Aspectos relativos à iluminação natural também são vistos nas normas de eficiência energética que normalmente apresentam exigências relativas às aberturas, já que os fechamentos transparentes são representativos na perda ou ganho de calor da edificação. A norma da ASHRAE (1995) recomenda a adoção de um conjunto de critérios que considere a carga interna do ambiente, o fator de proteção solar, o coeficiente de sombreamento, a presença ou ausência de sistema de controle da luz artificial e a transmitância térmica da abertura.

A norma de eficiência energética em edificações na Austrália (ABCB, 2001 apud PEDRINI, 2002) recomenda diferentes áreas de abertura por área de parede externa, de acordo com o formato do edifício. A abertura deve iniciar a 1 metro de altura do piso (altura da abertura com 1 metro) e quanto maior a área, mais essa deverá ser ampliada no sentido lateral até alcançar o máximo da largura da parede externa. Somente depois ela poderá ser acrescida na altura, até chegar ao máximo pé-direito e, por último, ser ampliada abaixo da altura do peitoril, conforme explicita a Figura 2.15.



**Figura 2. 15 – Indicação de formato da janela para diferentes WWR (ABCB, 2001 apud PEDRINI, 2002)**



A exigência do LEED (2004) em relação à iluminação natural, para a obtenção do certificado de edifício verde (*green buildings*), é de que espaços internos tenham FLD de 2%, em pelo menos 75% dos espaços ocupados e com tarefas visuais.

No Brasil, a Lei Nº10.295, sancionada em 2001, dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. O objetivo é a racionalização no consumo de energia e espera-se assim incentivar o desenvolvimento de mecanismos para obtenção da eficiência energética em equipamentos e edificações. A inserção da iluminação natural na edificação é uma estratégia de eficiência energética, sendo, portanto uma das possibilidades da efetiva aplicação da lei.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas também possui recomendações de estratégias para conforto térmico e lumínico. Sobre iluminação natural existe a norma NBR 15215, de 2005, composta de 4 partes, a qual apresenta procedimento de cálculo para estimativa da disponibilidade de luz natural, determinação da iluminação em ambientes internos e verificação experimental das condições de iluminação. Essa norma auxiliou no desenvolvimento desse trabalho no momento em que foram analisadas as contribuições relativas de zonas da abóbada, procedimento relatado no capítulo da metodologia.

Contudo, normas são indicações, o que não implica necessariamente a sua aplicação. O Plano Diretor e o Código de Obras e Edificações são os dispositivos legais para o controle e fiscalização do espaço construído e do meio urbano, através de relações que orientam a sua produção formal. Esses são, atualmente, os principais dispositivos que apresentam exigências em relação à iluminação natural e insolação na edificação.

#### 2.4.1 Plano diretor

No planejamento dos critérios a serem adotados para o controle do espaço construído, em relação à iluminação natural, dois importantes objetivos devem ser considerados: garantir suficiente luz natural e insolação nas faces e entre os blocos de edifícios para boas condições de iluminação interior e exterior; garantir em detalhes que a insolação e a luz natural estejam exatamente onde forem desejadas, seja em jardins internos, ambientes internos e outros (DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT WELSH OFFICE, 1972).

Segundo Robbins (1986), para garantir o acesso da luz natural, dois grupos de objetivos devem ser levados em conta: planejamento e proteção.

No planejamento da luz natural o objetivo é garantir a disponibilidade da luz natural nas fachadas das edificações e nos espaços entre as edificações, assim como garantir a disponibilidade de luz natural aonde ela venha a ser desejada, seja em espaços internos ou externos.

Na proteção da luz natural o objetivo é a garantia de que a disponibilidade da luz natural mantenha-se nas novas edificações a serem construídas, assim como em reformas e novas inserções em edifícios existentes. Igualmente as edificações adjacentes a novos projetos devem ter sua disponibilidade à luz natural protegida.

Na legislação urbanística, os recuos, afastamentos e indicadores de altura admissíveis são os dispositivos que permitem regular o meio urbano para garantir à edificação o acesso da luz direta do sol e da luz natural no ambiente interno. O afastamento frontal obrigatório, ou recuo, é a linha que demarca o limite entre os terrenos de propriedade privada e o logradouro público, enquanto o afastamento lateral é a menor distância, definida na legislação municipal de Uso e Ocupação do Solo, entre uma edificação e as divisas do lote onde se situa (BAHIA, 1997).

Contudo, aparentemente os indicadores utilizados foram estabelecidos sem uma análise criteriosa dos resultados advindos da sua aplicação. Aspectos como a insolação, orientação e latitude do local, entre outros, são negligenciados. Moraes e Scarazzato (2003) compararam a aplicação da lei urbanística, vigente na cidade de Campinas, com a aplicação dos métodos de definição de alinhamento e afastamento entre edificações proposto por Robbins (1986) e Hopkinson (1975). Com os resultados, os autores puderam perceber que a lei atual não atende às exigências propostas. Os critérios dos métodos propostos por Robbins e Hopkinson consideram variáveis como a latitude do local e a porção mínima de céu visível.

Algumas cidades, como é o caso de Florianópolis, têm adotado a exigência de afastamento gradativo da edificação conforme ela cresça verticalmente. Porém, autores como Alucci (1986) observam que a adoção de um mesmo ângulo de altura, para todas as orientações, penaliza áreas com orientações favoráveis, limitando o adensamento onde não haveria necessidade. Além disso, diferentes ângulos apresentam a vantagem de possibilitar maior diversidade urbana.

A nova lei de zoneamento e uso do solo de Curitiba, em vigor desde abril de 2000, exige maior área de afastamento entre as edificações, objetivando evitar a

formação de áreas de sombra e melhorar as condições de insolação e ventilação em local onde o adensamento é maior (DUARTE; SERRA, 2003). No entanto é preciso, além de indicadores baseados em critérios claros e relacionados com o clima do local, criarem-se dispositivos e métodos de controle, para que efetivamente as exigências sejam fiscalizadas e atendidas. Suga e Krüger (2005) observaram que, no centro urbano de Curitiba, a legislação permite a ocupação de 50% do solo, com uma taxa de ocupação 6 vezes a área do terreno. Esses índices, quando aplicados, resultam em pavimentos térreos desprovidos de incidência solar direta no solstício de inverno. Os autores também ressaltam a necessidade de que as legislações de uso do solo considerem a influência de fatores como a latitude e a orientação para a regulamentação das construções, levando em conta as peculiaridades do local e da região.

A proposta desenvolvida para a cidade de Belo Horizonte (PREFEITURA DE BELO HORIZONTE, 1995), em relação à iluminação natural e insolação das edificações, estabelece os seguintes critérios:

- Insolação de, pelo menos, uma hora no solstício de inverno para o quadrante norte (orientação de leste a oeste, sentido anti-horário).
- Iluminação natural mínima de 150 lux das oito às dezesseis horas, em 80% do ano.

No desenvolvimento da proposta, inicialmente, realizou-se um diagnóstico da situação atual, em que as orientações mais freqüentes testadas nos lotes, que ocorrem nas 236 micro-regiões homogêneas da cidade, foram levantadas e tabeladas. Em seguida, relacionou-se a estas orientações os usos do solo mais freqüentes. Foi determinado então um conjunto de ângulos de altura solar, estabelecidos para o período das 11 às 13 horas do solstício de inverno e corrigidos de acordo com a orientação.

Para identificação de um ângulo de gabarito a partir do qual é possível estabelecer distâncias mínimas entre edificações, adotou-se um método, no qual a distância mínima entre edificações (D) é estabelecida em função da altura da edificação a ser implantada (H) e de um ângulo de gabarito posicionado no peitoril da janela do primeiro pavimento. Este ângulo é obtido a partir de um ábaco, cujos dados de entrada são a eficiência luminosa da abóbada celeste da região onde está sendo feita a implantação do edifício e a relação entre a área de janela e a área do

piso (J/A) dos ambientes da edificação. Este método foi proposto por Alucci (1986 apud PREFEITURA DE BELO HORIZONTE, 1995).

Casabianca et al. (2001) também desenvolveram uma proposta de norma para controle do direito à insolação na Argentina. Considerando que as possibilidades de acesso ao sol e o aproveitamento solar estão relacionadas com as características climáticas, os autores determinaram as condições de oferta e demanda de energia solar em distintas regiões, tendo como resultado um zoneamento do país, segundo as condições de disponibilidade de radiação solar. As variáveis desse zoneamento foram: a oferta solar, a demanda de energia e a altura solar no inverno, o que permitiu analisar as orientações mais favoráveis e para cada uma delas determinar o ganho de radiação. A partir dos resultados obtidos, foi então elaborado um projeto de normativa com objetivo de favorecer as possibilidades de acesso solar, segundo diversos usos da radiação. Para elaboração das recomendações, foram consideradas a situação de inverno (situação mais crítica e de maior demanda da radiação solar) e uma altura angular relativa às obstruções do entorno de 20°.

#### 2.4.2 Código de edificações

O Código de Edificações, regulamentado através de decreto aprovado pelo Poder Executivo Municipal, é o instrumento básico que permite à administração municipal exercer adequadamente o controle e a fiscalização do espaço construído, a fim de garantir a segurança e a salubridade das edificações. Como o campo de ação do Código de edificações é o edifício, é necessário complementá-lo e integrá-lo aos instrumentos urbanísticos (BAHIA, 1997).

Segundo Toledo (2000), questões relativas à conservação de energia nas edificações precisam ainda ser inseridas nos códigos de Edificações. Nesse contexto, o autor cita o modelo IBAM/PROCEL (1997) para os códigos de obras e edificações, que propõe a inserção de exigências em conforto ambiental e conservação de energia.

O Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM), em convênio com a ELETROBRAS, através do Programa Nacional de Conservação de Energia (PROCEL), elaborou o Modelo de Código de Edificações com o intuito de fornecer aos municípios subsídios para melhoria ou criação dos códigos de edificações, visando proporcionar maior conforto aos habitantes e maior eficiência energética da

edificação (BAHIA, 1997). Nele, as principais recomendações em relação à iluminação natural na edificação são:

- Exigência de elementos de proteção solar externa nos vãos de iluminação e ventilação dos compartimentos de permanência prolongada;
- Recomendação de que as dimensões dos prismas de iluminação e ventilação natural sejam definidas através do estudo da carta solar do local e que seja garantida a possibilidade, na base do prisma, de pelo menos duas horas diárias de sol no inverno. A mesma metodologia poderia ser adotada para definir afastamentos entre edificações;
- Prisma com dimensão mínima deve ter parede interna em cor clara;
- Limitação da profundidade de 2,0 metros para iluminação natural através de varandas, terraços e alpendres;
- Janelas basculantes devem ter uma área maior, devido a sua reduzida capacidade de ventilação;
- A profundidade máxima, para iluminação natural, em compartimentos de permanência prolongada de edificações residenciais, de 2,5 vezes a altura do ponto mais alto do vão de iluminação.

Apesar disso, essa proposta de código ainda é limitada. Entre as relações utilizadas está a relação entre a área da janela pela área do piso, no dimensionamento das aberturas, e a limitação da profundidade de alcance da luz natural em função da altura do ambiente. Essas relações são simplificadas e não consideram aspectos importantes do projeto, como a posição e a orientação da abertura, as relações entre as dimensões deste ambiente, a refletância (cor) das superfícies internas, relações com o entorno, estudo da insolação, e outros (AMARAL, 1999).

A proporção entre a área da janela e a área do piso, no dimensionamento de aberturas laterais, é o índice mais comum presente nos Códigos de Edificações. Os Códigos normalmente estabelecem a área mínima da abertura, sem, contudo apresentar limites máximos, podendo a abertura chegar a 100% da área de parede externa. Normalmente, a recomendação é de que a abertura tenha no mínimo uma área equivalente a  $1/6$  (16%) ou  $1/8$  (12,5%) da área do ambiente a ser iluminado através da mesma.

Pequenas variações podem ocorrer, como é o caso da legislação da cidade de São Paulo, onde é exigida uma área mínima da abertura para insolação de 15% e

10% da área do ambiente, respectivamente para locais de permanência prolongada e permanência não prolongada. É apresentada ainda uma exigência diferenciada para ventilação: aberturas somente para ventilação podem ter área mínima da abertura de 7,5% e 5% da área do ambiente, respectivamente para ambientes de permanência prolongada e permanência não prolongada. Para o pé-direito mínimo, exige-se a altura de 2,50 metros.

Na análise realizada por Pimenta (2001) destacam-se inúmeras deficiências dos atuais códigos de edificações. Assim como outros, o código de obras do Rio de Janeiro, por exemplo, não contempla nenhum tipo de exigência quanto ao uso dos recursos energéticos, com exceção da autorização do uso de coletor solar e exigência de espessura mínima das paredes externas para reduzir ganho térmico. O autor destaca também que inexistente qualquer impedimento ou limitação quanto ao uso exagerado do vidro sem proteção (independente da orientação). A conclusão a que chega é a de que, se os vãos mínimos exigidos pelo regulamento forem comparados às atuais exigências do Modelo de Código proposto pelo Procel (BAHIA, 1997), ou à fórmula de ventilação proposta por Jorgensen, o resultado obtido é a insuficiência, ou até inexistência, de ventilação.

Amaral (1999), em sua análise sobre o código de edificações de Florianópolis e as implicações na iluminação natural de ambientes internos, observou que, para garantir níveis de iluminação satisfatórios em ambientes internos, os dispositivos da legislação construtiva não são adequados. As principais regras do Código de Obras de Florianópolis, aprovado em 2000, referentes a iluminação e ventilação de compartimentos internos, definem áreas mínimas de aberturas e de prismas de iluminação e ventilação. As áreas das aberturas são proporcionais à área do ambiente interno, enquanto a área do prisma é proporcional ao número de pavimentos da edificação. Outra exigência que afeta a iluminação natural na legislação é em relação à profundidade máxima do ambiente, que, para locais iluminados naturalmente, é de 2,5 vezes o pé-direito.

Amaral (1999) recomenda que sejam incluídos nos códigos de edificações parâmetros que ponderem: as condições climáticas, geográficas e a disponibilidade de luz natural do local. A legislação deve garantir também o direito à luz natural e o direito à radiação solar direta, que devem ser comprovados através de gráficos como carta de trajetória solar aparente, diagramas de obstrução e tabelas de distribuição de Luminâncias. A autora ressalta ainda a necessidade de se considerar a

refletância das superfícies internas no dispositivo de limitação da profundidade do ambiente, recomendando, assim, a utilização da fórmula proposta pela Chartered Institution of Building Services Code for Interior Lighting (CIBSE CODE, 1984).

Alluci et al. (1997) sugerem que além da necessidade de criação de normas sobre iluminação natural, devem ser inseridos procedimentos nos códigos de edificações, a partir dos quais cada cidade poderia adotar uma eficiência mínima do céu de projeto (baseado no conhecimento da disponibilidade de radiação solar do local), de acordo com a sua política de economia de energia nas edificações. Além disso, devem ser incluídas recomendações que orientem o projetista quanto aos recursos que podem ser utilizados para atingir os níveis de iluminância desejados, como: dimensões e quantidade de aberturas, posição relativa da abertura na parede, orientação da abertura e tipo de vidro.

Apesar das vantagens obtidas com o uso da luz natural, as aberturas são também elementos que permitem a maior entrada ou saída de calor no edifício (OLGYAY, 1998). Sendo de grande importância a preocupação com o equilíbrio térmico entre a radiação necessária à iluminação natural e a radiação excedente, que resulta no aumento da carga térmica da edificação. Nesse contexto merece destaque a nova proposta do Código de Obras para a cidade de Recife, que inclui parâmetros de eficiência energética. A proposta fundamenta-se em um conjunto de simulações através das quais se observou um potencial de redução no consumo de energia, em edificações de escritórios, em torno de 9% a 21%, e estabelece parâmetros relacionados à eficiência energética, como limites de propriedades térmicas dos componentes da envoltória. Em relação à iluminação natural, são definidos limites de fator solar em aberturas laterais e zenitais, que têm relação com o percentual de área de janela na fachada e a orientação solar da mesma. À medida que a área da abertura aumenta, maior é o fator solar, assim como, mais rigoroso é o limite para a fachada Oeste. Outra variável que pode ser inserida é o Fator de Projeção (FP), decorrente da utilização de brises na abertura. A proposta fornece ainda opções de diferentes níveis de iluminação interna para um mesmo caso e não fornece obstáculos para que sistemas mais eficientes de distribuição da luz natural sejam utilizados (CARLO et al. 2004).

Baseado na norma 90.1 da ASHRAE e adaptado às condições climáticas do local, Carlo et al. (2003) também elaboraram proposta para o Código de Obras de Salvador, na qual são estabelecidos limites para o envoltório da edificação, como

máximo de área de abertura pela área da parede externa (WWR), limites para o coeficiente de ganho de calor solar (SHGC), limites para a profundidade do ambiente e exigência de proteção solar em edificações residenciais.

## 2.5 CONCLUSÕES SOBRE O CAPÍTULO 2

A parte inicial desse capítulo destacou a importância da presença da luz natural nos ambientes internos, seja por razões estéticas, psico-fisiológicas ou de economia de energia, justificando assim a necessidade de preservação do direito de acesso à luz natural nos meios urbanos e, conseqüentemente, nos ambientes internos.

Em seguida, tratou-se do entendimento do fenômeno da iluminação natural em um ambiente interno, concluindo-se que o mesmo está associado à relação existente entre o plano a ser iluminado e a fonte. Assumido esse conceito, pode-se inferir que, em uma situação de céu encoberto, a área do céu visualizada a partir do interior pode apresentar-se como um parâmetro a ser explorado.

Em relação ao projeto de iluminação natural foram destacados os métodos gráficos e os modelos computacionais. Os métodos gráficos, embora simplificados, apresentam abordagens ainda não contempladas nos modelos computacionais. Especificamente tratando do objetivo desse trabalho, a possibilidade de integração entre métodos gráficos e modelos computacionais, através da escolha do programa Apolux, possibilita a realização das investigações sobre o potencial de iluminação da abóbada celeste no ambiente interno.

Ao terminar esse capítulo observou-se que a atual legislação e normas que, direta ou indiretamente, abordam a iluminação natural e a insolação nas edificações e no meio urbano baseiam-se em critérios simplistas, pois importantes aspectos têm sido negligenciados, tais como: alturas variadas, vazios existentes entre as edificações e a efetiva disponibilidade da luz natural.

Depois de justificar a importância da luz natural nos ambientes internos, abordar o fenômeno da iluminação natural, os métodos de apoio a tais projetos, e as normas e a legislação sobre o tema, nos próximos capítulos tratar-se-á das particularidades inerentes à iluminação natural no ambiente interno e da presença da luz natural no meio urbano.





## capítulo 3

---

### **3 luz natural no ambiente externo**

### 3.1 INTRODUÇÃO - LUZ NATURAL NO AMBIENTE EXTERNO

O meio ambiente externo à edificação é o elemento que se interpõe na relação entre o ambiente interno e a luz proveniente do céu, do sol ou refletida. Considerando esse aspecto, o capítulo corrente aborda a luz natural no ambiente exterior, dividindo-se em: variáveis externas que influenciam na luz natural e parâmetros de análise das condições de iluminação natural no ambiente externo. A Figura 3.1, apresentada abaixo, ilustra o desenvolvimento do capítulo.

As variáveis que influenciam a luz natural encontram-se divididas nos tópicos: disponibilidade de luz natural, coeficiente de reflexão das superfícies externas e obstrução do céu visível. Neste último, incluem-se ainda os métodos desenvolvidos para o controle da obstrução do céu, com destaque para os indicadores de obstrução do céu visível e o envelope solar. Já os parâmetros de análise das condições de iluminação natural relatados dividem-se em: Fator de Céu Visível, Fator da Luz do Dia Vertical e Linha de não visão do céu.

A simulação de cenários urbanos, referentes aos modelos a serem gerados para a análise da iluminação natural no meio urbano, encerra esse capítulo.

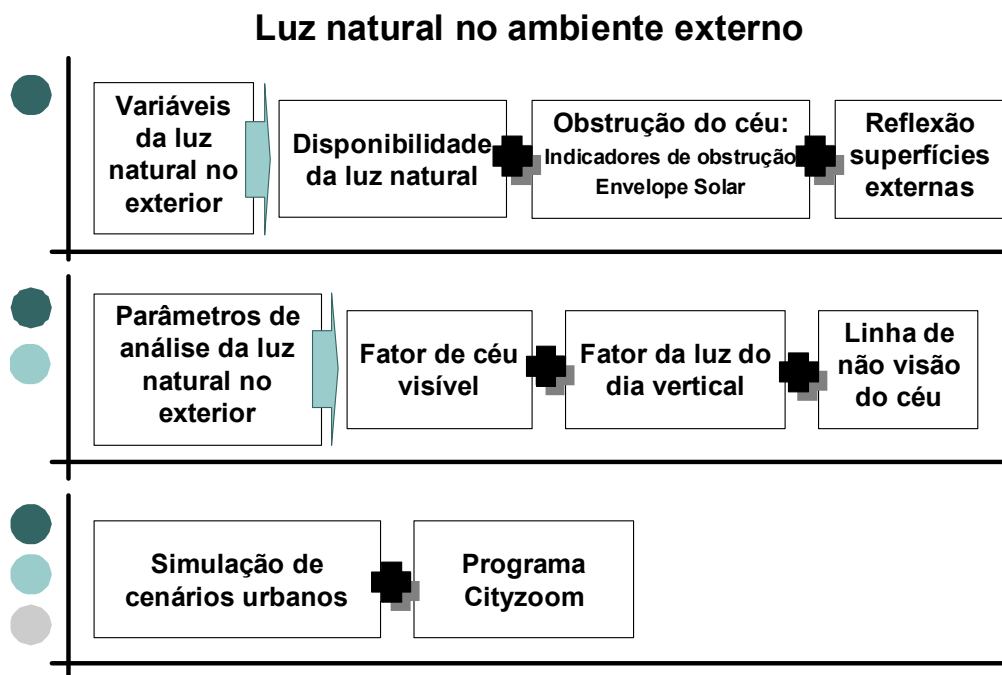


Figura 3. 1 – Mapa conceitual do capítulo 3: Luz natural no ambiente externo

### 3.2 VARIÁVEIS DE INFLUÊNCIA NA LUZ NATURAL NO AMBIENTE EXTERNO

A primeira variável refere-se à disponibilidade de luz natural, influenciada inicialmente pela condição de céu predominante. Medições contínuas resultam na caracterização do céu predominante no local ou na caracterização da disponibilidade de luz natural.

A segunda variável refere-se ao entorno e à conseqüente obstrução do céu. O entorno constitui um filtro entre a disponibilidade de luz natural no local e o objeto iluminado. Considerando a importância do controle da obstrução provocado pelo entorno, são ainda abordadas algumas estratégias de controle do meio urbano com o objetivo de garantir condições mínimas de insolação e iluminação natural.

A terceira variável está associada à componente refletida, importante fonte de luz natural. Sobre essa variável, especificamente, o coeficiente de reflexão das superfícies externas representa grande influência, recebendo então abordagem de destaque.

#### 3.2.1 A disponibilidade de luz natural

O conhecimento das condições luminosas externas locais é fundamental no processo de desenvolvimento do projeto da iluminação natural. Segundo definição da norma NBR 15215-2 (2005), a disponibilidade de luz natural é a quantidade de luz em um determinado local, em função de suas características geográficas e climáticas, de que se pode dispor por um certo período de tempo. Variáveis como a densidade e movimentação das nuvens podem produzir alterações rápidas e inconstantes nas condições da iluminação natural. Medições ao longo de anos realizadas em estações de medições possibilitam que, para aquele local, se estabeleça um ano típico (CIBSE, 1997).

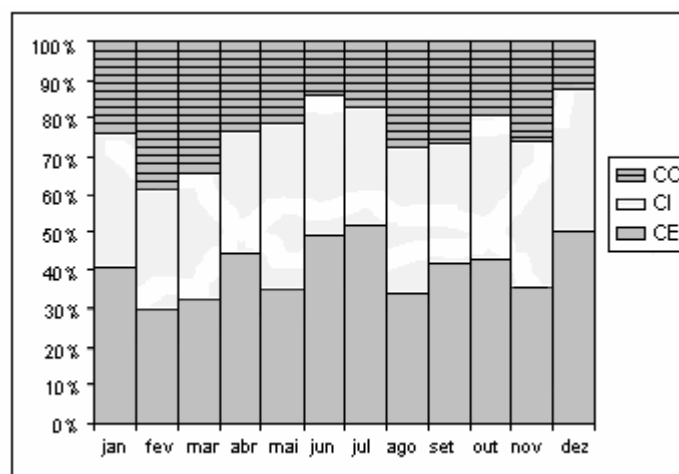
O montante de luz recebida em um local depende da localização – continentalidade, altitude, latitude, clima e qualidade do ar – que afeta a intensidade da radiação e a duração do dia. A quantidade e qualidade da luz natural em um local variam também com a hora do dia, a época do ano e as condições meteorológicas. Finalmente, o montante de luz natural que um edifício recebe depende também do seu entorno imediato, da orientação e configuração morfológica do entorno natural e construído, da presença ou ausência de obstruções e da refletividade das superfícies adjacentes (THERMIE ENERGY RESEARCH GROUP, 1994; BAKER,

1993; VIANNA, 2004). Muitos sistemas de iluminação natural apresentam melhor desempenho para um determinado tipo de céu, o que condiciona a escolha do sistema mais adequado ao conhecimento do céu típico do local (LAM, 1986; ROBBINS, 1986).

As condições do céu, segundo Kittler et al. (1997), são influenciadas por circunstâncias como mudança da posição do sol, turvamento e teor de poluição da atmosfera, tipos de nuvens e cobertura, assim como a distribuição das nuvens na abóbada celeste.

Medições contínuas da iluminância horizontal, sobre planos inclinados, e da distribuição das luminâncias na abóbada celeste têm sido realizadas em estações distribuídas em várias partes do globo, dentro do Programa Internacional de Medição da Luz Natural (IDMP), oficialmente iniciado pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE) em Julho de 1991 (SOLER; OTEIZA, 1997). Atualmente o programa agrega 48 estações de medição da luz natural e radiação solar, distribuídas em diferentes países e continente (IDMP, 2006).

Em Florianópolis, no campus da Universidade Federal de Santa Catarina, encontra-se em operação, desde 2001, a primeira estação de medição de iluminação natural brasileira, estabelecida de acordo com as normas do Programa Internacional de Medição de Iluminação Natural (SOUZA e PEREIRA, 2004). Na Figura 3.2 pode ser observado um gráfico resumo das condições de céu para os anos de 2002 e 2003 em Florianópolis. Ao longo de todo o ano, há predominância de céu parcialmente encoberto a encoberto.



**Figura 3. 2 – Percentual de ocorrência de céu para 2002 e 2003 em Florianópolis, CC – céu claro, CI – céu intermediário, CE – céu encoberto (adaptado de SOUZA e PEREIRA, 2004)**

A ocorrência de céu encoberto varia de 30 a 50%, para céu intermediário a variação é de 30 a 40% e para céu claro em torno de 20 a 30%. Pode-se afirmar sobre essas medições que a maior frequência ocorre para a condição de céu encoberto, que justifica a posterior adoção dessa tipologia de céu no desenvolvimento do parâmetro proposto (SOUZA e PEREIRA, 2004).

Nas Figuras 3.3 e 3.4 estão apresentadas a iluminância global média mensal e a iluminância difusa média mensal verificadas nos anos de 2002 e 2003, em Florianópolis. Pode-se observar que a iluminância difusa média varia de 37.500 lux no verão a 17.000 lux no inverno ao meio dia, enquanto a iluminância global varia de 88.000 a 49.000 de média máxima no mesmo período (SOUZA e PEREIRA, 2004).

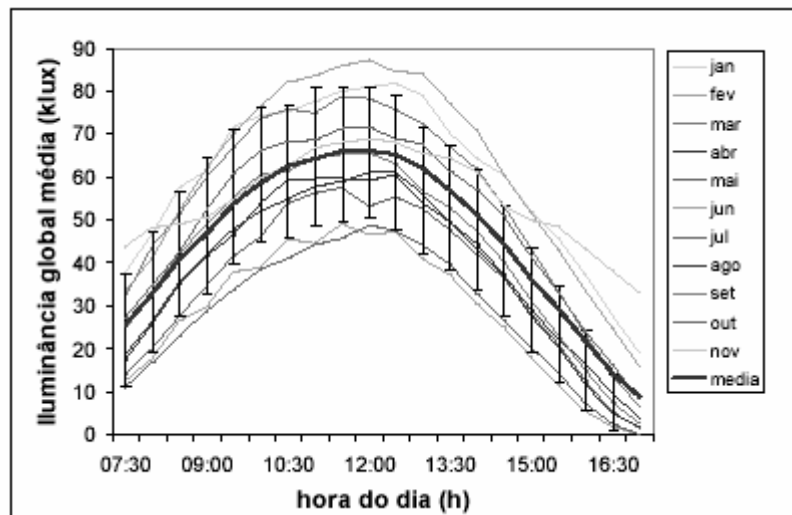


Figura 3. 3 – Iluminância global média mensal nos anos 2002 e 2003, em Florianópolis (SOUZA e PEREIRA, 2004)

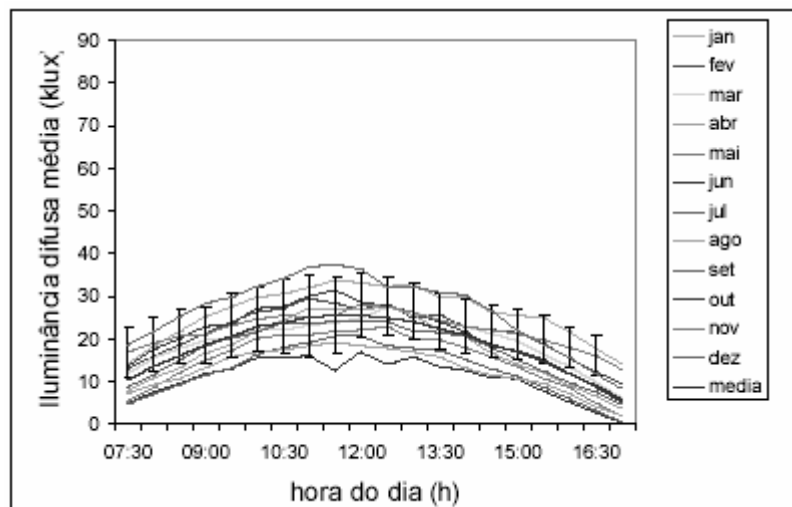


Figura 3. 4 – Iluminância difusa média mensal nos anos 2002 e 2003, em Florianópolis (SOUZA e PEREIRA, 2004)

### 3.2.2 Distribuição de luminâncias na abóbada

Por se constituir em uma fonte de luz de grande superfície, a subdivisão da abóbada em zonas e a determinação das concentrações de fluxo emitidas por essas zonas (considerando uma dada direção) é uma forma de análise e acesso à iluminação produzida. Com essa abordagem destaca-se a proposta apresentada na norma NBR 15215-2 (2005) e por Tregenza (1993).

Ao subdividir a abóbada em zonas, a iluminação produzida por uma zona é definida pela sua direção e luminância e pelo ângulo sólido compreendido entre esta e o ponto iluminado. A integração da contribuição de luz proveniente de cada zona da abóbada por todo o hemisfério resulta na iluminância total sobre o plano horizontal ou vertical (NBR 15215-2, 2005).

Tregenza (1993) utiliza um método de subdivisão da abóbada celeste com objetivo de aplicar o conceito de coeficiente da luz natural, que é a razão entre a luminância de determinada parte do céu (zona ou parcela) e a iluminância em um ambiente interno devido à luz proveniente dessa parcela. A divisão da abóbada proposta por Tregenza consiste em 145 zonas que apresentam ângulos sólidos em torno de 0,04 stereoradianos (ver Figura 3.5). Segundo o autor, essa divisão permite que cada zona seja tratada, com mínimos erros, como uma fonte pontual.

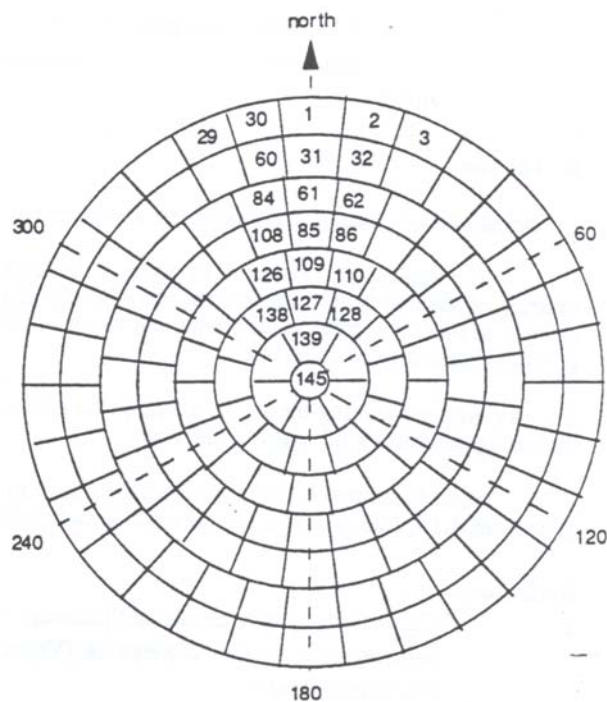
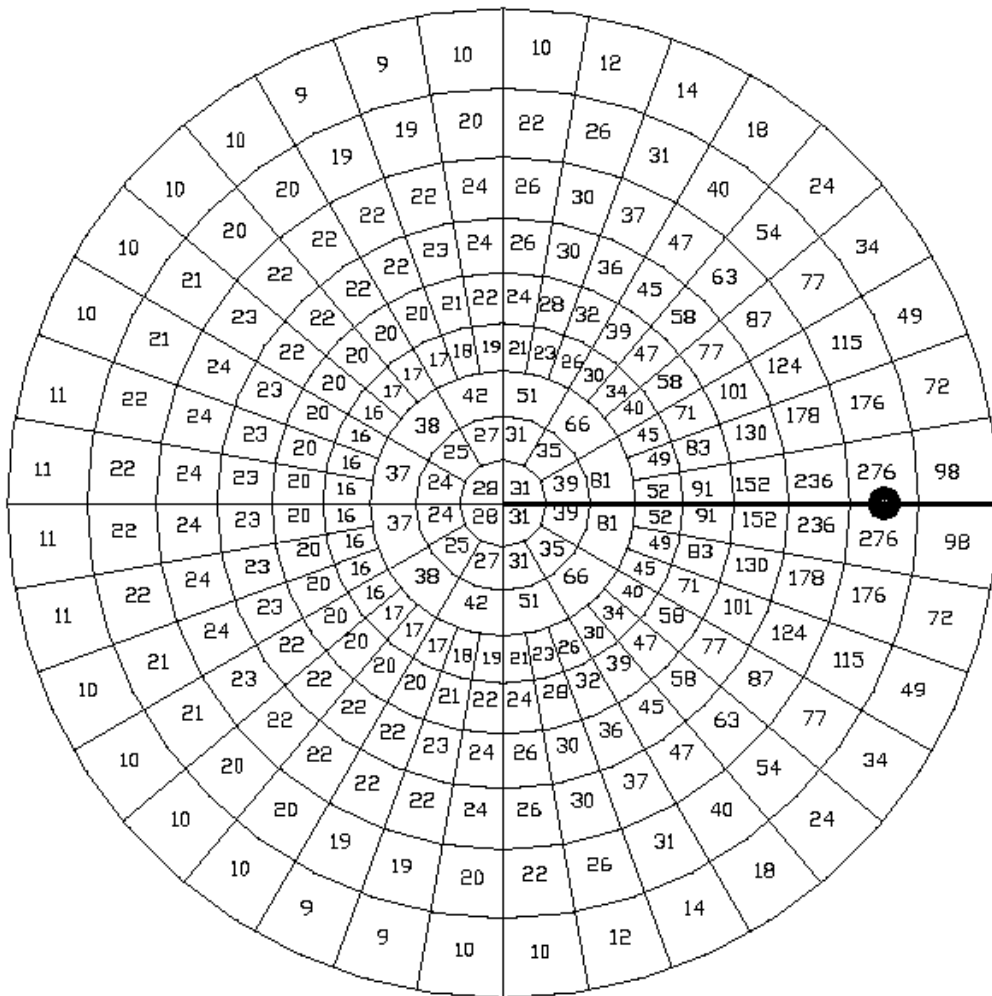


Figura 3. 5 – Divisão da abóbada proposta por Tregenza (1993)

Na norma NBR 15215-2 (2005) a abóbada foi dividida em 220 zonas (ver Figura 3.6). A divisão proposta consiste em variações angulares de altura e azimute múltiplos de 10°, através de projeção estereográfica. A norma também apresenta uma proposta de caracterização da contribuição relativa de cada zona na iluminância total devida à abóbada e sobre um ponto. O gráfico na Figura 3.6 apresenta um Diagrama da Contribuição Relativa da Luz (DCRL), extraído da norma da NBR 15215-3 (2005). Os DCRL expostos na norma são diagramas que representam a projeção estereográfica da abóbada celeste, com uma subdivisão em 244 zonas. A contribuição relativa consiste em valores que representam a razão entre a iluminância em um ponto sobre um plano horizontal devida àquela parcela do céu e a iluminância total (proveniente de toda a abóbada) sobre um ponto em plano horizontal para um céu claro e completamente desobstruído.



**Figura 3. 6 – Diagrama de Contribuição Relativa da Luz (DCRL) para céu claro, altitude solar de 15° (NBR 15215-3, 2005)**

### 3.2.3 O entorno e a obstrução do céu

A insolação em um determinado local depende das condições do entorno: áreas urbanas que permitem altas taxas de ocupação e gabarito resultam freqüentemente em espaços de difícil acesso à luz do sol. Portanto, à análise sobre as condições do entorno sucede a análise sobre a disponibilidade de luz natural, já que o entorno pode excluir grande parte da radiação que incide sobre o local.

A quantidade de luz natural que se pode ter em um ponto, localizado em um ambiente interior, depende, em parte, do tamanho do trecho do céu que pode ser visto desse ponto. Para Ünver et al. (2003), a obstrução do céu se caracteriza como um dos fatores de maior influência na luz natural presente no ambiente externo. Contudo, uma das mais comuns simplificações no desenvolvimento do projeto da iluminação natural, para Nikoforiadis (2003), está justamente em ignorar o entorno.

A configuração do meio urbano influencia também a performance energética das edificações. Em edifícios de escritórios, por exemplo, o aumento da densidade urbana aumenta o consumo de energia devido à redução da disponibilidade de luz natural. Segundo análises realizadas por Steemer (2003), a consequência de se aumentar a obstrução do entorno é significativa, pois um aumento de 10° nas obstruções do entorno pode resultar em aproximadamente 10% de aumento no consumo de energia. Já, no estudo realizado por Brandão e Alucci (2005), a influência da obstrução do entorno no consumo de energia, principalmente com iluminação artificial, é significativa, chegando a 31% no consumo total. Os autores analisaram a influência de uma edificação sobre as fachadas adjacentes a essa edificação. Portanto, a configuração do entorno pode alterar significativamente a disponibilidade da radiação solar em um espaço urbano, sendo de grande importância o estabelecimento de regras para o controle do direito de acesso ao sol.

A ausência de um planejamento urbano que considere conceitos de arquitetura bioclimática resulta em meios urbanos densificados com menor possibilidade de aproveitamento dos recursos naturais. É o que mostram os estudos de Theodosiou e Chrisomallidou (2005), que analisaram o meio urbano da cidade de Thessaloniki (Grécia), considerando as variáveis altura dos prédios (H) e largura da rua (L), com objetivo de identificar a exposição solar no inverno e verão e, posteriormente, determinar as possibilidades de aplicação dos princípios de arquitetura bioclimática. Os resultados apontaram que, para o local em análise, as possibilidades de



aplicação dos conceitos de arquitetura bioclimática são limitadas. A configuração de ruas estreitas com edifícios altos restringe o acesso ao céu, à iluminação natural e oferece limitadas condições de conforto visual em mais de 80% das unidades de edificação observadas.

Ali-Toudert e Mayer (2006) analisaram os efeitos da relação entre a altura das edificações (H) e a largura das ruas (L) sobre o conforto térmico, para uma latitude de 32°40' e clima quente-seco. Os autores encontraram uma correlação entre a razão altura das edificações (H) x largura da rua (L) e o aumento da temperatura: quanto maior a relação H x L menor a temperatura, resultado de que quanto mais alto H x L menor também será a duração da insolação. Também concluíram que, aparentemente, a temperatura do ar é mais sensível aos aspectos dessa razão do que da orientação. Os autores fizeram uso do índice de acesso solar, proposto por Mills (1997), que é a razão da radiação solar direta recebida pela fachada pelo máximo de radiação solar direta potencialmente disponível para aquela fachada. A disponibilidade de energia solar nas fachadas decresce sensivelmente com o aumento da razão H x L para ruas orientadas L-O. Fachadas em ruas estreitas ( $H \times L > 3$ ) recebem metade da energia potencialmente disponível, enquanto fachadas para ruas mais largas ( $H \times L = 0,5$ ) estão muito mais expostas.

Moussadek e Rafik (2005) também concluem que uma das variáveis de maior impacto da forma urbana sobre a obstrução da radiação é o afastamento entre as edificações. Na pesquisa realizada por Mesa et al. (2004) chegou-se à conclusão de que uma ótima relação de afastamento entre edificações seria de valores entre 2/3 e 1 em relação à altura das mesmas.

Relembrando a dicotomia entre radiação térmica e luminosa destaca-se a importância dessa variável estar incluída na definição das regras de ocupação do meio urbano, que implica necessariamente na consideração do clima local. Como exemplo, cita-se o clima quente e seco onde o sombreamento entre as edificações é desejável.

Ng e Wong (2004) identificaram que, para uma mesma densidade com a variação nas alturas das edificações, é possível melhorar o desempenho da ventilação e da iluminação natural no meio urbano. Essa melhora pode ser de 20 a 30% para iluminação natural e de 30 a 40% para ventilação. Em outro artigo, Ng (2005) acrescenta que uma diferença de altura em torno de 100% seria ótima. Ou seja, para um limite máximo de 100 metros o mínimo poderia ser de 50 metros. Outro aspecto

ressaltado por Ng (2005) refere-se ao intervalo ou espaçamento entre as edificações. Sejam de 10% ou 20%, o fato é que intervalos são importantes e um intervalo de apenas 10% é melhor que a ausência dos mesmos. O autor se baseia nas colocações de Hopkinson sobre a importância da existência de intervalos, ou vazios, entre as edificações e também no fato de que, supostamente, essa variável seja relevante para a existência de limitações na altura das edificações.

Segundo Mills (1995), para uma latitude de 30° a recepção solar deve ser limitada durante o verão, porém, não tanto no inverno. A razão de HxL de 1,0 ou 0,5 atenderia à exigência de sombreamento no verão, sem contudo, reduzir demais a insolação no inverno. O autor relaciona o aquecimento natural que ocorre durante o dia com a área de exposição da edificação ao sol. À noite, por sua vez, o resfriamento está relacionado com a área de exposição ao céu, ou com o Fator de Céu Visível. Destacam-se como relevantes as variáveis área de exposição solar e fator de visão do céu.

A análise de Chatzidimitriou e Yannas (2004), sobre a iluminação natural em um meio urbano, identificou níveis de iluminação, no meio de quadras, consideravelmente mais baixos que aqueles encontrados nos planos de cobertura. No piso, foram encontrados valores 1,2 a 20% daqueles encontrados na cobertura para uma condição de céu encoberto. Já nas ruas, os valores foram de 3,4 a 43,1% daqueles encontrados na cobertura, para uma condição de céu encoberto. Os autores associaram a redução maior no meio da quadra ao reduzido fator de visão do céu.

Considerando os aspectos comentados anteriormente, alguns autores propõem o uso de ângulos delimitadores da obstrução do céu, utilizados na legislação urbanística. Esses ângulos delimitadores serão a seguir apresentados sob duas abordagens: Indicadores de controle da obstrução do céu e Envelope solar.

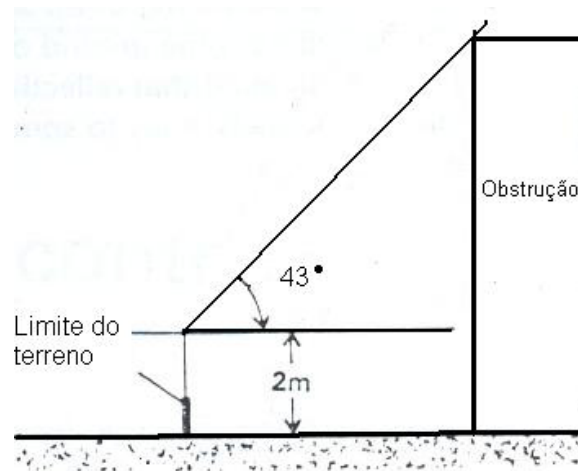
### 3.2.3.1 Indicadores de controle da obstrução do céu

Indicadores de controle da obstrução do céu visam garantir à edificação condições mínimas de insolação e de acesso à luz natural. Segundo Hopkinson et al. (1975), esses indicadores garantem que um padrão suficiente de luz natural atinja a fachada do edifício. O uso de indicadores apresenta as seguintes finalidades:

- a) Garantir que a disposição de blocos de edifícios num local seja tal que uma quantidade suficiente de iluminação natural possa chegar à fachada de qualquer um desses edifícios.
- b) Garantir que um edifício projetado não obstrua indevidamente a luz solar necessária aos outros edifícios.

Na análise de um indicador de controle da obstrução do céu, deve-se observar qual o critério adotado na criação do mesmo, sendo a garantia de horas mínimas de insolação no período um critério adotado com frequência.

Littlefair (1991) sugere que um ângulo máximo de obstrução de  $25^\circ$ , medido a 2 metros de altura na fachada da edificação (a partir do piso), seria um critério razoável para espaçamento de edificações. Para um ponto localizado na divisa dos terrenos, o autor sugere um ângulo de obstrução de  $43^\circ$ , ver Figura 3.7. Ou ainda, caso o critério dos ângulos não possa ser garantido, é possível utilizar o cálculo da componente celeste vertical (ver item 3.2.3), que segundo o autor, deve ser de no mínimo 17%.



**Figura 3.7 – Corte esquemático com a recomendação de Littlefair (1991)**

Os indicadores de ângulos horizontais, propostos por Hopkinson et al. (1975)<sup>2</sup>, são oriundos da consideração de que quando a luz atravessa a janela de um edifício segundo um ângulo muito agudo, haverá insuficiente penetração de luz para que os critérios de iluminação sejam satisfeitos, mesmo que haja eventualmente um nível suficiente de luz natural na fachada do edifício. Por isso, os autores sugerem que a

<sup>2</sup> A primeira edição, original em inglês e com o título "Daylighting", foi publicada em 1966.

luz incidente sobre a fachada do edifício, seguindo um ângulo horizontal superior a 45° em relação a qualquer dos lados da perpendicular à janela, seja ignorada.

Os autores também recomendam que as aberturas apresentem tamanhos médios, com áreas de no mínimo 0,90 m<sup>2</sup>. Para caso de edifícios com paredes totalmente envidraçadas, o uso de indicadores conduzirá a um nível de luz natural mais elevado.

Na Tabela 3.1 abaixo, apresenta-se um conjunto de indicadores (ângulos horizontais e verticais), propostos por Hopkinson et al., adequados a edificações não residenciais. Os ângulos devem ser medidos a partir da fachada da edificação ou do eixo da rua, partindo do chão.

**Tabela 3. 1 – Indicadores de controle propostos por Hopkinson et al. (1975)**

Edifício não residencial (fachada)	Angulo de obstrução vertical	Angulo de obstrução horizontal
Critério 1	40°	45°
Critério 2	35°	30°
Critério 3	30°	20°
Critério 4	25°	15°
Edifício não residencial (eixo da rua ou limite do terreno)		
Critério A	59°	65°
Critério B	55°	35°
Critério C	49°	20°
Critério D	43°	15°

Ao contrário de outros autores que propõem um ou dois ângulos de obstrução, considerando assim a obstrução como uma parede contínua, a proposta de Hopkinson et al. inclui os vazios existentes entre as edificações como possível entradas de luz. Dessa forma, quando não for possível atender às exigências da legislação com um ângulo, outro poderá ser utilizado, se os vazios entre as edificações permitirem a utilização de outro ângulo. A Figura 3.8 (a e b), apresentada abaixo, exemplifica a aplicação da proposta de Hopkinson et al. A imagem à esquerda (a) demonstra uma condição na qual o indicador proposto não pode ser aplicado, porém a mesma situação permite a aplicação de outro indicador, que está na imagem à direita (b).

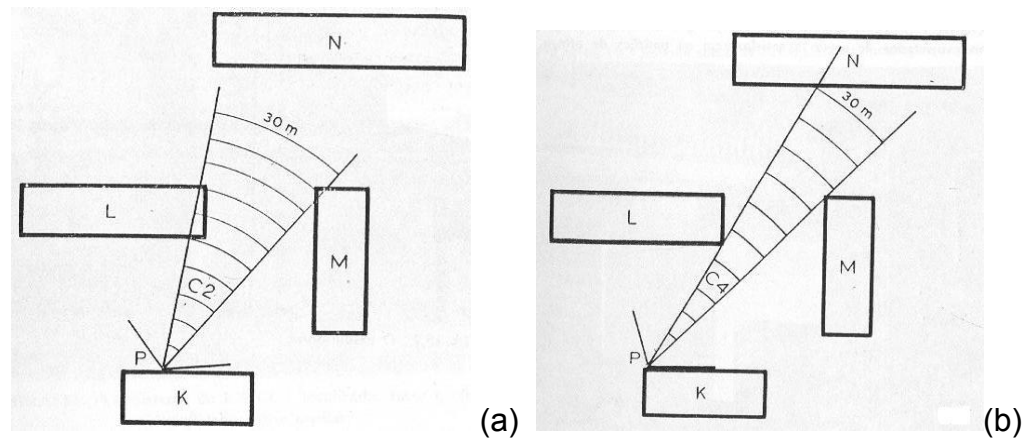


Figura 3. 8 – Ângulos indicadores da obstrução do céu proposto por Hopkinson (1975)

Robbins (1986) sugere um método baseado no estabelecimento de ângulos verticais e horizontais que juntos formarão um “cone de visão”. O ângulo horizontal é fixado em  $90^\circ$  e o ângulo vertical depende da latitude do local e das condições do céu (ver Tabela 3.2). Para céu encoberto, independente da latitude, a uma altura de 2,0 metros, o autor sugere um ângulo vertical de  $40^\circ$ . Para céu claro, latitude  $28^\circ$ , indica um ângulo de  $38^\circ 2'$ . Para ângulos medidos a partir do eixo da rua, o autor recomenda um ângulo vertical de  $57^\circ 30'$ , e um ângulo horizontal de  $130^\circ$ .

Tabela 3. 2 - Indicadores de controle propostos por Robbins (1986)

	Latitude	Ângulo vertical (edifício a edifício)	Ângulo vertical (limite do terreno)
<b>Céu claro</b>	$< 24^\circ$	$40,2^\circ$	$60,0^\circ$
	$28^\circ$	$38,2^\circ$	$57,3^\circ$
	$32^\circ$	$36,8^\circ$	$55,2^\circ$
	$36^\circ$	$34,6^\circ$	$51,9^\circ$
<b>Céu encoberto</b>	Todas latitudes	$40,0^\circ$	$60,0^\circ$
<b>Ângulo horizontal</b>		$90^\circ$	$130^\circ$

Fonte: ROBBINS, 1986.

A seguinte fórmula é utilizada para determinar a distância D, entre o ponto de referência (janela) e a edificação do entorno:

$$D = \left( \frac{H}{\operatorname{tg}\theta} \right) \times \operatorname{sen}S$$

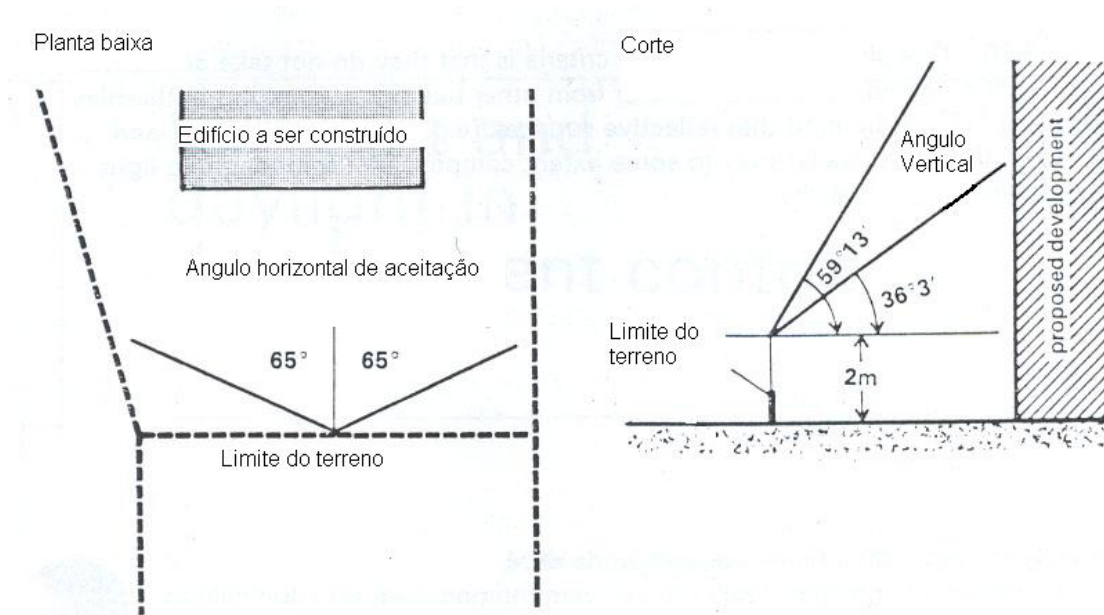
**Equação 3. 1**

$\theta$  = ângulo vertical obtido na Tabela 3.2

S = inclinação da abertura em relação a um plano vertical

H = altura da edificação do entorno (responsável pela obstrução)

O Great Britain Department of the Environment Welsh Office (1972) recomenda para a fachada, a 2 metros de altura, um ângulo de 45° para cada lado da normal (planta baixa) e um intervalo entre 20° a 40° (em corte). Para o eixo da rua, a partir de 2 metros de altura, um ângulo de 65° para cada lado da normal (planta baixa) e intervalo entre 36°3', e 59°13' (em corte) (ver Figura 3.9).



**Figura 3. 9 – Ângulos de obstrução recomendados por Great Britain Department of the Environment Welsh Office (1972)**

Littlefair (1998b) sugere que os seguintes critérios devem ser observados na definição dos ângulos de obstrução:

- Definir períodos do ano e horários nos quais se pretende garantir o acesso à insolação;
- Definir a posição na edificação onde o ângulo será medido, por exemplo, a uma altura de 2 metros na fachada;
- Considerar a orientação ou definir uma orientação preferencial.

### 3.2.3.2 Envelope Solar

O termo envelope solar refere-se ao volume que uma edificação pode ocupar, sem representar sombreamento sobre as edificações do seu entorno. O envelope solar consiste em um conjunto de limites geométricos derivados da altitude do sol, resultado da transferência dos ângulos de azimute e altitude solar para os cantos (esquinas) do terreno, configurando um volume com as superfícies que representam os limites do sítio ou local. Se o volume da edificação não ultrapassar esses limites, uma insolação mínima será mantida entre as fachadas das edificações e o entorno (ROBBINS, 1986; KNOWLES, 2003).

Capeluto e Shaviv (2001) dividem o envelope solar em duas categorias:

- Envelope de direito solar – garantia de um mínimo de insolação em período crítico, normalmente associado a estudos do clima e condições locais.
- Envelope de captação solar – garantia do máximo de insolação possível, associada à possibilidade do uso de coletores solares, às placas de células fotovoltaicas e ao aquecimento passivo.

Knowles (2003) ressalta que a aplicação do envelope solar como um instrumento de zoneamento resulta não somente em um desenvolvimento sustentável, mas apresenta também maior potencial de variabilidade na morfologia urbana, já que, de acordo com a orientação da rua, diferentes ângulos de azimute e altura solar serão utilizados, resultando em diferentes volumes.

A variável de maior relevância no envelope solar é a definição do número de horas em que a fachada receberá insolação e em quais períodos do ano. Adota-se normalmente um número mínimo de horas de insolação no período mais crítico, ou seja, no inverno. A norma alemã DIN 5034 recomenda no mínimo 4 horas de insolação no inverno. Fischer (1982) recomenda que os ambientes tenham no solstício de inverno uma hora ou no meio do inverno duas horas de sol.

Uma pesquisa realizada por Bitter e Van Ierland (1965 apud Littlefair, 2001), com objetivo de identificar um número mínimo desejável de horas de insolação, identificou que se no período mais crítico do inverno o ambiente em análise recebe uma insolação de no mínimo duas horas, os entrevistados relatavam que a insolação era boa durante todo o período do ano.

O critério de insolação mínima tem sido utilizado por vários autores como ASSIS et al (1995) que, ao definirem algumas bases para a determinação de recuos e

volumetria no meio urbano com objetivo de garantir insolação e iluminação natural, adotaram o critério de, no mínimo, uma hora de insolação no solstício de inverno para o quadrante norte.

A norma britânica BSI (British Standard Code of Practice de 1992) adota a recomendação de 25% das prováveis horas de insolação durante o ano, sendo que dessas, 5% devem compreender o período de inverno. Segundo Littlefair (2001), o ponto de verificação dessa exigência deve ser o meio da janela, pois na altura do peitoril pode haver sombra e no restante da janela sol. Para o autor, em localizações mais ao sul, a exigência de insolação mínima deve ocorrer no período de inverno, o que não requer insolação no período de verão.

Um problema verificado por Littlefair (2001) é que exigir um determinado número de horas de insolação em uma data específica pode acarretar algumas incoerências, como por exemplo: um edifício A pode apresentar, até determinada data, um número inferior ao exigido e após essa data demonstrar maior número de horas que o exigido. Enquanto um edifício B pode, até a data estabelecida, não receber insolação e atender ao exigido. Ainda que A receba mais insolação, ele não atenderá a exigência da norma. Com isso, definir uma insolação mínima baseada em horas de insolação distribuídas no decorrer do ano pode ser um critério mais adequado.

Pereira (1994; PEREIRA et al., 2001) propõe um envelope solar baseado em uma análise da desejabilidade e indesejabilidade da radiação solar nas diversas épocas do ano. Os parâmetros de tal definição foram baseados nas condições climáticas do local, nas exigências psico-fisiológicas de conforto dos usuários e na geometria do local. Teoricamente, o ideal seria barrar a radiação indesejável e aceitar toda radiação desejável. Considerando como condicionante uma insolação mínima desejável de 1,5 a 2 horas, os autores propõem um conjunto de ângulos, explicitados na Tabela 3.3, que, ao serem transferidos para um local em análise, geram um envelope derivado dos parâmetros relatados.

**Tabela 3. 3 – Ângulos de obstrução recomendados para Florianópolis**

<b>Orientação</b>	<b>N</b>	<b>NE</b>	<b>E</b>	<b>SE</b>	<b>S</b>	<b>SO</b>	<b>O</b>	<b>NO</b>
<b>Ângulo de obstrução</b>	40-45	45-50	50-55	55-60	55-60	55-60	60-65	55-60

Fonte: PEREIRA; SILVA, 2000



Ratti e Morello (2005) propõem um conceito de envelope solar através da construção solar iso superfícies, utilizando a técnica digital DEM (modelo de elevação digital). O objetivo é simplificar algumas dificuldades encontradas com o modelo atual de envelope solar, principalmente a dificuldade de trabalhar com geometrias complexas e a quantificação da energia solar recebida. A solar iso superfície configura-se como um envelope geométrico representado pelas superfícies que recebem o mesmo montante de energia solar. O envelope resultante descreve a máxima altura de um volume edificável para preservar um dado montante de irradiação nos terrenos adjacentes.

Brandão e Alucci (2005) pressupõem que o conceito envelope solar evolua para um conceito mais amplo, ao agregar também critérios de performance térmica e de consumo de energia da edificação, além dos critérios de insolação.

#### 3.2.4 Coeficiente de reflexão das superfícies externas

A iluminação sobre as superfícies em um ambiente interno ou externo é resultado da combinação de luz direta e refletida. A luz refletida é a radiação luminosa que, após ser emitida pela fonte de luz ou fontes de luz, é refletida por uma ou mais superfícies do ambiente. O montante de luz natural que um edifício recebe nas suas faces externas depende, além da orientação, da forma e do entorno, também da refletividade das superfícies adjacentes (BAKER, 1993; ORAL et al., 2004).

A determinação da refletividade do entorno é uma variável importante que influencia as condições de iluminação natural. Destaca-se que, de acordo com o método do fluxo dividido, a componente refletida é uma das três utilizadas para o cálculo da iluminação natural (HOPKINSON et al., 1975).

Autores como Robbins (1986) consideram obstruções que bloqueiam mais de 50% do campo de visão como “refletoras” e, nesse caso, se tiverem um coeficiente de reflexão superior a 60%, podem inclusive ser associadas a possíveis fontes de ofuscamento. Para Mesa et al (2004), uma superfície refletora próxima pode incrementar a disponibilidade de luz ao nível da fachada em até 110% para condições de céu claro.

A análise de Chatzidimitriou e Yannas (2004), sobre a iluminação natural em um meio urbano, identificou maiores níveis de iluminação nas ruas que no meio da quadra. Um dos fatores responsável por essa diferença seria que as fachadas

voltadas para a rua têm coeficiente de reflexão maior (maior manutenção) que aqueles encontrados nas fachadas voltadas para o meio da quadra.

Em se tratando do cálculo da iluminação natural, o entorno natural pode ser considerado de forma simplificada, atribuindo-se simplesmente um coeficiente de baixa refletância. Os valores atribuídos à reflexão de superfícies externas normalmente encontram-se em torno de 20%, como por exemplo, NG (2005) e Compagnon (2004) que adotaram coeficiente de reflexão na ordem de 20% para as superfícies do entorno, assim como, Littlefair (2001) que optou por coeficiente de refletância para o piso de 10% e para as fachadas, de 22%. Ressalva para Capeluto (2003), que usou refletividade para o piso de 20% e para as superfícies verticais, de 40%.

A vegetação também é um elemento existente no entorno da edificação que pode influenciar na incidência de radiação solar. As árvores reduzem a interreflexão entre as edificações adjacentes a elas. A magnitude dessa redução dependerá das características dessas árvores - largura da copa e da densidade da folhagem, assim como da geometria do meio edificado (canyon urbano). O autor ressalta ainda que o maior efeito de redução da luz natural com árvores é percebido nas interreflexões entre as edificações adjacentes e os pontos onde o céu não é visto devido à presença da vegetação (CHAIYAKUL, 2004).

### 3.3 PARÂMETROS DE ANÁLISE DA LUZ NATURAL NO MEIO URBANO

Os parâmetros de análise da luz natural no meio urbano, que serão comentados a seguir, dividem-se em três principais abordagens: Fator de Céu Visível, Linha de não visão do céu e Fator da Luz do Dia Vertical.

#### 3.3.1 Fator de céu visível

Como a iluminação natural é resultado da contribuição da luz solar direta e indireta, a abóbada celeste se constitui em importante fonte de iluminação indireta. Para especificar a contribuição dessa fonte em um determinado ponto, uma das formas é identificar, para o mesmo, quanto da abóbada é visível. A variável Fator de Céu Visível (FCV) corresponde à área percentual de céu que é visível para um determinado ponto em análise, em relação ao total desobstruído da abóbada.

Para o cálculo do FCV, projeta-se a abóbada sobre um plano bidimensional utilizando um sistema de projeção conhecido (ver item 2.2.1). Tarefa que pode ser facilmente resolvida através de um programa computacional específico.

O FCV, além da influência na iluminação natural em um ambiente interno, apresenta implicações associadas ao clima urbano, como demonstraram os estudos de OKE (1984; 1988). Nos canyons urbanos seria uma das condicionantes principais na constituição de microclimas da camada intra-urbana.

Na análise de Carvalho et al (2005), sobre atributos da morfologia urbana e variáveis climáticas em uma fração urbana, verificou-se que existe uma correlação entre o fator de visão do céu e a temperatura do ar, a velocidade do vento e o índice de aproveitamento, também entre a taxa de ocupação e a insolação. Em estudo realizado na cidade de Bauru foram analisadas as relações entre o fator de visão do céu, a temperatura urbana e o consumo de energia, tendo sido constatado uma efetiva relação entre essas variáveis. Para o local em análise, latitude 22° e altitude 500 a 630 m, um fator de visão do céu entre 70 e 80% representou melhor desempenho (SOUZA et al., 2005).

Em alguns locais, o direito à insolação e à luz natural utiliza o FCV como parâmetro. Na cidade de New York é adotado um método, baseado no diagrama de Waldram e denominado de Carta de avaliação da luz natural, que exige para um observador situado ao nível da rua pelo menos 75% da abóbada celeste visível.

Modelo similar foi utilizado na cidade de Boston, porém com uso de lente olho de peixe (WOTTON, 1998).

Capeluto (2003) propõe um parâmetro denominado de Ângulo sólido do céu, que, similarmente ao FCV, consiste no ângulo sólido referente à parte visível do céu para um ponto localizado no centro de uma abertura em análise, ver Figura 3.10 abaixo. A proposta do autor é de, através desse parâmetro, acessar o impacto da obstrução externa na iluminação natural do ambiente interno.

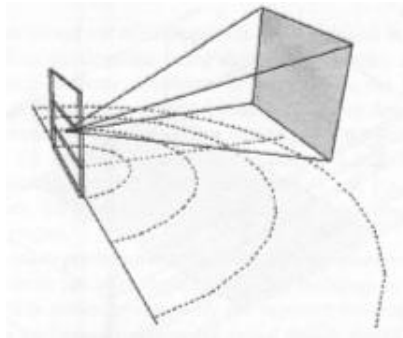


Figura 3. 10 – Ângulo sólido do céu medido no centro da abertura (CAPELUTO, 2003)

O ângulo sólido do céu é determinado calculando-se o ângulo sólido correspondente à obstrução (ou obstruções) do exterior. O ângulo sólido na hemisfera é  $2\pi$ , considerando-se que uma abertura pode potencialmente visualizar apenas metade do hemisfério, o máximo valor de ângulo sólido para uma abertura é  $\pi$  stereradianos (ver Figura 3.11), sendo assim o ângulo sólido do céu visível é a subtração do máximo ângulo sólido pelo ângulo sólido da obstrução existente.

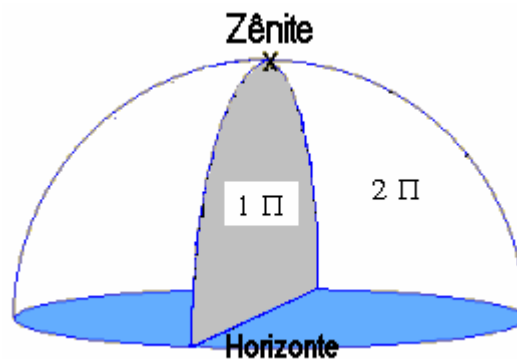


Figura 3. 11 – Croqui representando um hemisfério ( $2\pi$ ) e meio hemisfério ( $1\pi$ )

Com base na hipótese de que a dimensão da área de céu visível seria um indicador da performance da luz natural, Ng (2005a; 2005b; 2004; 2001) realizou estudos procurando incorporar esse conceito na legislação sobre luz natural no meio urbano em Hong Kong. Considerando autores como Hopkinson, Littlefair e Tregenza, o autor propõe o parâmetro Área de Visão Desobstruída (AVD).

O AVD consiste na determinação de um cone de visão do céu dentro do qual determinada parcela de visão do céu estaria desobstruída. O parâmetro é medido a partir do centro da janela e limitado por ângulos de: 50° à esquerda e à direita em planta baixa (ângulo horizontal) e pela altura da obstrução em corte (ângulo vertical) (ver Figura 3.12). Na definição do método foram realizadas medições reais e simulações computacionais. Nas medições foram correlacionados o FLD no ambiente interno e o Fator da luz do dia vertical a partir da abertura (na fachada). Nas simulações computacionais foi analisado o Fator da luz do dia vertical a partir da fachada das edificações e em diferentes condições de cenários urbanos.

O método está sendo adotado na legislação edilícia de Hong Kong e possibilita, de forma simplificada e através de informações obtidas em planta, o acesso à área de visão do céu em um meio urbano densificado.

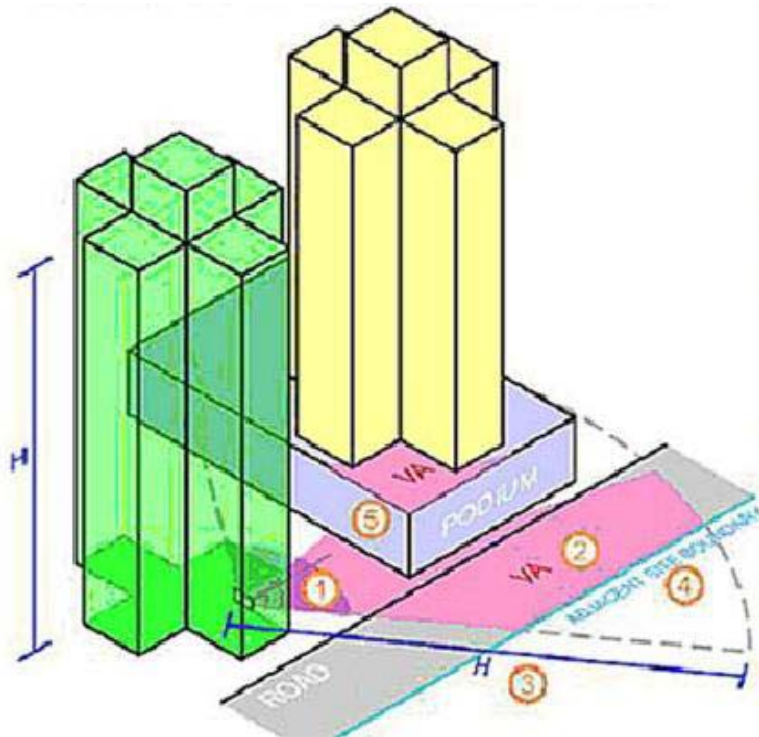


Figura 3. 12 – Aplicação do método da área de visão desobstruída (NG, 2003)

### 3.3.2 Linha de não visão do céu

A linha de não visão do céu (no-sky line) consiste em um parâmetro, medido a partir do ambiente interno, que está diretamente vinculado à condição de obstrução do ambiente externo (LYNES, 1968; LITTLEFAIR, 1991). Consiste em uma linha que divide o ambiente em duas partes, ver Figura 3.13, partindo de um plano situado a 0,85 metros (plano de trabalho), passando pela verga da janela até a obstrução no ambiente externo.

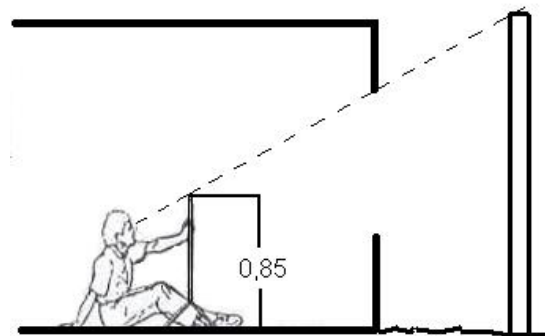


Figura 3. 13 – Método de identificação da linha de não visão do céu (LITTLEFAIR, 1991)

A profundidade do ambiente com visão do céu pode ser obtida através da fórmula apresentada abaixo. A Figura 3.14 apresenta um esquema com as variáveis da fórmula.

$$d = x \times \frac{h}{y}$$

**Equação 3. 2**

Onde: d = profundidade do ambiente com visão do céu (m)  
 h = altura da verga da janela acima do plano de trabalho (m)  
 y = altura da obstrução acima da verga da janela (m)  
 x = distância da abertura até a obstrução (m)

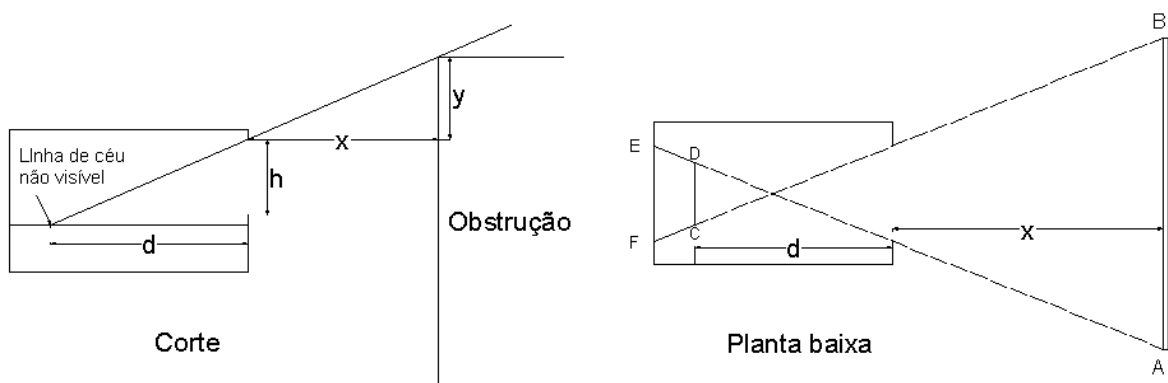


Figura 3. 14 – Corte e planta baixa com a linha de não visão do céu (LITTLEFAIR, 1991)

Segundo Littlefair (1991), a linha de não visão do céu também é um indicador da distribuição da luz natural em um ambiente interno. Essa linha divide o ambiente em duas partes: área do ambiente com visão do céu e área sem visão do céu. As áreas atrás da linha de não visão do céu tendem a apresentar níveis de iluminação mais baixos.

### 3.3.3 Fator da Luz do Dia Vertical e Componente Celeste Vertical

O nível de iluminação em um ambiente interno depende do montante de luz natural disponível na fachada, da configuração da abertura e da sua relação com o ambiente interno. A disponibilidade de luz natural sob a fachada depende, por sua vez, das condições climáticas e da configuração do entorno. Regular a obstrução do entorno é uma das formas de controlar o acesso à luz natural, entretanto as obstruções se comportam normalmente de forma muito irregular, acarretando a necessidade de um parâmetro que agregasse as variáveis inerentes às obstruções do entorno. Nesse contexto, o Fator da Luz do Dia Vertical (FLDV) tem sido um parâmetro utilizado para análise das condições de iluminação natural em fachadas no meio urbano.

O FLDV corresponde à razão entre a iluminância sobre um ponto de referência em um plano vertical e a iluminância observada sobre uma superfície horizontal desobstruída, medida em condições de céu encoberto. O parâmetro considera a luz proveniente da abóbada celeste e a luz refletida pelo entorno, que podem ser divididas em quatro componentes: componente vertical celeste, devido à luz proveniente do céu; componente refletida proveniente das obstruções do entorno; componente refletida proveniente do piso; e a componente interrefletida proveniente de interflexões no entorno (CHEUNG; CHUNG, 2005).

Love (1992) ressalta a importância da inserção da iluminação vertical como indicador da performance da iluminação natural, principalmente devido a aspectos como:

- A percepção da iluminação em um espaço não ocorre somente sobre planos horizontais, resultando em proposições como a caracterização da iluminação em termos de “campo de iluminação”, que originou parâmetros como a iluminação escalar e o vetor iluminação. Alguns autores destacam que a iluminação é percebida justamente pelos planos verticais.

- As tarefas visuais nem sempre são desenvolvidas sobre o plano horizontal, há um grande número de tarefas voltadas para planos verticais. Destaca-se a utilização do computador, que acentuou sobremaneira o uso do plano de trabalho vertical.

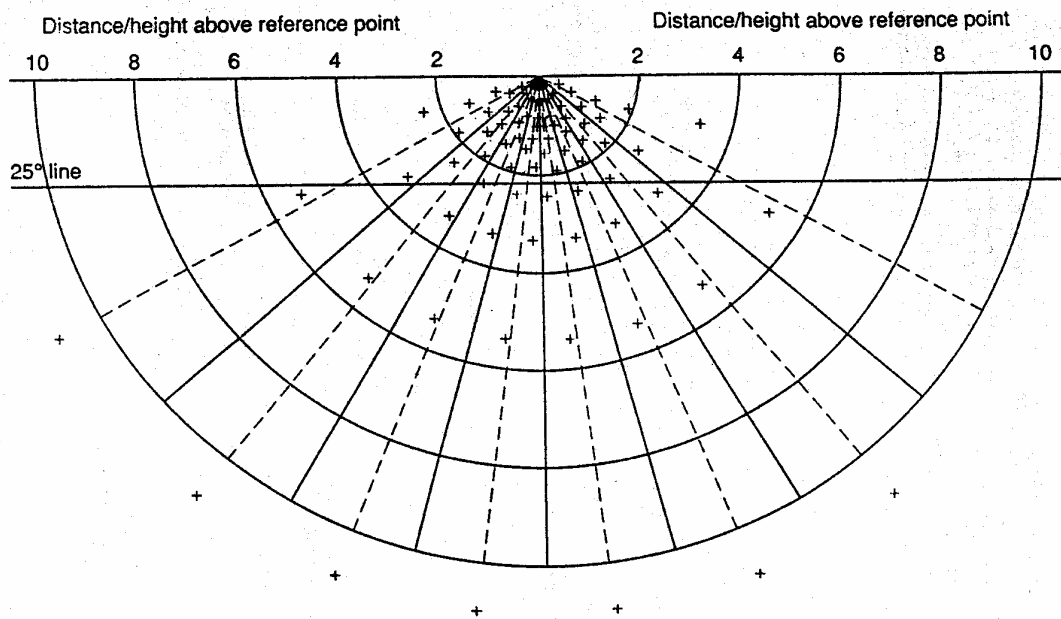
O FLDV pode ser utilizado como um parâmetro de análise da disponibilidade de luz natural sobre uma fachada. A legislação de Hong Kong recentemente incorporou esse critério na sua norma edilícia para controle do acesso à luz natural nas edificações. Essa legislação está baseada nos estudos de Ng (2003; 2004; 2005), que utilizou o FLDV como indicativo da quantidade de luz natural presente na fachada das edificações.

Para ambientes de permanência prolongada recomenda-se FLDV de 8% e para ambientes de permanência não prolongada, como cozinha, FLDV de 4%. No desenvolvimento da proposta Ng (2003; 2004; 2005) realizou medições em edificações existentes na cidade de Hong Kong, a fim de correlacionar o FLDV, a partir da abertura e na fachada da edificação, com a iluminação natural presente no ambiente interno, a partir de um plano horizontal.

Littlefair (2001; 1998b), por sua vez, sugere a utilização da Componente Celeste Vertical (CCV) como parâmetro de análise da disponibilidade de luz natural em meios urbanos. Segundo o autor, o montante de luz proveniente do céu e incidente sobre uma superfície vertical pode ser quantificado como CCV, que é a razão entre a iluminância incidente sobre uma superfície vertical e a iluminância horizontal para um céu desobstruído. Essa razão é de aproximadamente 40%, da componente incidente sobre um plano horizontal, para uma parede vertical completamente desobstruída (LITTLEFAIR, 1991). Se a componente vertical celeste for utilizada como parâmetro, o autor recomenda sobre a fachada, a uma altura de 2 metros, uma CCV de 27% ou, para as divisas do lote, um valor de 17%.

Para o cálculo da Componente Celeste Vertical, Littlefair (2001), propõe dois métodos gráficos de cálculo: o diagrama denominado de Indicador da luz do céu, (ver Figura 3.15) sobre o qual pode-se manualmente calcular a CCV e o diagrama de Waldram.





**Figura 3. 15 – Indicador da luz do céu para cálculo da componente celeste vertical (LITTLEFAIR, 1991)**

Marsh (2005a) observa que os indicadores da legislação britânica baseiam-se nos parâmetros estabelecidos pelo Building Research Establishment (BRE). Para o cálculo da disponibilidade de luz natural nas aberturas adjacentes, o BRE utiliza a CCV. A lei exige que novas edificações não reduzam abaixo de 80% o valor original da disponibilidade de luz natural nas aberturas do entorno.

### 3.4 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS URBANOS

Os programas de simulação computacional podem ser simplificados sob uma estrutura bidimensional. De um lado, o modelo matemático de resolução do problema e de outro, o problema, que se constitui no modelo sobre o qual serão realizadas as simulações. Atualmente a modelagem, composta pela definição e construção do modelo de análise, se mostra como uma das principais etapas no processo de simulação computacional da luz natural. Segundo Turkienicz (1994), os modelos são representações simplificadas de suas propriedades que estão interrelacionadas em função das finalidades para as quais são construídas. A metodologia utilizada na elaboração de modelos é, em geral, hipotética-dedutiva. A definição das hipóteses tem por objetivo tornar a problemática, a ser analisada, manipulável, sob o ponto de vista da adequação da linguagem matemática ao

estudo das propriedades do modelo. Além da hipótese inicial, são também definidas a variável dependente que se deseja tomar como objeto de estudo e as variáveis independentes que podem influenciar no desempenho da variável dependente.

Ainda segundo Turkienicz (1994), os planos diretores ou códigos de edificações representam um conjunto de idéias sobre o desempenho das edificações que se desenvolveu sob regras originárias do modelo de formas construídas adotado. Esse modelo se estrutura principalmente através da relação lote e edificação, e disciplina o crescimento físico da cidade. As regras adotadas nos planos e códigos admitem análise de desempenho.

Para a construção de modelos de análise do meio urbano, a metodologia abordada neste trabalho é a de construção de cenários. Um cenário, segundo definição de Godet (2000), é um conjunto formado pela descrição de uma situação futura e do encaminhamento dos acontecimentos que permitem passar da situação de origem a essa situação futura. Para o autor três passos são essenciais:

- Identificar as variáveis-chave, delimitar o sistema e a sua envolvente;
- Determinar as variáveis essenciais e colocar as questões-chave para o futuro;
- Analisar a estratégia dos atores e definir os cenários mais prováveis.

Segundo Toni (2006), o uso de cenários se generalizou a partir da teoria militar e tem sido empregado como ferramenta de gestão pública e privada desde os anos cinqüenta. Grandes corporações, como a Shell e empresas de consultoria, difundiram e popularizaram metodologias. No Brasil, empresas estatais de grande porte, como Petrobrás e Eletrobrás, e organizações governamentais, como CNPq e BNDES, têm utilizado metodologias de cenário na prospecção de mercado, preços, demanda, desenvolvimento tecnológico e outros. Um trabalho recente no âmbito federal denominado “Brasil 3 tempos”, desenvolvido pelo IEA (Instituto de Estudos Avançados) da USP, projeta conjuntos de cenários para o país nos anos de 2007, 2015 e 2022. Os cenários se estruturam, nesse caso, como instrumento para se pensar o futuro do país (WRIGHT et al., 2006).

O método de geração de cenários tem sido empregado na arquitetura com o objetivo de analisar grande número de variáveis. Compagnon (2004) utilizou uma metodologia que consiste na construção tridimensional de diferentes soluções de ocupação do meio urbano, seguida de simulação computacional no programa Radiance. Valores de irradiância e iluminância, sobre uma malha nas superfícies verticais e horizontais das edificações, são computados resultando na caracterização

do potencial de captação e aproveitamento da luz solar para cada superfície em análise. O método oferece a possibilidade de avaliar os impactos na disponibilidade de luz natural que o meio urbano pode provocar, identificar as superfícies mais adequadas à captação solar e visualizar o sombreamento de elementos naturais, como árvores e outros (COMPAGNON, 2004).

No estudo realizado por Fernandez et al (2001), sobre um recorte urbano na cidade de Mendoza (Argentina), diferentes cenários urbanos foram gerados para análise do potencial solar no meio urbano, resultantes de variações na taxa de ocupação e índice de aproveitamento. A primeira etapa do estudo compreendeu a determinação do potencial de acesso solar e a determinação das estratégias mais adequadas para maximizar o potencial de implementação de sistemas de energia solar nos edifícios urbanos. Para atingir os objetivos, os seguintes passos foram adotados: mapeamento das edificações em um recorte urbano; determinação do padrão de sombras (edifício individual) para o solstício de inverno; definição do padrão de sombras para um conjunto de edificações e somatório do total de áreas sombreadas por blocos. O item a seguir descreve o programa computacional Cityzoom que, entre suas habilidades, destaca-se a geração de cenários urbanos.

#### 3.4.1 O programa Cityzoom

Desenvolvido no Laboratório para Simulação e Modelagem em Arquitetura e Urbanismo (SimLab), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), por Benamy Turkienicz e sua equipe, o programa computacional Cityzoom é um Sistema de Suporte à Decisão para planejamento urbano. O programa apresenta como principal objetivo a otimização do processo de planejamento urbano ([www.cityzoom.net](http://www.cityzoom.net)).

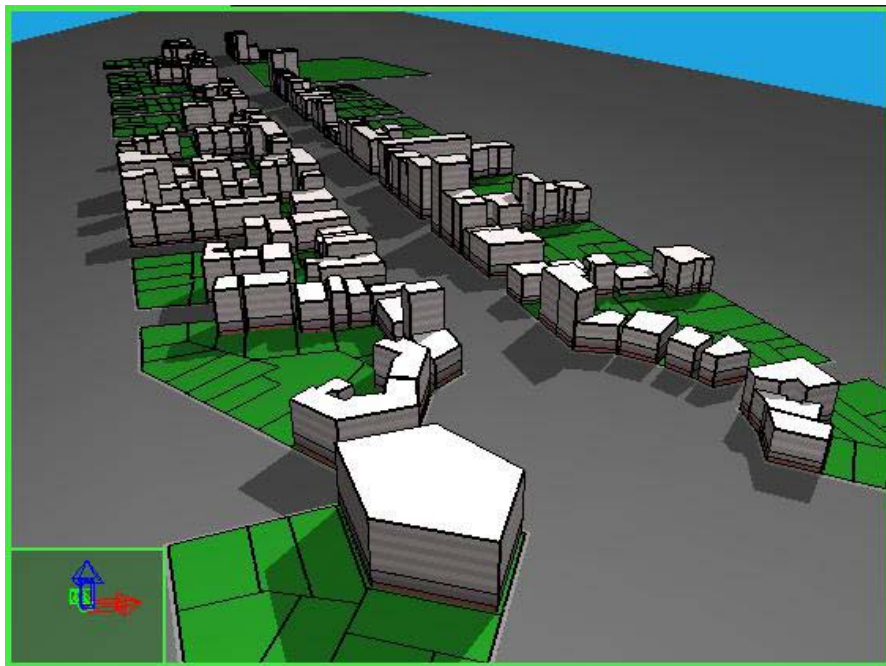
No programa Cityzoom as informações são representadas em um modelo que representa a estrutura urbana (quadras, ruas, lotes, prédios, etc), tendo como principais características e habilidades:

- Ferramentas de simulação de Plano Diretor;
- Ferramentas para inclusão de cidades existentes e para o planejamento de novas;
- Ferramentas GIS integrada;
- Visualização 3D utilizando OpenGL;

- Importação e exportação de arquivos dxf.

Com o programa Cityzoom é possível gerar modelos para simulação do potencial construtivo de lotes urbanos, baseado nas Regras do Plano Diretor, constituindo-se em cenários urbanos. Na Figura 3.16 pode ser observada a vista tridimensional de um cenário urbano, gerado com o programa Cityzoom.

O programa possibilita ainda análises usando Sintaxe Espacial e Teoria dos Grafos (possibilitando a previsão do comportamento de variáveis envolvidas em simulação de tráfico urbano).

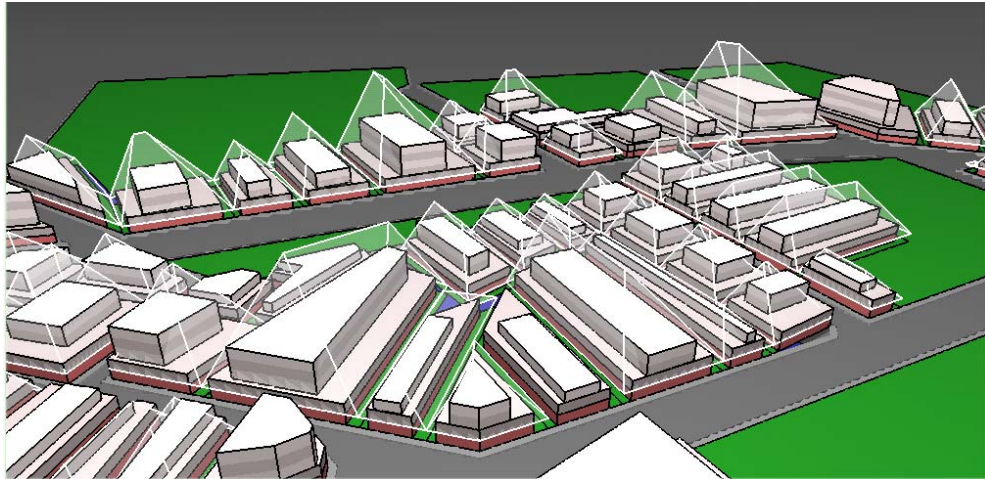


**Figura 3. 16 – Vista tridimensional de um cenário urbano gerado com o programa Cityzoom (CITYZOOM, 2007)**

A importância do programa Cityzoom no desenvolvimento deste trabalho está na geração dos cenários urbanos. Partindo de um sistema base, que representa o traçado urbano, são inseridas no programa as principais variáveis que se pretende analisar, para se obter como resposta um modelo que representa a prospecção de uma forma de ocupação urbana.

O programa também permite a geração de cenário urbano utilizando o conceito envelope solar (item 3.1.2.2), o que possibilita o controle da garantia de insolação ao grupo de edificações. A Figura 3.17 apresenta um cenário gerado através da utilização do conceito de envelope solar, no qual as linhas em branco no formato piramidal representam o envelope.

O Cityzoom também disponibiliza o gráfico estereográfico da abóbada celeste, com a trajetória solar e o mascaramento resultante do entorno natural e edificado. Variáveis de ocupação do meio urbano, como, por exemplo, densidade e volumetria, podem ser obtidas com o programa (GRAZZIOTIN; TURKIENICZ; et al., 2004).



**Figura 3. 17 – Cenário gerado utilizando o conceito de envelope solar**

Entre as possibilidades que o programa oferece, correlacionadas com o desenvolvimento desse trabalho, destaca-se a visualização tridimensional que representa a cidade sendo modelada. Essa ferramenta suporta ainda a geração de sombras em uma situação real de hora e local.

### 3.5 CONCLUSÕES SOBRE O CAPÍTULO 3

Esse capítulo iniciou com as principais variáveis relacionadas à presença da luz natural no meio externo. Destacaram-se os resultados de medições realizadas na cidade de Florianópolis, que apresentam uma ocorrência de céu encoberto geralmente superior, em torno de 30 a 50%, às condições de céu claro e céu intermediário. Essa observação foi uma das condicionantes na decisão de utilizar a condição de céu encoberto nas investigações realizadas no desenvolvimento do trabalho.

A seção seguinte aborda a distribuição de luminâncias na abóbada celeste, proposta elaborada inicialmente por Tregenza (1993) e inserida na NBR 15215 (2005). Como principais observações, destaca-se a metodologia proposta, que permitirá, no andamento deste trabalho, investigações para a caracterização do

potencial de iluminação da abóbada celeste em relação a planos em diferentes inclinações e condições de obstrução.

Embora reconhecida como variável de grande impacto na disponibilidade de luz natural, a obstrução do entorno é normalmente é ignorada, ou assumida de forma simplificada, nas análises sobre a iluminação natural. Meios urbanos muito densificados apresentam situações de disponibilidade de luz natural reduzidas, conseqüentemente, algumas regras têm como objetivo controlar o direito à luz natural das edificações, como, por exemplo, os indicadores de controle da obstrução do céu, estabelecidos por autores como Hopkinson (1975), Littlefair (1991) e Robbins (1986). A proposta denominada de Envelope solar, associada a ferramentas computacionais, coloca-se como uma alternativa, apesar de ainda apresentar limitações, relacionadas à preservação de ângulos de obstrução.

Na abordagem sobre as variáveis de impacto na presença de luz natural no ambiente externo, verificou-se que o coeficiente de reflexão constitui uma fonte indireta de grande impacto que, assim como o entorno, tem sido assumida de forma simplificada. Normalmente atribui-se um valor em torno de 20%.

Os principais parâmetros de análise da luz natural no meio urbano, destacados neste capítulo, referem-se à obstrução do céu, e são representados pelo FCV e a Linha de ausência do céu. Também foram destacados os parâmetros FLDV e CCV, que são mecanismos de observação da iluminação sobre planos verticais (ou fachadas) em meios urbanos. O FCV tem forte relação com a disponibilidade de luz natural, contudo apresenta a limitação de não identificar as porções do céu que estão sendo visualizadas. A linha de ausência de visão do céu é um parâmetro que desempenha um grande papel na iluminação de um ambiente interno, pois identifica porções do ambiente que serão menos iluminadas, embora tenha a limitação de ser uma ferramenta simplificada. Acredita-se que esses dois parâmetros, FCV e a linha de ausência de visão do céu, podem servir de base na proposição a ser desenvolvida nessa pesquisa.

O tema simulação de cenários urbanos encerrou esse capítulo. A geração de cenários urbanos para estudos sobre a presença de luz natural é uma tendência em crescimento. Nesse contexto, destacou-se o programa Cityzoom, que permite a geração de cenários com base em dados reais de configuração urbana.

No próximo capítulo serão apresentados aspectos da iluminação no ambiente interno, finalizando assim a revisão bibliográfica.



## capítulo 4

---

# **4 iluminação natural no ambiente**

**interno**

#### 4.1 INTRODUÇÃO - ILUMINAÇÃO NATURAL NO AMBIENTE INTERNO

A iluminação natural em um ambiente interno é influenciada também pelas características morfológicas e propriedades físicas de transparência e opacidade. Primeiramente apresenta-se as principais variáveis, pertencentes ao ambiente interno ou ao edifício, que influenciam na performance da iluminação natural. Essas variáveis dividem-se em orientação, formato do edifício e do ambiente interno, aberturas ou sistemas de passagem da luz e elementos de controle.

Na segunda parte, expõe-se os parâmetros de análise de performance da iluminação: iluminância, Fator da Luz do Dia e iluminância útil da luz natural. O mapa apresentado na Figura 4.1 ilustra o desenvolvimento desse capítulo.

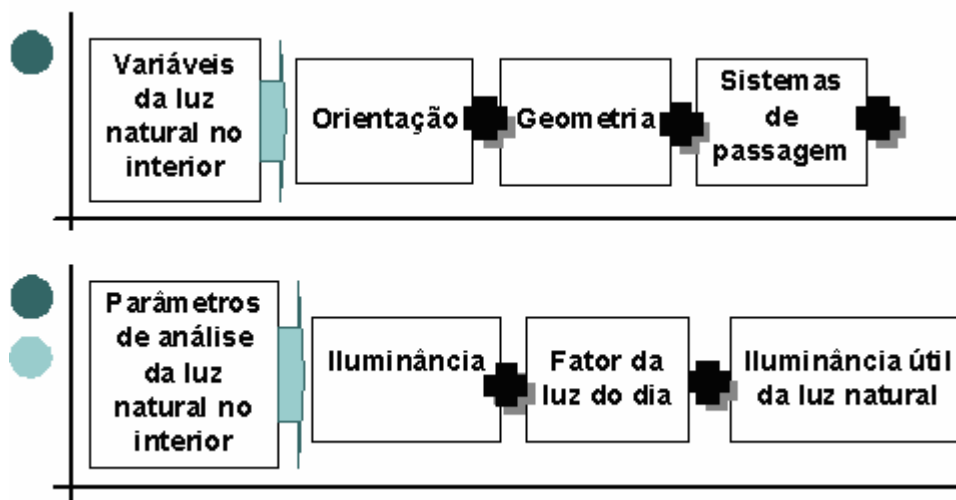


Figura 4. 1 – Mapa conceitual do capítulo 4: Iluminação natural no ambiente interno



## 4.2 VARIÁVEIS DA ILUMINAÇÃO NATURAL NO AMBIENTE INTERNO

Nos itens a seguir são expostas as principais variáveis de projeto da iluminação natural no ambiente interno: orientação, formato do edifício e do ambiente interno, aberturas ou sistemas de passagem da luz e elementos de controle.

### 4.2.1 Orientação

A orientação determina o posicionamento do sol em relação ao edifício nas diversas estações. Segundo Lam (1986) orientações favoráveis ao clima local devem ser valorizadas através do planejamento, como a definição do sentido de novas ruas considerando as orientações que se pretende estimular nas edificações a serem construídas.

O controle da ocupação do solo através do Envelope Solar (Knowles, 2003) é uma estratégia que considera a orientação no planejamento urbano. A consideração da orientação no planejamento urbano é uma das variáveis apresentadas por Alluci et al. (1997) que devem ser incluídas nas leis de ocupação do solo.

Para a condição de Florianópolis, latitude 27° Sul, uma fachada orientada para o Norte tem maior ganho de radiação solar no inverno, quando o sol é desejável e apresenta uma altitude solar mais baixa e ganho médio no verão, quando a altitude solar é alta e a radiação solar indesejável (verificar a Carta Solar de Florianópolis na Figura 2.9).

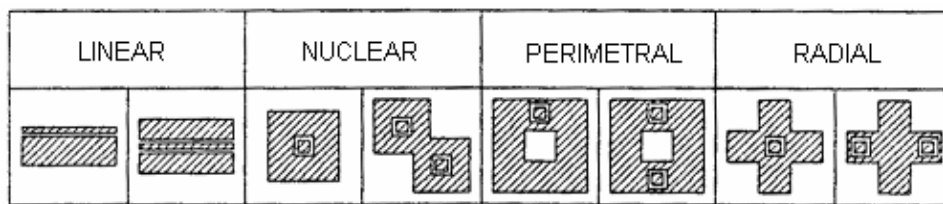
A orientação Norte também apresenta a vantagem de permitir mais facilmente o controle da radiação indesejável através de elementos horizontais, assim como a orientação Sul. Ao contrário das orientações Leste e Oeste, nas quais o controle efetivo só é possível com elementos que obstruem em excesso a visão do exterior ou elementos dinâmicos (LAM, 1986).

O potencial de ganho solar através das aberturas depende fortemente da orientação da fachada. No projeto das aberturas, é importante considerar que a penetração da radiação solar em grandes aberturas no verão pode elevar a temperatura interna a valores muito acima daqueles encontrados no ambiente externo, sendo a fachada Oeste à tarde a mais crítica. A insolação nessas fachadas deve ser invariavelmente evitada ou controlada, para climas úmidos, contudo, a orientação da abertura deve considerar o aproveitamento da ventilação natural.

Caso a direção dos ventos predominante seja o Oeste, a radiação solar deve ser controlada com um efetivo sombreamento das aberturas, uso de cores claras nas paredes externas e sombreamento através de vegetação (GIVONI, 1994).

#### 4.2.2 Formato do edifício e do ambiente interno

Em uma análise sobre diferentes formatos de edifícios de escritório, Baker (1993) observa que as formas linear e radial asseguram maior potencialidade para a iluminação natural, seguidas pela forma perimetral, que também demonstra alguma potencialidade. Por último, o tipo nuclear apresenta o menor potencial (ver na Figura 4.2 esquema em planta baixa com o formato habitual de edifícios). Porém, o autor ressalta que mesmo com a atual predominância de formas mais compactas na arquitetura de escritórios, onde ocorre maior área de espaços internos com menores níveis de iluminação natural, deve-se considerar que as zonas no perímetro da edificação sempre oferecem potencial de aproveitamento da luz natural.



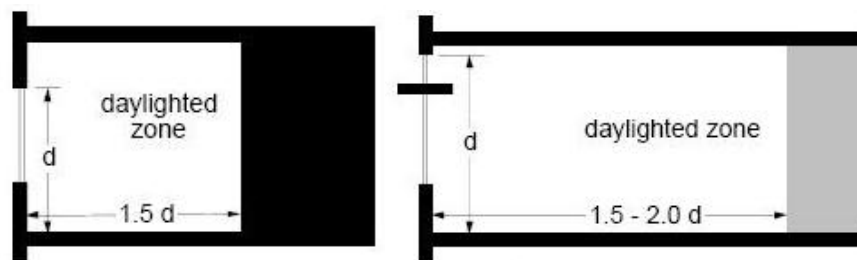
**Figura 4. 2 – Formato habitual de edifícios: linear, nuclear, perimetral e radial (BAKER, 1993)**

Grandes edifícios com alta relação Volume/Superfície (V/S) – proporção entre o volume e as superfícies externas da edificação, segundo o autor  $V/S \geq 10$  – consomem energia principalmente para compensar os ganhos internos e oferecem menor possibilidade de aproveitamento dos recursos naturais. Enquanto pequenos edifícios - baixa relação de V/S - requerem energia principalmente para compensar os ganhos térmicos provenientes dos fechamentos externos, porém apresentam um forte potencial de aproveitamento dos recursos naturais como insolação e luz natural, ventilação e visão do exterior (KNOWLES, 2003). Quando comparadas duas situações: edifício ventilado naturalmente e edifício condicionado artificialmente, ambos com 12 metros de profundidade, o consumo total de energia do edifício condicionado artificialmente é quase três vezes aquele calculado para o edifício ventilado naturalmente (STEMMERS, 2003).

Segundo Zhu e Lin (2004), edifícios comerciais geralmente têm grandes áreas internas e maiores ganhos de calor interno que edifícios residenciais. Para esses, o sistema de ar-condicionado e a iluminação são grandes consumidores de energia. Como consequência, a solução adotada no envelope construtivo pode influenciar consideravelmente o consumo desses sistemas artificiais: soluções ruins conduzem a um grande consumo de energia, além de desconforto térmico.

Em relação à iluminação natural, edifícios mais estreitos com iluminação bilateral se sobressaem dos mais profundos. Na medida em que as áreas mais internas (menos iluminadas) são menores o aproveitamento da luz natural é maior, além das vantagens às impressões visuais do espaço, uma vez que existem ligações visuais efetivas com o exterior (IWASHITA, 1999).

Para aumentar a densidade e eficiência energética simultaneamente, Steemers (2003) sugere um limite de profundidade da edificação entre 10 e 12 metros, que garantiria o acesso solar, a luz natural e a ventilação. Muller (1997) recomenda uma profundidade máxima de 5 metros para garantir a iluminação natural em um ambiente interno iluminado por aberturas laterais. Outros autores sugerem que aberturas laterais convencionais podem iluminar naturalmente um ambiente interno até uma profundidade de 1,5 a 2 vezes a altura da janela, acima do piso, conforme indica a Figura 4.3 (O'CONNOR et al, 1997; IEA SHC, 2000).



**Figura 4. 3 – Profundidade recomendada para iluminação natural (O'CONNOR, 1997)**

Ratti, Baker e Steemers (2005) utilizam o conceito de zona passiva e zona não passiva. Zona passiva se refere às partes da edificação nas quais é possível o aproveitamento da luz natural, da radiação solar e da ventilação. Toda área perimetral da edificação de até no máximo 6 metros de profundidade, ou de até duas vezes a altura do pé direito, é classificada como zona passiva, enquanto as outras áreas são consideradas como não passivas. A proporção entre áreas passivas e não

passivas em uma edificação proporciona uma estimativa do potencial de implementação de estratégias de baixo consumo de energia. Segundo os autores, esse conceito seria um indicador mais adequado do que a razão entre o volume da edificação e a área de superfície.

O código de edificações da Inglaterra (apud MARSH, 2005a) incorpora um conceito similar, ao definir como zona de perímetro aquelas áreas na edificação situadas a menos de 6 metros da abertura, que seriam as zonas passíveis de aproveitamento da luz natural.

Para Reinhart (2005), a área iluminada naturalmente encontra-se entre 1 e 2 vezes a altura da abertura, considerando-se ainda que o exato valor é influenciado pelo tipo de vidro e o nível de iluminação exigido para o local. Se o local não exige o uso de elementos de controle (brises), esse valor pode ainda subir para 2,5. Na Tabela 4.1 abaixo, extraída de Reinhart (2005), estão algumas das principais recomendações para profundidade de ambientes iluminados com luz natural.

**Tabela 4. 1 – Profundidade recomendada para ambientes iluminados naturalmente**

<b>Recomendação</b>	<b>Referência</b>
Em torno de 2 vezes a altura da abertura	A Green Vitruvius, p. 72 (COFAIGH et al. 1999)
2,5 vezes a altura existente entre o plano de trabalho até a altura máxima da abertura	DIN V 18599 part 4 (2005)
1,5 vezes a altura da abertura ou 2,0 vezes se houver prateleira de luz ou outro sistema de reflexão da luz	US DOE – 2005
1,5 a 2,0 vezes a altura da abertura	O'Connor et al., 1999
1,5 vezes a altura da abertura	Daylighting Guide for Canadian Commercial Building (ENERMODAL, 2002)
1,5 vezes a altura da abertura, sendo que a luz solar direta pode chegar a uma profundidade de até 2,0 vezes	Robertson, 2005
2,0 vezes a altura da abertura	IESNA, 2004

Fonte: REINHART, 2005

Reduzir a profundidade dos ambientes internos é uma das estratégias sugeridas por Littlefair (1991), para situações de pouca disponibilidade de luz natural.

Também a cor e a textura das superfícies no ambiente interno são importantes. O coeficiente de reflexão das superfícies internas, paredes ou mobiliário, afeta consideravelmente as condições de iluminação no interior. É sabido que cores claras refletem maior percentual da luz incidente, enquanto cores escuras absorvem mais. Recomenda-se o uso de coeficientes de reflexão alto nas superfícies internas, principalmente na parte superior das paredes e forro, para aumentar a performance do sistema de iluminação. Para paredes, recomendam-se refletâncias de 50 a 70%, para o forro, 80% ou mais, e para o piso, valores entre 20 e 40% (REA, 2000).

#### 4.2.3 Aberturas ou sistemas de passagem da luz

A luz presente no exterior, direta ou difusa, chega ao ambiente interno através da abertura, elemento que se interpõe como componente de passagem<sup>3</sup> da luz natural presente no exterior para o interior. Uma abertura não é simplesmente uma superfície transparente em meio a um conjunto de superfícies opacas, mas sim, um sistema composto de inúmeras funções como: iluminação natural, aquecimento passivo, ventilação e visão e contato com o exterior.

Para Baker et al. (1993), os componentes da luz natural dividem-se em dois grandes grupos: componentes de condução e componentes de passagem. Segundo os autores, os componentes de condução guiam e distribuem a luz em direção ao interior da edificação e estão conectados aos componentes de passagem. Componentes de passagem são elementos projetados para permitir a passagem da luz de um ambiente a outro, sendo a janela o exemplo mais comum.

Historicamente, as janelas laterais têm sido a forma predominante de iluminação natural, em especial por proporcionar simultaneamente iluminação, ventilação e visão do exterior (LAM, 1986), embora possuam características negativas, como a grande incidência de ofuscamento nas proximidades da abertura e o alto contraste na distribuição dos níveis de iluminação (ROBBINS, 1986).

Para Koenigsberger et al (1997), no desenvolvimento do projeto de uma abertura, o projetista possui três principais variáveis que devem ser observadas: a orientação e o tamanho da abertura, o elemento de proteção solar interno e/ou externo e o tipo de vidro.

---

<sup>3</sup> Conforme definição de Baker et al (1993).

Segundo a Buildings Owners and Managers Association Victoria Division – BOMA (1994 apud PEDRINI, 2002), a área das aberturas deve ser mantida no mínimo necessário e localizada de forma a proporcionar descanso visual aos usuários. Deve-se também considerar que:

- A radiação solar deve ser minimizada nas orientações Leste, Oeste e Norte;
- O vidro abaixo de 60 cm e acima de 2 metros, a partir do nível do piso, deve ser evitado, a menos que a solução apresente uma iluminação livre de ofuscamento e substitua a iluminação artificial.
- O menor consumo de energia ocorre quando a área de janela / área de parede encontra-se entre 25-40% para vidro simples e 50% para vidro duplo.

KRARTI et al (2005) concluíram que, para vidros com transmitância acima de 50%, aumentando a relação de área de janela pela área de piso acima de 0.5, a economia de energia, com iluminação, não apresentaria um adicional significativo. O modelo de análise proposto pelos autores considerou a área de perímetro da edificação, a área da abertura e o tipo de vidro.

Como regra geral, O'Connor et al. (1997) sugerem minimizar a área de aberturas voltadas para Leste e principalmente Oeste e manter uma relação de abertura entre 30 e 40% da área da parede externa. A Tabela 4.2 exibe um resumo das principais recomendações para a área de abertura, que, segundo os autores, desempenha melhor performance no consumo de energia.

**Tabela 4. 2 – Recomendação de área de janela x área de parede externa**

<b>Proporção de área janela x área parede</b>	<b>Referência</b>
Área de janela x área de parede externa de 25-40% para vidro simples e 50% para vidro duplo	BOMA, 1994
Área de janela por área total da edificação até 0,5	Krarti et al, 2005
Área de janela x área de parede externa até 60%.	AHSRAE, 1995

#### 4.3 PARÂMETROS DE ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO NATURAL NO AMBIENTE INTERNO

A função da iluminação em um ambiente interno é possibilitar, com a melhor performance e conforto, o desenvolvimento das tarefas visuais. A qualidade da

iluminação em um ambiente interno não depende somente da quantidade de luz natural, pois muita luz não é sinônimo de boa iluminação, embora, tradicionalmente, conforto visual em ambientes de trabalho tenha sido associado simplesmente ao atendimento dos níveis de iluminação necessários ao desenvolvimento das tarefas visuais. Conforto visual compreende, além da adequada quantidade de luz, aspectos como a distribuição espacial das iluminâncias, proporção das luminâncias, direcionalidade da luz incidente (forma das sombras), conteúdo espectral e reprodução de cor, ausência de ofuscamento e ruídos visuais (BAKER, 1993; IEA TASK 21, 2002).

Reinhart (2005) ressalta que a iluminação natural em um ambiente interno deve ser adequada e suficiente, aceitável e bem distribuída. O termo adequada e suficiente se refere à quantidade de luz natural no ambiente, sugerindo que níveis mínimos de iluminação natural devem ser mantidos nas diferentes épocas do ano.

Na iluminação aceitável, a satisfação do usuário e o controle do ofuscamento devem ser observados. A luz natural direta deve ser controlada para manter o conforto visual e o uso de elementos de controle é, nesse caso, freqüentemente uma exigência.

Iluminação bem distribuída refere-se à distribuição dos níveis de iluminação na sala. Grandes contrastes entre diferentes áreas iluminadas naturalmente na sala devem ser evitados.

Augenbroe (2003), em uma análise sobre o desempenho de diferentes sistemas de iluminação natural, utilizou os seguintes indicadores:

- Iluminância no plano de trabalho;
- Uniformidade;
- Luminância na superfície da abertura;
- Autonomia da luz natural, utilizando o parâmetro de uma iluminância média superior ou igual a 500 lux, em uma distância de até 3,0 m da janela;
- Visão do exterior.

Moeck (1998) dividiu os indicadores de conforto visual em quantitativos e qualitativos. Sendo os critérios quantitativos:

- Iluminância vertical e horizontal, FLD, iluminância média no plano de trabalho e uso da iluminação artificial;
- Proteção da radiação solar e da luz direta do sol;

- Eficiência do sistema de iluminação natural – transmissão da luz em função do ângulo de incidência e hora;
- Contraste entre as diferentes áreas do espaço;
- Luminância da fonte, luminância no entorno de monitores.

Enquanto os critérios qualitativos são:

- Distribuição da luz natural, uniformidade;
- Parâmetro de conforto visual (ofuscamento);
- Proporção das luminâncias e ofuscamento refletido;
- Direção, direcionalidade e difusão da luz;
- Sombras e reflexos;
- Visão do exterior.

Esse trabalho aborda principalmente os parâmetros quantitativos relativos à iluminação natural, aos quais se referem os itens seguintes. Os parâmetros de caracterização e avaliação da performance da iluminação natural escolhidos foram: iluminância, FLD, autonomia da iluminação natural e iluminação útil da luz natural.

#### 4.3.1 Fator da luz do dia e Iluminância

A iluminância é um parâmetro que determina a quantidade de luz em um ambiente. Corresponde à densidade (concentração) do fluxo luminoso incidente sobre uma superfície. A unidade de medida é o lux, ou lumens por metro quadrado (MOORE, 1985).

O Fator da Luz do Dia <sup>4</sup> (FLD) é definido como a razão entre a iluminância interna sobre um plano horizontal e a iluminância observada no ambiente externo, também sobre uma superfície horizontal e desobstruída, para uma condição de céu encoberto. Usualmente, o plano de medição no ambiente interno está situado a uma altura de 0,85 m acima do piso (ALUCCI, 1992; LOVE, 1992).

A iluminância devido à luz natural em um ambiente interno pode ser medida em valores absolutos ou em percentuais, utilizando o conceito FLD (*daylight factor*). Para alguns países, valores absolutos são utilizados com maior frequência. Para outros, normalmente aqueles com predominância de céu encoberto, o fator de luz diurna é mais utilizado. O FLD é mais aplicado na Europa, onde o céu encoberto é

---

<sup>4</sup> Tradução do termo *Daylight Factor*



predominante, e também tem alguma aplicação na América do Norte (REA, 2000; IEA TASK 21, 2002). No Brasil, o parâmetro de análise mais usual é a iluminância medida em valores absolutos. Contudo, em locais como Florianópolis, que apresentam elevada frequência na condição de céu encoberto, a adoção da análise da iluminação natural através do FLD pode ser considerada adequada.

A NBR 5413 (1992) sobre Iluminância de interiores indica níveis de iluminação mínimos, de acordo com o local e tipo da tarefa visual, idade dos usuários e a refletância do fundo da tarefa. Para escritórios, a recomendação é de 500 lux. A Tabela 4.3 elenca, segundo outras referências, recomendações de iluminâncias.

**Tabela 4. 3 – Iluminâncias recomendadas para escritórios**

<b>Iluminância da tarefa recomendada</b>	<b>Referência</b>
Escritórios em geral 500 lux	CIBSE (1999)
Tarefa visual com médio ou baixo contraste 500-700-1000 lux	IESNA (2001)
Tarefa visual com exigência média 300-500-750	CIE (1996)

Fonte: PARK *et al.* (2003)

Segundo o LEED – Rating System (2005), espaços internos devem ter um fator de luz diurna de 2% em pelo menos 75% dos espaços ocupados e com tarefas visuais. A norma britânica (BSI, 1992 apud LITTLEFAIR, 2001) estabelece que ambientes iluminados lateralmente devem ter coeficiente de luz diurna de 2% em cozinhas, 1,5% em ambientes de estar e 1% em dormitórios.

#### 4.3.2 Autonomia da Luz Natural e Iluminância Útil da Luz Natural

Partindo do parâmetro Autonomia da Luz Natural, Nabil e Mardaljevic (2006) propõem um novo parâmetro para acessar o potencial da luz natural, denominado de Iluminância Útil da Luz Natural (IULN). Esse parâmetro consiste em identificar, também para o período de um ano, a frequência na qual as iluminâncias se mantêm dentro de determinado nível de iluminação, com o diferencial de que, no parâmetro da iluminância útil da luz natural, esse nível de iluminação compreende um intervalo de no mínimo 100 lux e no máximo 2000 lux. Segundo os autores, o IULN proporciona maior informação sobre a iluminação em um ambiente quando comparado a parâmetros como a autonomia da luz natural.

A escolha do limite mínimo de 100 lux é justificada da seguinte maneira: iluminâncias inferiores a 100 lux podem ser consideradas como insuficientes para iluminar um ambiente e contribuem pouco como iluminação complementar a um sistema de iluminação artificial.

O intervalo compreendido entre 100 e 2000 lux, considerado suficiente para iluminar um ambiente interno e/ou contribuir como iluminação complementar a um sistema artificial, foi definido com base em uma revisão de trabalhos publicados sobre comportamento de usuários em ambientes de escritórios com iluminação natural. Alguns trabalhos apontam situações em que os usuários se mostraram satisfeitos com uma iluminação natural (posto de trabalho com computador) de apenas 100 lux. Também se observou que as pessoas têm grande tolerância à iluminação excessiva, quando se trata de luz natural. Valores entre 700 e 1800 lux foram considerados confortáveis pelos usuários (NABIL E MARDALJEVIC, 2006).

Ao se estabelecer o valor de 2000 como limite máximo, as iluminâncias que ultrapassam esse limite são consideradas excessivas e passíveis de causarem desconforto, sendo, portanto vistas como indesejáveis no ambiente interno.

É interessante observar a abordagem de Park et al (2003), que levaram em conta como valor máximo a iluminância de 3340 lux, significativamente maior. Os autores obtiveram esse valor ao relacionar a iluminância com a recomendação da Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) para a máxima luminância das superfícies em um ambiente interno: de 850 cd/m<sup>2</sup>. Considerando uma superfície difusora e com um coeficiente de reflexão de 80%, o valor de 850 cd/m<sup>2</sup> corresponde a uma iluminância de 3340 lux.

Similar ao conceito da iluminância útil, Cábus (1997), Souza (2002) e Kremer (2002) adotam um método de análise que consiste na divisão da iluminação em zonas pré-definidas. Cábus (1997) utiliza, partindo da iluminância sugerida pela NBR 5413 (1992) de 500 lux, intervalo superior e inferior a 500 lux, sendo o inferior até 70% de 500 lux e o superior até 130% de 500 lux, que correspondem a 350 para o intervalo inferior e 750 o intervalo superior. Souza (2002) propõe a divisão das iluminâncias, observada em um ambiente, em zonas, que consistem em intervalos respeitando uma razão entre a iluminância máxima e a mínima inferior a três:  $E_{\text{máx}}/E_{\text{mín}} < 3$  (Robbins, 1986). O objetivo é identificar padrões de distribuição de iluminâncias que podem ser agrupadas. Kremer (2002) realiza análise na performance da iluminação natural utilizando intervalos de iluminâncias

compreendidos entre 0 a 299 – zona insuficiente; 300 a 349 – zona de transição inferior; 350 a 650 – zona suficiente; 651 a 1000 – zona de transição superior; e acima de 1000 – zona excessiva. Os intervalos insuficiente e excessivo são considerados desfavoráveis, os intervalos de transição regular e o intervalo suficiente são considerados bons.

#### 4.4 CONCLUSÕES SOBRE O CAPÍTULO 4

O presente capítulo iniciou com a apresentação das principais variáveis de impacto na iluminação natural em um ambiente interno. Como principais conclusões, destacou-se que a variável orientação demonstra maior influência na condição de céu claro, embora para a condição de céu encoberto essa influência inexista. Sobre o formato do ambiente, a profundidade está diretamente relacionada com o potencial de aproveitamento da luz natural como fonte de iluminação (parcial ou total). Autores como Ratti et al. (2005) utilizam o termo Zona Passiva para as áreas do ambiente com profundidade inferior a 6 metros, considerando que até essa profundidade é possível o aproveitamento da luz natural, ainda que parcialmente. A variável abertura representa sem dúvida grande influência, sendo sugerido por alguns autores uma proporção de 20 a 40% da área da parede externa. Outra indicação é a de evitar áreas envidraçadas abaixo do plano de trabalho.

Para encerrar o capítulo, foram apresentados os principais parâmetros de análise da iluminação natural em um ambiente interno, destacando-se a iluminância e o FLD. Nesse contexto, o conceito IULN foi detalhado, destacando-se também metodologias similares nas quais a análise das iluminâncias é realizada, observando-se a frequência de ocorrência das iluminâncias, ou FLD, dentro de intervalos pré-determinados. Esses intervalos, por sua vez, estão associados à performance da iluminação natural.

Com esse capítulo, encerra-se o referencial teórico e inicia-se a metodologia do trabalho, apresentada no capítulo seguinte.



## capítulo 5

---

# 5 metodología

## 5.1 INTRODUÇÃO - METODOLOGIA

O objetivo geral deste trabalho é a proposição de um parâmetro utilizável no aprimoramento da legislação urbanística para possibilitar o controle da disponibilidade de luz natural no ambiente externo e, conseqüentemente, no ambiente interno. A hipótese assumida é a de que é possível identificar e determinar uma área do céu de maior potencial de iluminação em relação a um plano localizado em um ambiente interno.

O trabalho tem como base a simulação da luz natural, através do programa computacional Apolux. Os modelos de análise devem ser construídos em ambiente CAD. Alguns modelos representam situações urbanas, que demandam um segundo programa computacional: o Cityzoom, responsável pela geração dos cenários urbanos.

O mapa conceitual mostrado na Figura 5.1 apresenta uma visão geral do desenvolvimento desse trabalho. A metodologia se divide em três etapas:

1. Definição da Janela de Céu Preferível<sup>5</sup>(JCP);
2. Caracterização da relação entre a iluminação natural no ambiente interno e a visão da JCP;
3. Verificação da aplicação da JCP em cenários urbanos.

A etapa principal refere-se à caracterização do parâmetro de controle de acesso à luz natural no meio urbano e, conseqüentemente, no ambiente interno, denominado de JCP. A definição da JCP resultou de quatro aspectos: subdivisão da abóbada em zonas, análise da contribuição relativa de cada zona, análise sobre o efeito redutor do cosseno sobre o ângulo de incidência, análise sobre o percentual de visão do céu no ambiente interno. O cruzamento do fluxo luminoso proveniente das zonas da abóbada celeste com o percentual de visão do céu no ambiente interno resulta no gráfico denominado de potencial de iluminação do céu sobre um plano no ambiente interno, através do qual será possível a definição da região do céu denominada de JCP.

---

<sup>5</sup> Janela de Céu Preferível: definição, para um determinado ponto sobre a fachada da edificação, de uma zona de céu limitada (ângulos de azimute e altitude). Esta parcela seria responsável por grande parte da luz natural que atinge aquele determinado ponto e conseqüentemente pela iluminação resultante no ambiente interno. Isto significa que quanto maior a desobstrução desta zona, mais eficiente será o processo de iluminação no ambiente interno.

A etapa subsequente caracteriza a relação existente entre a JCP e a iluminação natural resultante no ambiente interno. O método adotado consiste em isolar a contribuição relativa à JCP na iluminação do ambiente interno e a contribuição relativa à área de céu remanescente. Essa etapa compreende a construção de um modelo que obstrui a parcela do céu definida como JCP e um modelo com a área remanescente obstruída. Complementarmente, são realizados modelos resultantes de subdivisões na JCP, resultando em modelos que obstruem parcialmente a JCP, com os quais se pretende analisar a influência da obstrução parcial da JCP na iluminação do ambiente interno.

Para caracterizar a influência do JCP na iluminação natural no ambiente interno, são construídos 3 modelos de ambiente interno. Também faz parte dessa etapa a descrição da metodologia de análise dos resultados.

A última etapa compreende a aplicação e verificação da JCP em cenários urbanos. A geração de tais cenários compreende os seguintes passos: metodologia de construção e simulação dos cenários, definição do recorte urbano, construção dos cenários urbanos, caracterização de um coeficiente de reflexão médio para as superfícies verticais, este último tendo surgido a partir de questionamentos sobre os valores encontrados na literatura. Descreve-se ainda a metodologia de análise adotada.

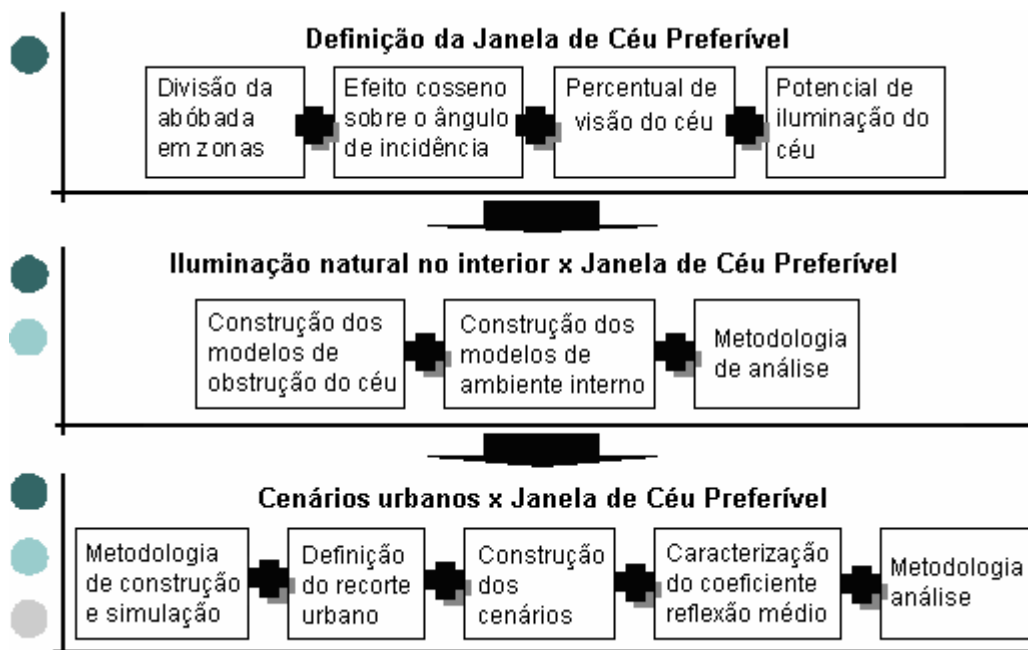


Figura 5.1 – Mapa conceitual mostrando as etapas do desenvolvimento da metodologia

## 5.2 DEFINIÇÃO DO PARÂMETRO JANELA DE CÉU PREFERÍVEL

O parâmetro denominado de Janela de Céu Preferível, proposto neste trabalho, surgiu da necessidade de correlacionar variáveis ligadas à disponibilidade de luz natural no ambiente externo e à performance da iluminação natural em ambientes internos. Inicialmente, duas abordagens foram identificadas como passíveis de exploração: o Fator de Céu Visível (FCV) e os indicadores de controle da obstrução do entorno.

O FCV apresenta a limitação de caracterizar a quantidade de céu que é visível para um determinado ponto sem, contudo, identificar qual porção do céu. Essa limitação implica que variáveis como a inclinação da parcela visível do céu em relação ao ambiente interno e a luminância da mesma sejam desconsideradas, entre outras.

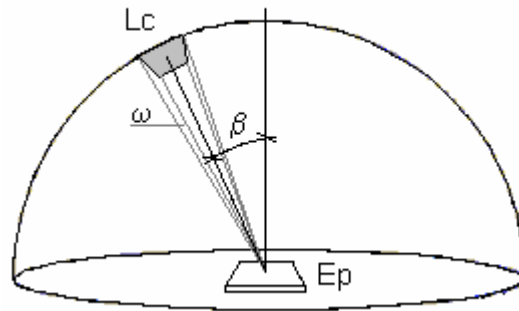
Os indicadores de controle da obstrução do entorno pretendem garantir o direito à luz natural através do controle da obstrução do céu, a partir de ângulos máximos de obstrução. Sobre esses sobressaem limitações como:

- A existência de vazios entre edificações pode aportar significativas quantidades de luz natural em um ponto, que a adoção de um ângulo de obstrução contínuo desconsidera;
- O ângulo de inclinação entre a fonte e o objeto a ser iluminado determina diferenças no nível de iluminação sobre o ponto, o que acarreta a necessidade de observar também a relação existente entre o posicionamento da fonte (posição de determinadas parcelas na abóbada celeste) e o ponto iluminado.

Considerando as observações relatadas acima, surge a proposta do parâmetro JCP, que consiste na definição, para um determinado ponto sobre a fachada da edificação, de uma zona no céu limitada (ângulos de azimute e altitude). Essa parcela seria responsável por grande parte da luz natural que atinge aquele determinado ponto e conseqüentemente pela iluminação natural resultante no ambiente interno. Isso significa que quanto maior a desobstrução dessa zona, mais eficiente será o processo de iluminação no ambiente interno.

O conceito de JCP tem como base a hipótese de que é possível estabelecer uma relação entre a visão de uma determinada porção do céu e a performance da iluminação em um ambiente interior.

Considerando o modelo analítico (Figura 5.2) e a equação correspondente (equação 5.1) à iluminação produzida em um plano e proveniente da abóbada celeste, destacam-se as variáveis: luminância e área da parcela do céu e o ângulo de incidência entre a mesma e o plano iluminado.



**Figura 5. 2 – Modelo analítico da iluminação produzida em um plano pela abóbada celeste**

$$E_p = L_c \times \cos \beta \times \omega$$

**Equação 5. 1**

onde:

$E_p$  = Iluminância no ponto p (lux)

$L_c$  = Luminância proveniente da abóbada ( $\text{cd}/\text{m}^2$ )

$\beta$  = ângulo de incidência

$\omega$  = ângulo sólido entre o ponto sobre o plano e a área c da abóbada

Partindo dessas considerações, são definidas as abordagens exploradas no desenvolvimento do trabalho, com o objetivo de se chegar à delimitação de uma região do céu com maior potencial de iluminação sobre um plano horizontal localizado no ambiente interno.

Essa etapa se subdivide em três principais aspectos: i) a contribuição de luz relativa de diferentes parcelas da abóbada celeste, ii) o efeito redutor associado ao cosseno do ângulo de incidência, iii) o percentual de visão da abóbada pelo plano horizontal do ambiente interno. O cruzamento da contribuição relativa das diferentes parcelas da abóbada celeste com o percentual de visão da abóbada pelo ambiente interno permite a caracterização do efetivo potencial de iluminação da abóbada celeste no ambiente interno. A delimitação da região do céu a ser definida como JCP é resultado da análise dos aspectos relatados.



### 5.2.1 Distribuição de luminâncias na abóbada

Por se constituir em uma fonte de luz de grande superfície, a subdivisão da abóbada em zonas e a determinação das concentrações de fluxo emitidas por essas zonas (considerando uma dada direção) é uma forma de análise e acesso à iluminação produzida pela mesma. Com base nas propostas da NBR 15215-2 (2005) e Tregenza (1993), essa etapa do trabalho consiste na subdivisão da abóbada celeste em zonas e no cálculo da contribuição relativa de cada zona.

A divisão da abóbada, proposta por Tregenza, compreende 145 zonas (ver Figura 3.5 no capítulo 3) que apresentam ângulos sólidos em torno de 0,04 stereoradianos, permitindo que cada zona seja tratada, com mínimos erros, como uma fonte pontual. Baseando-se nessa proposta, esse trabalho adota duas divisões da abóbada: 333 zonas com um ângulo sólido de aproximadamente 0,018 stereoradianos e 745 zonas com um ângulo sólido de aproximadamente 0,008 stereoradianos.

É importante ressaltar que o número total de divisões é decorrente de uma rotina interna do programa Apolux. O usuário define o grau de precisão desejado e obtém como resposta a divisão do plano de análise, o aumento do grau de precisão resulta em um aumento do número de parcelas divididas.

Na abóbada subdividida, a iluminação produzida por uma zona é definida pela direção e luminância da mesma e pelo ângulo sólido compreendido entre esta e o ponto iluminado (NBR 15215-2, 2005). O cálculo da contribuição relativa de cada zona é realizado utilizando o programa Apolux.

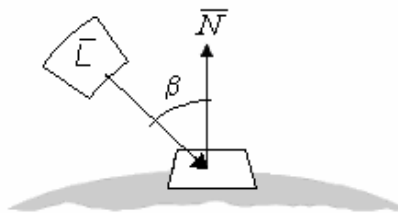
A contribuição relativa da abóbada sobre um plano horizontal resulta da razão entre a luminância em um ponto sobre um plano horizontal devido àquela parcela do céu e a luminância total (proveniente de toda a abóbada) sobre um ponto em plano horizontal, para um céu encoberto e completamente desobstruído.

A contribuição relativa sobre o plano vertical, por sua vez, resulta da razão entre a luminância em um ponto sobre um plano vertical devido àquela parcela do céu e a luminância total (proveniente de toda a abóbada) sobre um ponto em um plano horizontal para um céu encoberto e completamente desobstruído.

### 5.2.2 Efeito redutor do cosseno sobre o ângulo de incidência

A abordagem desse aspecto consiste na identificação dos ângulos sobre os quais o impacto do efeito cosseno é mais significativo, baseando-se inicialmente na observação de Hopkinson et al. (1975), segundo a qual, no momento em que a luz natural sobre uma abertura apresenta um ângulo de incidência muito agudo, haverá insuficiente penetração de luz para que seja satisfeito o critério básico de iluminação natural.

A luminância da fonte de luz em relação ao ponto iluminado está diretamente associada ao ângulo de incidência em relação à normal da superfície, (ver Figura 5.3). Quando a linha entre a fonte de luz e o plano de análise não é perpendicular ao mesmo, ocorre uma redução da intensidade da fonte devido ao ângulo de inclinação: quanto maior a inclinação, maior será a redução. A análise desse aspecto compreende a geração de um gráfico representando a curva do cosseno e tem como objetivo a identificação dos ângulos sobre os quais o impacto do efeito cosseno é mais significativo.



**Figura 5.3 – Influência do ângulo de incidência em relação à normal da superfície do plano iluminado**

### 5.2.3 Percentual de visão do céu no ambiente interno

A idéia de analisar o percentual de visão do céu em ambientes internos surgiu a partir do conceito de Linha de Ausência de Visão do Céu, desenvolvido por Littlefair (2001). Tal proposta determina, em corte e em planta baixa, as áreas do ambiente, sobre um posto de trabalho, que possuem visão do céu. Segundo o autor, as áreas fora dessa linha de visão do céu se apresentariam escuras e com baixo aproveitamento da luz natural. O método, contudo, é simplificado já que permite apenas uma análise bidimensional.

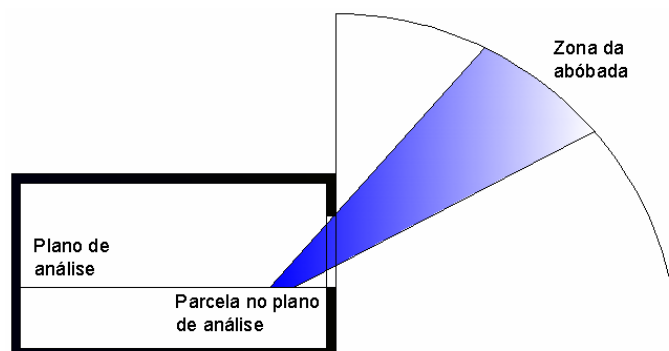
O resultado da implementação da proposição de Littlefair é caracterização do percentual com que determinadas parcelas do céu são vistas no ambiente interno,

nesse caso considerando o ambiente tridimensionalmente. Esse procedimento foi possível somente através da aplicação de um método computacional. A hipótese assumida é a de que as parcelas ou zonas da abóbada com maior percentual de visão no ambiente interno sejam mais representativas na iluminação do ambiente interno e, conseqüentemente, de maior importância. Os itens a seguir descrevem os procedimentos adotados.

### 5.2.3.1 Metodologia de cálculo do percentual de visão do céu no ambiente interno

Para a implementação da metodologia pretendida, utiliza-se o programa Apolux, sendo necessária a configuração de um procedimento específico. Para a obtenção do percentual de visão do céu adota-se o método de subdivisão da abóbada em zonas, buscando uma ampliação na subdivisão da abóbada de 333 para 745 zonas ou parcelas. Essa divisão em maior número de parcelas se justifica no aumento da precisão, mantendo-se a subdivisão a partir de ângulos sólidos próximos, que para a divisão de 745 zonas é em torno de 0,008 stereoradianos.

O procedimento, a partir de um plano de análise, identifica quais zonas ou parcelas do céu são visualizadas por cada parcela do plano (ver Figura 5.4). O plano de análise também se encontra dividido em parcelas, representadas por vértices. O objetivo é estabelecer uma relação quantitativa entre os vértices do plano de análise e as zonas da abóbada celeste. Essa relação representa o número de vértices do ambiente interno que uma determinada zona do céu visualiza.



**Figura 5. 4 – Visualização de uma parcela (zona) do céu por uma parcela no ambiente interno**

O percentual de visão das zonas da abóbada no ambiente interno é a razão entre o número de vértices sobre o plano de trabalho visualizados por determinada zona da abóbada celeste, pelo número total de vértices no plano de análise, Equação 5.2.

$$PV_{céu} = \frac{V_{vistos}}{V_{total}} \times 100$$

**Equação 5. 2**

Onde:

PV<sub>céu</sub> = percentual de visão da zona da abóbada celeste no ambiente interno

V<sub>vistos</sub> = número de vértices no plano de análise visualizados por determinada zona da abóbada celeste

V<sub>total</sub> = número total de vértices no plano de análise

O gráfico resultante mostra a projeção da abóbada dividida em parcelas (ou zonas), tendo cada parcela um valor que representa o percentual de vértices do ambiente que é visto por aquela parcela. As parcelas com percentual zero não são visualizadas no ambiente interno, parcelas com percentual próximo de 100 têm grande percentual de visão, enquanto as iguais a 100 significam que todos os vértices situados no plano de análise visualizam aquela parcela do céu. Com o gráfico é possível a identificação das áreas do céu que efetivamente contribuem na iluminação do ambiente interno.

A altura do plano de análise é a mesma do peitoril da abertura com objetivo de eliminar o sombreamento percebido com os ângulos de baixa altitude e resultante da diferença de altura entre o plano de análise e o peitoril. A análise do percentual de visão do céu no ambiente interno só é praticável a partir da definição de modelos de ambiente interno. Apresenta-se a seguir o detalhamento dos parâmetros utilizados na definição dos mesmos.

### 5.2.3.2 Modelos de ambiente interno

A configuração do ambiente, assim como da abertura, pode exercer grande influência na caracterização do percentual de visão do céu no ambiente interno. As principais variáveis consideradas intervenientes na iluminação natural em um ambiente interno são: pé-direito, altura do plano de trabalho, coeficiente de reflexão das superfícies internas, profundidade do ambiente, localização da abertura e altura do peitoril, área da abertura, formato da abertura e dimensões do ambiente. Tendo

como base algumas referências teóricas as características nos modelos dos ambientes internos estão detalhadas a seguir.

A altura do ambiente interno (pé-direito) de 2,70 metros.

O plano horizontal de análise das variáveis relativas a performance da iluminação natural no ambiente interno está localizado a 1,0 metro de altura e associado à altura do peitoril da janela.

O coeficiente de reflexão das superfícies internas atende à recomendação da norma DIN 5034: coeficiente de reflexão de 70% para o forro, 50% nas paredes e 20% no piso.

A área interna dos ambientes é de 30,00 m<sup>2</sup>. A definição dessa área toma como base uma área que atenderia usos de escritório, serviço ou comércio. Essa área dividida pela metade representa espaços com uso residencial.

Para a profundidade do ambiente, o conceito de zona passiva utilizada por Ratti, Baker e Steemers (2005) serve de referência. Segundo os autores, ambientes com profundidade inferior a 6,0 metros são passíveis de aproveitamento da luz natural;

A largura do ambiente é definida a partir do agrupamento da área de 30,00 m<sup>2</sup> com a profundidade de 6 metros, gerando assim o ambiente 5,0 x 6,0 metros. As dimensões utilizadas nos outros dois ambientes resultam desse primeiro.

Partindo da profundidade de quatro metros como condicionante (profundidade mínima) é determinada a largura de 7,5 metros para atingir a área de 30,00 m<sup>2</sup>. Resultando no segundo ambiente, que apresenta profundidade de 4,0 metros e largura de 7,5 metros, o terceiro ambiente apresenta as mesmas dimensões, porém invertidas, profundidade de 7,5 e largura de 4,0 metros;

Na definição da dimensão da abertura, o parâmetro adotado é a proporção de área de abertura pela área interna do ambiente de 1/6 e 1/8, que para a área do ambiente de 30 m<sup>2</sup> corresponde a 5,0 m<sup>2</sup> e 3,75 m<sup>2</sup> respectivamente. A proporção utilizada segue a indicação normalmente utilizada nos códigos de edificações.




Para a definição do posicionamento e formato da abertura, utiliza-se o seguinte procedimento: o formato da abertura inicia a 1 metro de altura do piso com posicionamento centralizado, considerando altura da abertura com 1,10 m.

Dois posicionamentos de aberturas são simulados: centralizado e na extremidade lateral direita, exceto no ambiente 4x7,5 - abertura 1, onde o posicionamento lateral não é possível, pois a largura da abertura é igual a largura da parede externa.

No modelo 4x7,5 também há uma exceção: a altura da abertura é de 1,25 (ao contrário da altura padrão fixada em 1,10 m), essa alteração foi necessária para que se mantivesse a área da abertura constante, já que a largura da parede não permitia com 1,10 de altura atingir a área pretendida de 5,00 m<sup>2</sup>.

A Tabela 5.1 refere-se aos modelos de ambiente e abertura resultantes.

**Tabela 5. 1 – Relação das variáveis a serem adotadas no ambiente interno**

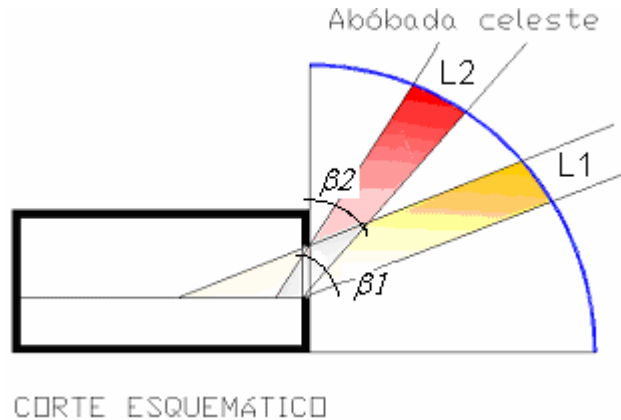
<b>Modelo</b>	<b>Planta Baixa</b>	<b>Largura x Profundidade</b>	<b>Área</b>	<b>Abertura 1</b> Área = 5,00 m <sup>2</sup>	<b>Abertura 2</b> Área = 3,75 m <sup>2</sup>
4x7,5		4,0 x 7,5 metros	30 m <sup>2</sup>	largura = 4,00 m altura = 1,25 m peitoril = 1,0 m	largura = 3,40 m altura = 1,10 m peitoril = 1,0 m
5x6		5,0 x 6,0 metros	30 m <sup>2</sup>	largura = 4,54 m altura = 1,10 m peitoril = 1,0 m	largura = 3,40 m altura = 1,10 m peitoril = 1,0 m
7,5x4		7,5 x 4,0 metros	30 m <sup>2</sup>	largura = 4,54 m altura = 1,10 m peitoril = 1,0 m	largura = 3,40 m altura = 1,10 m peitoril = 1,0 m

#### 5.2.4 Potencial de iluminação do céu sobre um plano no ambiente interno

O potencial de iluminação do céu sobre um plano no ambiente interno consiste no cruzamento da contribuição relativa das zonas da abóbada pela visibilidade que a mesma apresenta no ambiente interno. Dado o que foi visto nos itens 5.2.1 e 5.2.2, sabe-se que algumas áreas do céu oferecem maior luminância ou maior potencial de contribuição na iluminação do ambiente interno, contudo essa variável depende ainda do percentual com que essa parcela da abóbada é visualizada no ambiente interno, ou seja, se a mesma é vista por uma pequena parcela do ambiente, sua contribuição também será pequena.

A Figura 5.5, abaixo, ilustra essa abordagem: a parcela mais próxima do zênite apresenta uma luminância maior, porém é vista por uma pequena parcela do plano de análise; a parcela da abóbada mais próxima da linha do horizonte possui

luminância menor, porém é vista por grande parte do plano de análise tendo uma contribuição maior na iluminação total.



**Figura 5. 5 – Esquema com o potencial de iluminação da abóbada celeste: influência da área de visão e a contribuição relativa (ângulo de incidência e luminância da zona)**

O procedimento adotado na caracterização do potencial de iluminação do céu sobre um plano no ambiente interno é o cálculo do fluxo luminoso fornecido por cada zona do céu em relação ao plano de análise. Esse valor foi dividido pelo fluxo luminoso total que chega no plano de análise e multiplicado por 100 (ver equação 5.3). O diagrama resultante consiste na projeção da abóbada subdividida em zonas, cada uma delas correspondendo a um valor. Esse valor, em percentual, caracteriza o potencial de iluminação da parcela (ou zona) da abóbada celeste na iluminação total no ambiente interno.

$$PI_{céu} = \frac{Fluxozona}{Fluxototal} \times 100$$

**Equação 5. 3**

Onde:

PI<sub>céu</sub>= potencial de iluminação do céu (relativo à zona da abóbada celeste)

Fluxozona= fluxo luminoso proveniente da zona da abóbada celeste

Fluxototal= fluxo luminoso total recebido pelo plano de análise

Para o cálculo do potencial de iluminação do céu sobre um plano no ambiente interno utiliza-se o programa Apolux, sendo necessária a implementação de uma rotina específica no programa.

Os modelos de ambiente interno são exatamente aqueles já utilizados para os gráficos do percentual de visão da abóbada no ambiente interno.

O gráfico resultante é similar ao gráfico do percentual de visão do céu, consistindo na projeção da abóbada dividida em zonas, atribuindo-se a cada zona um valor que representa o percentual que aquela zona apresenta em relação ao fluxo total, que chega no plano de análise localizado no ambiente interno. Somando-se todos os valores, chega-se ao valor total igual a 100%. Zonas com valor zero ou próximas de zero oferecem pouca contribuição na iluminação do ambiente interno.

A ação subsequente encerra-se com a delimitação da região da abóbada celeste, a ser definida como JCP, e tem como critérios também os resultados obtidos com o potencial da iluminação do céu no ambiente interno, o percentual de visão da abóbada celeste no ambiente interno e a influência do efeito cosseno sobre o ângulo de incidência.

Com a finalização dessa etapa o próximo objetivo é a verificação do impacto da referida região do céu na iluminação natural sobre um plano no ambiente interno, seção detalhada a seguir.

### 5.3 ILUMINAÇÃO NATURAL NO INTERIOR DEVIDO À JANELA DE CÉU PREFERÍVEL

Nessa etapa do trabalho verifica-se a hipótese de que a região do céu com maior potencial de iluminação no ambiente interno, a ser definida como Janela de Céu Preferível (JCP), oferece maior contribuição na iluminação natural em ambientes internos. Tal verificação é realizada através da simulação da luz natural sobre modelos de obstrução da JCP e de obstrução da área de céu remanescente. Dessa forma, se estaria isolando a contribuição relativa à região da JCP e à área do céu remanescente. Esses modelos incluem também ambientes internos sobre os quais é analisada a contribuição dos dois modelos de obstrução do céu.

Complementarmente, constroem-se modelos de obstrução parcial da região da JCP, com os quais observa-se a existência de diferenças significativas entre uma subárea e outra, dentro da JCP. As divisões são feitas seguindo um eixo vertical e horizontal.

As simulações foram realizadas para a condição de céu encoberto e com data de 21 de junho, representando a situação de inverno. Para a análise das iluminâncias os horários simulados são 8:00, 10:00 e 12:00 horas. O objetivo é observar os principais horários do dia, considerando o comportamento do céu encoberto em

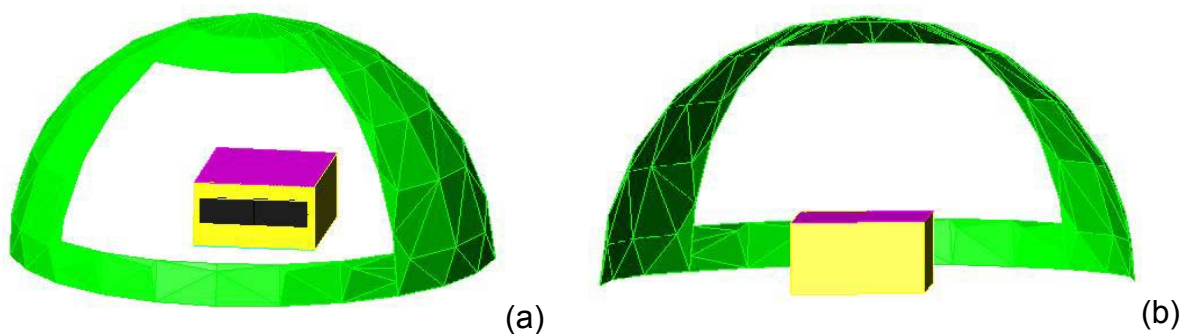


relação à orientação e a simetria nos períodos de manhã e tarde, optou-se pelos horários da manhã. Contudo, na análise do FLD apenas um horário é utilizado.

Nessa etapa somente a componente direta do céu é computada no cálculo da iluminação natural sendo, portanto, a componente refletida externa não considerada no cálculo da iluminação natural no ambiente interno. A seguir, detalha-se o procedimento utilizado na definição e construção dos modelos. Por último, apresenta-se a metodologia de análise dos resultados.

### 5.3.1 Modelos de obstrução do céu

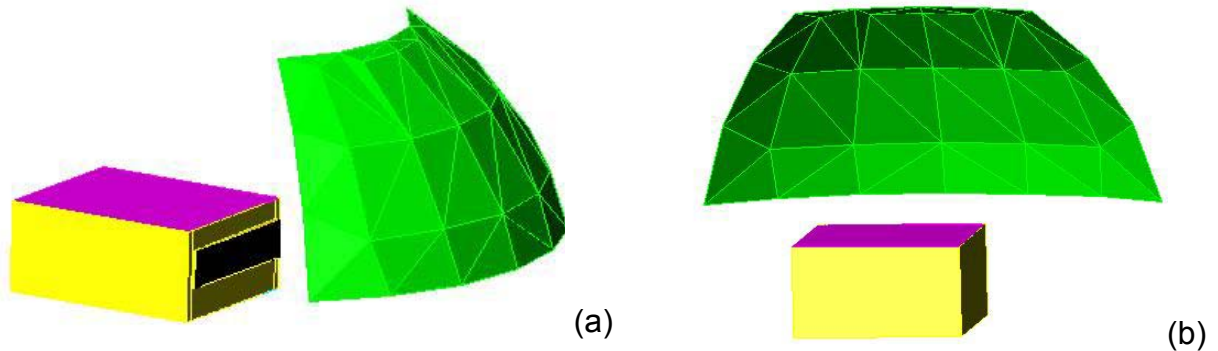
Os modelos de obstrução do céu consistem em elementos externos, em relação a um ponto localizado no meio da abertura e na altura do peitoril, que obstruem determinadas partes do céu. O objetivo é identificar a contribuição de uma área específica do céu sobre a iluminação natural encontrada em um ambiente interno, enquanto a área restante do céu permanece obstruída. Ao obstruir uma parte do céu, a contribuição dessa parcela é excluída e somente a contribuição da área desobstruída é computada. Os modelos de obstrução do céu correspondem à região do céu definida como JCP e a região do céu remanescente. Na Figura 5.6 visualiza-se o modelo de obstrução do céu com a região da JCP desobstruída e a área de céu remanescente obstruída.



**Figura 5. 6 - Modelo com o céu desobstruído na região da Janela de Céu Preferível: (a) vista frontal do ambiente interno + modelo de obstrução externa; (b) vista de fundos do ambiente interno + modelo de obstrução externa**

No modelo de obstrução do céu exibido na Figura 5.7, tem-se a situação inversa, na qual a JCP encontra-se obstruída, enquanto a área remanescente está

desobstruída. Também simula-se a condição de céu totalmente desobstruído, objetivando a comparação entre a situação de maior potencial possível de iluminação natural no ambiente interno (céu totalmente desobstruído) e as duas condições de obstrução: JCP e céu remanescente.



**Figura 5.7 – Modelo com o céu obstruído na região da Janela de Céu Preferível e a área de céu remanescente desobstruída: (a) vista lateral e frontal do ambiente interno + modelo de obstrução externa; (b) vista de fundos do ambiente interno + modelo de obstrução externa**

### 5.3.2 Modelo de obstrução do céu com a subdivisão da Janela de Céu Preferível

O segundo conjunto de modelos simulados é construído a partir da obstrução de partes do céu dentro do JCP. Essas obstruções dividem-se em dois grandes grupos.

No primeiro, a subdivisão da região da JCP é realizada segundo o eixo vertical (altitude) e em três segmentos: 1/3 superior, 1/3 mediano e 1/3 inferior. O objetivo é analisar a existência ou não, dentro da região da JCP, de áreas com maior influência na iluminação do ambiente interno.

No segundo, a subdivisão segue o eixo horizontal (azimute) e a região da JCP é dividida em 4 parcelas homogêneas. Essas parcelas são agrupadas em seqüência crescente: 20%, 40%, 60% e 80% da JCP. O objetivo é verificar se a JCP apresenta um comportamento homogêneo, na iluminação resultante no ambiente interno, através da análise da obstrução parcial e crescente da mesma.

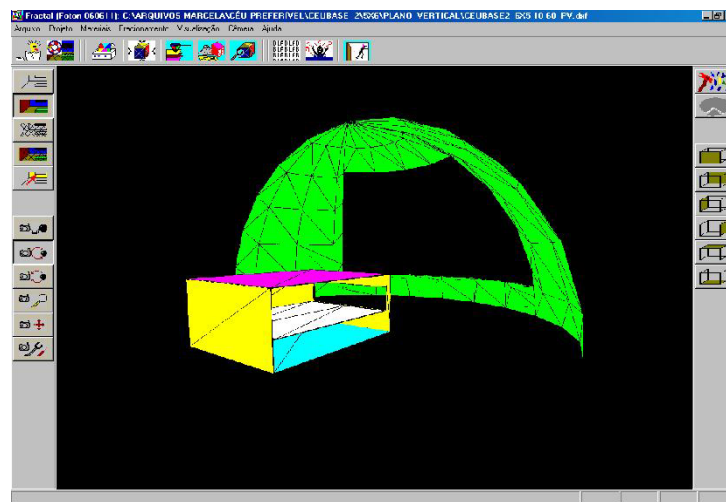
### 5.3.3 Modelos de ambiente interno

Os modelos utilizados para os ambientes internos são os mesmos apresentados na Tabela 5.2. A área dos ambientes é de 30,00 m<sup>2</sup>, dimensões de 4x7,5m, 5x6m e

7,5x4m. Somente a abertura com 5,00 m<sup>2</sup> foi utilizada. A altura do peitoril da janela é de 1 metro e o posicionamento centralizado na parede externa.

O plano de análise, que corresponde à área do ambiente, está afastado 20 cm das paredes laterais e encontra-se na altura do peitoril da abertura. O afastamento de 20 cm tem objetivo evitar um possível “vazamento de luz”<sup>6</sup>.

A Figura 5.8 exibe uma imagem da tela do programa Apolux com uma perspectiva do ambiente interno e o modelo de obstrução do céu. O plano de análise aparece em branco. A obstrução externa com a região da JCP desobstruída.



**Figura 5. 8 – Tela do Apolux com imagem do ambiente interno + modelo de obstrução externa**

No programa Apolux o número de vértices (pontos), a partir dos quais se obtém os dados de análise da performance da iluminação natural, é determinado com a definição do nível de precisão desejado. Para os modelos de ambientes em análise, 4x7,5, 5x6 e 7,5x4 metros, o número de vértices é de aproximadamente 2100.

#### 5.3.4 Metodologia de análise dos resultados

Para a análise da iluminação natural no ambiente interno, a metodologia agrega a proposta de Nabil e Mardaljevik (2006), denominada de Iluminação Útil da Luz Natural (IULN), em conjunto com a metodologia utilizada por Cabus (1997), Kremer (2002) e Souza (2002). Os métodos propostos pelos referidos autores definem uma

<sup>6</sup> O “vazamento de luz” na simulação da iluminação natural pode ocorrer em situações onde o plano interno, pela proximidade, é interpretado como plano externo. No Apolux a solução encontrada é o afastamento do plano de análise interno das paredes externas.

classificação da iluminação em zonas ou classes de iluminâncias, sendo que a cada classe de iluminância é atribuída uma valoração (associada ao potencial da mesma na iluminação natural resultante). O resultado é então expresso em percentual, de acordo com a frequência encontrada em cada classe de iluminância.

A metodologia de análise desse trabalho apresenta proposta similar. As classes de iluminâncias utilizadas pelos autores são reagrupadas conforme detalha a Tabela 5.2:

**Tabela 5. 2 - Tabela com a classe de iluminâncias utilizadas na análise da iluminação natural**

<b>Classe de iluminâncias (lux)</b>	<b>Valoração da zona</b>
0 a 100	Insuficiente
100 a 300	Aproveitável
300 a 800	Suficiente
800 a 2000	Aceitável
Acima de 2000	Excessivo ou inaceitável

Às classes de iluminâncias, apresentadas na Tabela 5.2, são atribuídas valorações. Os valores abaixo de 100 lux são considerados insuficientes para atividades visuais e de pouca utilidade na combinação com luz artificial. O intervalo de 100 a 300 lux, embora ainda limitado para atividade visual, pode ser aproveitado em conjunto com um sistema de iluminação artificial. O intervalo de 300 a 800 é definido como adequado a um grande número de atividades visuais e, portanto, aqui considerado suficiente. O intervalo de 800 a 2000 é colocado como aceitável, julgando que nesse patamar alguns usuários podem atestar que o nível de iluminação é excessivo. Acima de 2000, considera-se o nível de iluminação excessivo.

Para a classificação dos dados em intervalos o programa Excel é utilizado. O programa Apolux disponibiliza os dados em uma planilha de texto, que pode ser inserida no Excel. A classificação dos dados em intervalos é realizada através de um "macro" do Excel. Os resultados finais representam o percentual sobre o plano de análise contido no intervalo.

Na análise da iluminação natural no ambiente interno com a utilização do FLD, também é empregada metodologia similar. Os valores encontrados são classificados em intervalos apresentados a seguir na Tabela 5.3.

**Tabela 5. 3 - Classe de FLD utilizado na análise da iluminação natural**

<b>FLD</b>	<b>Valoração da zona</b>
Abaixo de 2%	inferior
Entre 2% e 5%	suficiente
Acima de 5%	superior

A definição das classes de fator da luz dia tem como referência os valores recomendados pelo LEED. Segundo a norma, no mínimo 75% do espaço devem ter um coeficiente de luz diurna de 2%. Considerando-se essa premissa, o intervalo inferior a 2% não atenderia a exigência mínima, enquanto o intervalo entre 2% e 5% atenderia. Complementarmente, adota-se ainda o critério de separar o intervalo acima de 5%, que pode estar acima do desejável.

#### 5.3.5 Considerações sobre a verificação da Janela de Céu Preferível

Com a finalização dessa seção pretende-se confirmar a hipótese de que a região da JCP efetivamente apresenta (oferece) maior potencial de iluminação natural, através da análise da performance da iluminação natural encontrada no ambiente interno e decorrente dos modelos de obstrução da abóbada celeste utilizados.

A etapa seguinte utiliza cenários urbanos baseados em uma situação urbana real. O objetivo é, ao utilizar o parâmetro JCP, verificar se a relação encontrada na situação hipotética de obstrução do entorno (verificado com os modelos de obstrução apresentados nessa seção) se confirma em um cenário real, assim como verificar a correlação existente entre o percentual da JCP e a performance da iluminação natural no ambiente interno.

#### 5.4 VERIFICAÇÃO DA JANELA DE CÉU PREFERÍVEL NO MEIO URBANO

Esse trabalho tem como principal objetivo a proposição de um parâmetro utilizável no aprimoramento da legislação urbanística para possibilitar o controle da disponibilidade de luz natural no ambiente externo e, conseqüentemente, no ambiente interno. Sendo necessária para isso a verificação do parâmetro JCP, desenvolvido e apresentado nos itens anteriores, em um meio urbano ou, mais especificamente, em um recorte urbano.

Um dos mais significativos procedimentos de simulação computacional é a fase de modelagem que, no caso dos cenários urbanos pretendidos com este trabalho, demandou a utilização de um programa para a reprodução e construção do cenário urbano: o Cityzoom. A troca de dados entre o programa de simulação da luz natural e o programa Cityzoom constitui uma etapa denominada de metodologia de construção e simulação da luz natural no meio urbano.

A definição do recorte urbano para a simulação da luz natural constitui outra etapa, denominada de definição do recorte urbano. Esta compreende tarefas como a escolha de um recorte urbano, pesquisa e levantamento de dados cadastrais, traçado urbano, topografia e legislação.

Em uma condição real de traçado urbano, diferentes formas de ocupação podem ocorrer, aqui entendidas como cenários urbanos. Duas configurações de cenário foram pré-estabelecidas: cenário reproduzindo a situação real atualmente existente no local e cenário simulando uma ocupação que resulta do máximo permitido pela legislação.

Uma variável significativa na simulação da luz natural é o coeficiente de reflexão das superfícies envolvidas no modelo de análise. Nos modelos que simulam um meio urbano, normalmente é atribuído um valor simplificado de baixo impacto, mas pretende-se, com este trabalho, a adequação dessa variável à realidade existente no local. Com isso, realiza-se um procedimento para a caracterização de um coeficiente de reflexão médio que é definido a partir de levantamentos e medições experimentais, constituindo-se também em um subitem desse capítulo. Finalmente, expõe-se a metodologia de análise a ser utilizada para verificação da JCP nos cenários urbanos.

#### 5.4.1 Metodologia de construção e simulação da luz natural nos cenários urbanos

O objetivo dessa etapa do trabalho é a geração de cenários que simulam ocupações do meio urbano e, sobre esses, a simulação da luz natural. A primeira dificuldade encontrada é a inexistência de um mesmo programa que possa resolver as duas tarefas, por isso escolheu-se dois programas, o que implica a viabilização da troca de dados entre os mesmos, objetivo específico desse trabalho.

Para a reprodução e geração dos cenários urbanos utiliza-se o programa Cityzoom (GRAZZIOTIN, P.; TURKIENICZ, B., et al., 2004) e, para a simulação da

luz natural, o programa Apolux (CLARO, 1998). Essa opção requer adaptações nos respectivos programas, que contribuem para aprimorar as duas ferramentas e envolvem a equipe responsável pelo programa.

Na utilização do Cityzoom, a primeira tarefa é a inserção dos dados cadastrais sobre o recorte urbano escolhido, assim como as informações relativas à ocupação do solo e à legislação. A etapa subsequente consiste na geração dos cenários a partir da definição das variáveis definidas como relevantes. Para o programa Apolux, esses cenários se constituem nos modelos de análise.

Na computação gráfica, a construção do modelo de análise é uma importante etapa e normalmente demanda grande parte do trabalho de simulação. O modelo relaciona-se com a construção dos objetos da cena a ser visualizada e utiliza uma base matemática para a sua construção. No programa Apolux, embora a modelagem seja realizada em um programa à parte e geralmente com uma ferramenta CAD, os modelos provenientes do Cityzoom não podem ser simplesmente importados e interpretados, sendo necessário introduzir adaptações anteriores à importação. A alternativa encontrada para chegar ao objetivo pretendido é a utilização do programa Autocad (Autodesk) como ferramenta CAD, para que os arquivos gerados com o Cityzoom possam ser interpretados. Os modelos gerados pelo Cityzoom são importados para o Autocad e posteriormente para o programa Apolux. A ação realizada com a ferramenta CAD consiste na reorganização dos layers, alteração da configuração das superfícies tridimensionais e alteração do formato do arquivo.

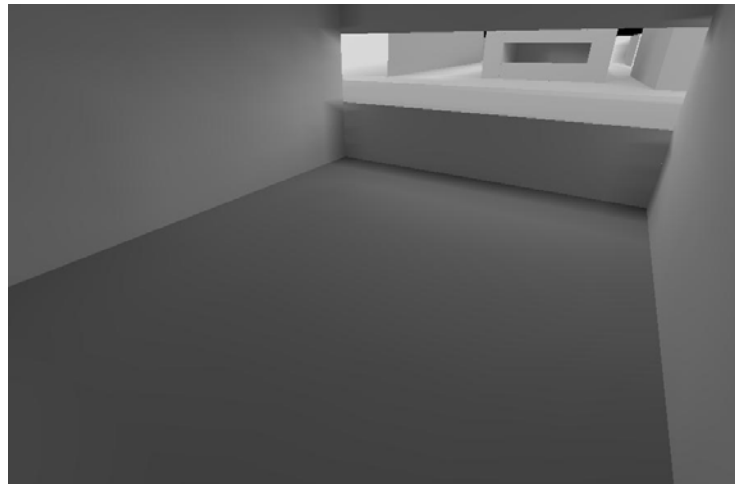
Outra tarefa realizada com o programa Autocad é a construção do modelo de ambiente interno e a sua inserção nos cenários urbanos. O posicionamento do modelo de ambiente interno está associado às variáveis que se pretende analisar no cenário urbano, abordadas posteriormente. O modelo de ambiente interno é um dos ambientes utilizados nas análises relativas aos itens 5.3, tendo sido escolhido o ambiente com dimensões de 5 metros de largura e 6 metros de profundidade - 30,00 m<sup>2</sup>; abertura com área de 5,00 m<sup>2</sup>, altura do peitoril com 1 metro e posicionamento centralizado na abertura externa. O plano de análise encontra-se na mesma altura do peitoril da janela: 1 metro.

O ambiente interno não possui mobiliário e as superfícies internas possuem coeficiente de reflexão zero, excluindo assim a componente refletida interna do cálculo da iluminação natural. Dessa forma seria possível identificar, com os

resultados disponibilizados através do Apolux, a contribuição da componente refletida externa e a contribuição da abóbada celeste no ambiente interno.

O número de vértices (pontos), a partir dos quais se obtém os dados de análise da performance da iluminação natural é de 264 pontos.

A imagem da Figura 5.9 mostra uma perspectiva interna do modelo de ambiente interno, inserido em um meio urbano. Através dele pode-se visualizar o edifício frontal ao mesmo, onde também foi inserido um ambiente interno.



**Figura 5. 9 – Ambiente interno de análise**

O ambiente interno localiza-se em posições pré-determinadas nos cenários e na edificação. Na edificação, essas posições são: fachada frontal, fachadas laterais (quando houver afastamento entre as edificações) e fachada dos fundos. O posicionamento do ambiente interno deve ser a uma altura de 1 metro acima do nível da rua (que resulta em uma altura de 2 metros acima do nível da rua para o peitoril). Essa altura está associada à situação mais crítica, pois representa o piso térreo. Complementarmente, em alguns casos, são inseridos ambientes internos na altura de 15 metros acima do nível da rua (resultando em uma altura de 16 metros acima do nível da rua para o peitoril).

Com a inserção dos modelos gerados no Cityzoom e o procedimento de reconfiguração dos mesmos no Autocad, é possível a importação para o Apolux. O passo seguinte é a simulação da luz natural. O programa Apolux realiza as simulações em duas etapas: cálculo do fator de forma e cálculo da radiosidade.



Os resultados obtidos nas simulações com o programa Apolux são em formato de planilha de texto, normalmente inseridas no programa Excel, que possibilita a graficação dos resultados, cuja metodologia de análise é abordada em item posterior. O programa também disponibiliza imagens fotorealísticas ou em cores falsas associadas a variáveis de análise, como iluminâncias e luminâncias, que permitem avaliações qualitativas da distribuição da luz nos modelos em análise.

Após a definição da metodologia para geração dos modelos de análise, a etapa seguinte consiste no detalhamento do recorte urbano e dos cenários de análise.

#### 5.4.2 Definição do recorte urbano

A opção de trabalhar com um recorte urbano, ou seja, uma situação real, decorre de dois aspectos. O primeiro deve-se à consideração de que modelos reais normalmente apresentam problemáticas que nem sempre aparecem em modelos essencialmente teóricos. O segundo refere-se ao objetivo de propor um parâmetro que efetivamente possa ser empregado pela legislação. Acredita-se que a utilização de um modelo real amplia essa possibilidade.

O Local escolhido é um recorte urbano situado na área central de Florianópolis, a 27°30' de Latitude Sul e 48°36' de Longitude Oeste, Figura 5.10. Capital do estado de Santa Catarina, a cidade é formada por uma ilha oceânica com área de 424,4 km<sup>2</sup>.



**Figura 5. 10 – Local do estudo, ao centro a ilha de Santa Catarina e à direita o centro de Florianópolis. A área em vermelho é o recorte urbano escolhido (IPUF, 2006)**

Assim como em outros centros urbanos, a tendência do mercado imobiliário é de explorar ao máximo as possibilidades de ocupação e aproveitamento do solo, desconsiderando em muitos casos aspectos associados à qualidade ambiental, por isso é de grande importância o estabelecimento de regras para a sua manutenção.

A área escolhida localiza-se em uma porção da área central da cidade. Compreende o entorno da praça Olívio Amorim e o Clube Recreativo Doze de Agosto, nas proximidades da Avenida Hercílio Luz. O recorte compreende uma área de aproximadamente 38.961 m<sup>2</sup>, comprimento de 925 metros e largura de 600 metros, incluindo 17 quadras e uma praça (Figuras 5.11 e 5.12).

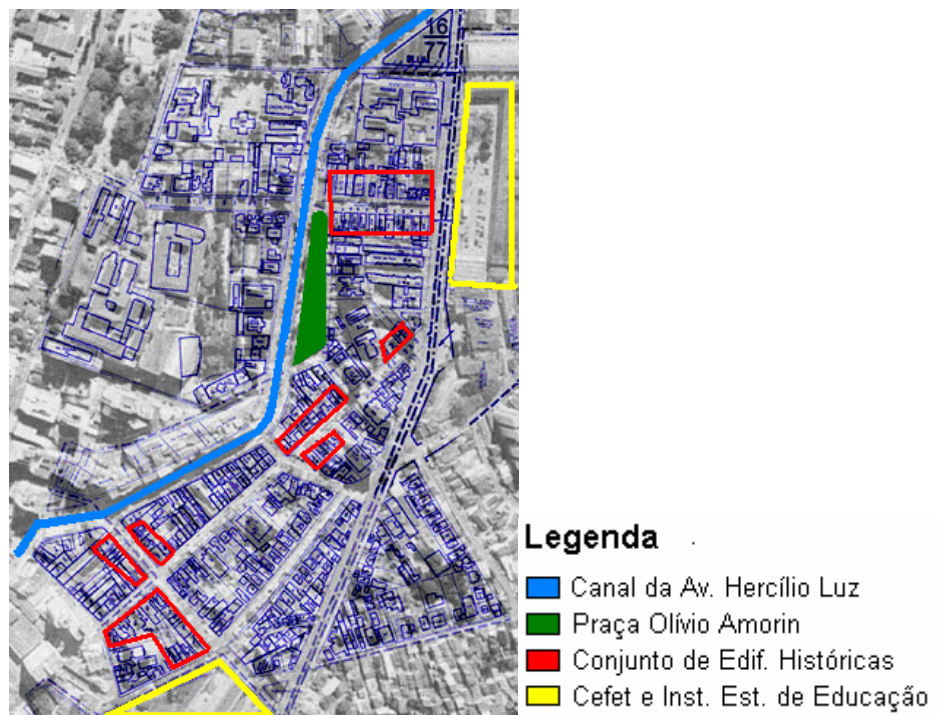


**Figura 5. 11 – Superposição da Aerofotocarta com a planta cadastral do recorte urbano em análise (IPUF, 2006)**

A definição do local de estudo teve como principais condicionantes:

- Localização central e topografia plana;
- Diversidade na dimensão das ruas e na dimensão dos lotes;
- Diversidade no padrão de uso do local: serviço, comércio e residência;
- Possibilidade de maior adensamento;
- Presença de referenciais urbanos: Praça Olívio Amorim, Canal da Avenida Hercílio Luz, Instituto Estadual de Educação e Cefet (Figura 5.12);
- Existência de edificações de interesse histórico (Figura 5.12).

No levantamento das informações sobre a área a fim de reproduzir a situação encontrada no local, foram realizadas consultas no acervo do Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis (IPUF) para obtenção das plantas cadastrais, aerocartas, dados do parcelamento do solo, ocupação e topografia, assim como, visitas de observação, medições e registros fotográficos.



**Figura 5. 12 – Indicação de referenciais urbanos do local**

O zoneamento estabelecido pelo Plano Diretor define grande parte dessa área como área mista central (AMC), ver anexo 1. O traçado urbano da área central apresenta uma malha bastante irregular composta de ruas estreitas e de traçado, muitas vezes, não retilíneo. Essa malha é resultado do processo de ocupação da

ilha de Santa Catarina que, principalmente, a partir da construção da ponte Hercílio Luz, em 1926, sofreu um processo de desenvolvimento rápido e de adaptação a uma malha já existente. Como resultado, a malha urbana atual no centro da cidade se caracteriza pela presença de ruas de grande variabilidade de largura e comprimento. A área escolhida exemplifica essa conformação e permite a observação dessa particularidade inerente ao centro urbano de Florianópolis. A largura das ruas no local varia de 8 a 26 metros. Outra variável observada é o tamanho ou dimensão do lote, que, no recorte urbano escolhido, se caracteriza pela grande diversidade. Existem lotes no local com apenas 6 metros de testada e outros com mais de 30 metros. Além disso, o local apresenta topografia plana.

Por se tratar de uma área central, o recorte em estudo concentra os usos de comércio e serviços, geralmente no térreo, no primeiro e segundo pavimentos. Nos pavimentos superiores se observa uso residencial, na grande maioria dos casos. A escolha de um local com possibilidade de maior adensamento foi definida como condicionante por evidenciar a necessidade de implantação de regras de ocupação que regulem novas ocupações. A área escolhida tem essa particularidade, pois o conjunto apresenta grande número de edificações térreas ou de dois pavimentos intercaladas com edifícios de gabarito superior a 10 pavimentos.

A existência de edificações de interesse histórico, que atualmente encontram-se sob proteção da legislação, confere à área de estudo outra variável a ser observada. A Figura 5.13, a seguir, ilustra um trecho da área: na esquina, verifica-se a presença de uma edificação histórica e ao lado a praça Olívio Amorim, percebendo-se ao fundo edificações com alto gabarito. Com a definição do recorte urbano sobre o qual se realiza o estudo, a etapa seguinte se detém na definição dos cenários e do ambiente interno.



**Figura 5. 13 – Edificação histórica no entorno da praça Olívio Amorim**

### 5.4.3 Construção dos cenários urbanos

Um cenário urbano consiste em uma hipótese possível ou previsível de ocupação, tendo como variáveis o objeto de interesse que se pretende investigar. Como o foco deste trabalho se concentra em observar o impacto da obstrução do céu no meio urbano sobre as condições de iluminação natural em um ambiente interno, as variáveis de interesse referem-se principalmente a taxa de ocupação, índice de aproveitamento, afastamentos e recuos, gabarito e altura máxima permitida. O grau de obstrução do céu e, conseqüentemente, a disponibilidade de luz natural dependem da morfologia urbana resultante da aplicação dessas regras.

No processo de construção dos cenários urbanos, a primeira informação definida é a planta cadastral, que comporta informações de dimensão de lotes e quadras, largura de ruas e passeios, como se pode ver na Figura 5.14.



**Figura 5. 14 – Planta cadastral do recorte urbano escolhido**

A planta cadastral pode ser hipotética ou real. No caso deste trabalho, trata-se de uma planta real. Os dados cadastrais e topográficos do recorte urbano escolhido, assim como as regras edilícias, devem ser inseridos no programa Cityzoom. O cruzamento dos dados cadastrais e das regras de ocupação gera o cenário urbano no programa Cityzoom.

Dois cenários urbanos são construídos: um cenário reproduzindo a situação real do local, atualmente, e um cenário hipotético, resultante da aplicação máxima das regras permitidas. A construção dos mesmos é detalhada a seguir.

#### 5.4.3.1 Cenário atual

O cenário denominado de atual consiste na representação da situação que existe atualmente no local. A construção do mesmo é resultado do cruzamento de dois conjuntos de informações: planta cadastral e gabarito das edificações existentes. A planta cadastral foi adquirida no IPUF e os dados sobre as edificações existentes foram obtidos através de levantamentos no local, utilizando-se de registros fotográficos e croquis. Com a inserção dessas informações no programa Cityzoom (Figura 5.15), o cenário atual é construído.

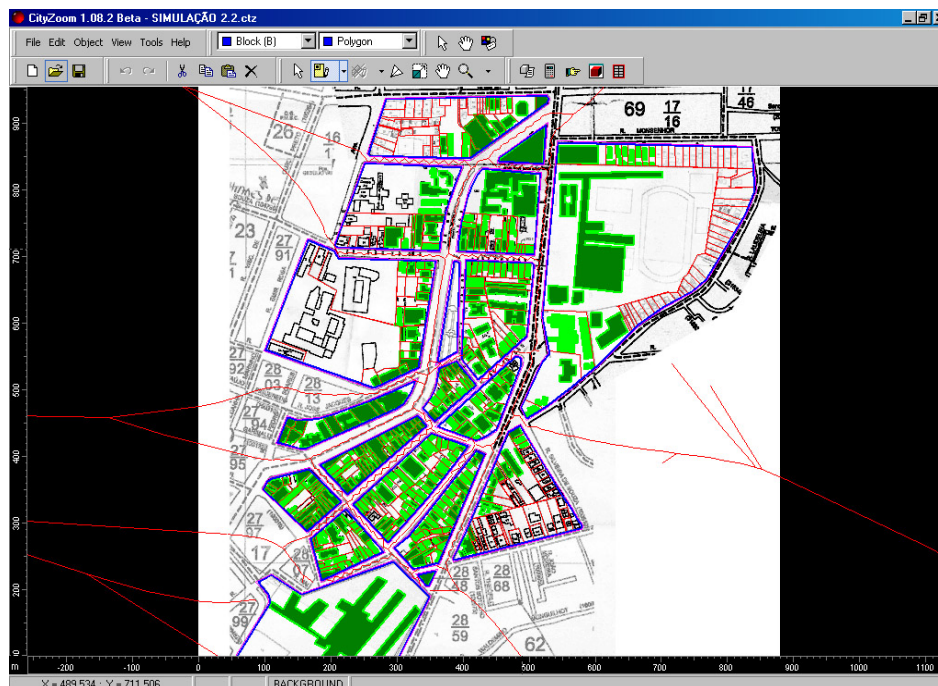
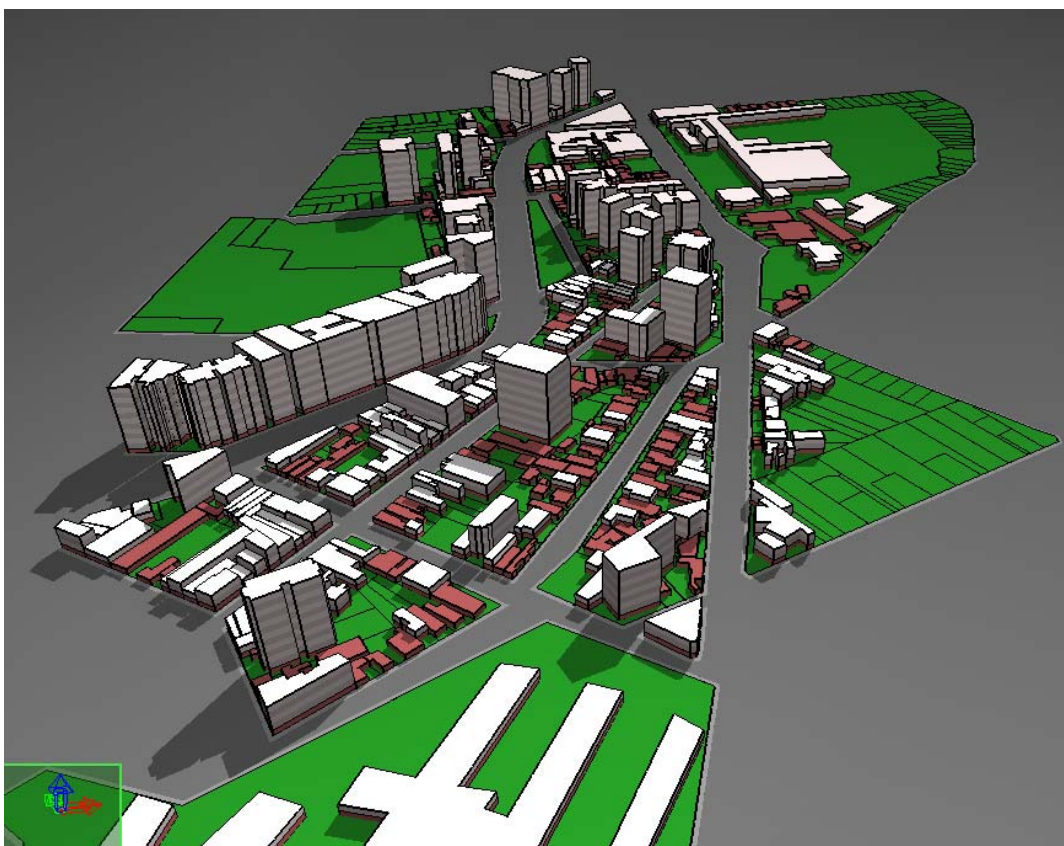


Figura 5. 15 – Inserção da planta cadastral do recorte urbano em análise no Cityzoom

O objetivo, ao analisar a situação atual, é verificar a condição de obstrução e disponibilidade de luz natural que existe atualmente e realizar comparações com futuros cenários de ocupação. A Figura 5.16, que pode ser visualizada abaixo, exibe a perspectiva da situação atual existente no local, reproduzida no Cityzoom. Os edifícios que aparecem em vermelho são edificações térreas.



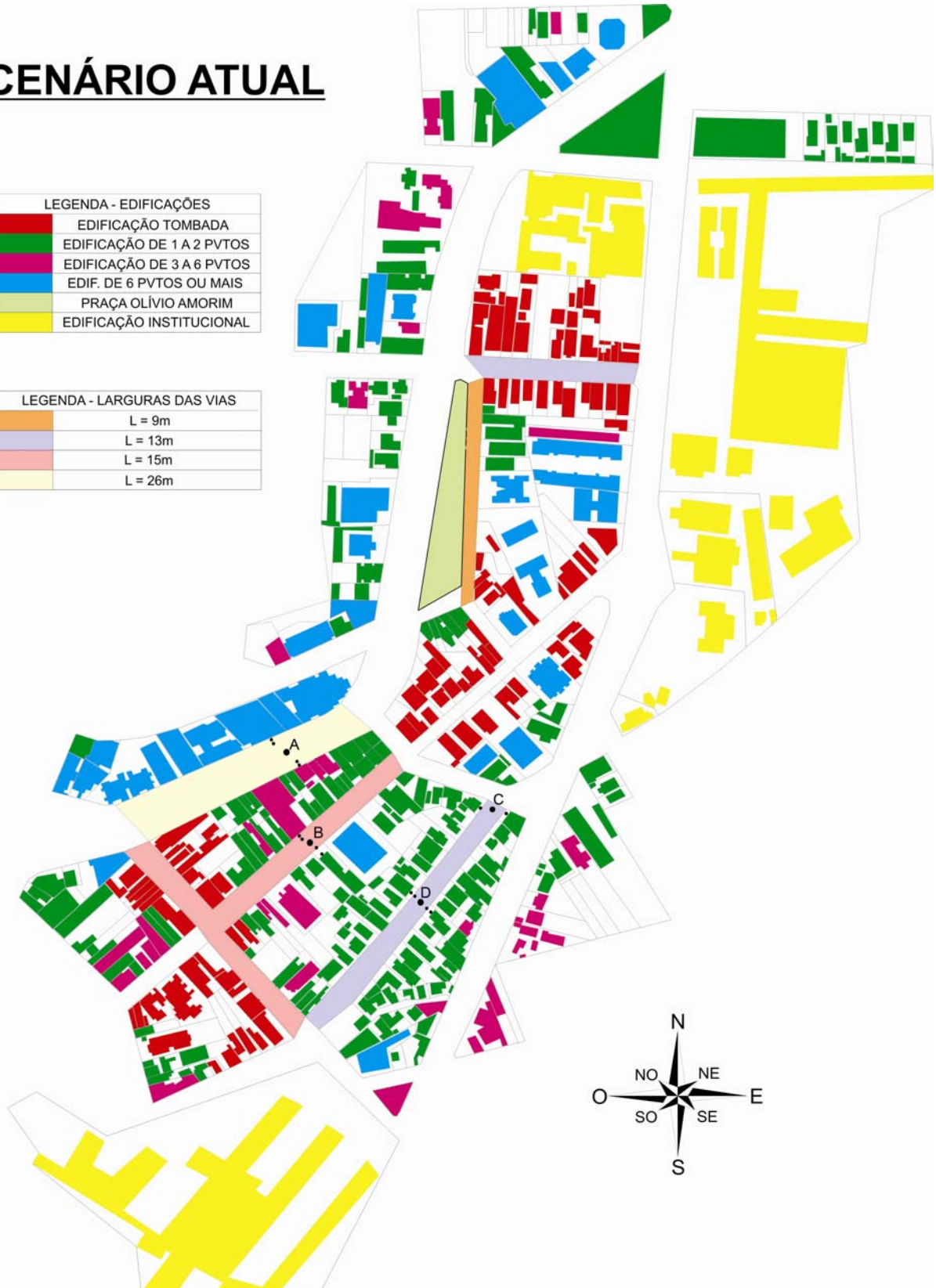
**Figura 5. 16 – Perspectiva da simulação do cenário atual no programa Cityzoom**

Na Figura 5.17, a seguir, pode-se ver a planta baixa do cenário atual, que proporciona uma análise visual da ocupação da área. Na planta, destaca-se a largura das principais ruas e o gabarito das edificações. A taxa de ocupação média no cenário atual é de 52%. O índice de aproveitamento médio é de 2,19 e a densidade de área construída ( $\text{m}^2$  área construída / área projeção em planta) é de 2,12. Dados calculados pelo programa Cityzoom.

# CENÁRIO ATUAL

LEGENDA - EDIFICAÇÕES	
<span style="color: red;">■</span>	EDIFICAÇÃO TOMBADA
<span style="color: green;">■</span>	EDIFICAÇÃO DE 1 A 2 PVTOS
<span style="color: magenta;">■</span>	EDIFICAÇÃO DE 3 A 6 PVTOS
<span style="color: blue;">■</span>	EDIF. DE 6 PVTOS OU MAIS
<span style="color: lightblue;">■</span>	PRAÇA OLÍVIO AMORIM
<span style="color: yellow;">■</span>	EDIFICAÇÃO INSTITUCIONAL

LEGENDA - LARGURAS DAS VIAS	
<span style="color: orange;">■</span>	L = 9m
<span style="color: purple;">■</span>	L = 13m
<span style="color: pink;">■</span>	L = 15m
<span style="color: yellow;">■</span>	L = 26m



OBS.: Pontos A, B, C e D são os eixos de análise, comentados posteriormente

Figura 5. 17 – Planta baixa do cenário atual



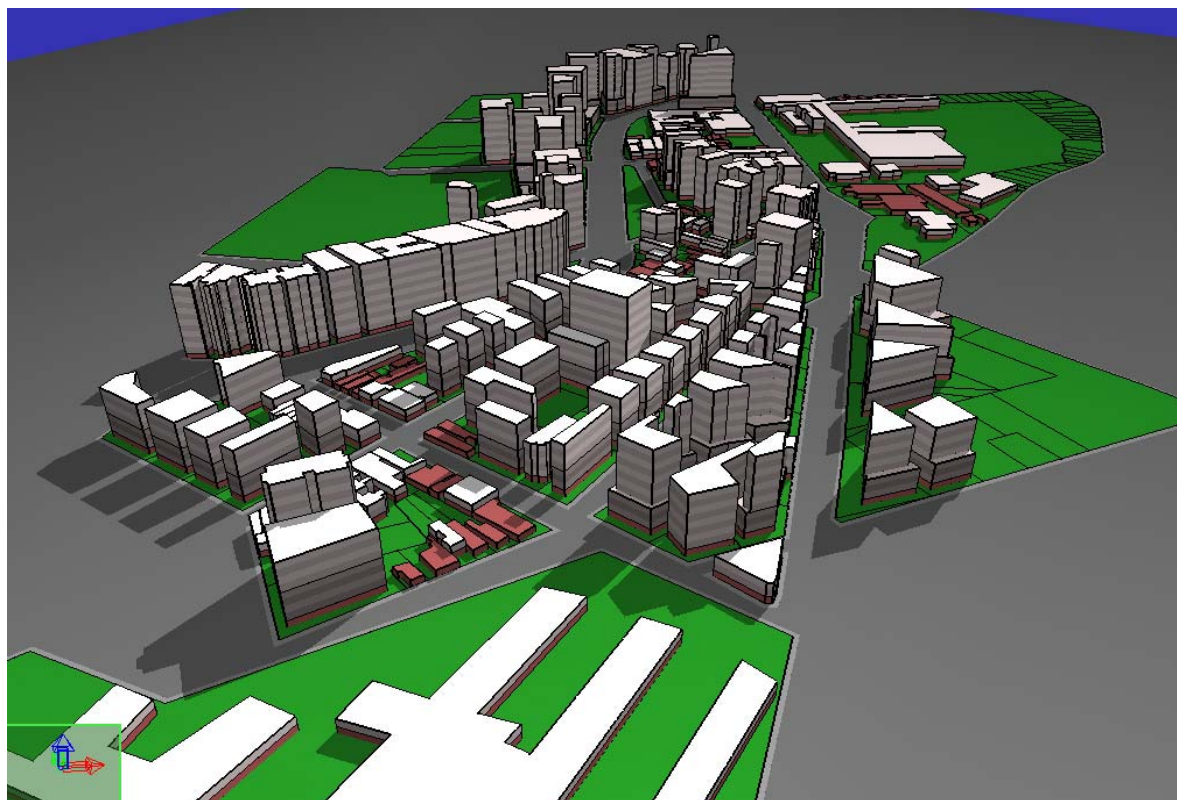
#### 5.4.3.2 Cenário legislação

Com o cenário denominado de legislação, o objetivo é verificar a disponibilidade de luz natural no meio exterior e no ambiente interno, decorrente do esgotamento em 100% dos índices de ocupação e aproveitamento do solo permitidos pela legislação.

Os parâmetros de construção dos cenários da legislação são aqueles previstos no Plano Diretor da cidade de Florianópolis, ver anexo 1. Dividem-se nos itens: índice de aproveitamento, taxa de ocupação, altura das edificações, afastamentos obrigatórios, incluindo as edificações de interesse histórico, que são mantidas como áreas de preservação.

Sobre a planta cadastral utiliza-se o artifício denominado de remembramento, que consiste no agrupamento de lotes, normalmente 2 ou 3 lotes pequenos, com objetivo de ampliar a área dos mesmos e assim possibilitar maior taxa de ocupação e aproveitamento. A opção de adotar o remembramento resulta da observação de que as ocupações mais recentes no local apontam para a tendência em lembrar ou agrupar lotes de pequenas dimensões. Essa tendência se atribui a uma estratégia do mercado imobiliário para maior aproveitamento e ocupação do lote, visto que a legislação apresenta afastamentos e recuos correlacionados com o número de pavimentos da edificação, tornando inviável a construção de edificações de maior altura em lotes estreitos. O critério utilizado foi o de lembrar lotes que apresentassem testada inferior a 15 metros, adotando-se um intervalo de 15 a 30 metros como referência para o remembramento.

Na Figura 5.18, que pode ser vista abaixo, está a perspectiva do cenário legislação, gerado no programa Cityzoom. Os edifícios que aparecem em vermelho são as edificações históricas preservadas. A lei de proteção às edificações históricas é uma condicionante existente na legislação de Florianópolis, presente em várias edificações da área em estudo. Normalmente são edificações térreas com uma taxa de ocupação do lote alta.



**Figura 5. 18 – Perspectiva do cenário legislação**

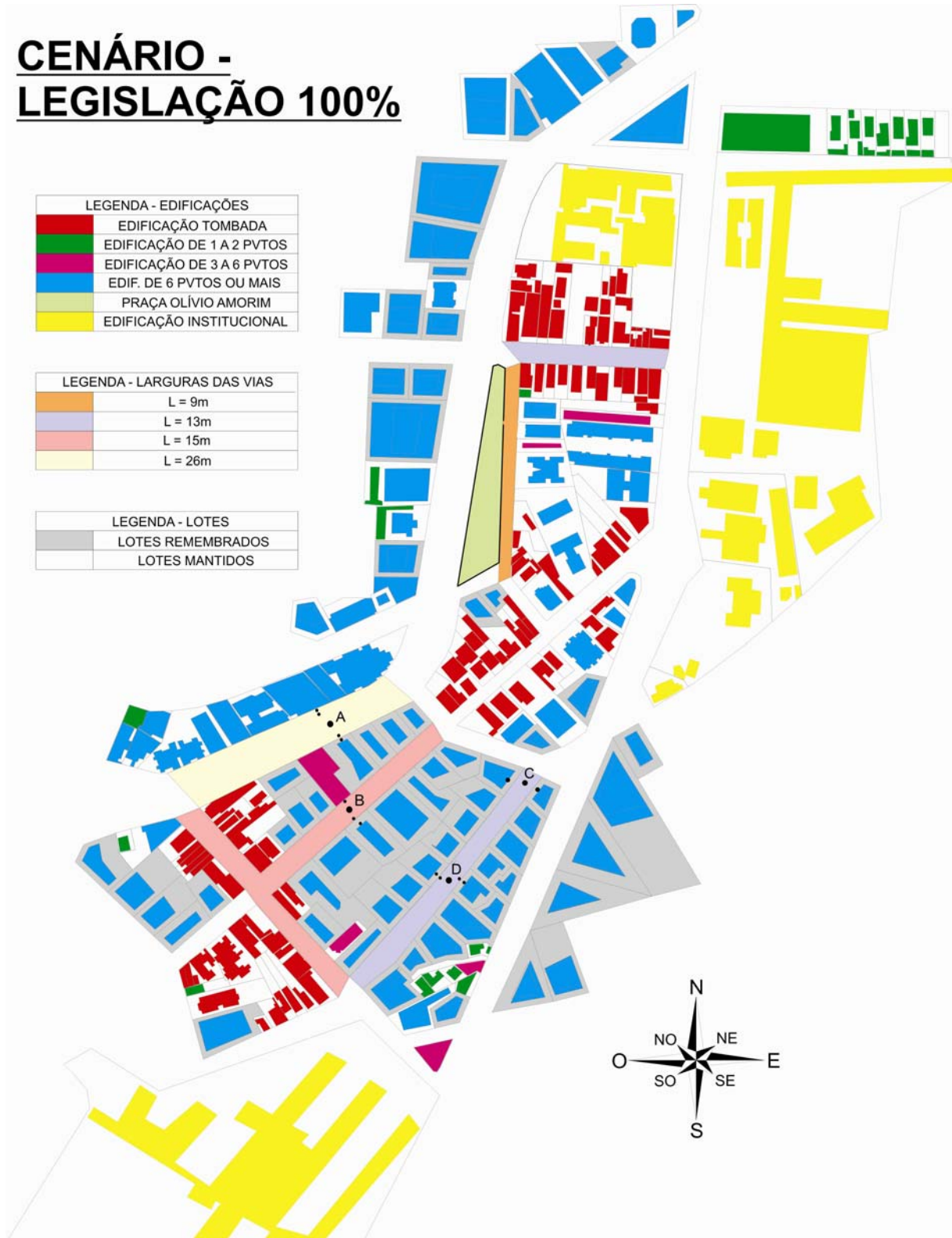
Na Figura 5.19, página a seguir, pode-se visualizar a planta baixa do cenário Legislação. A largura das ruas e as quadras permanecem constantes. As mudanças ocorrem nos lotes que foram remembrados, na taxa de ocupação e no gabarito das edificações. O cenário Legislação tem um taxa de ocupação média de 47%, um índice de aproveitamento médio de 2,84 e uma densidade de área construída de 2,82 ( $\text{m}^2$  área construída / área projeção em planta).

## CENÁRIO - LEGISLAÇÃO 100%

LEGENDA - EDIFICAÇÕES	
<span style="color: red;">■</span>	EDIFICAÇÃO TOMBADA
<span style="color: green;">■</span>	EDIFICAÇÃO DE 1 A 2 PVTOS
<span style="color: magenta;">■</span>	EDIFICAÇÃO DE 3 A 6 PVTOS
<span style="color: blue;">■</span>	EDIF. DE 6 PVTOS OU MAIS
<span style="color: yellow;">■</span>	PRAÇA OLÍVIO AMORIM
<span style="color: yellow;">■</span>	EDIFICAÇÃO INSTITUCIONAL

LEGENDA - LARGURAS DAS VIAS	
<span style="color: orange;">■</span>	L = 9m
<span style="color: purple;">■</span>	L = 13m
<span style="color: pink;">■</span>	L = 15m
<span style="color: yellow;">■</span>	L = 26m

LEGENDA - LOTES	
<span style="color: gray;">■</span>	LOTES REMEMBRADOS
<span style="color: white;">■</span>	LOTES MANTIDOS



OBS.: Pontos A, B, C e D são os eixos de análise, comentados posteriormente

Figura 5. 19 – Planta baixa cenário legislação

#### 5.4.4 Caracterização de um coeficiente de reflexão médio para superfícies verticais

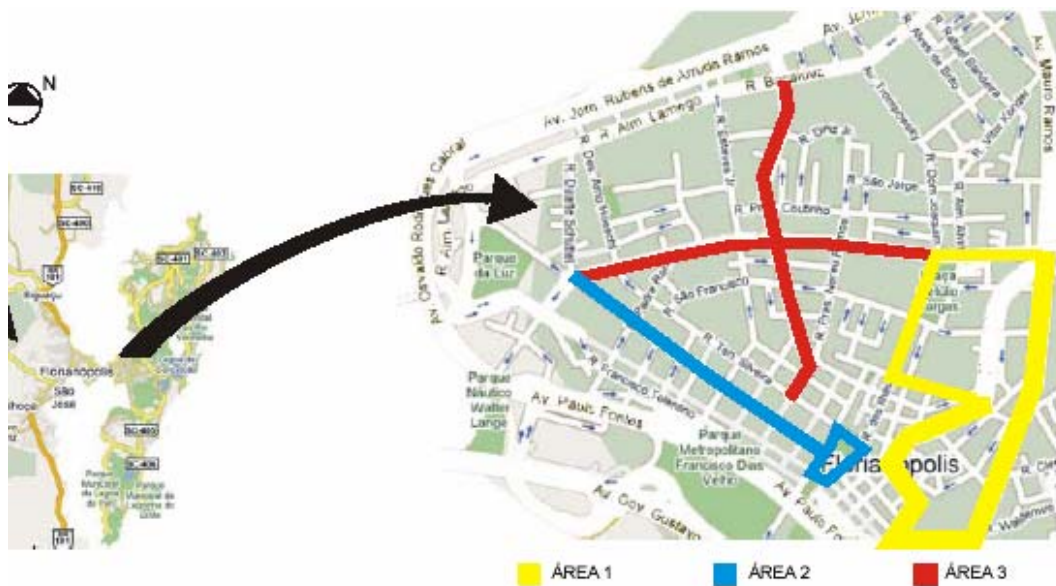
Na simulação do comportamento da luz natural, seja com modelos reduzidos ou simulação computacional, a reflexão das superfícies é uma das principais características inseridas no modelo, e a correta determinação dessa variável influencia diretamente nos resultados obtidos. Ao simular o comportamento da iluminação natural, a reflexão proveniente do entorno pode ser considerada simplificada atribuindo-se um coeficiente de baixa refletância. Contudo, quando o modelo detalha os volumes externos simulando uma condição real de entorno construído, situação existente nos cenários que são objeto de estudo desse trabalho, atribuir um coeficiente baixo pode não caracterizar, de forma adequada, as condições encontradas normalmente em um meio urbano.

Cientes dessa deficiência, essa etapa do trabalho tem como objetivo a caracterização de um coeficiente médio de reflexão para superfícies verticais externas, adequado a uma realidade observada em uma situação real. A metodologia experimental adotada se baseia na proposição de Ng (2001) e divide-se em duas principais etapas: caracterização do coeficiente de reflexão dos fechamentos verticais opaco e fechamentos verticais transparentes, detalhadas a seguir.

##### 5.4.4.1 Caracterização do coeficiente de reflexão dos fechamentos verticais opacos

A caracterização do coeficiente de reflexão, nos fechamentos verticais opacos do recorte urbano em estudo, é realizada através de registros fotográficos, com objetivo de levantar as principais características das fachadas. Estes registros servem de base para a identificação das áreas proporcionais dos diferentes acabamentos superficiais empregados nas fachadas. Após visitas ao local, foi identificado que o revestimento das superfícies opacas, em sua grande maioria, é feito através de tintas. Para identificar o coeficiente de reflexão dessas superfícies, optou-se pela comparação das mesmas com uma paleta de cores referidas por Castro et al. (2003), que realizaram medições de refletância fazendo uso de um conjunto de tintas disponíveis no mercado brasileiro e comumente utilizadas para revestimento externo. O coeficiente de reflexão médio resulta do produto das áreas relativas a cada tipo de fechamento com o coeficiente de reflexão respectivo.

Realizam-se registros fotográficos sobre fachadas frontais de aproximadamente 50 edifícios, localizados no recorte urbano em análise e nas suas proximidades. Na Figura 5.20, podem ser vistas as áreas em análise: a área 1 é o recorte urbano utilizado nos cenários, a área 2 compreende a rua Felipe Schmidt, centro comercial da cidade, e a área 3 compreende as ruas Othon Gama d'Eça e Osmar Cunha. Essas áreas caracterizam a mesma tendência de ocupação presente no recorte urbano em análise.



**Figura 5. 20 – Áreas objeto de levantamento fotográfico das fachadas frontais**

Para a realização dos registros fotográficos, o observador se posiciona frontalmente ao edifício, procurando reduzir distorções decorrentes da diferença de altura entre o observador e o ponto de interesse. Edifícios com um e dois andares são incluídos em um mesmo registro (ver Figura 5.21). Edifícios de maior altura têm o registro do pavimento tipo, procurando o pavimento próximo do térreo.



**Figura 5. 21 - Fachada de edifício existente na área em estudo**

Para a caracterização do coeficiente médio das superfícies verticais no recorte urbano analisado, calcula-se as áreas proporcionais relativas aos principais acabamentos superficiais encontrados. A Figura 5.22 é apresentada como exemplo. A imagem é transportada para o programa AutoCad e as áreas proporcionais são calculadas.



**Figura 5. 22 – Fachada utilizada para cálculo das áreas proporcionais**

O procedimento de cálculo adotado consiste no cálculo do percentual proporcional de cada acabamento superficial encontrado na parcela da fachada em análise (representa o pavimento tipo). As áreas proporcionais são multiplicadas pelo coeficiente de reflexão atribuído ao acabamento superficial correspondente, lembrando-se que os coeficientes de reflexão adotados para as superfícies opacas são extraídos de Castro et al. (2003). A média desses valores resulta no coeficiente de reflexão do pavimento tipo da edificação. A média dos valores encontrados resulta na média final.

#### 5.4.4.2 Caracterização do coeficiente de reflexão dos fechamentos transparentes

A metodologia adotada para caracterização do coeficiente de reflexão das aberturas é resultado de medições que utilizam um modelo reduzido com céu artificial simulando a abóbada e as medições com edifício e céu real.

Fechamentos transparentes apresentam, com grande frequência, elementos de proteção interna em tons claros. Para caracterizar essa variável, são realizadas medições seguindo o procedimento proposto por Fontoyont (1999), que utiliza como referência amostras de cores com refletâncias conhecidas. São realizadas medições das luminâncias das amostras conhecidas e da luminância do material do qual se pretende identificar a refletância (ver Figura 5.23).

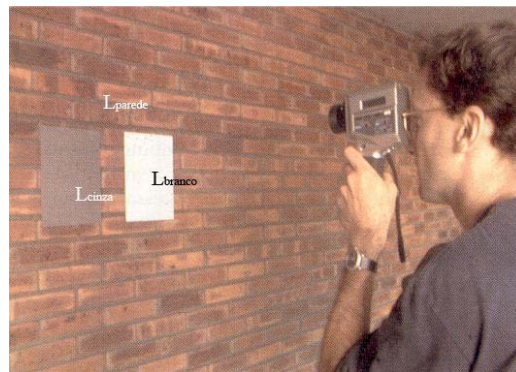


Figura 5. 23 – Procedimento de medição da refletância em ambientes (FONTOYNONT, 1999)

O autor recomenda que a condição de luminosidade seja a mais difusa possível, evitando luz direta com baixo ou alto ângulo de incidência. Com as luminâncias obtidas, aplica-se as equações abaixo:

$$\rho_1 = \frac{\rho_{branco} L_{material}}{L_{branco}} \quad \text{Equação 5. 4}$$

$$\rho_2 = \frac{\rho_{cinza} L_{material}}{L_{cinza}} \quad \text{Equação 5. 5}$$

$$\rho_{material} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} \quad \text{Equação 5. 6}$$

sendo:

L = luminância (cd/m<sup>2</sup>)

ρ = coeficiente de reflexão (%)

Para a realização das medições a partir do procedimento de Fontoynt, a primeira etapa é a definição das amostras com refletância conhecida.

Na confecção das amostras, os dados fornecidos por Castro et al. (2003) servem de parâmetro na escolha da tinta a ser aplicada. As amostras são feitas em retângulos de papel “sola”, dimensões de 12 x 12 cm e espessura de 0,1 cm, pintadas com as cores: branco, azul e preto. Devido a ausência do cinza na paleta de cores analisadas por Castro et al. (2003) optou-se por utilizar as cores azul e preto. A refletância dessas amostras é verificada através de medições de luminância e iluminância sobre o céu artificial (fonte constante) e do emprego da equação 5.7, apresentada a seguir, válida para superfície perfeitamente difusora.

$$\rho = \frac{L\pi}{E}$$

**Equação 5.7**

onde:

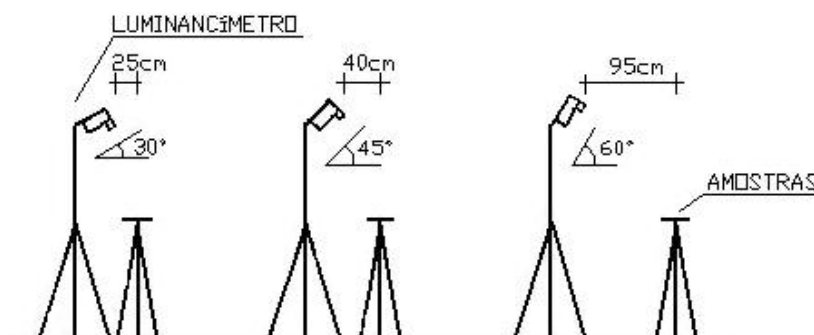
$\rho$  = coeficiente de reflexão (%)

L = luminância ( $\text{cd/m}^2$ )

E = Iluminância (lux)

O procedimento de medição das amostras consiste na disposição das mesmas sob tripés, a uma altura de 80 cm. A medição da iluminância é realizada com uma fotocélula Licor 210 SA e um datalogger de aquisição e armazenamento de dados. Coloca-se o sensor no centro da amostra.

Realizam-se as medições de luminância com um luminômetro Minolta LS 110 em diferentes posições e ângulos de inclinação, com o sensor direcionado para o centro da amostra. Na Figura 5.24 estão representadas as posições do luminômetro adotadas na medição da luminância das amostras.



**Figura 5.24 – Posicionamentos do luminômetro na medição da luminância das amostras**



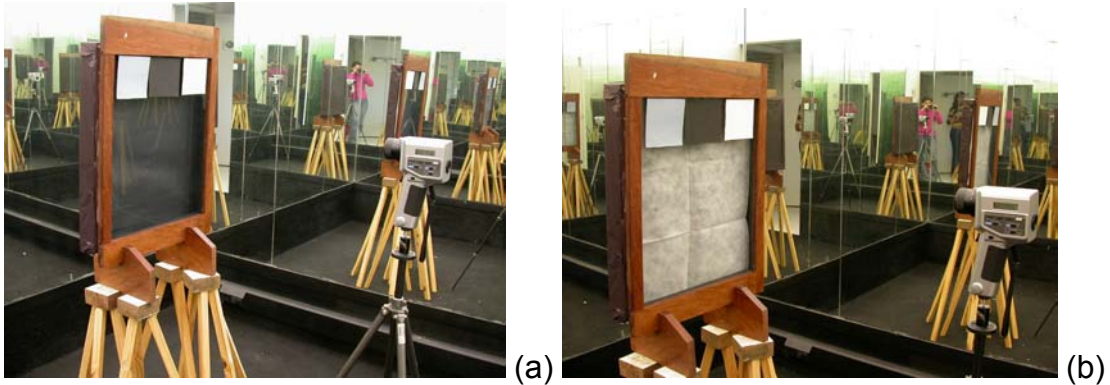
O céu artificial (caixa de espelhos) utilizado pertence ao Labcon – Laboratório de Conforto Ambiental, do curso de Arquitetura da Universidade Federal de Santa Catarina. O mesmo simula uma condição de céu encoberto, segundo o padrão da CIE, e tem dimensões de 2,5 metros de largura x 2,5 metros de comprimento e 2,6 metros de altura.

O objetivo dessas medições é verificar se os valores atribuídos por Castro et al. (2003) ocorrem nas amostras.

Com a definição do coeficiente de reflexão das amostras, o passo seguinte é a utilização dos mesmos nas medições com as aberturas. Um conjunto de medições é realizado, empregando-se um modelo reduzido que simula a condição de uma abertura. As medições utilizam o céu artificial, reproduzindo uma condição de céu encoberto. Essas medições pretendem verificar o coeficiente de reflexão resultante da combinação de abertura com vidro somada à presença de cortina interna em tom claro, assim como, a situação da abertura sem cortina, na qual a maior parte da luz incidente seria absorvida pela cavidade do ambiente interno.

O modelo que simula uma abertura é formado por uma esquadria de madeira e vidro comum com espessura de 3 mm (ver Figura 5.25). As dimensões são de 48 cm de altura e 66 de largura. A parte posterior do modelo tem uma cavidade com profundidade de 4,5 cm, revestida internamente e externamente com um material de cor preta, simulando o ambiente interno. Nessa cavidade, entre o vidro e o fundo preto, são inseridas amostras de tecido na cor branca, simulando uma cortina interna (ver Figura 5.25 (b)). As variáveis adotadas são: tecido branco simples, tecido branco duplo, tecido de renda e ausência de cortina ou cavidade preta.

As amostras com refletância conhecida são dispostas sobre o modelo reduzido (ver Figura 5.25) e registram-se as luminâncias encontradas no centro de cada amostra e no centro do modelo.



**Figura 5. 25 – Modelo da abertura sem elemento de proteção (a) e com elemento de proteção interno na cor branca (b)**

Também são realizadas medições sob céu real utilizando-se as amostras com refletância conhecida, seguindo as recomendações de Fontoyont (1999). Em substituição ao modelo reduzido, emprega-se uma edificação real. O céu deve apresentar uma condição de totalmente encoberto. Com os resultados obtidos nas medições em escala reduzida e céu artificial e os resultados obtidos com as medições em condição real, é estabelecida uma média caracterizando a situação do fechamento transparente com elemento de proteção interno em cor clara e o fechamento transparente sem elemento de proteção interno.

#### 5.4.5 Especificações utilizadas nos cenários para a simulação da luz natural

No procedimento de simulação da luz natural com o programa Apolux é necessária a especificação de variáveis relativas ao modelo. Essas especificações se dividem nas variáveis relativas às superfícies do modelo e nas variáveis relativas à fonte de luz, que, para a simulação da luz natural, é a abóbada celeste.

O programa Apolux possui dois modos de entrada: Fractal e Luz Solar. No modo Luz Solar o modelo de análise é inserido e, após o reconhecimento do mesmo, inicia-se a formatação das variáveis do modelo, caracterizando a simulação pretendida. Nesse modo são inseridas as variáveis geográficas do local em questão, assim como climáticas, temporais, fator de nublagem, abóbada de cálculo e tipo de cálculo. Para a condição do ar, o programa Apolux apresenta uma variável denominada de coeficiente de turbidez, que define o grau de turvamento do ar atmosférico sob céu sem nuvens. Para uma situação ideal de ar seco e limpo, o coeficiente equivale a 1,0. Já, para uma situação mais extrema de atmosfera

poluída, como é o caso de áreas industriais, o coeficiente equivale a 5,0. No estudo em andamento, o coeficiente adotado é o de áreas litorâneas, que equivale a 3,0.

No modo Fractal define-se as propriedades dos materiais, como coeficiente de reflexão e as propriedades óticas dos materiais (opaco difusor). Também é definido o fator de fracionamento, ou seja, a subdivisão sob a qual todas as superfícies do modelo estão divididas. Essa divisão ocorre em pequenos triângulos, e cada vértice desse triângulo representa um ponto, sobre o qual podem ser fornecidos a iluminância, a luminância ou o FLD. Esse fracionamento define o grau de precisão da simulação: quanto maior for o fracionamento, maior é o nível de precisão da simulação. Como o programa permite o uso de coeficiente de fracionamento diferenciado, o nível de precisão pode ser adequado à necessidade de maior precisão. Utiliza-se o seguinte fracionamento: 1 para a cobertura, 8 para as fachadas verticais, 3 para os lotes, 5 para as vias e 100 para o ambiente interno. A abóbada também é dividida em vértices, e adota-se uma divisão para a abóbada de 40.

Especificamente para o desenvolvimento desse trabalho, é inserido no programa o cálculo do Fator de Céu Preferível, além do Fator de Céu Visível que o programa já disponibiliza, através do cálculo da obstrução do céu visível. Essas variáveis são calculadas para superfícies verticais. O FCP corresponde ao percentual da JCP que se encontra desobstruída. A área ocupada pela JCP (em percentual), em relação à área total de céu visível, corresponde ao valor máximo para o FCP.

#### 5.4.6 Metodologia de análise dos resultados obtidos com os cenários

Dois cenários urbanos são analisados: cenário atual e cenário legislação. Esses cenários são constituídos basicamente de quadras, ruas, lotes e edificações. Os parâmetros de análise estão relacionados com o meio urbano e com o ambiente interno. Com isso, o objeto de análise nos cenários é a edificação, mais precisamente, o ambiente interno inserido no volume da edificação. Com a análise dos resultados, se pretende estabelecer relações e conclusões sobre a performance da iluminação natural no ambiente interno e a configuração do meio urbano no qual esse ambiente está inserido. Com isso, a análise sobre o ambiente interno deve estar relacionada com o meio ambiente externo.

Nesse contexto, o primeiro item definido é escolha das edificações que receberão o ambiente interno de análise. A solução encontrada foi a definição de localizações

estratégicas no recorte urbano, denominadas de eixos A, B, C e D (ver Figura 5.26). A escolha desses eixos foi realizada considerando-se principalmente as seguintes variáveis urbanas:

- Diferentes larguras de rua;
- Diferentes configurações de gabarito e ocupação do lote;
- Localização no meio da quadra (eixos A, B e D) e esquina (eixo C);
- Localização em situação com variação no afastamento frontal;
- Localização em frente ao conjunto de prédios da Hercílio Luz que configura uma situação de *canyon* urbano (eixo A);
- Localização em quadras que permitem grande adensamento (eixos C e D);
- Localização em lotes a serem lembrados no cenário legislação (eixos C e D).

Os referidos eixos representam situações estratégicas no recorte urbano. Cada eixo identifica dois edifícios que são objeto de análise dos parâmetros FCV, FCP, FLD e iluminâncias.

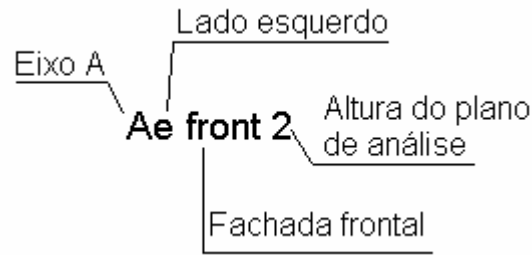
Os dois edifícios estão diametralmente opostos, lado esquerdo e lado direito da rua. No volume ocupado pelo edifício, é inserido o ambiente interno de análise. Um ambiente interno é inserido na fachada frontal, outros inseridos na fachada dos fundos e nas laterais direita e esquerda, sempre que possível (exceções ocorrem quando não há afastamento suficiente ou as dimensões do edifício permitirem). No mínimo cada um desses edifícios apresenta um ambiente interno de análise, localizado na fachada frontal e a 1 metro de altura do nível do piso externo. Edifícios de maior altura possuem também ambientes localizados a 15 metros de altura, que corresponderiam a um pavimento localizado no 5 andar.

O objeto final da análise é efetivamente o ambiente interno que compreende dois planos de análise: plano vertical para os parâmetros do meio externo (FCV e FCP) e plano horizontal para os parâmetros do ambiente interno (FLD e Iluminância).



**Figura 5. 26 – Planta baixa do recorte em estudo com a localização dos eixos de análise e detalhamento do posicionamento dos ambientes internos**

Para auxiliar na análise dos resultados, os ambientes recebem uma nomenclatura esquemática detalhada a seguir (ver Figuras 5.26 e 5.27). A nomenclatura inicia com o eixo sobre o qual a edificação está inserida, que possui a denominação A, B, C e D. Em seguida é indicado o lado da rua a que pertence a edificação, abreviada com a letra “e” para esquerda, e “d” para direita. O item seguinte é a indicação da fachada onde o ambiente está inserido, podendo ser: frontal (front), lateral direita (latd), lateral esquerda (late) e fundos (fund). O último item é a altura do plano de análise horizontal, localizado no ambiente interno, que será 2 para os ambientes localizados no térreo e 16 para os ambientes localizados no quinto pavimento.



**Figura 5. 27 – Esquema adotado na nomenclatura dos ambientes de análise nos cenários**

O cenário atual apresenta 19 ambientes internos de análise. A Tabela 5.4 abaixo fornece a nomenclatura utilizada para cada ambiente.

**Tabela 5. 4 – Nomenclatura adotada para os ambientes internos de análise no cenário atual**

<b>Eixo A</b>	<b>Eixo B</b>	<b>Eixo C</b>	<b>Eixo D</b>
Ae front 2	Bd front2	Cd front2	Dd front2
Ae front 16	Bd fund2	Ce front2	Dd fund2
Ad front2	Bd latd2		Dd latd2
	Bd late2		De front2
	Be front2		De fund2
	Be front16		De latd2
	Be lat2		
	Be lat16		

O cenário legislação apresenta 29 ambientes internos de análise. Na Tabela 5.5 abaixo estão as denominações definidas para cada ambiente. O cenário legislação tem maior número de edificações com altura superior a 5 pavimentos, conseqüentemente suportará um número maior de ambientes internos.

**Tabela 5. 5 – Nomenclatura adotada para os ambientes de análise no cenário legislação**

<b>Eixo A</b>	<b>Eixo B</b>	<b>Eixo C</b>	<b>Eixo D</b>
Ae front 2	Bd front2	Cd front2	Dd front2
Ae front 16	Bd front16	Ce front2	Dd front16
Ad front2	Bd fund2	Cefront16	Dd fund2
Ad front16	Bd fund16		Dd latd2
	Bd latd2		Dd latd19
	Bd late2		De front2
	Bd late16		De front16
	Be front2		De fund2
	Be front16		De fund16
	Be lat2		De latd2
	Be lat16		De latd16

A análise dos resultados obtidos com os cenários urbanos divide-se em dois conjuntos: parâmetros relativos ao meio exterior e parâmetros relativos ao ambiente interno. Os parâmetros relativos ao meio exterior compreendem o FCV e o FCP. Esses são calculados sobre o plano da abertura - plano de análise vertical, localizado na fachada das edificações.

Os parâmetros relativos ao ambiente interno compreendem o FLD e a iluminância, que são calculados sobre um plano de análise horizontal localizado no ambiente interno a uma altura de 1 metro. Complementarmente às análises com os parâmetros FLD e iluminância, são geradas máscaras de obstrução sobre pontos localizados no meio da abertura, que auxiliam na análise da obstrução do céu.

O programa Apolux subdivide os planos de análise em vértices, e cada um resulta em um ponto sobre o qual podem ser calculados os parâmetros FLD e Iluminância. Nos planos em análise (vertical ou horizontal) o número de vértices ou pontos é de 264. Para facilitar a análise desse montante, os resultados são classificados em intervalos, seguindo a metodologia já adotada na verificação do impacto da JCP na iluminação natural de ambientes internos, detalhada no item 5.3.4. Além disso, também calculam-se as médias dos valores encontrados.

Para a classificação dos dados em intervalos o programa Excel é utilizado. O programa Apolux disponibiliza os dados em uma planilha de texto, que pode ser inserida no Excel. A classificação dos dados em intervalos é realizada através de um "macro" do Excel. Os resultados finais representam o percentual sobre o plano de análise contido no intervalo.

Os resultados obtidos com o plano de análise vertical, localizado sobre a abertura do ambiente interno e que corresponde aos parâmetros FCV e FCP, também são classificados em intervalos associados ao máximo valor que pode ocorrer com os referidos parâmetros.

O Fator de Céu Visível máximo para o plano vertical é de 50%, já que um plano vertical está voltado para meio hemisfério.

O FCP apresenta valor máximo de 16,9% da área de céu visível (que representa a área da Janela de Céu Preferível em relação à área total de céu visível). Os intervalos de análise dos dois parâmetros são detalhados na Tabela 5.6.

**Tabela 5. 6 – Intervalos utilizados na análise do Fator de Céu Visível e Fator de Céu Preferível**

<b>Fator de Céu Visível</b>	<b>Fator de Céu Preferível</b>
Inferior a 10%	Inferior a 3%
10 a 20%	3 a 6%
20 a 30%	6 a 9%
30 a 40%	9 a 12%
Superior a 40%	Superior a 12%

A análise dos resultados reside principalmente na identificação da relação existente entre a performance da iluminação natural no ambiente interno e o FCV e FCP encontrados no exterior. Essa relação é verificada através da correlação linear de Pearson entre as variáveis envolvidas. Os valores médios de FCV e FCP são confrontados com o FLD e a iluminância. O FLD utilizado é o percentual sobre o plano de análise acima de 2%. A iluminância utilizada é o percentual sobre o plano de análise acima de 100 lux.

Também é verificada a correlação entre o céu remanescente e as variáveis da performance da iluminação natural no ambiente interno, FLD e iluminância. O céu remanescente compreende a área de céu visível, representada pelo FCV, menos a área do céu contida na JCP (FCP).

## 5.5 RESUMO SOBRE O CAPÍTULO 5

O capítulo Metodologia foi dividido em três etapas. A primeira refere-se à definição do parâmetro proposto neste trabalho: JCP. A segunda trata de verificar a relação existente entre o parâmetro JCP e a iluminação natural em ambientes internos, com a qual se pretende a confirmação da hipótese desta pesquisa: a possibilidade de identificar uma região do céu com maior potencial de iluminação em relação a um plano localizado em um ambiente interno.

Na terceira e última etapa, o referido parâmetro é inserido em um recorte urbano com objetivo de relacionar o grau de obstrução do meio exterior com a iluminação natural no ambiente interno utilizando o parâmetro proposto.

O capítulo a seguir apresenta os resultados e as análises dos procedimentos relatados neste capítulo.





## capítulo 6

---

# 6 resultados e análises

## 6.1 INTRODUÇÃO - RESULTADOS E ANÁLISES

Esse capítulo engloba a análise e o tratamento dos dados obtidos através da metodologia de trabalho apresentada no capítulo anterior, ver mapa conceitual Figura 6.1.

A primeira etapa trata do desenvolvimento do parâmetro Janela de Céu Preferível. Na seqüência, são analisados a contribuição relativa da luz natural proveniente da abóbada sobre um plano horizontal e um plano vertical, o efeito redutor do cosseno sobre o ângulo de incidência da luz, o percentual de visão do céu no ambiente interno e o potencial de iluminação do céu no ambiente interno. Para finalizar, a definição da região do céu a ser denominada de Janela de Céu Preferível.

A segunda etapa trata dos resultados e das análises com a verificação da relação existente entre o parâmetro Janela de Céu Preferível e a iluminação natural em ambientes internos. Complementarmente, são analisados resultados obtidos com a subdivisão interna da região da Janela de Céu Preferível.

Para encerrar o capítulo, caracteriza-se o coeficiente de reflexão das superfícies verticais, para, em seguida, analisar a aplicação do parâmetro de Janela de Céu Preferível nos cenários urbanos, dividida em cenário atual e cenário legislação.

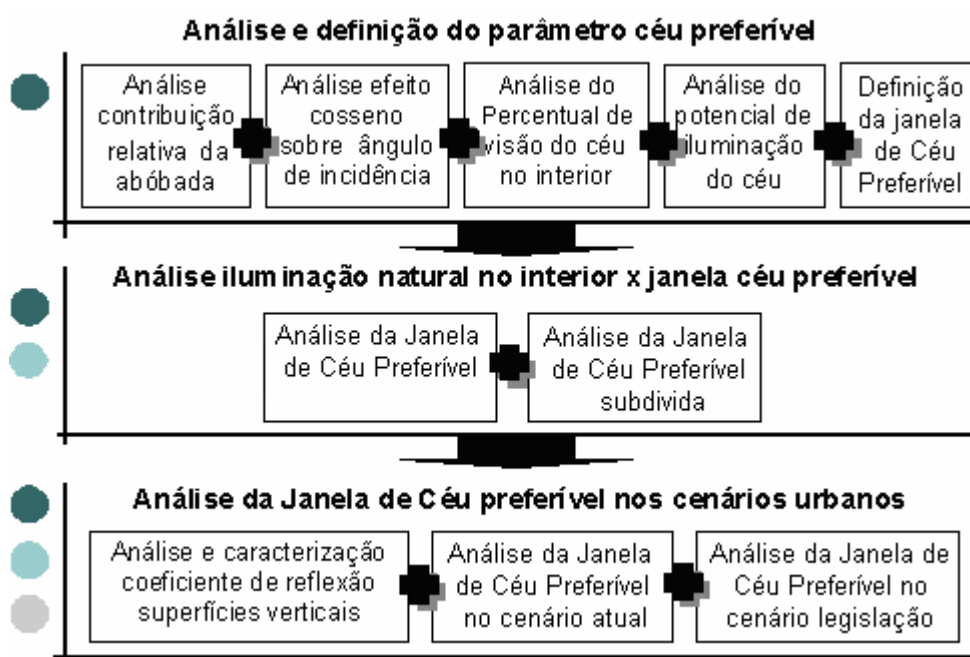


Figura 6. 1 – Mapa conceitual do desenvolvimento do capítulo das análises

## 6.2 DEFINIÇÃO E ANÁLISE DA JANELA DE CÉU PREFERÍVEL

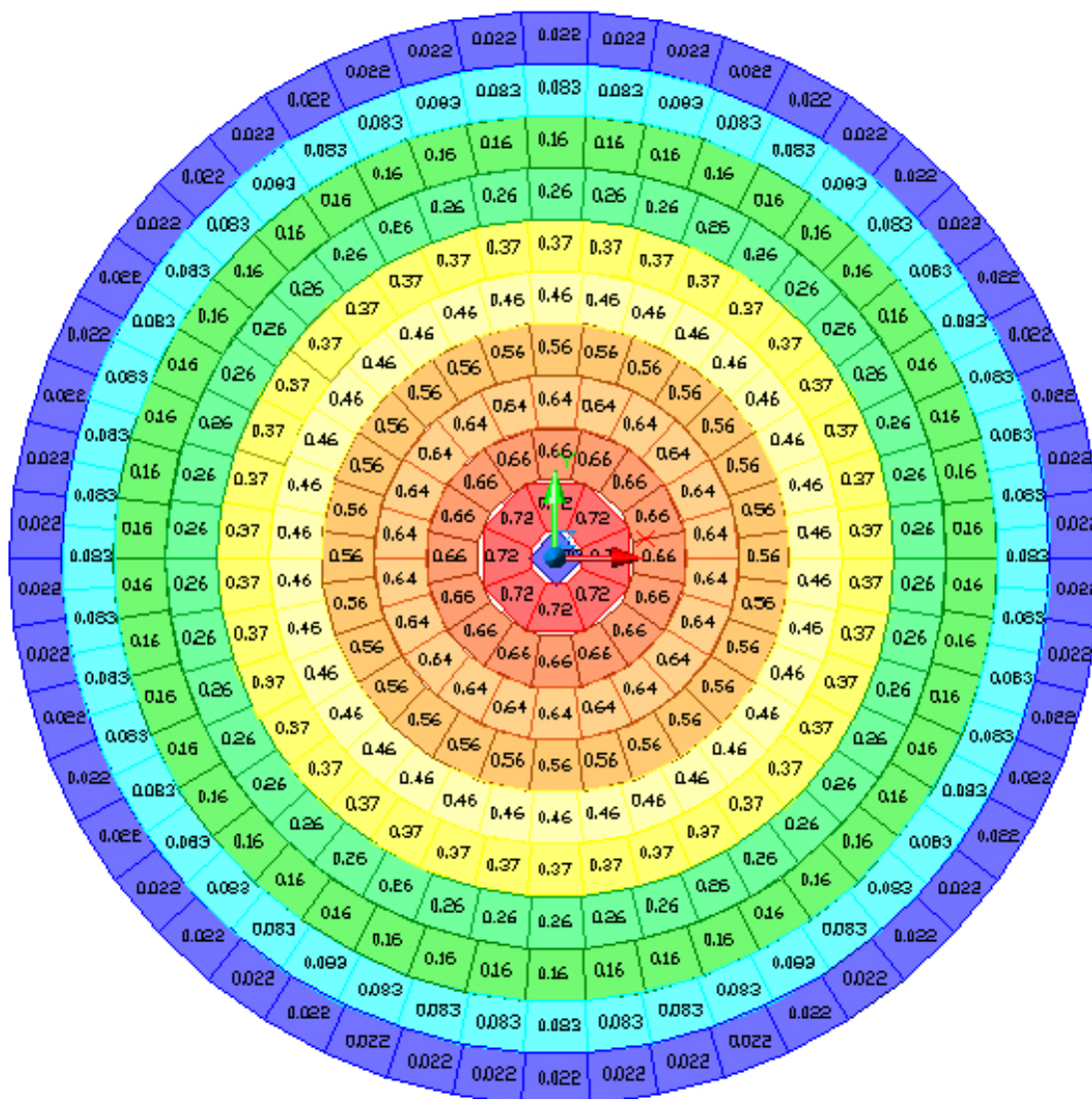
A definição da Janela de Céu Preferível resultou da análise dos três aspectos considerados de maior influência sobre a iluminação natural no ambiente interno proveniente da abóbada celeste. Esses aspectos dividem-se em: contribuição relativa da luz natural proveniente de abóbada sobre um plano horizontal e plano vertical, efeito redutor do cosseno sobre o ângulo de incidência da luz e percentual de visão do céu no ambiente interno, compreendidos na primeira etapa das análises.

O potencial de iluminação do céu no ambiente interno é resultado do cruzamento do percentual de visão do céu no ambiente interno com a contribuição relativa da abóbada. A análise desse aspecto possibilitou a definição da Janela de Céu Preferível.

### 6.2.1 Análise da contribuição relativa da luz sobre a abóbada

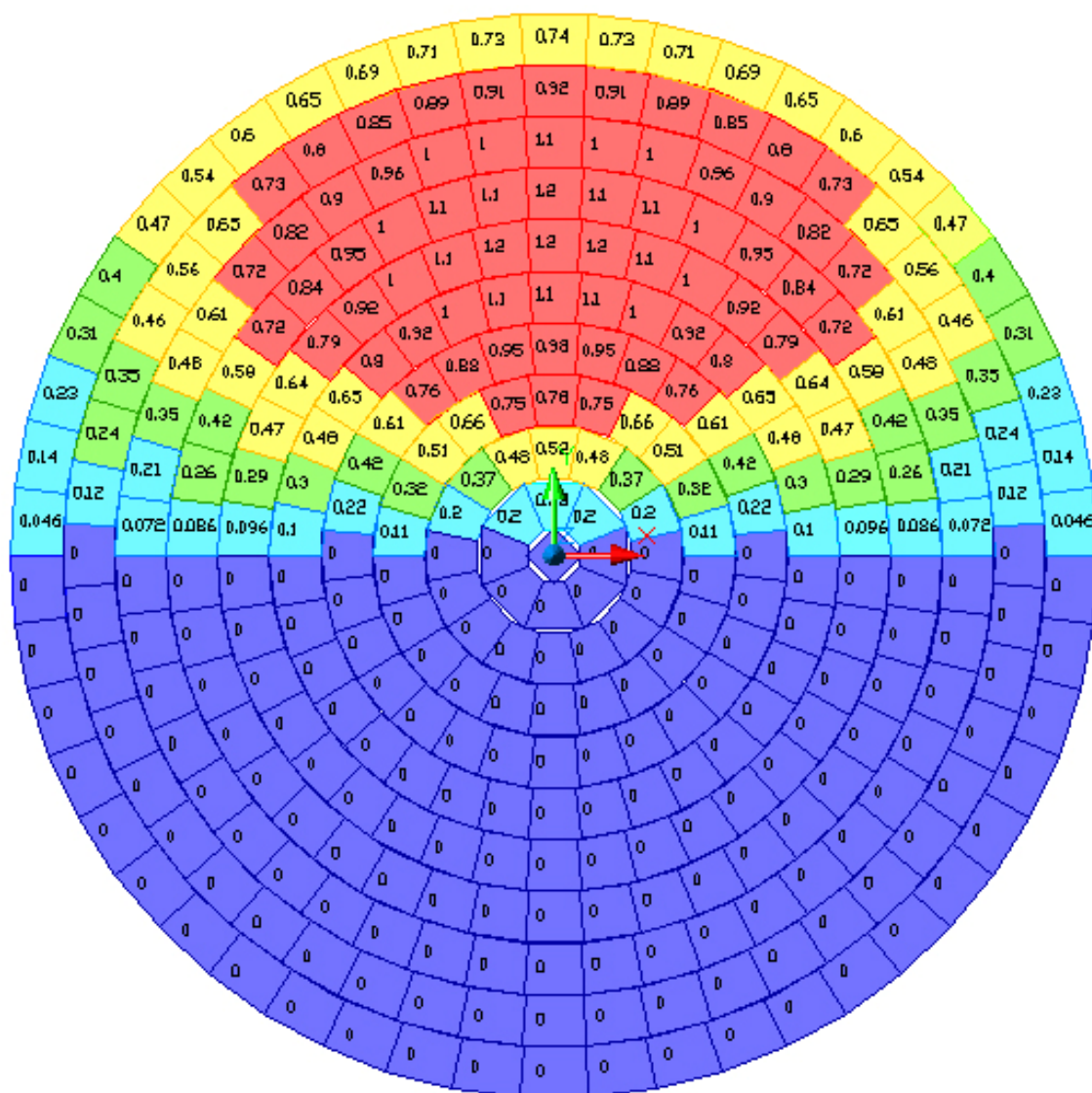
A contribuição relativa consiste em valores unitários que representam a razão entre a iluminância em um ponto sobre um plano horizontal devido àquela parcela do céu e a iluminância total (proveniente de toda a abóbada) sobre um ponto em um plano horizontal para um céu encoberto e completamente desobstruído. O resultado são valores unitários atribuídos a cada zona. Na projeção sobre o plano horizontal, o somatório da contribuição das zonas resulta em 100%.

O gráfico na Figura 6.2 mostra a abóbada dividida em 333 parcelas, com a contribuição relativa de cada parcela sobre um plano horizontal. Embora já conhecidas, ressaltam-se duas características a serem observadas no gráfico: as áreas de maior contribuição são aquelas próximas ao zênite e, as áreas próximas ao zênite apresentam menor subdivisão, ou menor número de parcelas. Essas características são importantes quando consideradas na iluminação de um plano horizontal localizado em um ambiente interno. Em se tratando de aberturas laterais as áreas do céu próximas ao zênite freqüentemente não são visualizadas no ambiente interno. Embora, essas sejam as zonas de maior contribuição para o plano horizontal.



**Figura 6. 2 – Subdivisão da abóbada em 333 zonas e a contribuição relativa (%) sobre um plano horizontal (imagem gerada com o programa Apolux)**

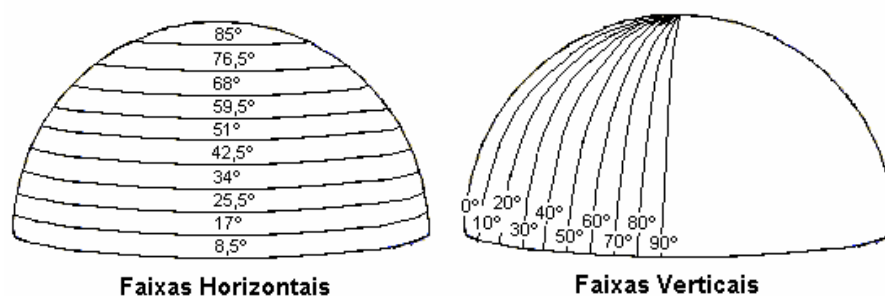
A contribuição relativa sobre o plano vertical, Figura 6.3, consiste em valores unitários que representam a razão entre a iluminância em um ponto sobre um plano vertical devido àquela parcela do céu e a iluminância total (proveniente de toda a abóbada) sobre um ponto em um plano horizontal para um céu encoberto e completamente desobstruído. Esse somatório resulta em aproximadamente 40% da iluminação sobre o plano horizontal e somente um lado do hemisfério contribui para a iluminação no ponto, dado que se trata de um plano vertical. Pode-se observar na Figura 6.3 que as porções da abóbada de maior contribuição sobre o plano vertical estão localizadas a uma altitude solar entre  $8,5^\circ$  e  $59,5^\circ$ , e azimute entre aproximadamente  $45^\circ$  e  $315^\circ$ . Embora a região do zênite seja a porção da maior luminância, quando a mesma ilumina um plano vertical sua influência é reduzida.



**Figura 6. 3 - Subdivisão da abóbada em 333 zonas e a contribuição relativa (%) sobre um plano vertical (imagem gerada com o programa Apolux)**

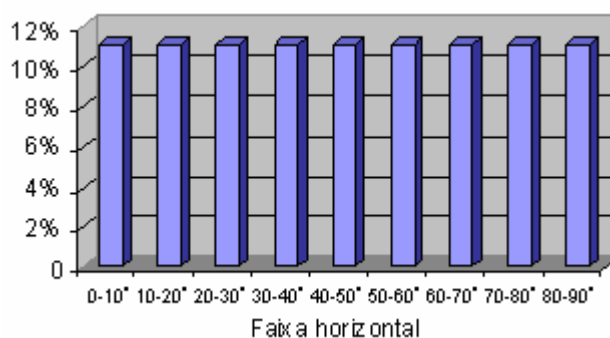
Com os gráficos da contribuição relativa sobre os planos horizontal e vertical, foram realizadas análises para identificação das áreas de maior contribuição e para o estabelecimento de relações entre as mesmas.

Os gráficos das Figuras 6.5 e 6.6 representam a contribuição relativa da abóbada subdividida em faixas verticais ou longitudinais (ver esquema da subdivisão na Figura 6.4). Essas faixas estão espaçadas a cada  $10^\circ$  e compreendem um intervalo de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , ou seja  $\frac{1}{4}$  do hemisfério. A contribuição relativa compreendida dentro de cada um desses intervalos foi calculada e apresentada nos gráficos a seguir.

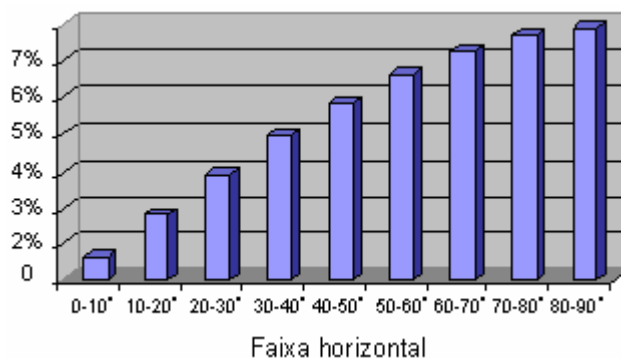


**Figura 6. 4 – Representação da subdivisão da abóbada em faixas horizontais e verticais**

O gráfico obtido com a contribuição relativa, subdividida em faixas verticais, sobre o plano horizontal, Figura 6.5, como já esperado, apresenta um comportamento homogêneo, independente da orientação. O mesmo não ocorre com a contribuição relativa, subdividida em faixas verticais, sobre o plano vertical (ver Figura 6.6), a contribuição relativa da faixa é maior para aquelas localizadas mais próximas da normal em relação ao plano de incidência. O intervalo de faixas entre 50° e 90° compreende 64% da contribuição relativa total do intervalo de 0° a 90°, caracterizando esse intervalo como o de maior contribuição.



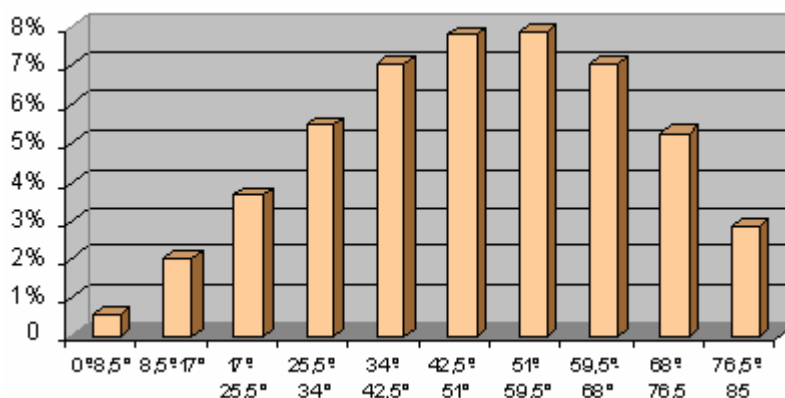
**Figura 6. 5 – Contribuição das faixas verticais sobre plano horizontal**



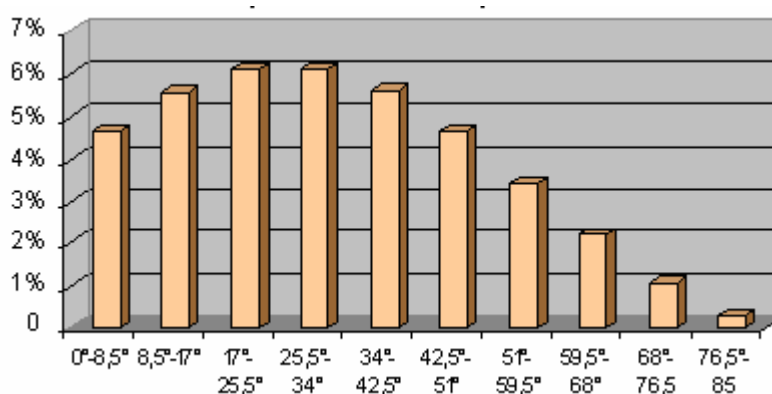
**Figura 6. 6 – Contribuição das faixas verticais sobre plano vertical**

Os gráficos das Figuras 6.7 e 6.8 representam a contribuição relativa da abóbada subdividida em faixas horizontais ou latitudinais. Essas faixas estão espaçadas em intervalos de  $8,5^\circ$ , mantendo a mesma faixa de divisão exibida nos gráficos das Figuras 6.2 e 6.3 (também destacado na Figura 6.4).

A contribuição relativa, subdividida em faixas horizontais, sobre o plano horizontal é mais significativa no intervalo entre  $34^\circ$  e  $68^\circ$ , que engloba 59% da contribuição total; enquanto a contribuição relativa, subdividida em faixas horizontais, sobre o plano vertical apresenta maiores valores, nas faixas entre  $8,5^\circ$  e  $42,5^\circ$ , compreendendo 59% da contribuição total.



**Figura 6. 7 – Contribuição relativa das faixas horizontais sobre plano horizontal**

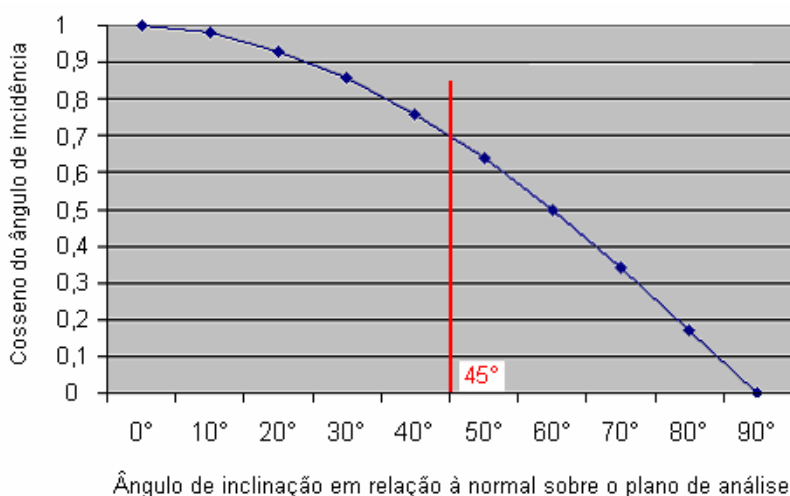


**Figura 6. 8 - Contribuição relativa das faixas horizontais sobre plano vertical**

Nessa abordagem duas variáveis, que são objeto de análise das próximas seções, se destacam: a influência do efeito cosseno sobre o ângulo de incidência e a contribuição relativa da zona.

### 6.2.2 Análise do efeito cosseno sobre o ângulo de incidência

A iluminância em um ponto sobre um plano está diretamente associada ao cosseno do ângulo de inclinação da radiação incidente (ver equação 5.1). Esse aspecto foi analisado com objetivo de identificar a partir de qual ângulo o efeito é mais significativo. A Figura 6.9 representa essa análise, na qual pode ser observado que o comportamento do fenômeno obedece a uma curva. Com o ângulo de incidência igual a  $0^\circ$ , em relação à normal do plano de análise, há total aproveitamento da radiação incidente: cosseno igual a 1. Com o aumento do ângulo de incidência, o cosseno do ângulo começa a reduzir. Observa-se que a  $45^\circ$ , metade do intervalo, ocorre uma redução de 30% (cosseno igual a 0,7). A partir desse marco, a redução passa a ser maior, o que se pode observar pelo intervalo da curva com maior inclinação e pelo espaçamento maior entre os pontos assinalados sobre a curva. O intervalo restante, de  $45^\circ$  a  $90^\circ$ , apresenta redução de 70%.



**Figura 6. 9 - Curva do cosseno do ângulo de inclinação em relação à normal sobre o plano**

Aplicando esse fenômeno à superfície da abóbada celeste conclui-se que as áreas posicionadas com inclinação inferior a  $45^\circ$  em relação à normal sobre o plano iluminado apresentam maior potencial de iluminação.

### 6.2.3 Análise do percentual de visão do céu no ambiente interno

O pressuposto assumido com essa abordagem é o de que parcelas ou zonas da abóbada com maior percentual de visão no ambiente interno seriam mais



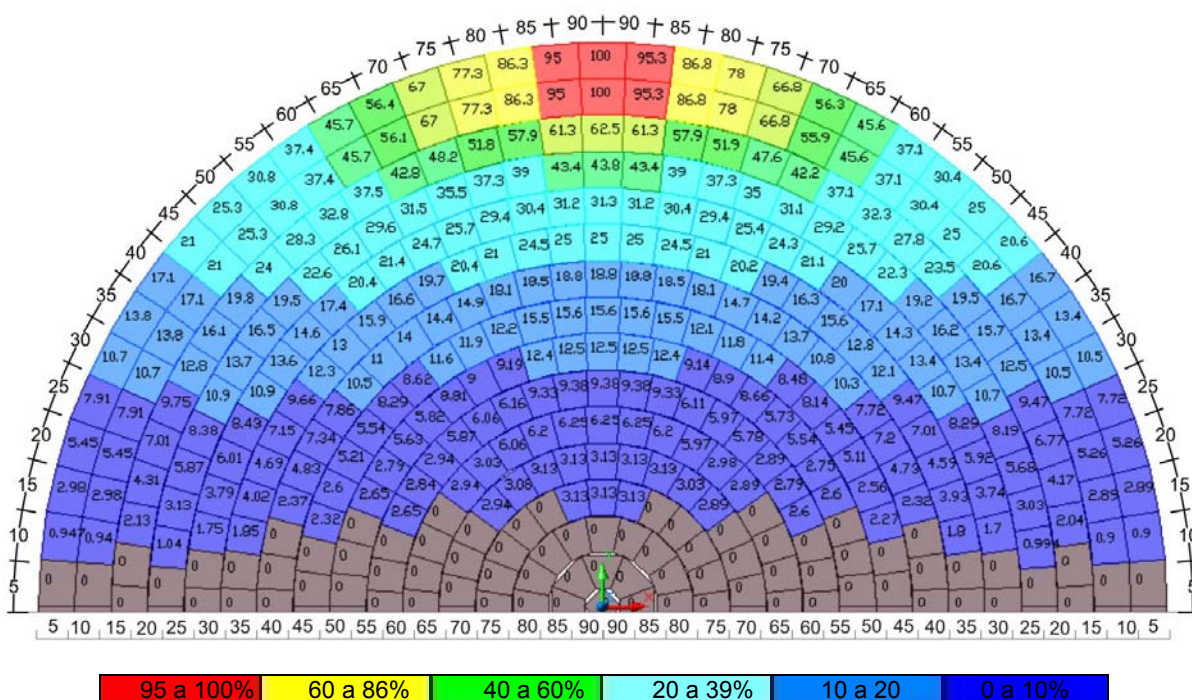
representativas na iluminação do ambiente interno. Os gráficos demonstrados a seguir representam o percentual com que determinadas zonas da abóbada celeste são visualizadas no ambiente interno, supondo um plano de análise horizontal a uma altura de 1 metro. A abóbada está dividida em 745 zonas, e cada uma apresenta um valor relativo ao percentual de visão. Somente metade da abóbada é visualizada, já que a análise parte do ambiente interno e somente meio hemisfério é visualizado. Os valores em cada zona variam de 0 a 100: zero indica as zonas ou regiões do céu que não são visualizadas no ambiente interno, e que, portanto não contribuem diretamente na iluminação do ambiente. Zonas com valor próximo de 100 indicam visão da zona em todo o plano de análise.

Os gráficos abaixo resultam de simulação com os modelos de ambientes internos: 4x7,5 metros (maior profundidade), 5x6 metros e 7,5x 4 metros (menor profundidade), todos com área de 30 m<sup>2</sup> (ver Tabela 5.1).

Há dois tipos de abertura, J1 com 5,0 m<sup>2</sup> e J2 com 3,75 m<sup>2</sup>, que estão centralizadas no modelo ou na extremidade lateral direita. Como a janela 1, nos ambientes 4x7,5 metros e 5x6 metros, ocupa toda extensão da parede externa, a mesma não pode ser posicionada lateralmente, exceto no ambiente 7,5 x 4 metros.

As Figuras 6.10, 6.11 e 6.12 exprimem o percentual de visão do céu para o modelo de ambiente com 4 x 7,5 metros, janela 1, 2 e janela 2 na extremidade. Pode-se observar que as áreas de maior percentual são aquelas localizadas frontalmente à abertura e próximas à linha do horizonte.

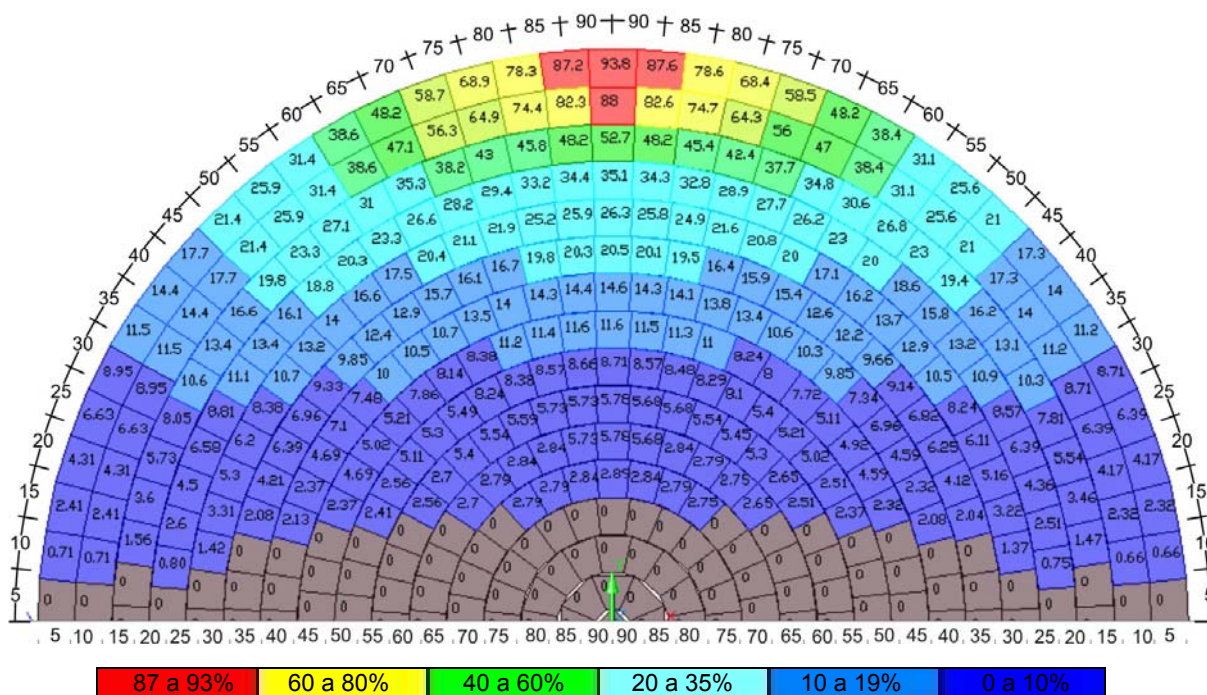
Para a janela 1, Figura 6.10, a área da abóbada com maior percentual (acima de 40%) localiza-se nas faixas de 0° a 25° de altitude dentro do intervalo de, partindo de uma perpendicular no centro da abertura, aproximadamente 35° (ângulo horizontal) à esquerda e 25° à direita. Também destaca-se que, a partir do ângulo de altitude 75°, o céu não é mais visto no ambiente interno.



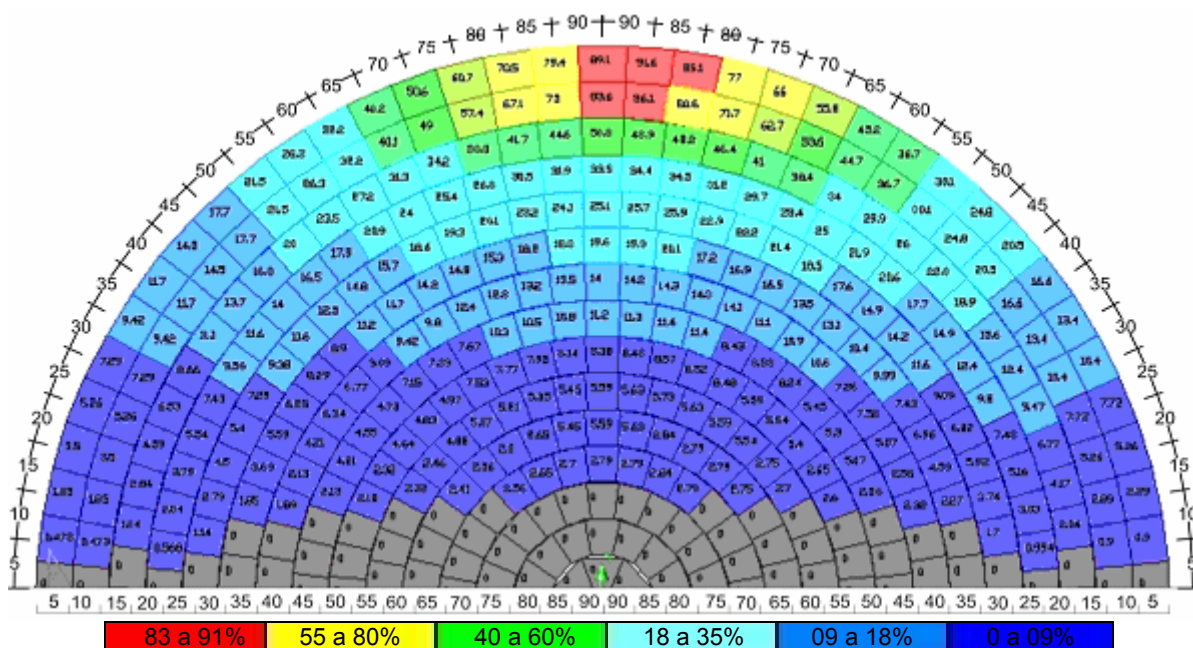
**Figura 6. 10 – Percentual de visão da abóbada no ambiente interno 4x7,5 m – janela 1 (imagem gerada com o programa Apolux)**

No ambiente com a janela 2, Figura 6.11, a área de maior percentual localiza-se nas faixas em torno de 0 a 20° de altitude e 25° à esquerda e à direita. No ambiente com a janela 2 no centro e na extremidade, a partir do ângulo de altitude 70°, o céu não é visto no plano de análise. Para o ambiente com a janela 2, localizada na extremidade lateral direita, Figura 6.12, a área de maior percentual de visão do céu inclina-se à direita. O ângulo de altitude da área de maior percentual é também de 0 a 20°, como no ambiente da Figura 6.11, e os ângulos laterais da área de maior percentual estão em torno de 40° à direita e 20° à esquerda.

Em resumo, observa-se um comportamento simétrico, que repete a simetria do ambiente simulado. Para o ambiente com a janela 1 (área maior), o percentual de visão do céu é levemente superior àquele obtida no ambiente com a janela 2. O ambiente com a janela 2 na extremidade apresenta um comportamento assimétrico.



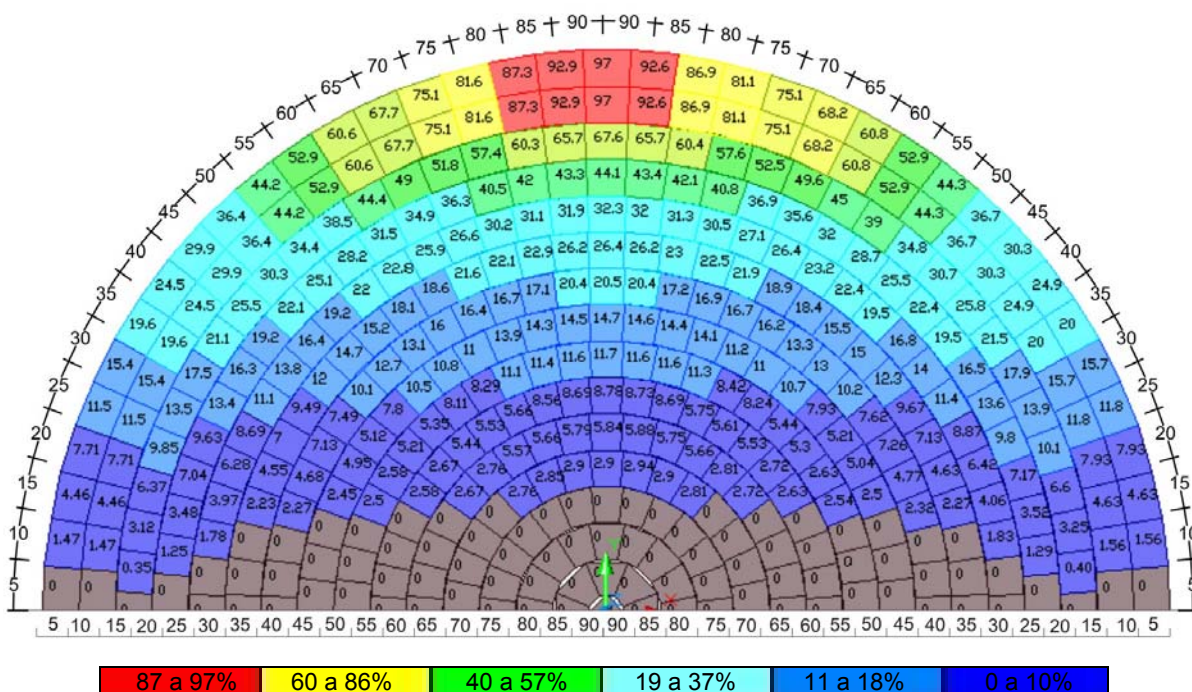
**Figura 6. 11 – Percentual de visão da abóbada no ambiente interno 4x7,5 m – janela 2  
(imagem gerada com o programa Apolux)**



**Figura 6. 12 – Percentual de visão da abóbada no ambiente interno 4x7,5m–janela2 ext.  
(imagem gerada com o programa Apolux)**

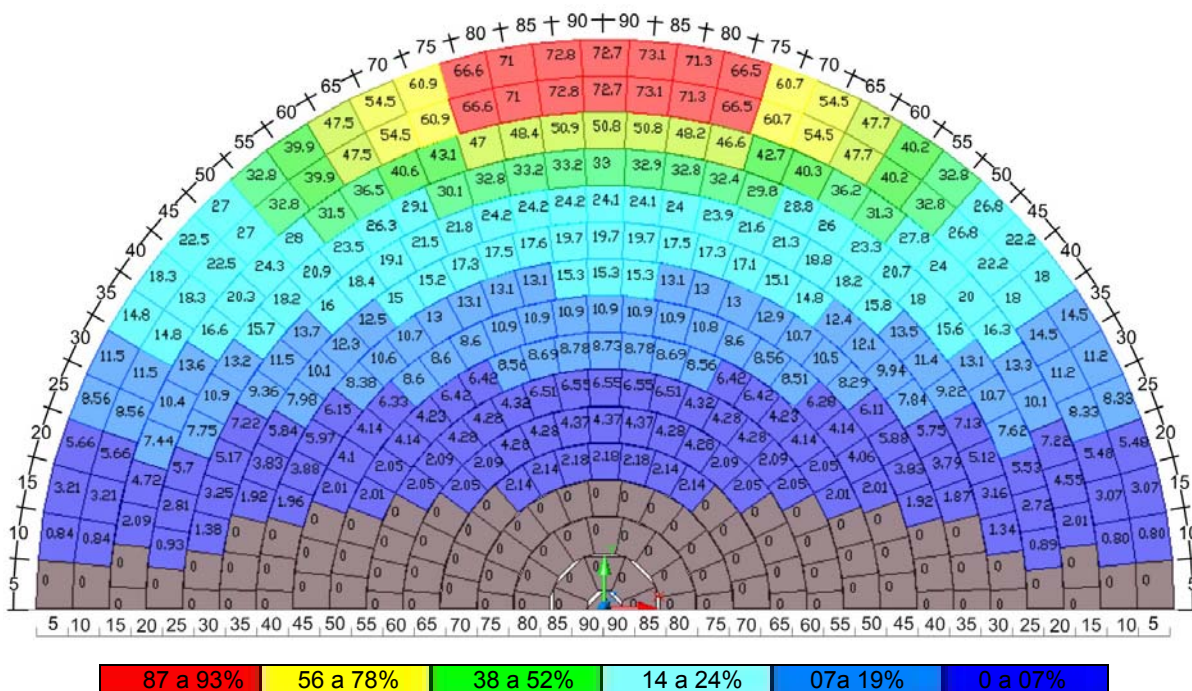
As Figuras 6.13, 6.14 e 6.15 retratam o percentual para o modelo de ambiente com 5 x 6 metros, janela 1,2 e janela 2 na extremidade. As áreas de maior percentual são aquelas localizadas frontalmente à abertura e próximas à linha do horizonte. Para a janela 1, Figura 6.13, a área da abóbada com maior percentual

(acima de 40%) localiza-se nas faixas de 0° a 25° de altitude, dentro do intervalo de aproximadamente 40° (ângulo horizontal) à esquerda e 40° à direita. A partir do ângulo de altitude 70°, o céu não é visto sobre o plano de análise.

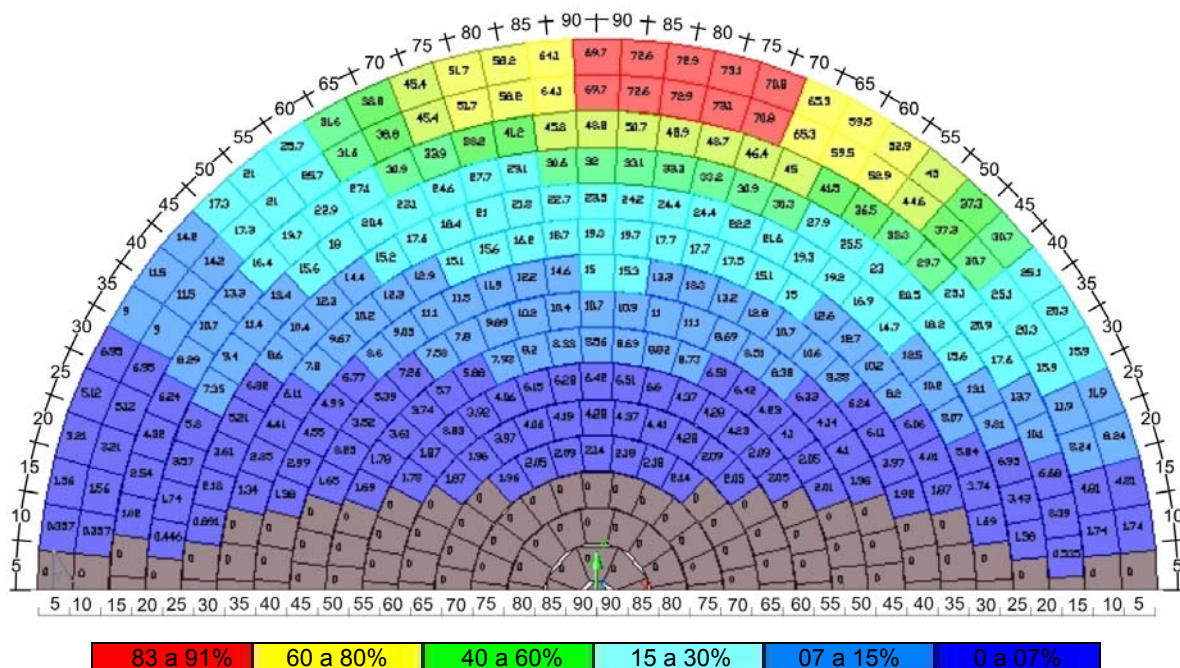


**Figura 6. 13 – Percentual de visão da abóboda no ambiente interno 5x6 m – janela 1 (imagem gerada com o programa Apolux)**

No ambiente com a janela 2, Figura 6.14, a área de maior percentual localiza-se nas faixas de 0° a 20° de altitude e 35° à esquerda e à direita. Para o ambiente com a janela 2 posicionada na extrema direita, Figura 6.15, percebe-se uma inclinação nos maiores percentuais para a direita. O ângulo de altitude, para os maiores percentuais, é novamente em torno de 0° a 20°, enquanto os ângulos horizontais variam de 40° à direita e 20° à esquerda.



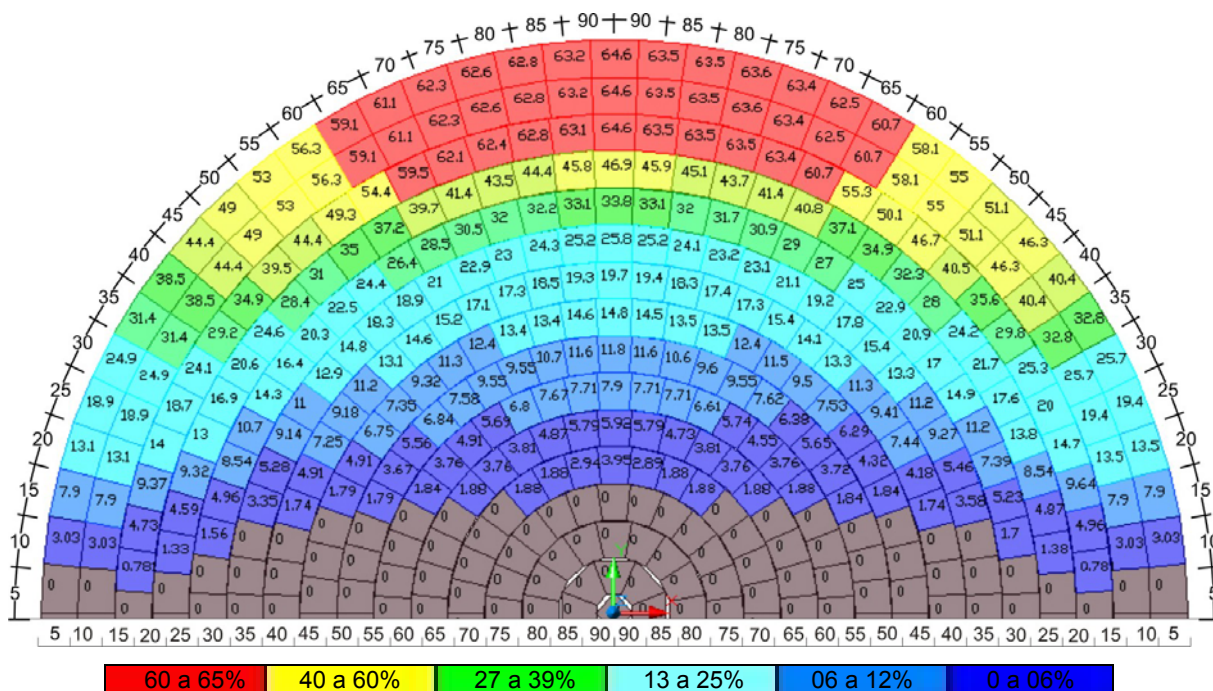
**Figura 6. 14 – Percentual de visão da abóbada no ambiente interno 5x6 m – janela 2 (imagem gerada com o programa Apolux)**



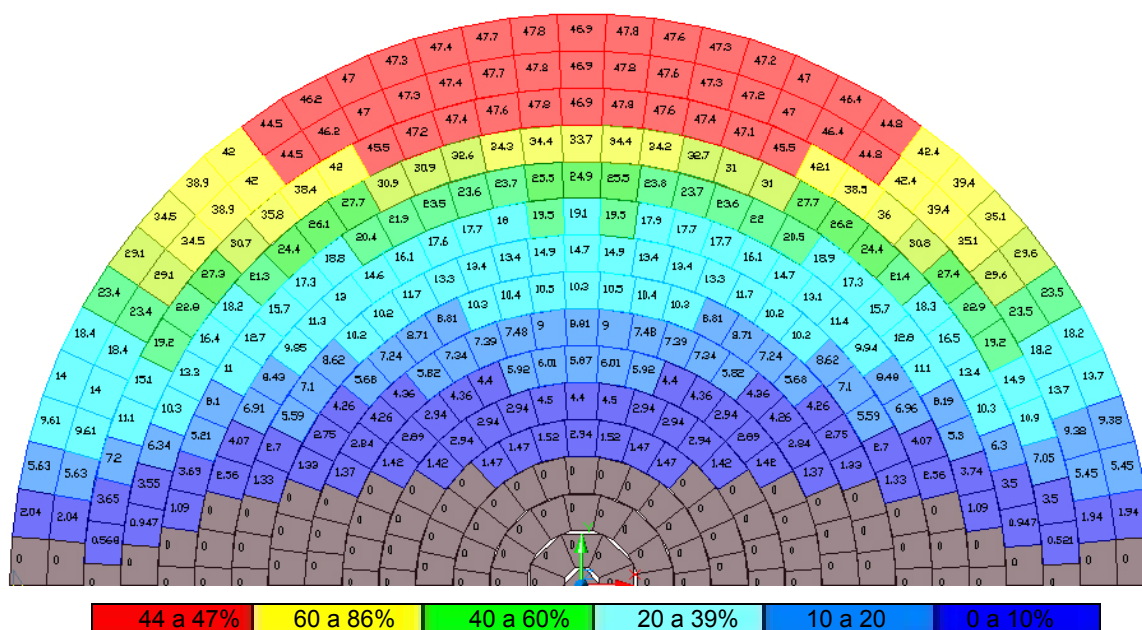
**Figura 6. 15 – Percentual de visão da abóbada no ambiente interno 5x6 m – janela 2 extrema (imagem gerada com o programa Apolux)**

As Figuras 6.16, 6.17, 6.18 e 6.19 representam o percentual para o modelo de ambiente com 7,5 x 4 metros, janela 1 e 2 centralizada, e janela 1 e 2 na extremidade. Para a janela 1, Figura 6.16, a área da abóbada com maior percentual

(acima de 40%) localiza-se nas faixas de 0° a 25° de altitude, dentro do intervalo de aproximadamente 50° (ângulo horizontal) à esquerda e 50° à direita. A partir do ângulo de altitude 70°, o céu não é visto sobre o plano de análise. No ambiente com a janela 2, Figura 6.17, a área de maior percentual localiza-se nas faixas de 0 a 20° de altitude e 40° à esquerda e à direita.

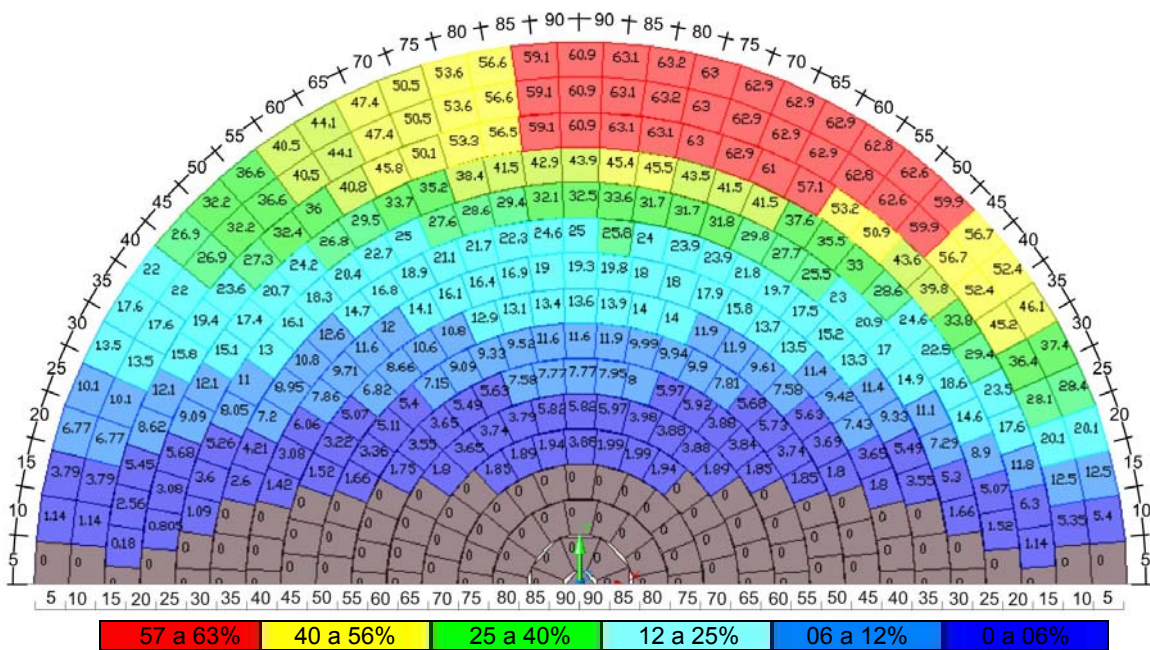


**Figura 6. 16 – Percentual de visão da abóbada no ambiente interno 7,5x4 m – janela 1  
(imagem gerada com o programa Apolux)**

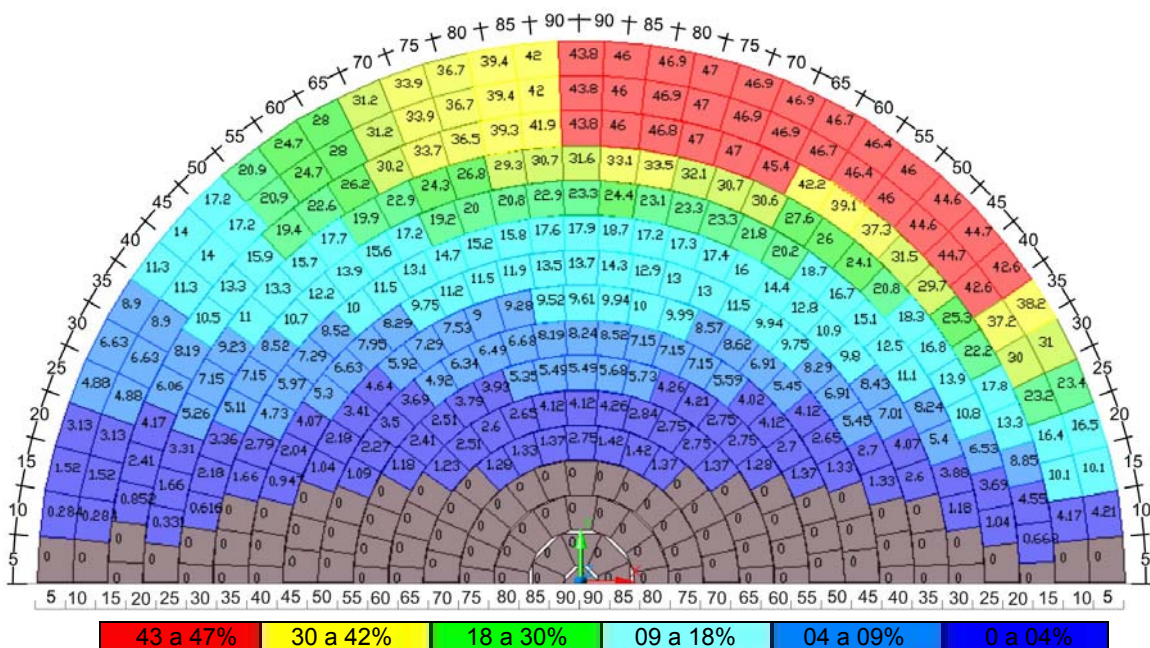


**Figura 6. 17 – Percentual de visão da abóbada no ambiente interno 7,5x4 m – janela 2  
(imagem gerada com o programa Apolux)**

O ambiente 7,5 x 4 metros, por apresentar maior largura, possibilitou o posicionamento da janela 1 e 2 nas laterais. Com a janela 1 posicionada na extrema direita, Figura 6.18, percebe-se uma inclinação nos maiores percentuais para a direita, sob um ângulo de altitude em torno de 25° e ângulos horizontais de 60° à direita e 35° à esquerda. Com a janela 2 posicionada na extrema direita, Figura 6.19, além da inclinação nos maiores percentuais para a direita, o ângulo de altitude é em torno de 0 a 20° e os ângulos horizontais variam de 55° à direita e 10° à esquerda.



**Figura 6. 18 – Percentual de visão da abóbada no ambiente interno 7,5x4–janela1extrema (imagem gerada com o programa Apolux)**

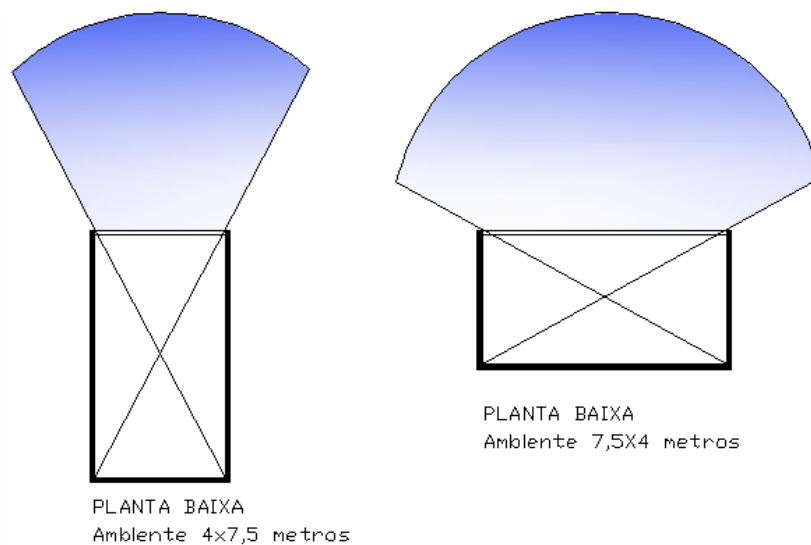


**Figura 6. 19 – Percentual de visão da abóbada no ambiente interno 7,5x4 – janela 2 ext.**

Sobre os gráficos do percentual de visão apresentados nas Figuras 6.10 a 6.19, pode-se observar que as zonas da abóbada com maior percentual de visão ambiente interno são aquelas próximas do horizonte. Observa-se também que as áreas de maior percentual estão próximas do eixo normal à abertura e apresentam simetria quando a abertura é centralizada. Para a abertura disposta na extremidade ocorre assimetria, com uma inclinação, do conjunto de valores mais elevados, para a lateral em que se encontra a abertura, ou seja, aberturas localizadas à direita da sala visualizam mais as parcelas da abóbada nesse quadrante.

No ambiente com maior profundidade, a abertura ocupa toda a largura da parede externa, o mesmo não ocorrendo com o ambiente de menor profundidade, pois a abertura não compreende toda a largura da parede externa. Sobre a variável largura do ambiente x largura da abertura, observa-se que, quando a abertura corresponde à largura do ambiente, os percentuais apresentam valores altos, chegando a 100%, e que, quando se reduz a largura da abertura, ocorre redução também no percentual, com valores em até 50%.

No ambiente de maior profundidade, as áreas de maior percentual estão concentradas próximas à normal em relação à abertura, em torno de ângulos horizontais de 25° a 30°, enquanto que no ambiente de menor profundidade percebe-se um espalhamento dessas áreas com ângulos horizontais de 40° e 50°. Essa observação é destacada com o esquema apresentado na Figura 6.20. Ambientes com maior profundidade visualizam menores áreas do céu.



**Figura 6. 20 – Faixa limite do céu visível no fundo da sala para profundidade de 7,5 e 4 metros**

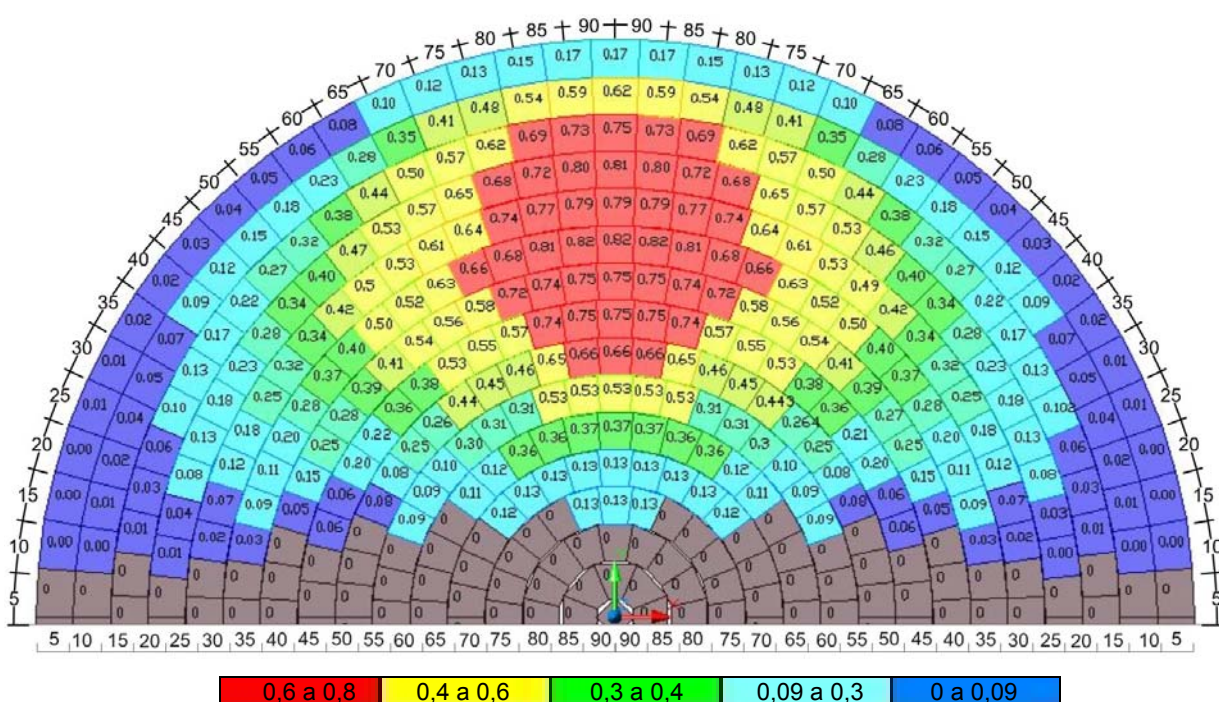


#### 6.2.4 Análise do potencial de iluminação sobre o plano no ambiente interno

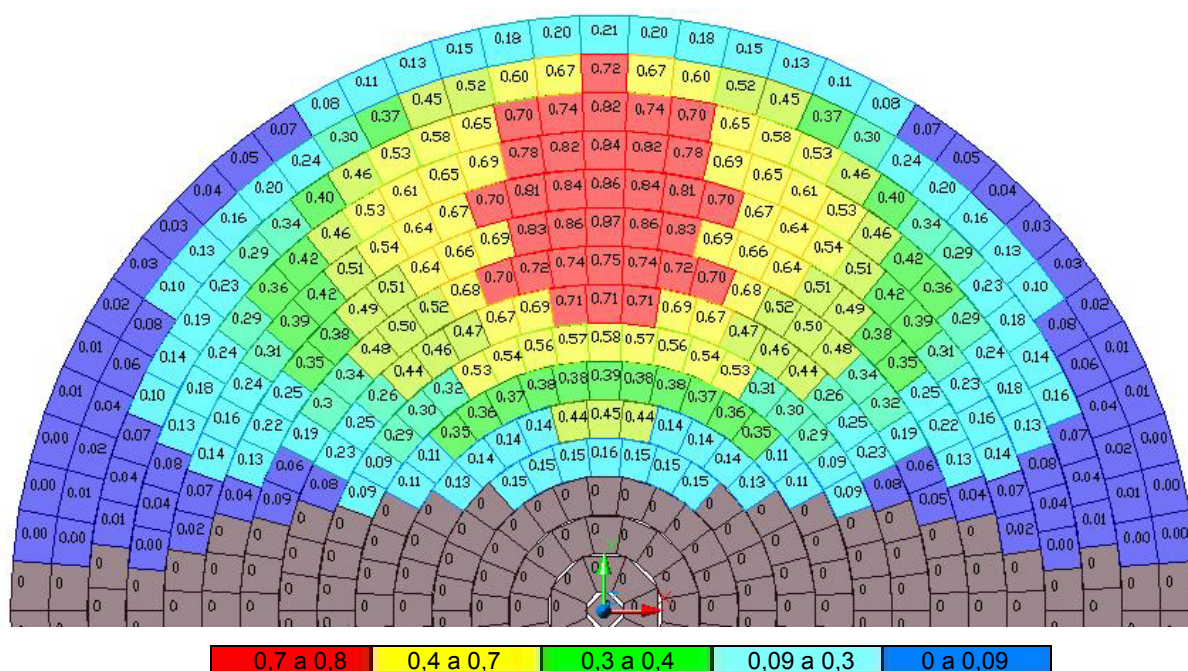
O potencial de iluminação da abóbada sobre o plano no ambiente interno resulta da idéia de conciliar os aspectos analisados com a contribuição relativa da abóbada, o efeito cosseno sobre o ângulo de incidência e o percentual de visão no ambiente interno. A representação do mesmo consiste em um diagrama similar ao do percentual de visão da abóbada, com a projeção da abóbada subdividida em zonas e a cada zona correspondendo um valor unitário em percentual, o potencial de iluminação. O somatório de todos os valores resulta em 100.

Assim como no diagrama dos percentuais de visão, as parcelas com valores iguais a zero representam áreas de não visualização no ambiente interno, portanto, de não contribuição direta na iluminação do ambiente interno, enquanto as parcelas com valores elevados representam parcelas do céu de maior contribuição luminosa.

As Figuras 6.21, 6.22, 6.23 expõem o potencial de iluminação para o ambiente 4x7,5 metros, aberturas J1, J2 centralizadas e J2 na extremidade. Para a janela 1 e 2, quando centralizadas, Figuras 6.21 e 6.22, a área da abóbada de maior contribuição (potencial de 0,4 a 0,8% representado pelas cores vermelho e amarelo) localiza-se nas faixas de 5° a 60° de altitude e dentro de intervalo de aproximadamente 35° (ângulo horizontal) à esquerda e à direita para janela 1, e aproximadamente 40° à esquerda e à direita para a janela 2. A área de maior contribuição no ambiente 4x7,5, janela 1, corresponde a aproximadamente 60% do somatório total (igual a 100).

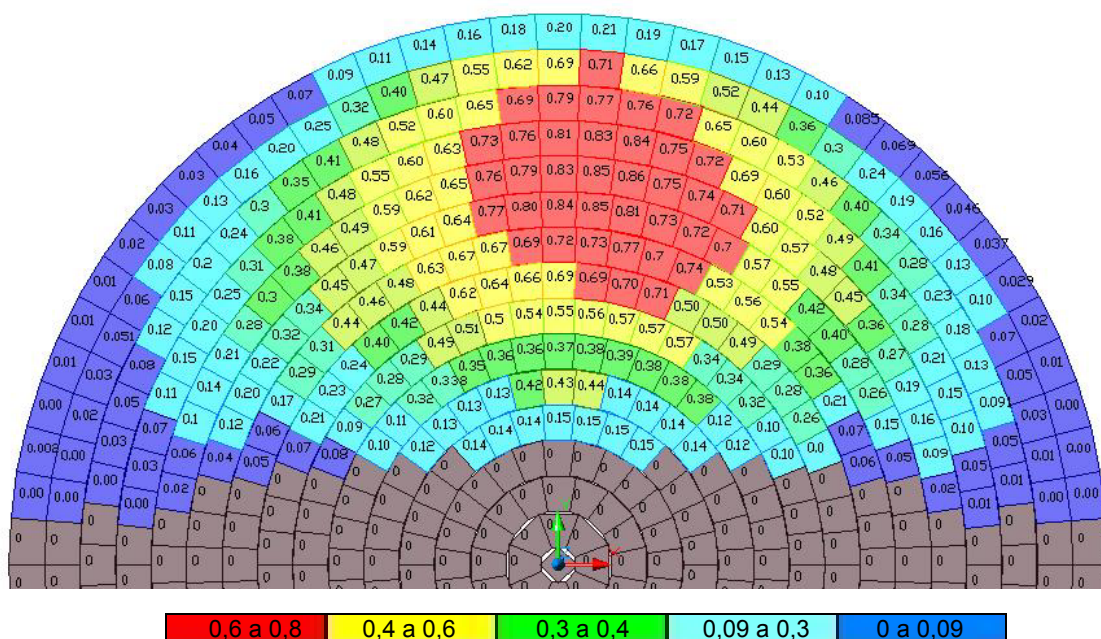


**Figura 6. 21 - Potencial de iluminação do céu no ambiente interno 4x7,5 m – janela 1  
(imagem gerada com o programa Apolux)**



**Figura 6. 22 - Potencial de iluminação do céu no ambiente interno 4x7,5 m - janela 2  
(imagem gerada com o programa Apolux)**

No modelo com a abertura J2 colocada na extremidade, Figura 6.23, o intervalo de maior contribuição localiza-se à altitude de aproximadamente 5° e 55°, ângulos horizontais de 40° à direita e ângulos horizontais de 30° à esquerda.

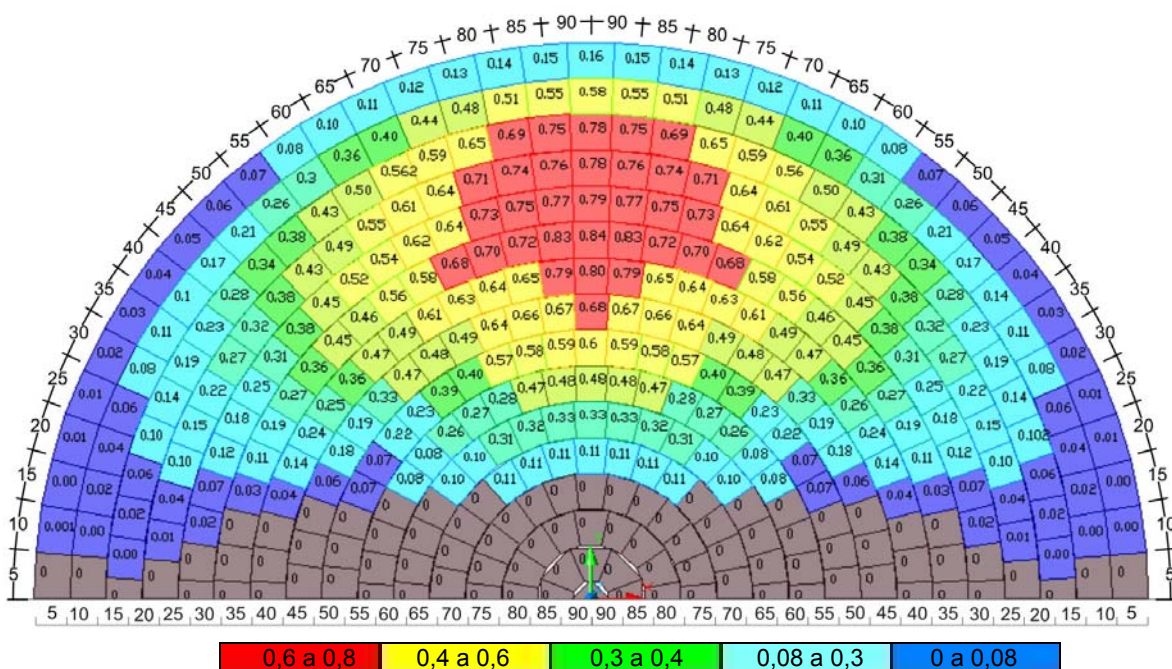


**Figura 6. 23 - Potencial de iluminação do céu no ambiente interno 4x7,5 m – janela 2 extrema (imagem gerada com o programa Apolux)**

Para os três gráficos, Figuras 6.24, 6.25 e 6.26, a partir do ângulo de altitude  $75^\circ$  a abóbada não apresenta contribuição direta na iluminação sobre o plano de análise.

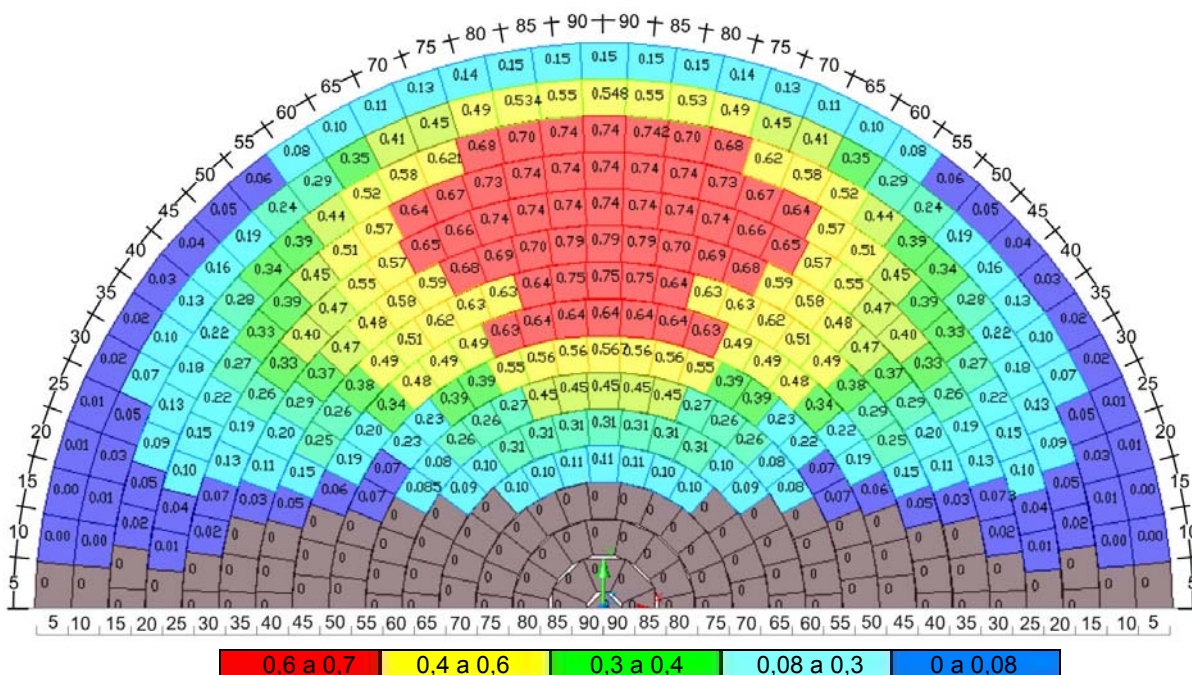
As Figuras 6.24, 6.25 e 6.26 apresentam o potencial de iluminação no ambiente 5x6 metros, aberturas J1 e J2 centralizadas e J2 na extremidade.

Para a janela 1 e 2 centralizadas, Figuras 6.24, 6.25, a área da abóbada de maior contribuição (potencial de 0,4 a 0,8% representado pelas cores vermelho e amarelo) localiza-se nas faixas de  $5^\circ$  a  $60^\circ$  de altitude e dentro de intervalo de aproximadamente  $40^\circ$  (ângulo horizontal) à esquerda e à direita.

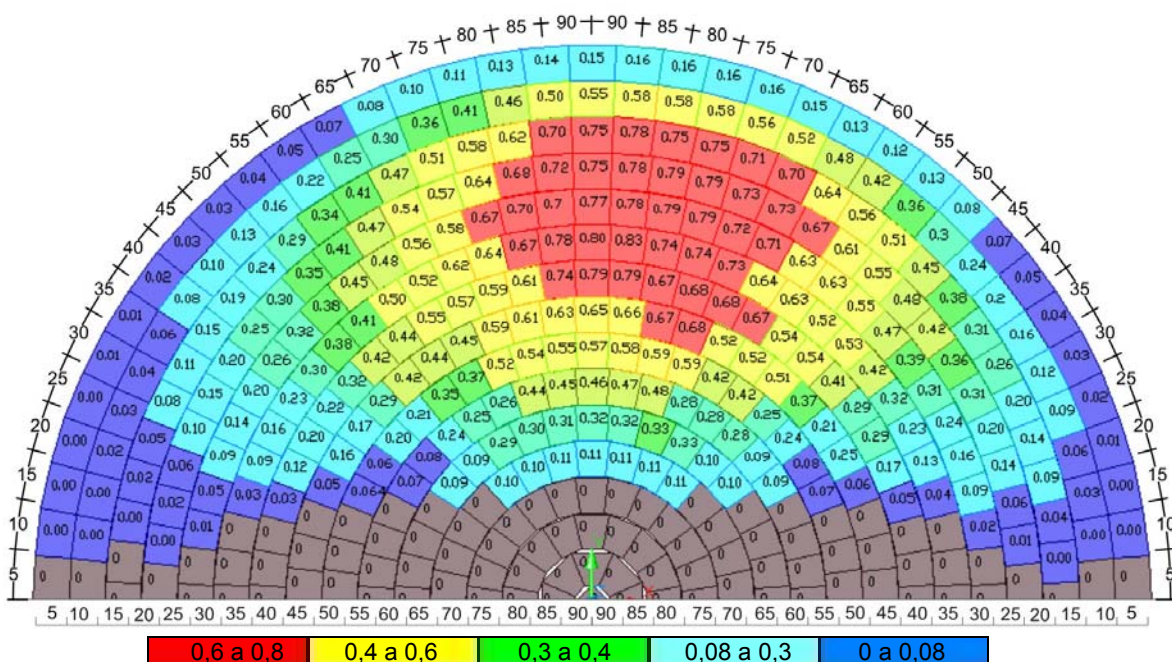


**Figura 6. 24 - Potencial de iluminação do céu no ambiente interno 5x6 m - janela 1  
(imagem gerada com o programa Apolux)**

Para a janela 2 colocada na extremidade, Figura 6.25, o intervalo de maior contribuição localiza-se à altitude de aproximadamente 5° e 60°, ângulos horizontais de 45° à direita e ângulos horizontais de 30° à esquerda. Para os três modelos, a partir do ângulo de altitude 75° a abóbada não apresenta contribuição direta sobre o plano de análise.

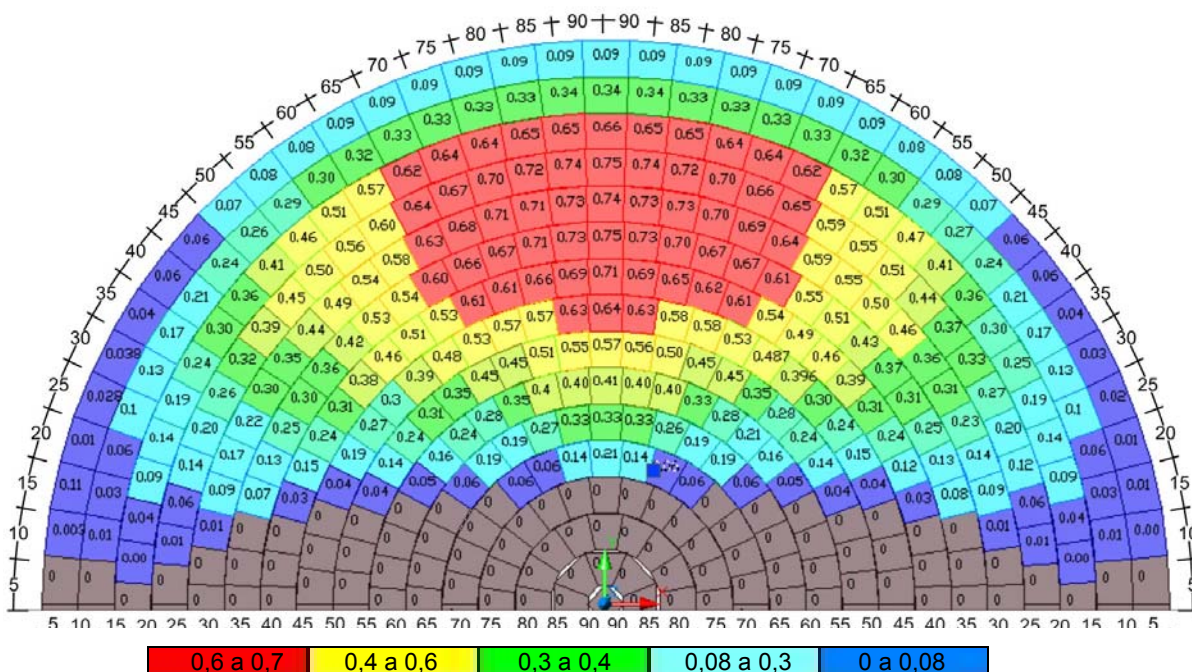


**Figura 6. 25 - Potencial de iluminação do céu no ambiente interno 5x6 m – janela 2  
(imagem gerada com o programa Apolux)**

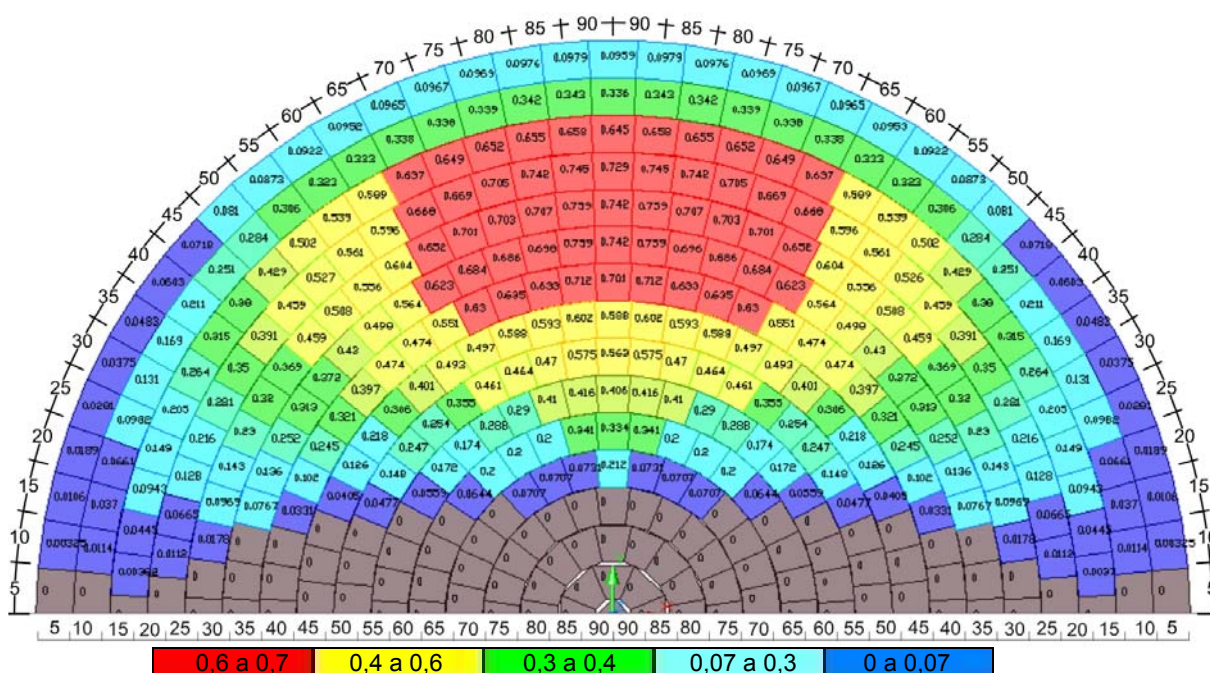


**Figura 6.26 - Potencial de iluminação do céu no ambiente interno 5x6 m – janela 2 extrema (imagem gerada com o programa Apolux)**

As Figuras 6.27 e 6.28 exibem o potencial de iluminação no ambiente 7,5x4 metros, aberturas J1 e J2. A área da abóbada de maior contribuição (potencial de 0,4 a 08% representado pelas cores vermelho e amarelo) localiza-se nas faixas de 10° a 60° de altitude e dentro de intervalo de aproximadamente 45° (ângulo horizontal) à esquerda e à direita. A abóbada não é vista a partir do ângulo de 75°.

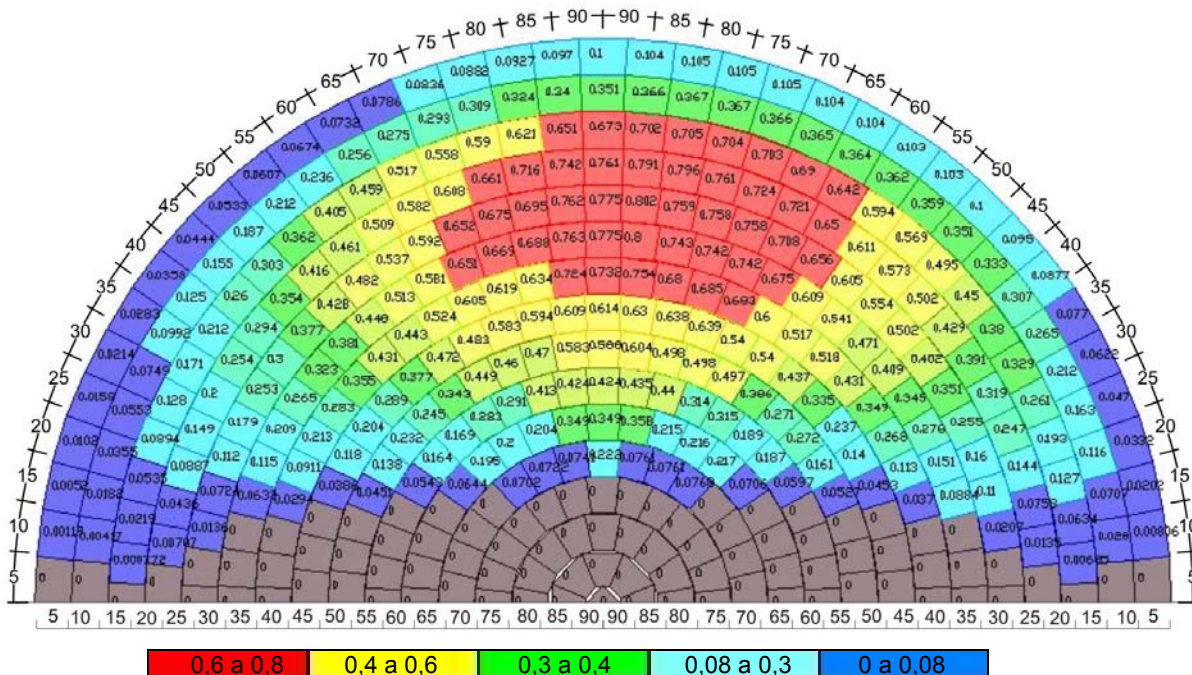


**Figura 6.27 - Potencial de iluminação do céu no ambiente interno 7,5x4 m – janela 1 (imagem gerada com o programa Apolux)**

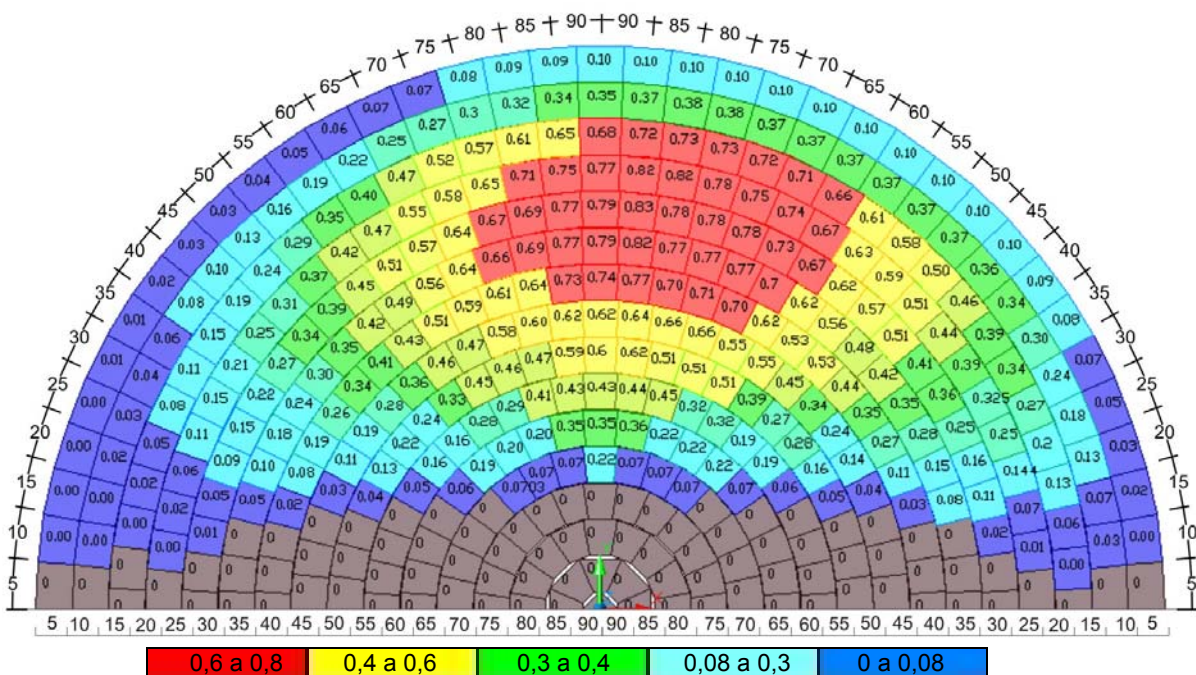


**Figura 6. 28 - Potencial de iluminação do céu no ambiente interno 7,5x4 m – janela 2  
(imagem gerada com o programa Apolux)**

As Figuras 6.29 e 6.30 retratam o potencial de iluminação para o ambiente 4x7,5 metros, aberturas J1 e J2 na extremidade. A área de maior valor localiza-se 11° até 58° de altitude e dentro de intervalo de ângulos horizontais de aproximadamente 50° à direita e 40° à esquerda para a J1, e 35° à esquerda com a J2. A partir do ângulo de altitude 70° a abóbada não contribui na iluminação sobre o plano de análise.



**Figura 6. 29 - Potencial de iluminação do céu no ambiente interno 7,5x4 m - janela 1 extrema**



**Figura 6.30 - Potencial de iluminação do céu no ambiente interno 4x7,5 m - janela 2 extrema (imagem gerada com o programa Apolux)**

### 6.2.5 Definição da Janela de Céu Preferível

A definição da Janela de Céu Preferível resulta de um processo que inicia com as análises sobre a contribuição relativa da abóbada sobre os planos vertical e horizontal, seguindo com as análises sobre o percentual de visão do céu e finalizando com as análises do potencial de iluminação do céu.

Retornando aos aspectos anteriormente analisados, destaca-se que, no gráfico da contribuição relativa da abóbada sobre um plano horizontal (ver Figura 6.2), as áreas de maior valor encontram-se próximas ao zênite, enquanto nos gráficos do percentual de visão céu no ambiente interno (ver Figuras 6.10 a 6.20), as áreas de maior valor estão próximas à linha do horizonte. O gráfico do potencial de iluminação resulta do cruzamento dessas duas variáveis, conseqüentemente as zonas de maior potencial de iluminação situam-se justamente em posição intermediária, com uma tendência para a linha do horizonte, onde se observa que a variável de maior influência é o percentual de visão do céu.

Destaca-se também a análise com o gráfico da contribuição relativa da abóbada, subdividida em faixas verticais, sobre o plano vertical (ver Figura 6.6). A contribuição relativa da faixa é maior para as áreas da abóbada localizadas mais próximas da normal em relação ao plano de incidência (vertical). O intervalo de

faixas entre 50° e 90° compreende 64% da contribuição relativa total do intervalo de 0° a 90°, caracterizando esse intervalo como o de maior contribuição. Acrescentando, a contribuição relativa da abóbada, subdividida em faixas horizontais, sobre o plano horizontal é mais significativa no intervalo entre 34° e 68°, que engloba 59% da contribuição total; enquanto a contribuição relativa, subdividida em faixas horizontais, sobre o plano vertical apresenta maiores valores, nas faixas entre 8,5° e 42,5°, compreendendo 59% da contribuição total.

O gráfico do potencial de iluminação do céu, sobre um plano no ambiente interno, ilustrado na Figura 6.31, retrata o comportamento médio dos resultados encontrados com essa abordagem. Essa constatação resulta da superposição dos gráficos gerados para os modelos de ambientes e aberturas analisados, onde se verifica maior ocorrência da área assinalada na Figura 6.31. Sobre o mesmo ressalta-se que as zonas da abóbada de maior contribuição na iluminação de um ambiente interno situam-se entre os ângulos de altitude de 5° a 58° e entre os ângulos horizontais de no máximo 50°, à esquerda ou direita. Essa contribuição é de aproximadamente 60% do fluxo luminoso incidente sobre o plano de análise no ambiente interno.

Na definição da região da Janela de Céu Preferível, o critério determinante foi, além das considerações sobre a contribuição relativa da abóbada e do percentual de visão do céu, a análise realizada sobre os gráficos do potencial de iluminação. A conclusão final é de que o gráfico do potencial de iluminação representa os fenômenos observados com os outros aspectos em análise. Além disso, a superposição dos gráficos obtidos com os ambientes em análise apontou uma área de maior ocorrência, que está representada na Figura 6.31.

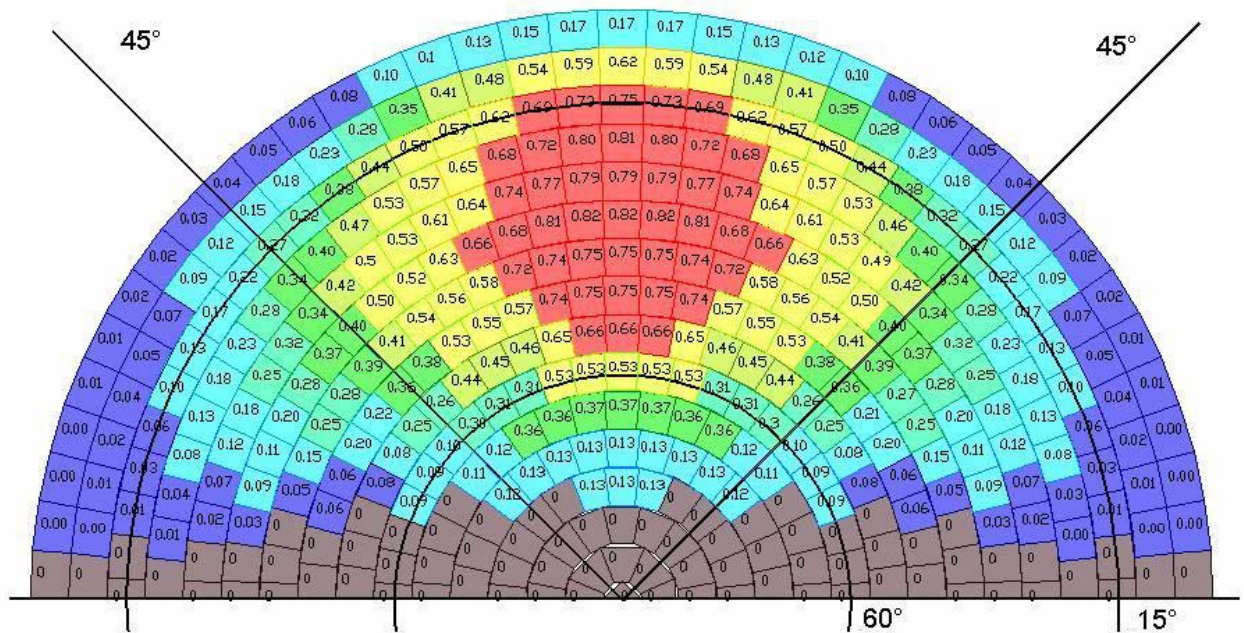
Não obstante, dois outros critérios foram considerados:

i) Para os ângulos horizontais (ou azimutais), foi adotado o limite de +/- 45° considerando a influência do efeito cosseno (ver Figura 6.9);

ii) Para os ângulos verticais (altitude), o ângulo inferior de 15° foi adotado como limite, ao considerar-se que usualmente essa altura apresenta-se obstruída devido ao entorno natural ou construído.

Como resultado, a região da abóbada celeste definida para a Janela de Céu Preferível apresenta limites horizontais de 45° à esquerda e 45° à direita e limites verticais de 15° inferior e 60° superior, como se pode observar na Figura 6.31 abaixo.





**Figura 6. 31 – Gráfico do potencial de iluminação do céu sobre o plano no ambiente interno com a definição da área de céu preferível sobre o mesmo**

A área proposta para o céu preferível apresenta um fator de céu visível de aproximadamente 32%, enquanto a área remanescente apresenta um fator céu visível de aproximadamente 68%.

Com a definição da região da Janela de Céu Preferível, a etapa subsequente consiste na verificação da hipótese de que a mesma efetivamente tem maior potencial de iluminação no ambiente interno, utilizando-se modelos de obstrução do céu.

### 6.3 ILUMINAÇÃO NATURAL NO INTERIOR DEVIDO À JANELA DE CÉU PREFERÍVEL

A análise da iluminação natural no ambiente interno, procedente da Janela de Céu Preferível, consiste na comparação da iluminação em um ambiente interno proveniente de duas condições de obstrução do céu. A primeira condição de obstrução apresenta a Janela de Céu Preferível desobstruída e a área remanescente do céu obstruída. A segunda condição de obstrução apresenta a Janela de Céu Preferível obstruída e a área de céu remanescente desobstruída. O objetivo é isolar a contribuição oriunda da Janela de Céu Preferível do restante.

Complementarmente, foi simulado o mesmo ambiente interno com a condição de abóbada totalmente desobstruída.

Os resultados analisados derivam da simulação computacional da iluminação natural, nos 3 modelos de ambiente interno já utilizados nas análises dos percentuais de visão e potencial de iluminação do céu: 4x7,5; 5x6 e 7,5x4 metros. Os horários simulados são: 8, 10 e 12 horas, na data do solstício de inverno. Com condição de céu encoberto, considerando-se somente a componente direta no cálculo da iluminação natural.

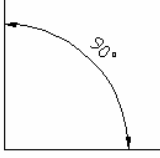
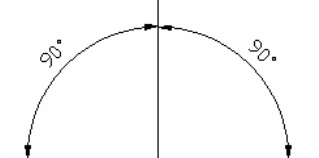
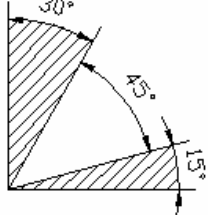
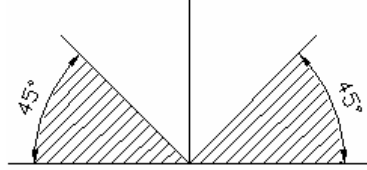
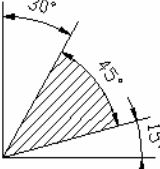
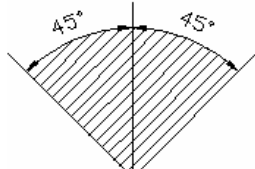
A análise da iluminação natural no ambiente interno proveniente da Janela de Céu Preferível compreendeu ainda a construção de modelos de obstrução do céu com a Janela de Céu Preferível subdividida, configurando situações, nas quais a mesma encontra-se parcialmente obstruída. No primeiro conjunto de análises, a Janela de Céu Preferível foi subdividida em 3 faixas latitudinais e homogêneas, uma parte superior (próximo à linha do zênite), uma parte mediana e uma parte localizada próxima à linha do horizonte. O segundo conjunto consiste na obstrução parcial da Janela de Céu Preferível, segundo faixas longitudinais e apresentando uma área crescente de obstrução: 20%, 40%, 60% e 80% da região da Janela de Céu Preferível desobstruída.

A análise dos resultados, exposta a seguir, divide-se em: análise da região da Janela de Céu Preferível obstruída e desobstruída e análise da Janela de Céu Preferível subdividida internamente.

### 6.3.1 Análise sobre a região da Janela de Céu Preferível obstruída e desobstruída

A Tabela 6.1 ilustra, em planta baixa e em corte, as três condições de obstrução do céu simuladas: céu totalmente desobstruído; Janela de Céu Preferível desobstruída e a área remanescente obstruída; Céu remanescente desobstruído e a Janela de Céu Preferível obstruída.

Tabela 6. 1 – Modelos de configuração da obstrução do ambiente externo

Identificador	Croqui em corte	Croqui em planta baixa	Percentual céu preferível
<b>Céu totalmente desobstruído</b>			100%
<b>Janela de Céu Preferível desobstruída</b>			100%
<b>Céu remanescente desobstruído</b>			0%

\* A área hachurada corresponde à porção do céu obstruída

As figuras abaixo ilustram a elevação esquemática do modelo utilizado nas simulações, constituído pela soma do ambiente interno e do modelo de obstrução do ambiente externo.

Na Figura 6.32, pode-se visualizar o ambiente interno (vista lateral) somado ao modelo de obstrução do exterior, no qual a Janela de Céu Preferível está desobstruída e o céu remanescente obstruído. A Figura 6.33 representa o ambiente interno somado ao modelo de obstrução do exterior, no qual a Janela de Céu Preferível está obstruída e o céu remanescente desobstruído.

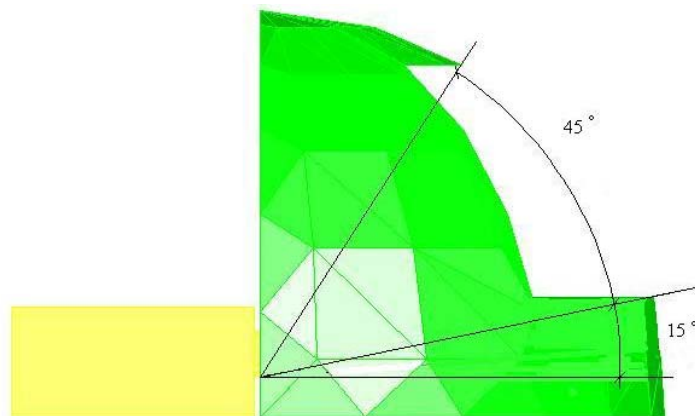
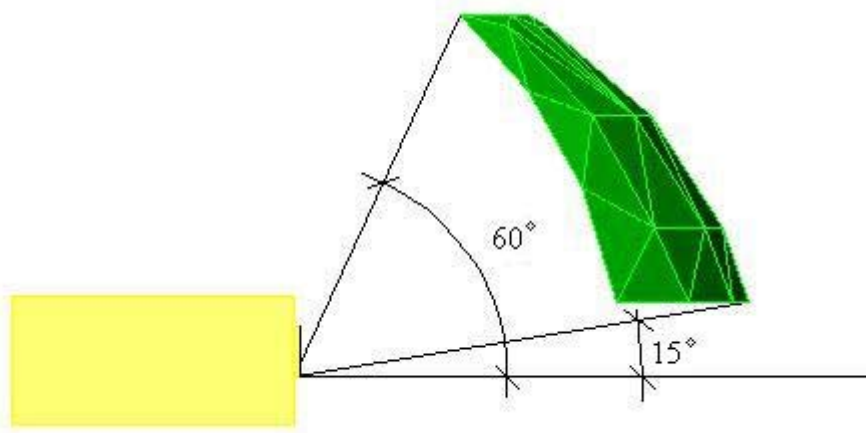


Figura 6. 32 - Elevação lateral com o ambiente interno e o modelo de obstrução externa representando a situação com a Janela de Céu Preferível desobstruída



**Figura 6. 33 - Elevação lateral com o ambiente interno e o modelo de obstrução externa representando a situação com a Janela de Céu Preferível obstruída**

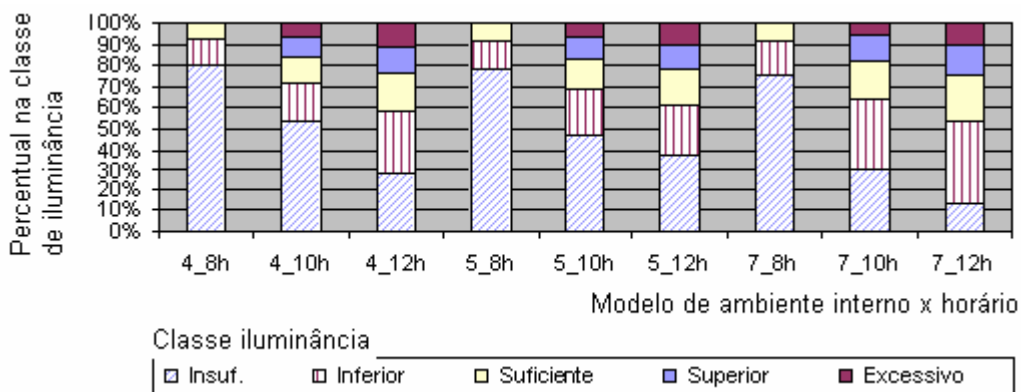
A seguir, são apresentadas as análises dos resultados obtidos nas simulações com a obstrução da abóbada totalmente desobstruída, Janela de Céu Preferível desobstruída e céu remanescente desobstruído.

Nos gráficos iniciais, a variável observada é a iluminância, classificada em intervalos de ocorrência. Nas Figuras 6.34, 6.35 e 6.36, pode-se visualizar a distribuição das classes de iluminâncias sobre o plano de análise para os três modelos de céu analisados. Os modelos de ambiente interno estão indicados conforme os números: 4 para o ambiente 4x7,5 metros, 5 para o ambiente 5x6 metros e 7 para o ambiente 7,5x4 metros. No gráfico também aparece, após a indicação do ambiente, o horário respectivo: 8, 10 ou 12 horas.

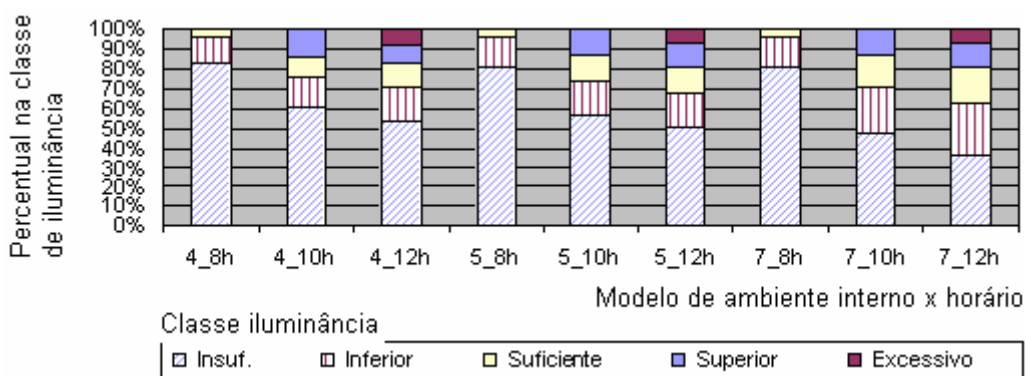
Na comparação dos gráficos, observa-se que a Janela de Céu Preferível apresenta uma distribuição das classes de iluminâncias sobre o plano de análise próxima daquela encontrada com o céu desobstruído, sendo que as maiores diferenças se concentram no ambiente 7,5x4. Esse comportamento pode ser explicado em conjunto com os resultados obtidos nos gráficos do percentual de visão do céu, nos quais se percebe que os ambientes menos profundos visualizam áreas do céu mais abrangentes que aqueles mais profundos. O pressuposto de que maior visualização do céu resulta em níveis de iluminação mais elevados justificaria o comportamento observado no ambiente 7,5x4.

Com a comparação entre a distribuição de classes sobre o plano de análise na situação de céu totalmente desobstruído e céu remanescente, percebe-se uma

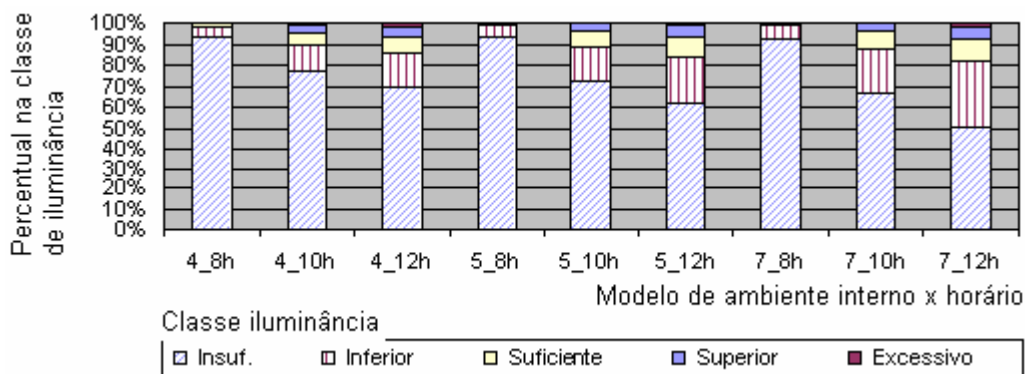
grande diferença entre as mesmas: céu remanescente apresentando níveis de iluminação bem abaixo daqueles encontrados com o céu totalmente desobstruído.



**Figura 6. 34 – Distribuição percentual das classes de iluminância para o céu desobstruído**



**Figura 6. 35 - Distribuição percentual das classes de iluminância para a Janela de Céu Preferível**



**Figura 6. 36 – Distribuição percentual das classes de iluminância para o céu remanescente**

O gráfico da Figura 6.37 mostra a média de ocorrências das classes de iluminância, no intervalo de 100 a 2000 lux, conforme a condição de obstrução do céu: totalmente desobstruído, preferível e remanescente. O eixo horizontal

apresenta o percentual de ocorrência no intervalo e o eixo horizontal, os grupos de análise conforme o modelo de ambiente (4, 5 e 7) e o horário (8,10 e 12 h). A distribuição de classes para a condição de céu desobstruído e preferível está muito próxima, o mesmo não ocorrendo com o céu remanescente. A diferença percentual dos valores encontrados no gráfico 6.36 pode ser observada na Figura 6.38. Foram comparados os valores entre a condição de céu remanescente e Céu Preferível em relação àqueles encontrados na condição de céu totalmente desobstruído. A diferença entre os valores obtidos com céu desobstruído e céu preferível varia de 60% a quase 100%, enquanto a diferença entre o céu desobstruído e céu remanescente varia em torno de 30% a 60%.

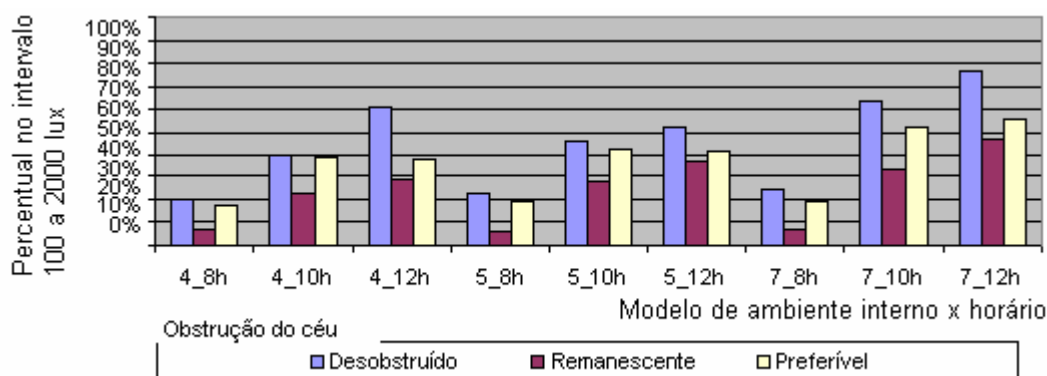


Figura 6. 37 – Gráfico com a média de ocorrência no intervalo de 100 a 2000 lux

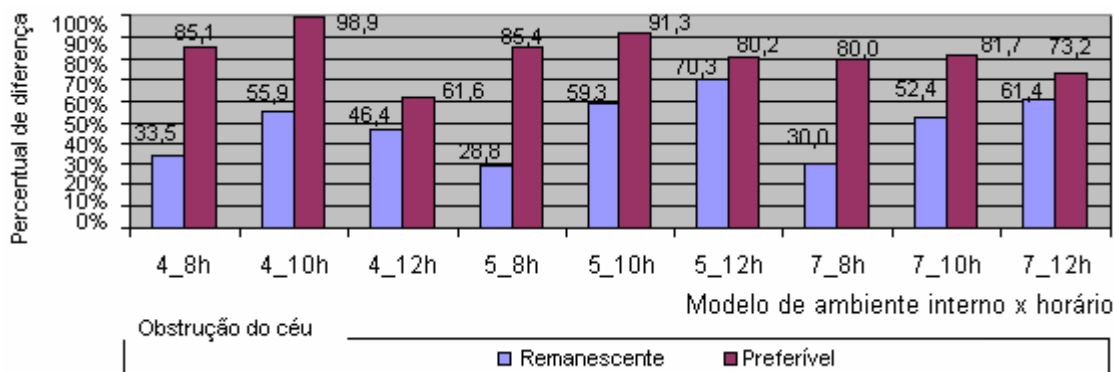


Figura 6. 38 – Gráfico da diferença percentual entre a média de ocorrências para o céu remanescente e céu preferível em relação à media obtida com céu desobstruído

Os gráficos das Figuras 6.39, 6.40 e 6.41 exibem a distribuição das classes de iluminância isolando a variável hora do dia. Na Figura 6.39, por exemplo, pode-se observar a performance da iluminação natural às 8:00 horas. As configurações de

céu estão reunidas, seguidas pelo agrupamento dos 3 tipos de ambiente: céu desobstruído ambiente 4, céu desobstruído ambiente 5, céu desobstruído ambiente 7, etc. Essa abordagem permite constatar que, para os modelos de ambiente em análise, a influência da obstrução do céu é predominante, independente da configuração do ambiente.

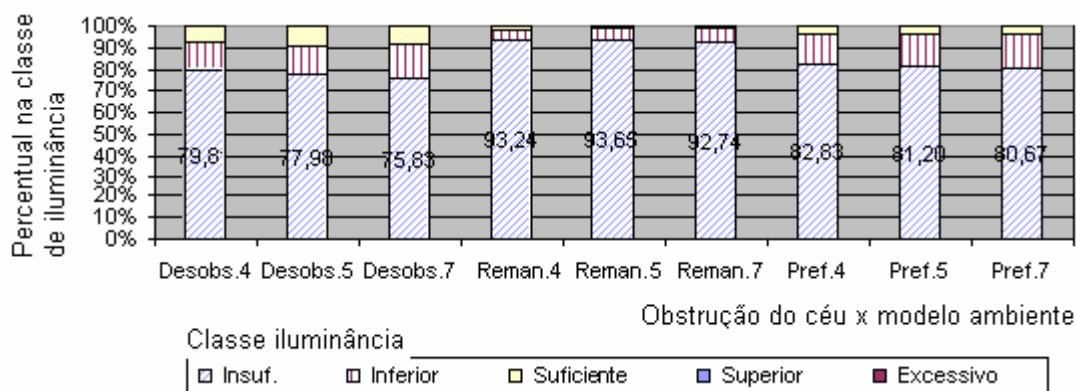


Figura 6. 39 - Agrupamento das classes de iluminância conforme ambiente - 8:00 h

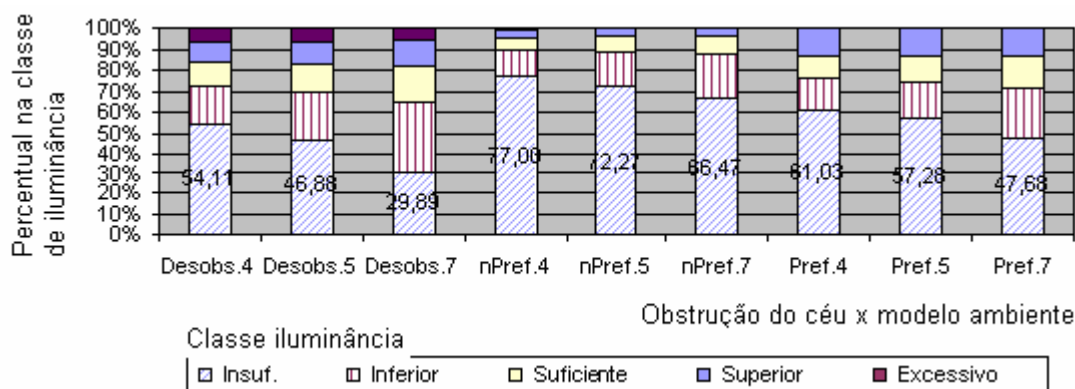


Figura 6. 40 - Agrupamento das classes de iluminância conforme ambiente - 10:00 h

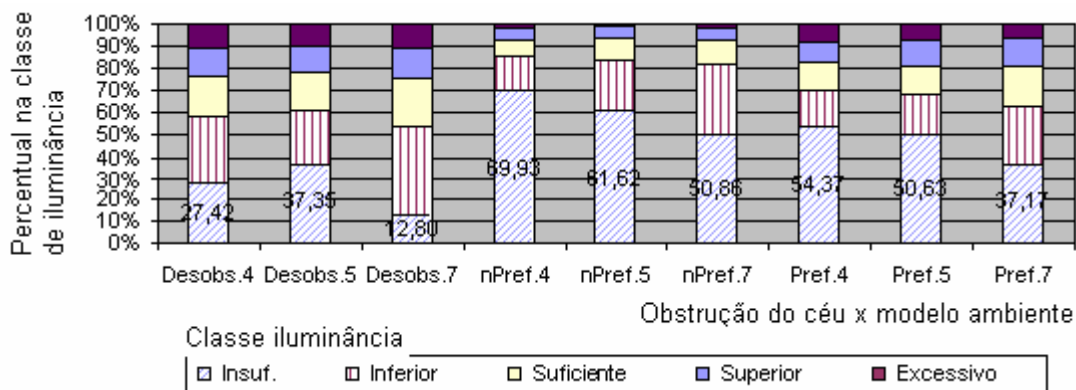
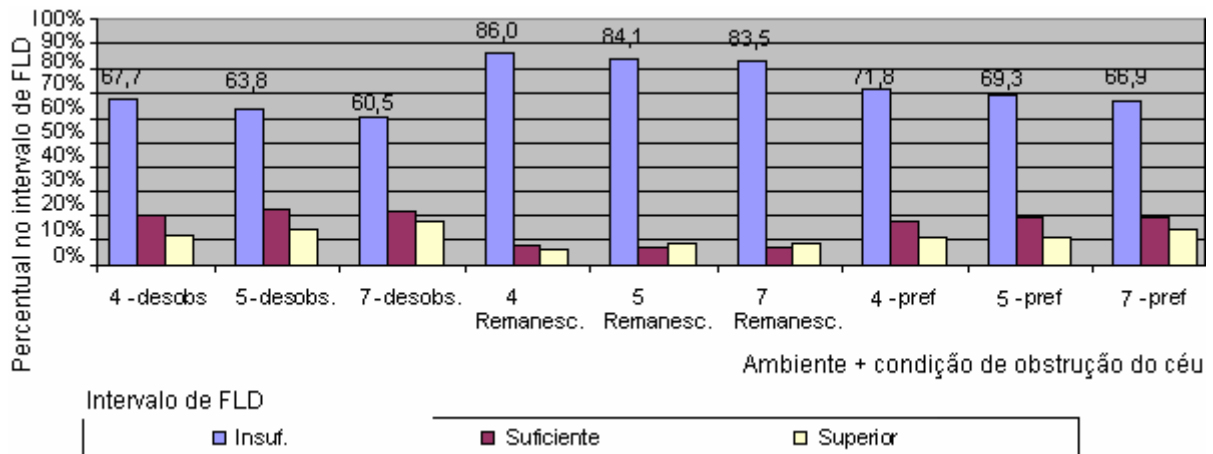


Figura 6. 41 - Agrupamento das classes de iluminância conforme ambiente - 12:00 h

Os gráficos a seguir representam os valores obtidos para o FLD. Na classe de intervalo denominada de insuficiente, que corresponde a valores inferiores a 2%, valores altos significam maior ocorrência nessa faixa e uma condição mais desfavorável de iluminação natural no ambiente.

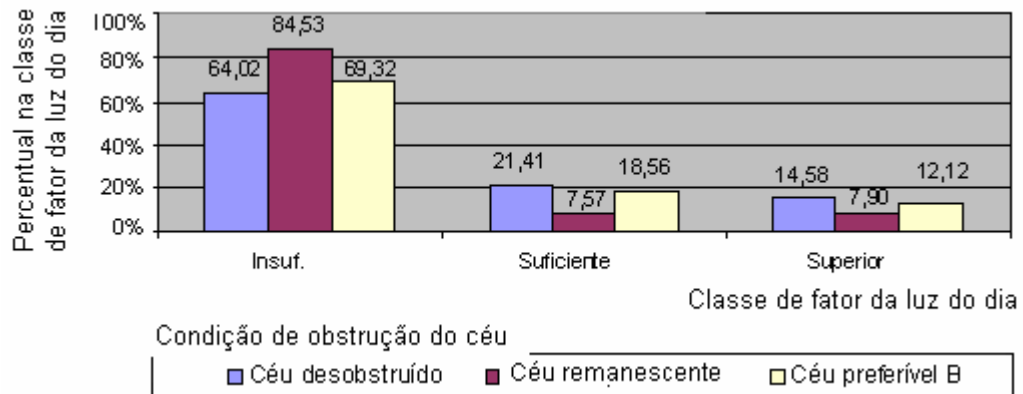
A condição de menor FLD ocorre com a condição de céu remanescente, Figura 6.42. O céu totalmente desobstruído e céu preferível apresentam valores próximos: valores em torno de 65% para céu desobstruído e 70% para céu preferível no intervalo insuficiente, em torno de 20% no intervalo suficiente e em torno de 10% no intervalo superior. A condição de céu remanescente apresenta valores em torno de 85% no intervalo insuficiente, e em torno de 10 a 15% no intervalo suficiente e superior.



**Figura 6. 42 – Percentual no intervalo de FLD x ambiente + condição de obstrução do céu**

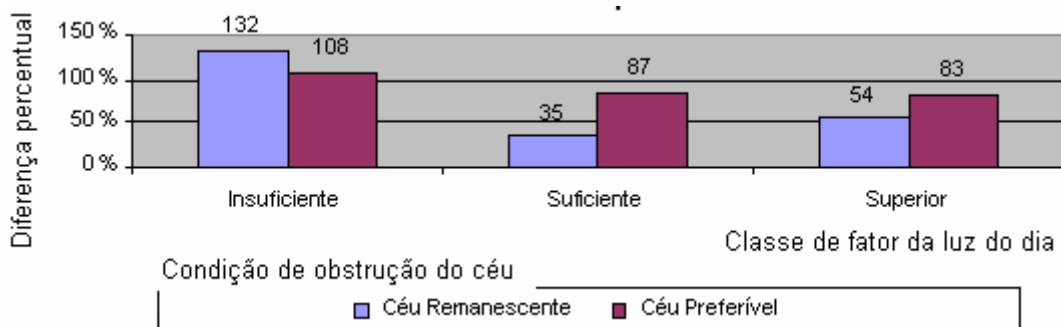
O gráfico da Figura 6.43 representa a média obtida com o percentual do plano de análise nos intervalos de FLD em análise, as médias estão agrupadas conforme o modelo de céu em análise. No gráfico se pode observar, de forma simplificada, a maior proximidade entre os valores obtidos na condição de céu totalmente desobstruído e na de céu preferível. No intervalo classificado como suficiente, o céu totalmente desobstruído apresenta um percentual de 21,41%, o céu preferível 18,56%, enquanto o céu remanescente apenas 7,57%. No intervalo superior, o céu totalmente desobstruído apresenta valor de 14,58%, o céu preferível 12,12% e o céu remanescente 7,90%.





**Figura 6. 43 – Gráfico com o FLD médio**

A diferença percentual entre o FLD médio obtido para a condição de céu remanescente e céu preferível em relação ao céu desobstruído é detalhada na Figura 6.44. Pode-se perceber que existe grande proximidade entre os valores obtidos com o céu preferível e céu desobstruído.



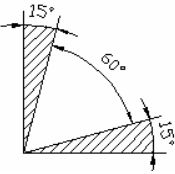
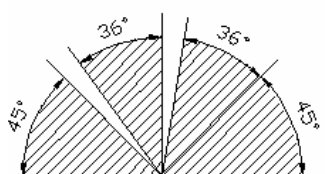
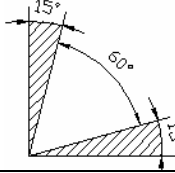
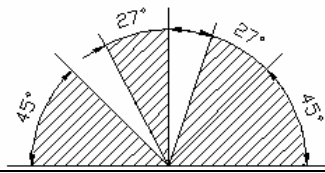
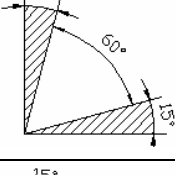
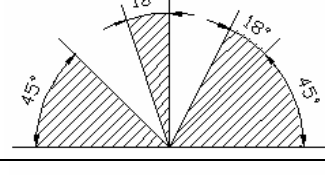
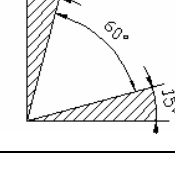
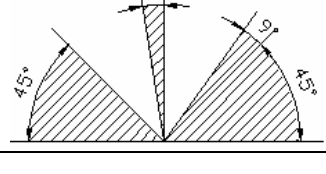
**Figura 6. 44 - Gráfico diferença percentual entre o FLD com céu preferível e céu remanescente em relação ao céu totalmente desobstruído**

### 6.3.2 Análise da região da Janela de Céu Preferível subdivida em parcelas

O segundo conjunto de modelos de obstrução do céu simulado foi construído a partir da obstrução parcial da Janela de Céu Preferível, tendo como base uma subdivisão interna da mesma. A subdivisão da região da Janela de Céu Preferível seguiu um eixo longitudinal e um eixo latitudinal, que resultou em dois grupos de obstrução parcial da Janela de Céu Preferível.

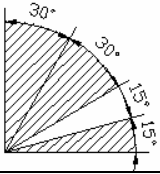
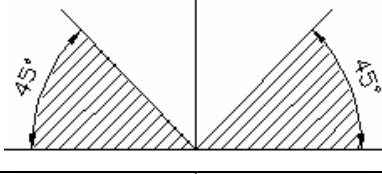
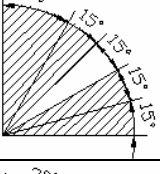
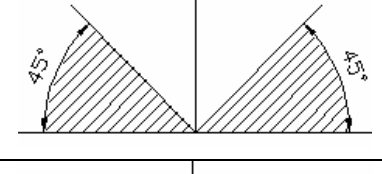
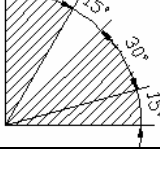
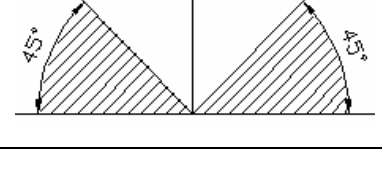
No primeiro grupo, a subdivisão segue o eixo longitudinal e a região da Janela de Céu Preferível foi dividida em 4 parcelas homogêneas, que foram agrupadas em seqüência crescente: 20%, 40%, 60% e 80% da Janela de Céu Preferível. Na Tabela 6.2, pode-se ver o desenho esquemático das subdivisões.

Tabela 6. 2 - Tabela com as variações no modelo de obstrução céu preferível 20, 40, 60 e 80%

Identificador	Croqui em corte	Croqui em planta baixa	Percentual céu preferível
Preferível 20			20%
Preferível 40			40%
Preferível 60			60%
Preferível 80			80%

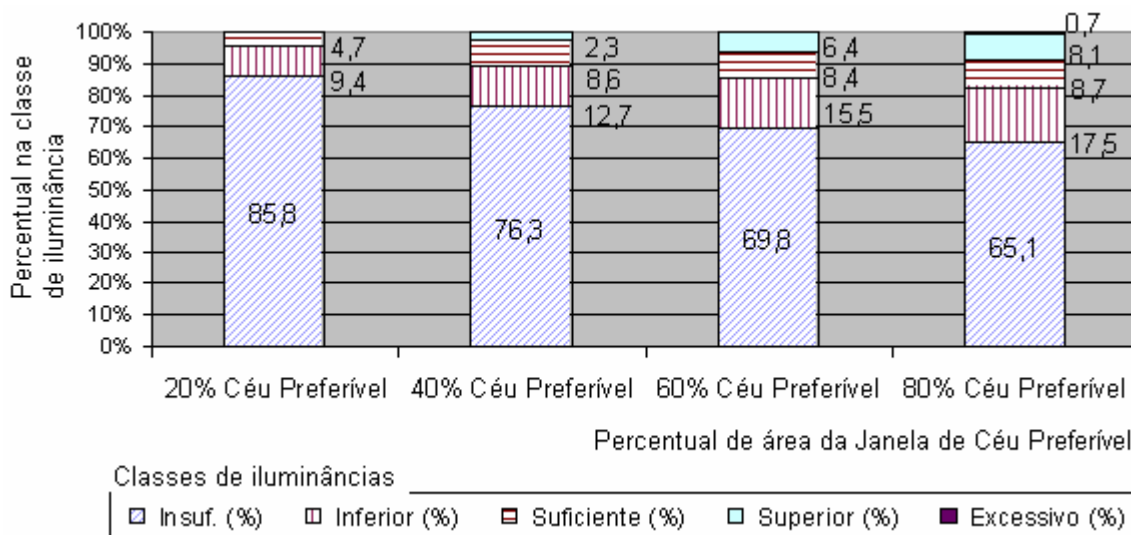
No segundo grupo, a subdivisão da região da Janela de Céu Preferível segue o eixo latitudinal e é dividida em três segmentos: 1/3 superior, 1/3 mediano e 1/3 inferior, conforme o desenho esquemático das subdivisões na tabela 6.3.

Tabela 6. 3 – Divisão da área de céu preferível: inferior, mediano e superior

Identificador	Croqui em corte	Croqui em planta baixa	Percentual da Janela de Céu Preferível
1/3 inferior			33,3%
1/3 mediano			33,3%
1/3 superior			33,3%

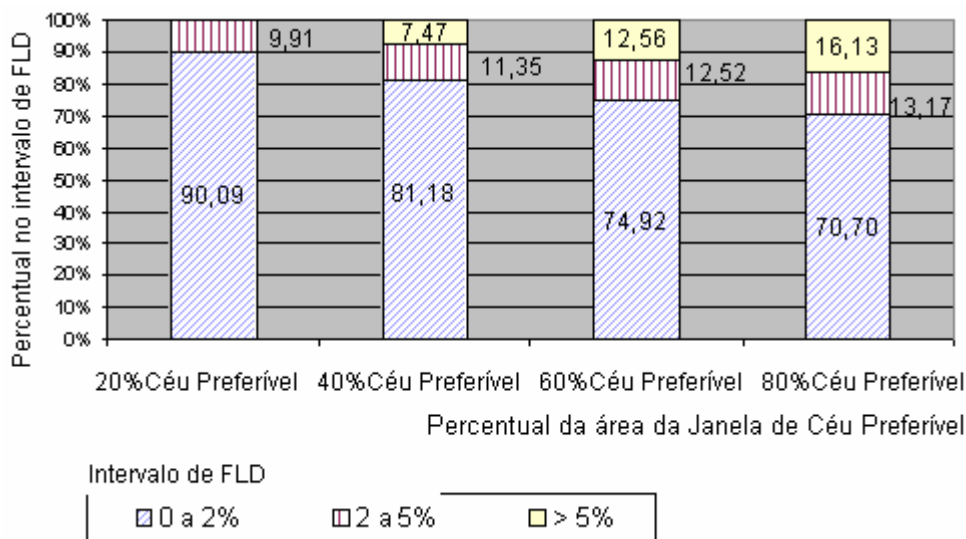
As variáveis iluminância e FLD foram observadas sobre um plano horizontal localizado no ambiente interno. Os resultados e análises são apresentados a seguir.

Na Figura 6.45 pode-se observar um gráfico com a iluminância encontrada no ambiente interno e resultante dos modelos de obstrução do céu em análise: 20%, 40%, 60% e 80% da região da Janela de Céu Preferível. O aumento da área de céu preferível implica em um aumento da iluminação no ambiente interno, que apresenta um comportamento linear. Esse comportamento pode ser exemplificado destacando-se a diferença entre o valor do intervalo inferior (menor que 100 lux), decorrente da área de céu preferível com 20%, e o valor do intervalo inferior, decorrente da área de céu preferível de 40%, que é de 8,9%. Para os aumentos subsequentes, observa-se uma diferença percentual de 9,1 entre a área de 40% e a de 60%, e de 9,3 entre a área de 60% e a de 80%.



**Figura 6. 45 – Gráfico com as classes de iluminâncias x percentual da Janela de Céu Preferível**

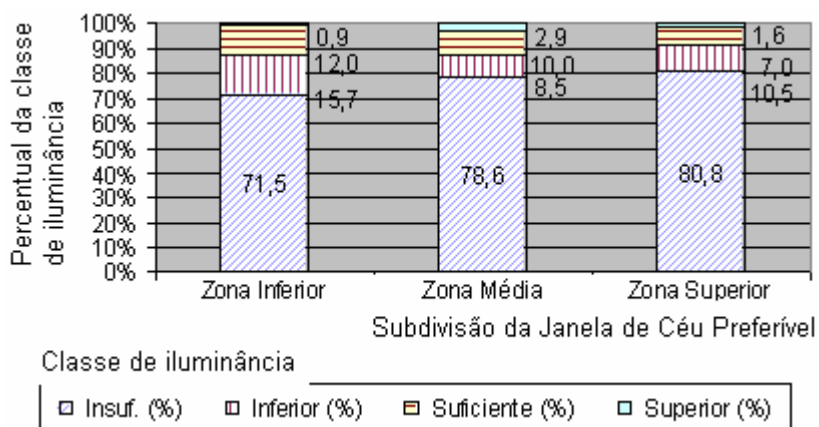
O gráfico da Figura 6.46 relaciona o FLD sobre o plano horizontal no ambiente interno e o percentual de área do céu preferível. Assim como no gráfico anterior, o aumento da área de céu preferível resulta em um aumento proporcional na iluminação encontrada no ambiente interno. Observando-se o intervalo inferior a 2% de FLD, a proporção de aumento entre o valor encontrado com a condição de céu de 20% da área de céu preferível e a condição de 40% é de 9,02%. Nos aumentos de área de céu preferível de 40% para 60%, o percentual de aumento é de 9,2%, e nos de 60% para 80% é de 9,4%.



**Figura 6. 46 – Gráfico do FLD x percentual de céu preferível**

A análise a seguir refere-se aos resultados com a subdivisão da Janela de Céu Preferível segundo o eixo latitudinal, e as variáveis analisadas são as iluminâncias e o FLD.

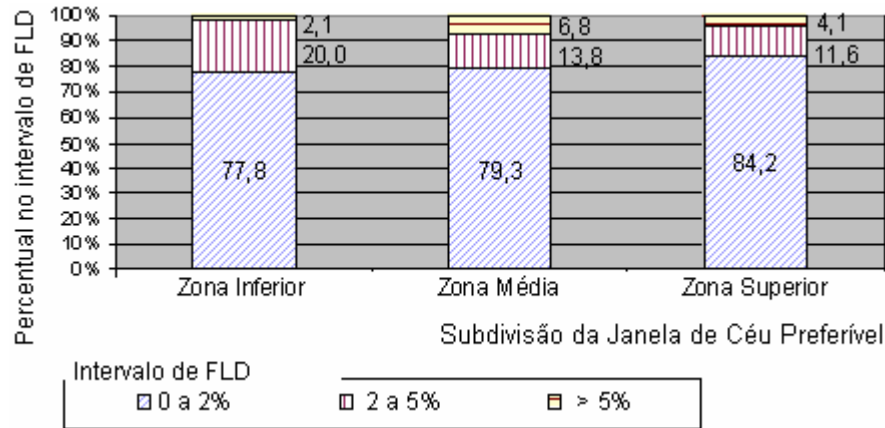
No gráfico da Figura 6.47, as classes de iluminâncias estão relacionadas com a Janela de Céu Preferível subdividida nas regiões inferior, média e superior. Pode-se perceber que a área superior apresenta valores mais baixos de iluminação natural sobre o plano de análise no ambiente interno, enquanto que a área inferior apresenta valores mais elevados.



**Figura 6. 47 – Iluminâncias x subdivisão Janela de Céu Preferível inferior, média e superior**

No gráfico da Figura 6.48, a variável analisada é o FLD relacionado com a condição de Janela de Céu Preferível subdividida em inferior, média e superior. Novamente, percebe-se que a zona superior tem níveis de iluminação mais baixos e

a zona inferior níveis mais elevados. A zona inferior apresenta o intervalo de 0 a 2% com percentual de 77,8%, enquanto a zona superior apresenta percentual de 84,2% no intervalo de 0 a 2%, sendo a diferença entre as mesmas de aproximadamente 9%.



**Figura 6. 48 – FLD x subdivisão da Janela de Céu Preferível em inferior, média e superior**

Os resultados encontrados com a análise da Janela de Céu Preferível subdividida nas zonas inferior, média e superior confirmam as análises realizadas na definição da região da Janela de Céu Preferível. Esperava-se que a zona inferior apresentasse maior nível de iluminação, pois as áreas de menor altitude apresentam maior visão no ambiente interno e, portanto, maior potencial de contribuição na iluminação total.

#### 6.4 VERIFICAÇÃO DO CÉU PREFERÍVEL NOS CENÁRIOS URBANOS

A construção dos cenários urbanos e a posterior simulação da luz natural sobre esses cenários tem como principal objetivo verificar a condição de iluminação natural no meio externo e a influência desta sobre a iluminação natural no ambiente interno. O parâmetro Janela de Céu Preferível é avaliado através desse procedimento. Com isso, essa etapa se apresenta como a finalização do trabalho.

Sobre um recorte urbano na cidade de Florianópolis dois cenários foram gerados: cenário reproduzindo a situação atual e cenário reproduzindo uma situação, na qual os índices de ocupação seriam utilizados em seus limites máximos.

A simulação da luz natural sobre esses cenários permitiu a análise simultânea da iluminação natural presente no ambiente externo e no ambiente interno, tendo como

diferencial o ambiente externo reproduzindo uma situação real ou se aproximando de uma realidade que efetivamente pode ocorrer.

Destaca-se que a metodologia implementada para se obter a simulação da luz natural compreendeu várias etapas inerentes aos processos de construção do modelo, sendo necessário complementações e ajustes nos programas utilizados.

A análise da iluminação natural sobre os cenários consistiu em confrontar a performance da iluminação natural no ambiente interno com os parâmetros FCV e FCP. A iluminação natural no ambiente interno foi analisada com os parâmetros FLD e iluminância, observados sobre um plano horizontal a um metro (1m) de altura. A análise do FCV e FCP foi realizada sobre um plano vertical externo, localizado exatamente sobre o plano da abertura do ambiente interno. Por sua vez, os ambientes internos encontram-se posicionados em determinadas situações no cenário, denominadas de eixos A, B, C e D. O cenário atual é o primeiro a ser analisado, seguido pelo cenário legislação.

Antes, porém, apresenta-se a caracterização do coeficiente de reflexão médio para as superfícies verticais localizadas no recorte urbano em análise, que resultou de um trabalho de medição experimental da área. A análise dessa etapa experimental é detalhada na próxima seção.

#### 6.4.1 Caracterização do coeficiente de reflexão médio das superfícies verticais

Os principais resultados obtidos com os procedimentos adotados para a caracterização do coeficiente de reflexão médio das superfícies verticais no recorte urbano em análise são apresentados a seguir. A primeira etapa consiste em levantamento de dados e medições experimentais, que engloba o levantamento fotográfico das fachadas e a definição dos coeficientes de reflexão adotados nas aberturas. A segunda etapa compreende a definição do coeficiente de reflexão médio das superfícies verticais, resultante do cruzamento das informações obtidas com o levantamento fotográfico e as medições experimentais.

##### 6.4.1.1 Levantamento fotográfico sobre as fachadas

No levantamento fotográfico das fachadas utilizou-se uma amostra de 50 edifícios. Na tabela 6.4, estão algumas das fachadas observadas.

Tabela 6. 4 - Levantamento de fachadas localizadas no recorte urbano em análise

Amostra de edificações levantadas na área 1		
		
		
Amostra de edificações levantadas na área 2		
		
		
Amostra de edificações levantadas na área 3		
		
		

Sobre o levantamento fotográfico das fachadas as principais observações são:

- As fachadas dos edifícios normalmente têm mais de uma cor e existe uma predominância de uso de tons claros. Cores escuras são usadas como detalhes.
- As aberturas nem sempre se configuram como cavidades ou buracos negros. Além da existência de venezianas, que, na maioria das vezes, são em tons claros, muitas aberturas possuem cortinas internas, também em tons claros. Varandas, assim como as aberturas, podem se constituir em cavidades ou buracos negros, dependendo de sua profundidade e dos materiais utilizados.

#### 6.4.1.2 Definição de coeficientes de reflexão para as aberturas

A necessidade de definição dos coeficientes de reflexão para as aberturas surgiu após a constatação de que elas nem sempre se configuram como cavidades ou buracos negros e de que, freqüentemente, ocorre o uso de venezianas e cortinas em tons claros.

A caracterização do coeficiente de reflexão para as aberturas resulta de medições com um modelo reduzido, utilizando como fonte de luz o céu artificial, e medições com edifício existente sob céu real encoberto. Na tabela 6.5 estão expostos os resultados obtidos nas medições com o modelo reduzido e céu artificial. As variáveis adotadas foram: tecido branco simples, tecido branco duplo, tecido de renda e ausência de cortina ou cavidade preta. A ausência de elemento de proteção interna caracteriza a abertura como um buraco negro, ou como se a mesma representasse a cor preta, com valor de 6,74%. Contudo, na presença da mesma os valores variam de 27,37% a 43,73%, variação que está associada à trama do tecido. Pode-se verificar a elevada absorção de luz pelo comportamento de cavidade do ambiente interno. Ressalta-se que nesse estudo a componente especular foi desconsiderada.

**Tabela 6. 5 - Refletância média encontrada para as variáveis analisadas no modelo da abertura**

<b>Elementos</b>	<b>Refletância média obtida</b>
Tecido branco simples	27,37%
Tecido branco duplo	43,73%
Tecido de renda	34,30%
Ausência de cortina	6,74%



Os resultados obtidos nas medições com edifício sob céu real são demonstrados na Tabela 6.6 e representam a situação da abertura com uma cortina interna branca e da abertura sem elemento de proteção interna.

Os valores obtidos com a cortina interna foram elevados, o que era esperado, já que a mesma constituía-se de tecido grosso (espessura de aproximadamente 0,2 mm) e trama fechada. Ao contrário dos tecidos utilizados no modelo reduzido, que eram menos espessos e de trama mais aberta.

Contudo, percebe-se uma grande diferença entre os valores obtidos com a abertura sem elemento de proteção, pois na situação real o valor registrado é de 2,48% e no modelo reduzido é de 6,74%. Essa diferença pode ser atribuída à diferença na profundidade do modelo e do ambiente na situação real. O ambiente possui profundidade de 5 metros, enquanto a cavidade simulada no céu artificial possui uma profundidade de apenas 4,5 cm, ainda que esteja revestida com papel preto.

**Tabela 6. 6 - Refletância média encontrada para a abertura com céu real**

<b>Elementos</b>	<b>Refletância obtida</b>
Tecido branco	51,04%
Ausência de cortina	2,48%

#### 6.4.1.3 Definição do coeficiente de reflexão médio para superfícies verticais

A definição do coeficiente de reflexão médio para as superfícies verticais resultou da média dos valores obtidos com a amostra de edifícios. Para cada edifício foi utilizado o método exemplificado na Tabela 6.7, cujos dados referem-se ao edifício apresentado na Figura 6.49.

Sobre a Tabela 6.7, destaca-se que a área proporcional foi calculada sobre as fachadas (levantamento fotográfico, como mostra a Figura 6.49). O coeficiente de reflexão atribuído ao fechamento opaco foi extraído da proposta de Castro (2003) e o coeficiente de reflexão atribuído às aberturas foi extraído das medições.

Para a abertura sem cortina (cavidade), utilizou-se o coeficiente médio obtido com as medições sob céu real. A escolha deve-se ao fato de que o modelo utilizado com céu artificial apresenta a cavidade (simulação do ambiente interno) simplificada, como os valores estão relativamente próximos optou-se por utilizar aquele que apresenta condições mais próximas da realidade.

Para a abertura com cortina branca, utilizou-se o coeficiente obtido no céu artificial. Acredita-se que em situações reais a cortina branca utilizada no modelo com céu artificial seja mais usual.

O produto da área proporcional pelo respectivo coeficiente de reflexão resulta em um valor relativo que, somado aos demais, produz um valor médio. No exemplo abaixo, o coeficiente de reflexão total atribuído à fachada em análise é de 46,48%.

**Tabela 6. 7 - Amostra de resultado da aplicação do método de cálculo da refletância média**

Elemento	Área proporcional (%)	Coeficiente de reflexão (%)	Área x coeficiente de reflexão
Janela Metálica	14	85	1190
Abertura (cavidade)	14	2,48	34,72
Fechamento cor alecrim	28	36	1008
Fechamento cor areia	34	59	2006
Fechamento cor cinza	10	41	410
Equação final: $\frac{Total}{100}$			$\frac{4648}{100}$
<b>Coeficiente médio total</b>			<b>46, 48 %</b>



**Figura 6. 49 – Edificação utilizada no cálculo do coeficiente de reflexão médio apresentado na tabela 6.7**

O somatório de todos os coeficientes levantados dividido pelo número de amostras resultou no coeficiente de reflexão médio que caracteriza um ou o pavimento tipo das edificações da amostra. Esse valor, que é de 43,9 %, aproxima-se muito do valor adotado por Compagnon (2004), que é de 40%, e também do recorte de fachada analisada por NG (2005), que corresponde a 39%. Com isso, pode-se concluir que os valores de 20%, usualmente recomendados por diversos autores, estão realmente abaixo daqueles normalmente encontrados em uma situação real, o que pode mascarar a efetiva disponibilidade de luz natural no ambiente urbano.

#### 6.4.2 Resultados e análises com o cenário atual

O cenário atual reproduz a situação atualmente encontrada no local. A análise foi realizada em determinadas localizações no cenário, definidas previamente e apresentadas no capítulo Metodologia.

Os primeiros resultados referem-se ao FLD e às iluminâncias obtidos sobre o plano horizontal interno. Em seguida, são expostos os valores obtidos sobre o plano vertical externo, com as variáveis: fator de céu visível e fator de céu preferível, que, confrontadas, permitem observar se existe dependência entre elas. Essa análise termina com a determinação da correlação existente. Insere-se ainda a análise sobre as máscaras obtidas a partir do plano vertical no ambiente externo. Relembrando a nomenclatura esclarecida na metodologia, a Figura 6.50 apresenta um exemplo utilizado na denominação dos ambientes localizados no eixo D.



**Figura 6. 50 – Planta esquemática do cenário com exemplo de nomenclatura no eixo D**

Iniciando com o FLD, Tabela 6.8, os valores expostos indicam o percentual da área do plano de análise dentro do intervalo superior a 2%. O gráfico da Figura 6.51

detalhada logo abaixo, representa os intervalos de 0 a 2%, 2 a 5% e superior a 5%. Tomando como exemplo o ambiente Bdlatd2, o mesmo apresenta 17,4% da área do plano de análise dentro do intervalo com FLD superior a 2%.

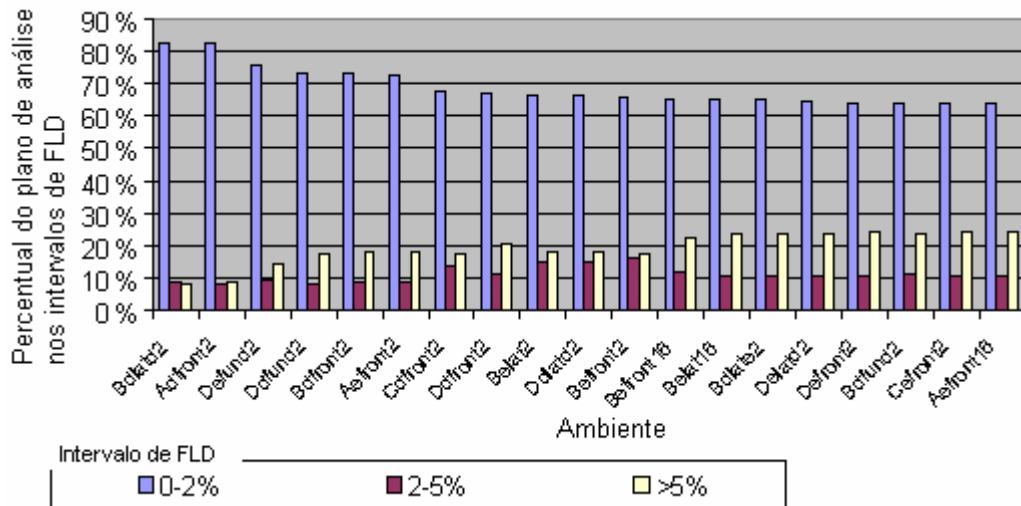
Os ambientes com menor FLD, Tabela 6.8 e Figura 6.51, são Bdlatd2, Adfront2 e Defund2. Esses ambientes estão posicionados nas fachadas lateral, frontal e fundo dos edifícios, nos eixos B, A e D. O percentual de valores acima de 2% varia de 17,4 a 24,4, nas situações mais críticas, e é de 35,6 % para a situação de melhor desempenho.

Sobre os resultados encontrados com a simulação da luz natural é importante ressaltar que os valores para o FLD e iluminâncias são relativamente baixos. Atribui-se esse fato a dois aspectos: a profundidade do ambiente interno (6 metros) e a exclusão da componente refletida interna, através da adoção do coeficiente de reflexão zero nas paredes internas.

**Tabela 6. 8 – Percentual do plano de análise no ambiente interno com FLD superior a 2% - cenário atual**

<b>FLD superior a 2%</b>			
Bdlatd2	17,42		
Adfront2	17,42	Befront2	34,09
Defund2	24,24	Befront16	34,47
Ddfund2	26,14	Bdlate2	34,85
Bdfront2	26,89	Belat16	34,85
Aefront2	27,27	Delatd2	35,23
Cdfront2	31,82	Aefront16	35,61
Ddfront2	32,58	Bdfund2	35,61
Belat2	33,33	Cefront2	35,61
Ddlatd2	33,33	Defront2	35,61

Em uma análise da performance dos ambientes, considerando os eixos nos quais os mesmos se encontram, pode-se afirmar que o eixo C apresenta melhor desempenho, o que pode ser atribuído à localização de esquina. Os eixos B e D, localizados no meio da quadra e em ruas estreitas, manifestaram resultados piores. O eixo A possui a rua larga, o que resulta no aumento da iluminação natural no ambiente interno, contudo frontalmente ao mesmo, encontra-se um conjunto de edifícios em altura e sem afastamentos laterais, resultando em situações de pouca iluminação, como a do ambiente Adfront2.



**Figura 6. 51 - Percentual do plano de análise no ambiente interno nos intervalos de FLD - cenário atual**

Na Tabela 6.9 sobre as iluminâncias (horário corresponde às 10:00 horas), os valores representam o percentual de ocorrência acima de 100 lux, sobre o plano de análise. A performance obtida com as iluminâncias é muito similar àquela obtida com o FLD. Os ambientes Aefront16 e Defront2 apresentam a melhor performance, com 51,50% da área do plano de análise chegando a uma iluminância superior a 100 lux, enquanto os ambientes Adfront2 e Bdlatd2 apresentam a pior performance.

**Tabela 6. 9- Percentual do plano de análise no ambiente interno com iluminância superior a 100lux - cenário atual**

ILUMINÂNCIA			
	iluminância >100lux		iluminância >100lux
Ad front2	24,75		
Bd latd 2	27,75	Bd late 2	44,75
Dd fund 2	33,50	Be front2	47,75
Bd front2	33,75	De latd 2	48,25
De fund 2	34,00	Be front16	50,25
Ae front2	34,75	Ce front 2	50,50
Be lat2	42,00	Bd fund 2	50,50
Cd front 2	42,25	Be lat 16	50,75
Dd latd 2	43,00	De front 2	51,50
Dd front2	43,75	Ae front16	51,50

Na Tabela 6.10, pode-se visualizar os resultados obtidos com o FCV e com o FCP nos ambientes em análise no cenário atual. Os dois fatores também foram agrupados em intervalos de ocorrência, destacando-se que o intervalo com valor máximo é o superior a 40% (considerando meio hemisfério o FCV máximo para um

plano vertical é de 50%) e o intervalo máximo para o FCP foi definido como superior a 12%, pois o FCP máximo é de 15,2%. Os valores descritos referem-se ao percentual do plano de análise que se encontra no intervalo correspondente.

**Tabela 6. 10 – FCV e FCP – Percentual do plano de análise nos intervalos e média – cenário atual**

	Fator de Céu Visível						Média	Fator de Céu Preferível						Média
	<10%	10-20%	20-30%	30-40%	>40%	<3%		3-6%	6-9%	9-12%	>12%			
<b>Bdlatd2</b>	0	100	0	0	0	13,4	<b>Bdlatd2</b>	100	0	0	0	0	0	0,3
<b>Adfront2</b>	0	0	100	0	0	21,8	<b>Adfront2</b>	100	0	0	0	0	0	2,0
<b>Belat2</b>	0	1,5	98,5	0	0	25,4	<b>Defund2</b>	0	100	0	0	0	0	3,0
<b>Defund2</b>	0	1,9	98,1	0	0	26,6	<b>Ddfund2</b>	0	0	4,5	95,5	0	0	10,0
<b>Ddlatd2</b>	0	0	60,2	39,8	0	29	<b>Bdfront2</b>	0	0	0	100	0	0	11,1
<b>Ddfund2</b>	0	0	23,1	76,9	0	31,2	<b>Befront2</b>	0	0	0	43,9	56,06	0	12,1
<b>Cdfront2</b>	0	1,5	5,7	92,8	0	32,0	<b>Aefront2</b>	0	0	0	0	0	100	12,7
<b>Bdfront2</b>	0	0	0	100	0	33,1	<b>Befront16</b>	0	0	0	0	0	100	13,2
<b>Befront2</b>	0	0	0	100	0	35,1	<b>Cdfront2</b>	0	0	0	0	0	100	13,4
<b>Belat16</b>	0	0	2,7	97,3	0	36,1	<b>Ddfront2</b>	0	0	0	0	0	100	13,9
<b>Aefront2</b>	0	0	2,3	97,7	0	37,8	<b>Belat2</b>	0	0	0	0	0	100	14,2
<b>Ddfront2</b>	0	0	0	95,8	4,2	39,3	<b>Ddlatd2</b>	0	0	0	1,5	98,48	0	14,4
<b>Bdlate2</b>	0	0	0	36,4	63,6	40,1	<b>Bdlate2</b>	0	0	0	0	0	100	16,0
<b>Befront16</b>	0	0	0	7,2	92,8	40,5	<b>Delatd2</b>	0	0	0	0	0	100	16,2
<b>Delatd2</b>	0	0	0	4,5	95,5	42,2	<b>Belat16</b>	0	0	0	0	0	100	16,2
<b>Bdfund2</b>	0	0	0	4,9	95,1	42,7	<b>Aefront16</b>	0	0	0	0	0	100	16,3
<b>Cefront2</b>	0	0	0	0	100	43,7	<b>Bdfund2</b>	0	0	0	0	0	100	16,4
<b>Defront2</b>	0	0	0	0	100	44,4	<b>Defront2</b>	0	0	0	0	0	100	16,8
<b>Aefront16</b>	0	0	0	3,0	97,0	46,4	<b>Cefront2</b>	0	0	0	0	0	100	16,9

Pode-se observar na tabela 6.10, por exemplo, que o ambiente Bdlatd2 apresenta 100% do plano de análise dentro do intervalo entre 10 e 20% de fator de céu visível e 100% do plano de análise dentro do intervalo inferior a 3% com o fator de céu preferível. A Tabela 6.10 também traz a média encontrada sobre o plano de análise, para o fator de céu visível e fator de céu preferível.

Comparando-se os ambientes com menor FLD – que apresentaram menor percentual do plano de análise no intervalo superior a 2% - com o FCP encontrado sobre o plano de análise externo, observa-se que os menores valores de FCP coincidem, ou estão próximos, dos menores valores de FLD, assim como os ambientes com maior percentual do plano de análise no intervalo com FLD acima de 2% coincidem, ou estão próximos, dos maiores valores de FCP.

O mesmo se percebe com o FCV, que também apresenta uma relação de correspondência, na qual os maiores valores de FCV resultam em valores maiores de FLD, e valores menores de FCV correspondem a menores valores de FLD.

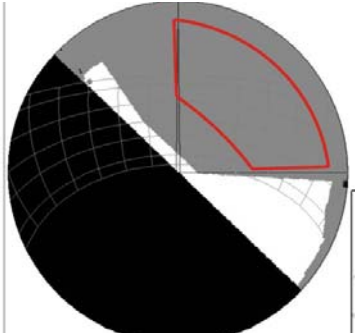
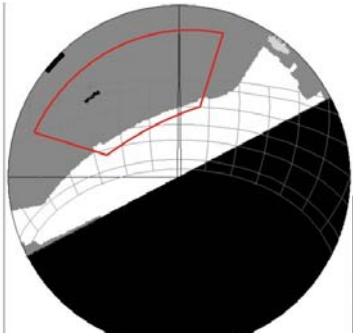
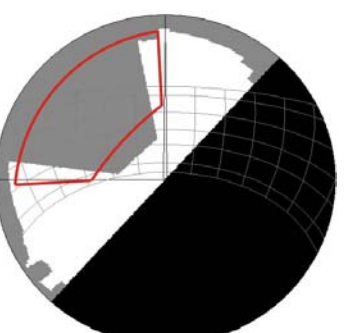
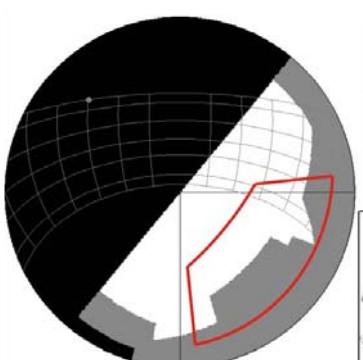
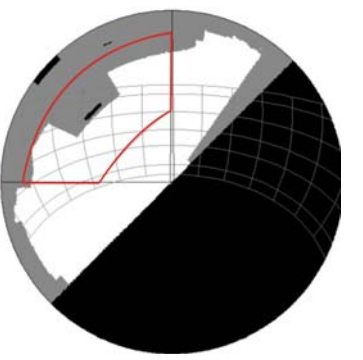
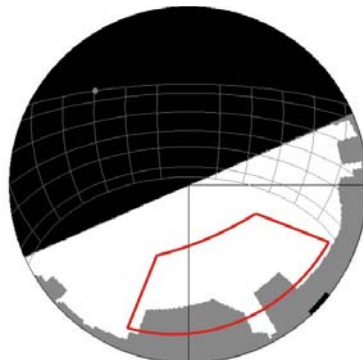
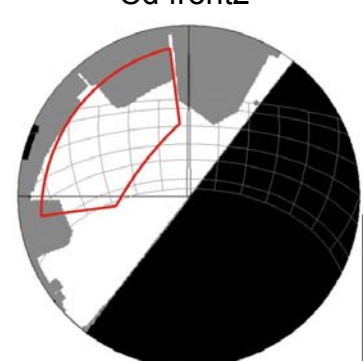
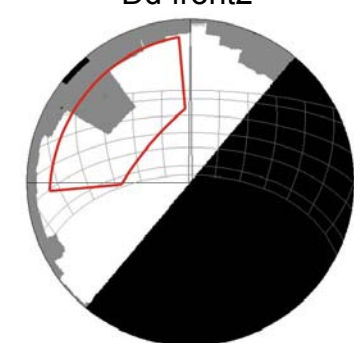
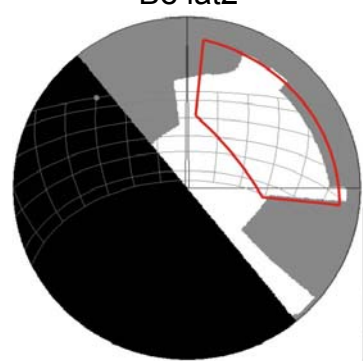
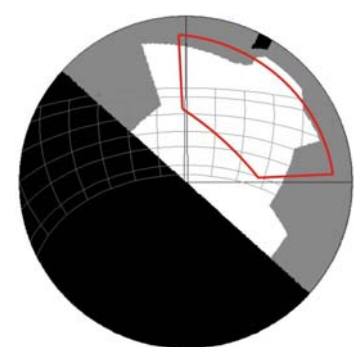
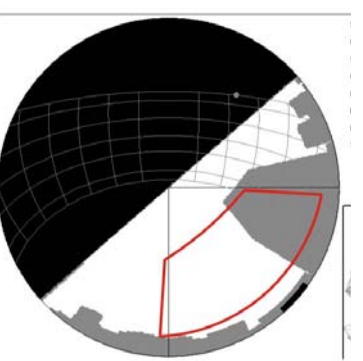
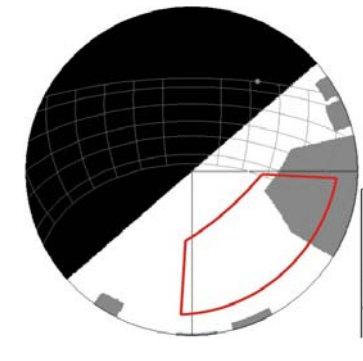
Na Tabela 6.11 são apresentadas as máscaras correspondentes aos ambientes em análise. As máscaras são para um ponto localizado no meio da abertura e na altura do peitoril. A parte em cinza representa as edificações do entorno e a em branco, a abóbada visível. A área em vermelho representa a região da Janela de Céu Preferível.

A disposição das máscaras na tabela 6.11 segue uma ordem crescente em relação ao percentual do ambiente com FLD superior a 2%. Iniciando com os ambientes que apresentam maior obstrução do entorno: Bdlatd2 e Adfront2. Os ambientes de menor obstrução são: Cefront2 e Aefront16. Com as máscaras, é possível identificar visualmente as situações em que a Janela de Céu Preferível se encontra mais (ou menos) obstruída em relação à região de céu remanescente.

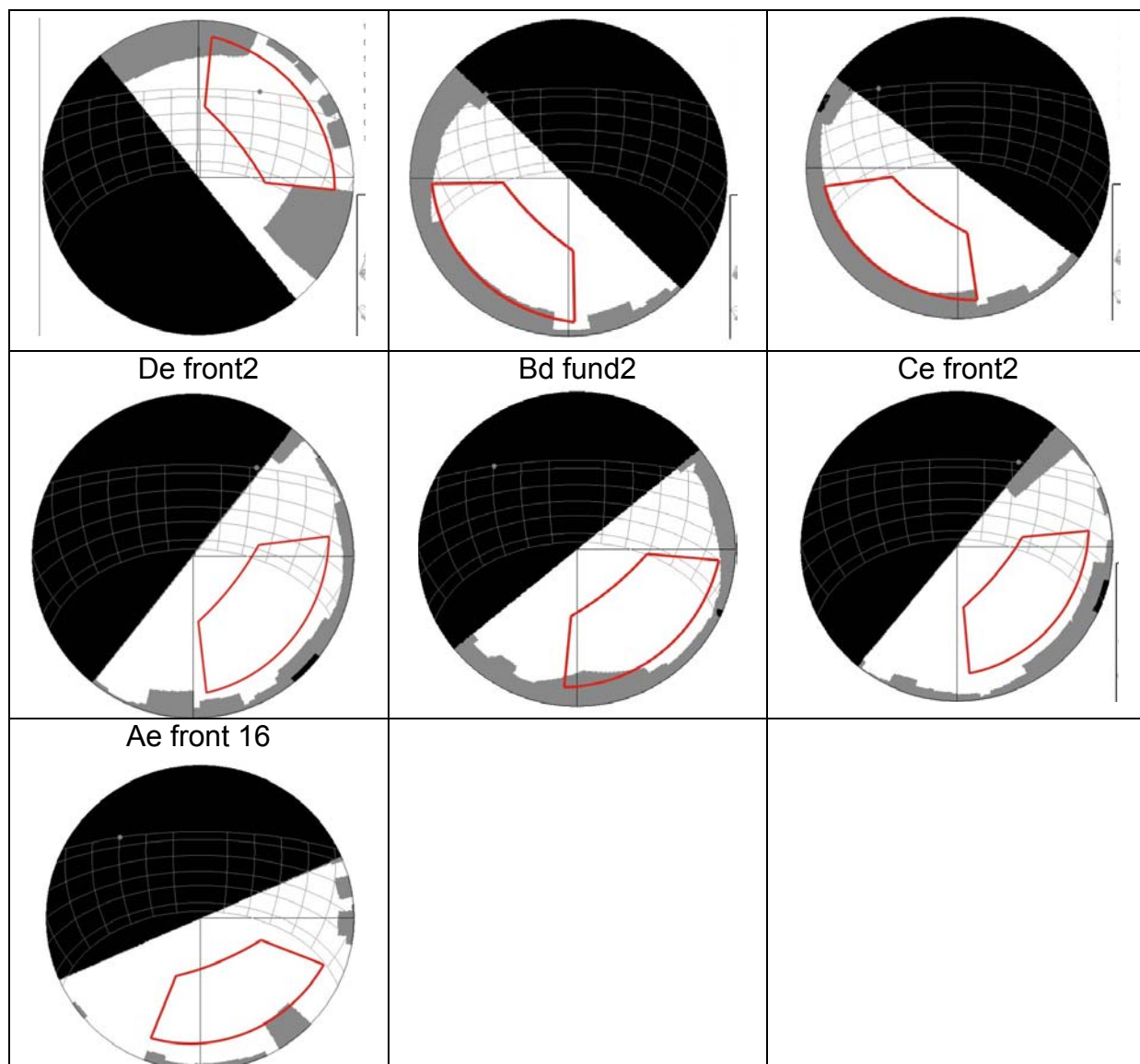
Destacando-se como exemplo o ambiente Belat2, pode-se observar que a área de céu preferível é proporcionalmente pouco obstruída em relação à área de céu remanescente, hipótese que pode ser confirmada verificando-se a Tabela 6.11. O fator de céu preferível médio corresponde a 14,2%, enquanto o fator de céu visível apresenta uma média de 25,4%. Ambientes com fator de céu visível em torno de 25%, como é o caso do ambiente De fund2 que apresenta um fator de céu visível médio de 26,6%, apresentam percentual da área do plano de análise no ambiente interno de 75,8% no intervalo abaixo de 2% para o FLD. No ambiente Be lat2, esse percentual do plano de análise no intervalo abaixo de 2% corresponde a 66,7, o que significa um aumento da iluminação natural no ambiente interno, muito provavelmente em decorrência do fator de céu preferível mais elevado, já que no ambiente De fund2 o fator de céu preferível médio é de apenas 3,0%.

Comportamento similar ao ocorrido no ambiente Belat2 pode ser observado em outros ambientes, nos quais o fator de céu visível é relativamente baixo ou mediano. No entanto, em virtude de grande parte desse céu visível estar incluído dentro da área de céu preferível, os percentuais de FLD no ambiente interno são maiores. Destacam-se nesse contexto os ambientes Dd latd2, Cd front2, Be front2, Be lat16 e Dd front2, em que a ocorrência de fator de céu preferível mais elevado determinou maior percentual de FLD no ambiente interno.

Tabela 6. 11 - Máscaras sobre plano vertical externo nos ambientes internos – cenário atual

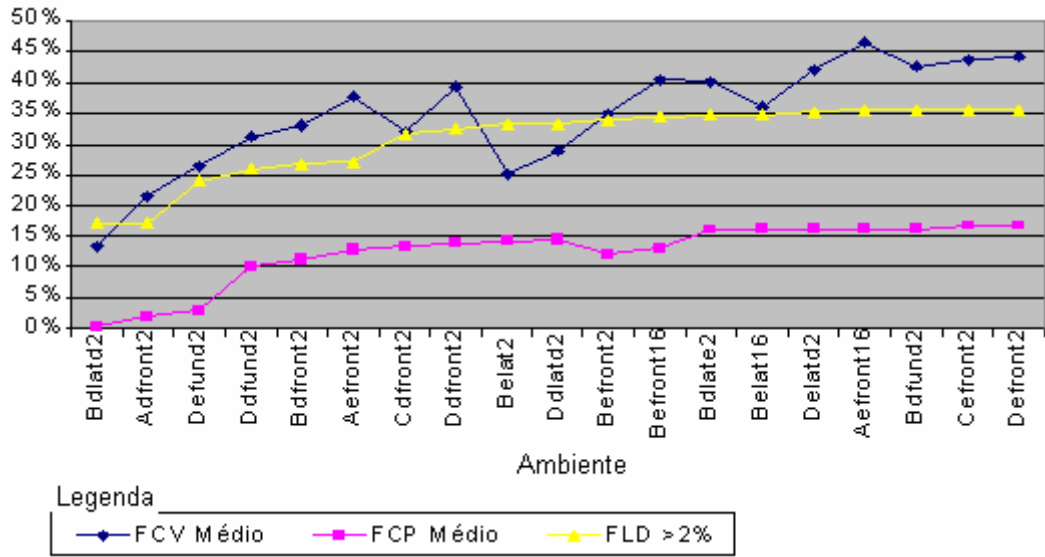
<p>Bd latd2</p> 	<p>Ad front2</p> 	<p>De fund2</p> 
<p>Dd fund2</p> 	<p>Bd front2</p> 	<p>Ae front 2</p> 
<p>Cd front2</p> 	<p>Dd front2</p> 	<p>Be lat2</p> 
<p>Dd lat2</p> 	<p>Be front2</p> 	<p>Be front16</p> 
<p>Be lat16</p>	<p>Bd late2</p>	<p>De latd2</p>





Fonte: Imagens geradas com o programa Apolux.

Na figura 6.52 pode-se visualizar, para cada ambiente em análise no cenário atual, os valores encontrados para o fator de céu visível médio, o fator de céu preferível médio e o percentual de FLD inferior a 2%. Na construção do gráfico, os valores obtidos com o percentual de FLD inferior a 2% foram dispostos em ordem crescente e as outras variáveis ordenadas segundo a seqüência obtida com o FLD. Sobre o gráfico gerado é possível verificar que o traçado resultante com os valores de fator de céu preferível é muito similar ao traçado obtido com o FLD, o que pode ser interpretado como maior influência da área de céu preferível sobre a iluminação no ambiente interno.



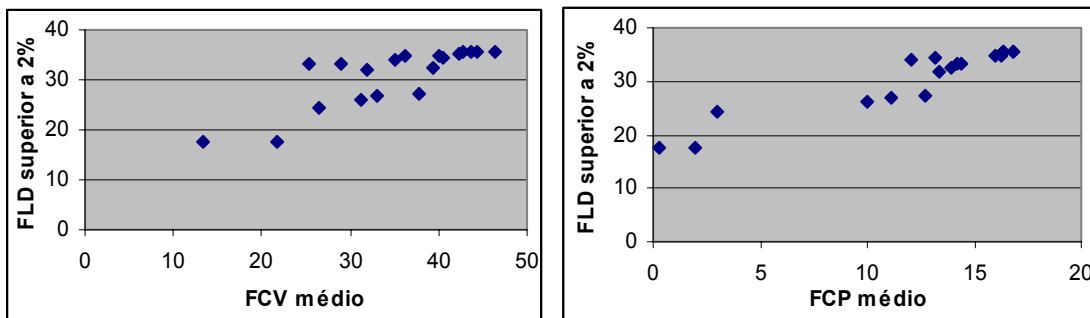
**Figura 6. 52 – Gráfico com as curvas resultantes do FCV médio, FCP médio e o FLD superior a 2% nos ambientes em análise do cenário atual**

Para confirmar a observação realizada sobre a figura 6.52, ressalta-se a correlação encontrada entre o FLD e o fator de céu preferível, que apresenta um valor de 0,95; enquanto a correlação encontrada para o fator de céu visível e o FLD é de 0,82 (ver Tabela 6.12).

**Tabela 6. 12 – Correlação linear de Pearson entre FCV, FCP e FLD – cenário atual**

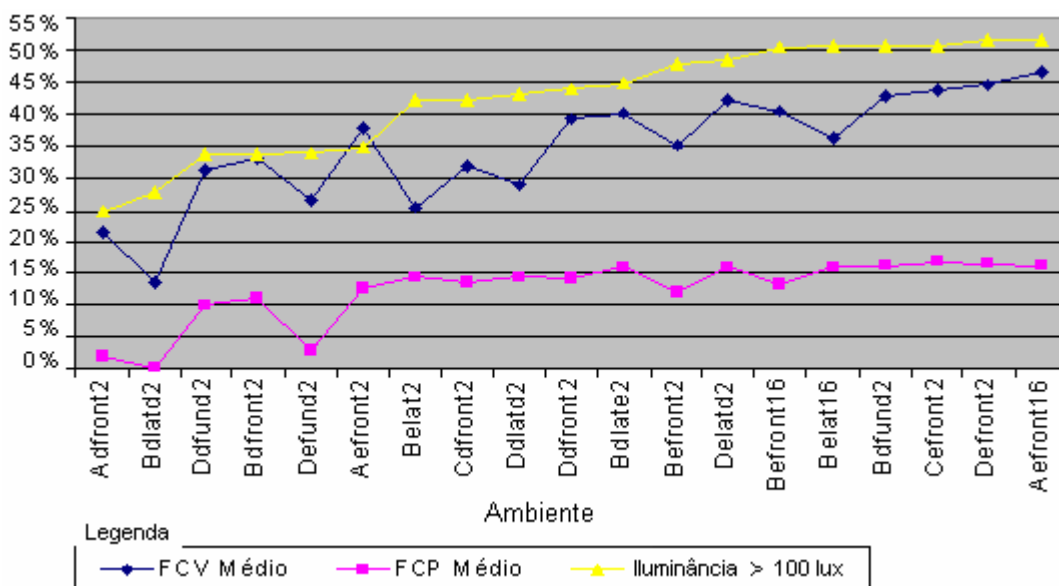
	FCV x FLD	FCP x FLD
<b>Correlação linear de Pearson</b>	0,82	0,95

Na Figura 6.53 são apresentados os gráficos de dispersão para o FCV médio e o percentual de FLD superior a 2% e também o FCP médio e o percentual de FLD superior a 2%, para o cenário atual.



**Figura 6. 53 – Gráfico de dispersão: FCV médio x FLD e FCP médio x FLD**

Na Figura 6.54 foram comparados o FCV médio, o FCP médio e o percentual sobre o plano de análise com iluminância inferior a 100 lux. Na construção do gráfico, os valores obtidos com o percentual de iluminância inferior a 100 lux foram dispostos em ordem crescente e as outras variáveis ordenadas segundo a seqüência obtida com a iluminância.



**Figura 6. 54 – Gráfico com o traçado do comportamento do FCV, FCP e iluminância superior a 100 lux nos ambientes em análise do cenário atual**

Os ambientes Be lat2, Dd latd2, Be front2 e Be lat16 destacam-se novamente como sendo pontos em que o fator de céu preferível apresenta maior impacto na iluminação resultante no ambiente interno. Nos referidos casos ocorre uma redução no fator de céu visível, a qual não se traduz em redução nas iluminâncias observadas no ambiente interno, e pode ser interpretada como decorrência do fato de o fator de céu preferível apresentar-se alto.

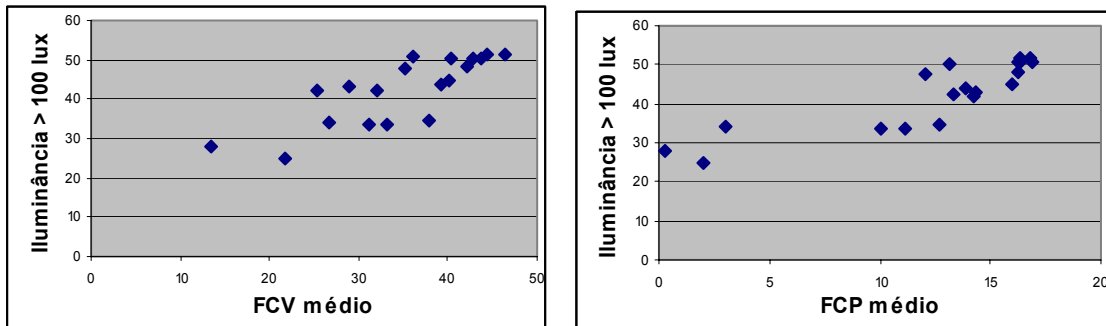
Sobre o gráfico gerado, observa-se que o traçado resultante com os valores de fator de céu preferível é novamente similar ao traçado obtido com o FLD, embora com menor dependência, o que pode ser percebido na correlação exposta na Tabela 6.13.

**Tabela 6. 13 – Correlação linear de Pearson entre FCV, FCP e iluminância – cenário atual**

	<b>FCV x Iluminância</b>	<b>FCP x Iluminância</b>
<b>Correlação linear de Pearson</b>	0,81	0,87

O fator de céu visível e a iluminância apresentam um comportamento aparentemente de menor correlação, 0,81; enquanto que o fator de céu preferível e a iluminância apresentam maior correlação, 0,87.

Na Figura 6.55 pode-se visualizar os gráficos de dispersão para o FCV médio e o percentual de iluminância superior a 100 lux e também o FCP médio e o percentual de iluminância superior a 100 lux, para o cenário atual.



**Figura 6. 55 – Gráficos de dispersão: FCV médio x iluminância superior a 100 lux e FCP médio x iluminância superior a 100 lux**

Com objetivo de reforçar a correlação obtida entre o FCP e a performance da iluminação natural no ambiente interno, através das variáveis FLD e iluminância, obteve-se também a correlação entre o céu remanescente e as referidas variáveis. O céu remanescente compreende a área de céu visível, representada pelo FCV, menos a área do céu contida na JCP (FCP). Na tabela 6.14 é possível visualizar a correlação encontrada entre o céu remanescente e as variáveis da performance da iluminação natural no ambiente interno.

**Tabela 6. 14 – Correlação Linear de Pearson entre o Céu Remanescente, FLD e iluminância – Cenário atual**

	<b>Céu remanescente x FLD</b>	<b>Céu remanescente x Iluminância</b>
<b>Correlação linear de Pearson</b>	0,43	0,51

A correlação obtida entre o céu remanescente e as variáveis FLD e iluminância é fraca, observação que reforça a hipótese de maior potencial de iluminação da JCP.

#### 6.4.3 Resultados e análises com o cenário legislação

A análise dos resultados obtidos com o cenário legislação segue o mesmo procedimento adotado para o cenário atual. São apresentados os resultados encontrados com o FLD, as iluminâncias, o FCV, o FCP, a análise sobre máscaras e a correlação entre os parâmetros do ambiente exterior com os parâmetros do ambiente interno.

Iniciando com o FLD, na Tabela 6.14 é exposto o percentual da área do plano de análise que apresenta FLD superior a 2%. O gráfico da Figura 6.56 detalhada logo a seguir, representa os intervalos de 0 a 2%, 2 a 5% e superior a 5%.

Os ambientes com menor FLD, conforme Tabela 6.15, localizam-se nas posições Bdlatd2, Delatd2, Ddfund2 e Ddlatd2. O percentual de valores acima de 2% varia de 9,09 a 15,91% para esses ambientes, que situam-se nas laterais e nos fundos dos edifícios em análise. Os pontos B e D estão localizados no meio da quadra e em ruas estreitas, fatores que contribuíram para o menor FLD.

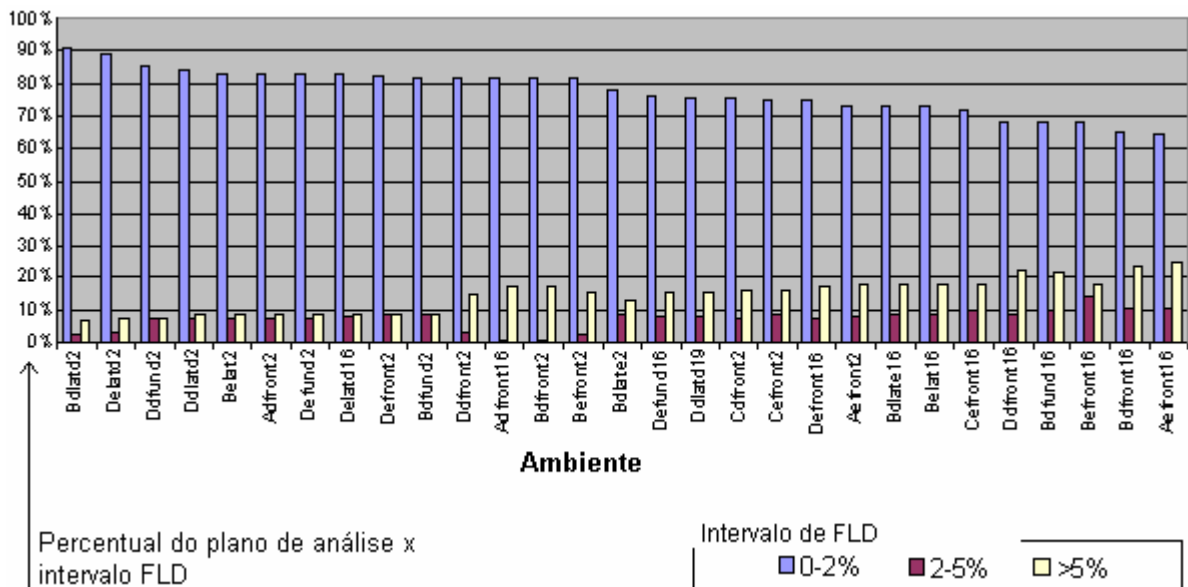
**Tabela 6. 15 – Percentual do plano de análise no ambiente interno com FLD superior a 2% - cenário legislação**

<b>FLD superior a 2%</b>			
Bdlatd2	9,09		
Delatd2	10,61	Defund16	23,86
Ddfund2	14,77	Cdfront2	24,24
Ddlatd2	15,91	Ddlatd19	24,24
Belat2	16,67	Cefront2	25,00
Defund2	17,05	Defront16	25,00
Adfront2	17,05	Aefront2	26,52
Delatd16	17,42	Bdlate16	26,52
Defront2	17,80	Belat16	26,89
Bdfund2	18,18	Cefront16	28,03
Befront2	18,18	Ddfront16	31,44
Ddfront2	18,18	Bdfund16	31,82
Bdfront2	18,18	Befront16	32,20
Adfront16	18,18	Bdfront16	34,85
Bdlate2	21,97	Aefront16	35,23

Os ambientes com maior percentual do plano de análise com FLD superior a 2% são: Aefront16, Bdfront16, Befront16, todos a 16 metros de altura e localizadas na

fachada frontal. O percentual do plano de análise com FLD superior a 2% nesses ambientes é de 32,2 a 35,23%.

O cenário legislação, como esperado, apresenta uma condição de maior obstrução, que se comprova com a redução da iluminação natural no ambiente interno. O percentual de com FLD acima de 2% varia de 9,09 a 35,23%. Novamente lembrando que os valores obtidos são baixos em decorrência da profundidade do ambiente e da exclusão da componente refletida interna no cálculo da iluminação natural. Os eixos B e D podem ser considerados mais obstruídos e com pior performance da iluminação natural, enquanto os eixos A e C estariam menos obstruídos e apresentam melhor performance da luz natural. Ressalta-se porém que os eixos B e D apresentam maior número de ambientes.



**Figura 6. 56 – Percentual do plano de análise no ambiente interno nos intervalos de FLD - cenário legislação**

Na Tabela 6.16 é demonstrada a performance da iluminação no ambiente interno considerando o parâmetro iluminância (horário corresponde às 10:00 horas). Os valores apresentados na tabela indicam o percentual sobre o plano de análise compreendido no intervalo superior a 100 lux. Pode-se observar que os ambientes com menor percentual do plano de análise com iluminância superior a 100 lux são: Delatd2, Bdlatd2 e Ddfund2, os mesmos que mostram os menores valores para o FLD. Também coincidem os ambientes de melhor performance: Aefront16, Bdfont16 e Befront16.

**Tabela 6. 16 – Percentual do plano de análise no ambiente interno com iluminância superior a 100 lux - cenário legislação**

Percentual de iluminância superior a 100 lux			
De latd2	13,50		
Bd latd2	14,75	Cd front2	27,25
Dd fund2	15,75	Ddlatd 19	27,75
Dd front2	17,25	Ce front2	27,75
De latd 16	19,25	Be lat16	28,25
Bd front2	20,00	Ae front2	28,25
Ad front16	20,25	De front16	28,25
Ad front2	20,25	De fund16	28,25
Bd fund2	20,25	Bd fund16	30,25
De front2	21,25	Bd late16	32,00
De fund2	21,50	Dd front16	33,75
Dd latd2	21,75	Ce front 16	36,25
Be lat2	22,50	Be front16	36,75
Be front2	26,50	Bd front16	39,75
Bd late2	27,00	Ae front 16	43,00

Na Tabela 6.17 a seguir, pode-se visualizar os resultados obtidos com o FCV e com o FCP nos ambientes em análise no cenário legislação. Os dois fatores estão agrupados em intervalos de ocorrência. Também se obteve a média dos valores encontrados. Os ambientes com menor FCV são Ddfund2, Bdlatd2 e Delatd2. O menor FCP é encontrado nos ambientes Bdlatd2, Delatd2 e Ddlatd2.

**Tabela 6. 17 – FCV e FCP - Percentual do plano de análise nos intervalos e média – cenário legislação**

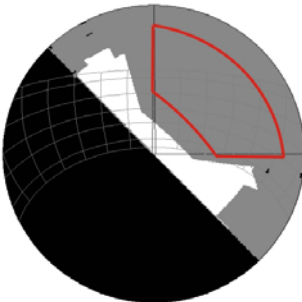
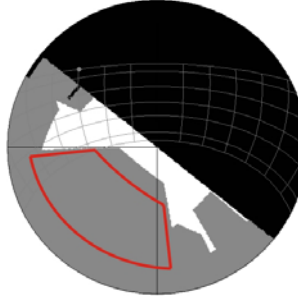
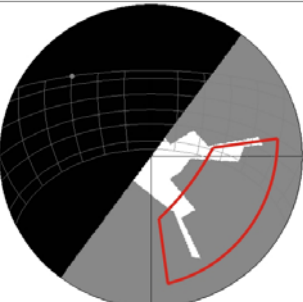

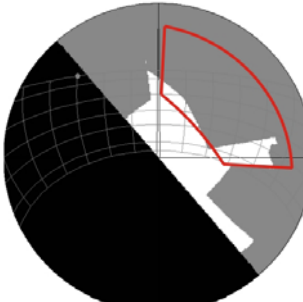
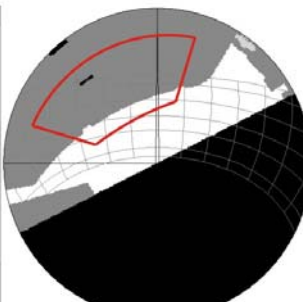
Fator de Céu Visível							Fator de Céu Preferível						
	<10%	10 - 20%	20 - 30%	30 - 40%	>40%	Média		<3%	3 - 6%	6 - 9%	9 - 12%	>12%	Média
Ddfund2	100	0	0	0	0	6,8	Bdlatd2	100	0	0	0	0	0
Bdlatd2	7,20	92,80	0	0	0	11,0	Delatd2	100	0	0	0	0	0,3
Delatd2	0	100	0	0	0	11,6	Ddlatd2	100	0	0	0	0	2,2
Belat2	0	100	0	0	0	12,8	Ddfund2	100	0	0	0	0	2,3
Ddlatd2	0	100	0	0	0	15,8	Defund2	100	0	0	0	0	2,4
Defund2	0	100	0	0	0	18,1	Belat2	60,98	39,02	0	0	0	2,8
Bdlate2	0	61,36	38,64	0	0	19,5	Adfront2	90,15	9,85	0	0	0	2,9
Adfront2	0	0	100	0	0	21,4	Delatd16	28,03	71,97	0	0	0	3,3
Bdfund2	1,52	5,68	92,80	0	0	21,5	Defront2	0	100	0	0	0	4,3
Defront2	0	6,06	93,94	0	0	22,0	Bdfund2	0	100	0	0	0	4,9
Delatd16	0	0	100	0	0	23,2	Bdlate2	0	69,32	30,68	0	0	5,3
Befront2	0	0	100	0	0	24,3	Ddfront2	0	100	0	0	0	5,4
Cdfront2	0	0	100	0	0	25,3	Befront2	0	100	0	0	0	5,5
Ddfront2	0	0	100	0	0	25,5	Defund16	0	100	0	0	0	5,6
Cefront2	0	0	100	0	0	25,7	Cefront2	0	0	100	0	0	6,5
Bdfront2	0	0	100	0	0	26,0	Adfront16	0	0	100	0	0	7,2
Defund16	0	0	100	0	0	28,5	Ddlatd19	0	0	100	0	0	7,3
Belat16	0	0	100	0	0	28,7	Bdfront2	0	0	100	0	0	7,9
Adfront16	0	0	26,52	73,48	0	30,2	Cdfront2	0	0	100	0	0	8,0
Ddlatd19	0	0	32,58	67,42	0	30,4	Defront16	0	0	79,55	20,45	0	8,8
Defront16	0	0	0	100	0	31,2	Bdlate16	0	0	14,02	81,06	4,92	10,3
Bdlate16	0	0	4,92	95,08	0	33,1	Aefront2	0	0	0	100	0	10,7
Aefront2	0	0	5,68	94,32	0	33,3	Belat16	0	0	0	98,48	1,52	11,2
Befront16	0	0	0	100	0	34,8	Befront16	0	0	0	70,83	29,17	11,8
Bdfund16	0	0	4,92	95,08	0	36,4	Cefront16	0	0	0	0	100	12,6
Cefront16	0	0	0	100	0	37,3	Bdfund16	0	0	0	0	100	13,6
Bdfront16	0	0	0	100	0	38,6	Ddfront16	0	0	0	0	100	13,9
Ddfront16	0	0	0	100	0	38,9	Bdfront16	0	0	0	0	100	15,7
Aefront16	0	0	0	5,68	94,32	43,3	Aefront16	0	0	0	0	100	16,3

Um dos objetivos da análise sobre a tabela 6.17 foi verificar se os valores médios representariam de forma satisfatória os valores encontrados sobre o plano de análise. A confirmação dessa hipótese resultou na utilização dos valores médios, encontrados com o FCV e FCP, para a correlação com a performance do iluminação no ambiente interno.

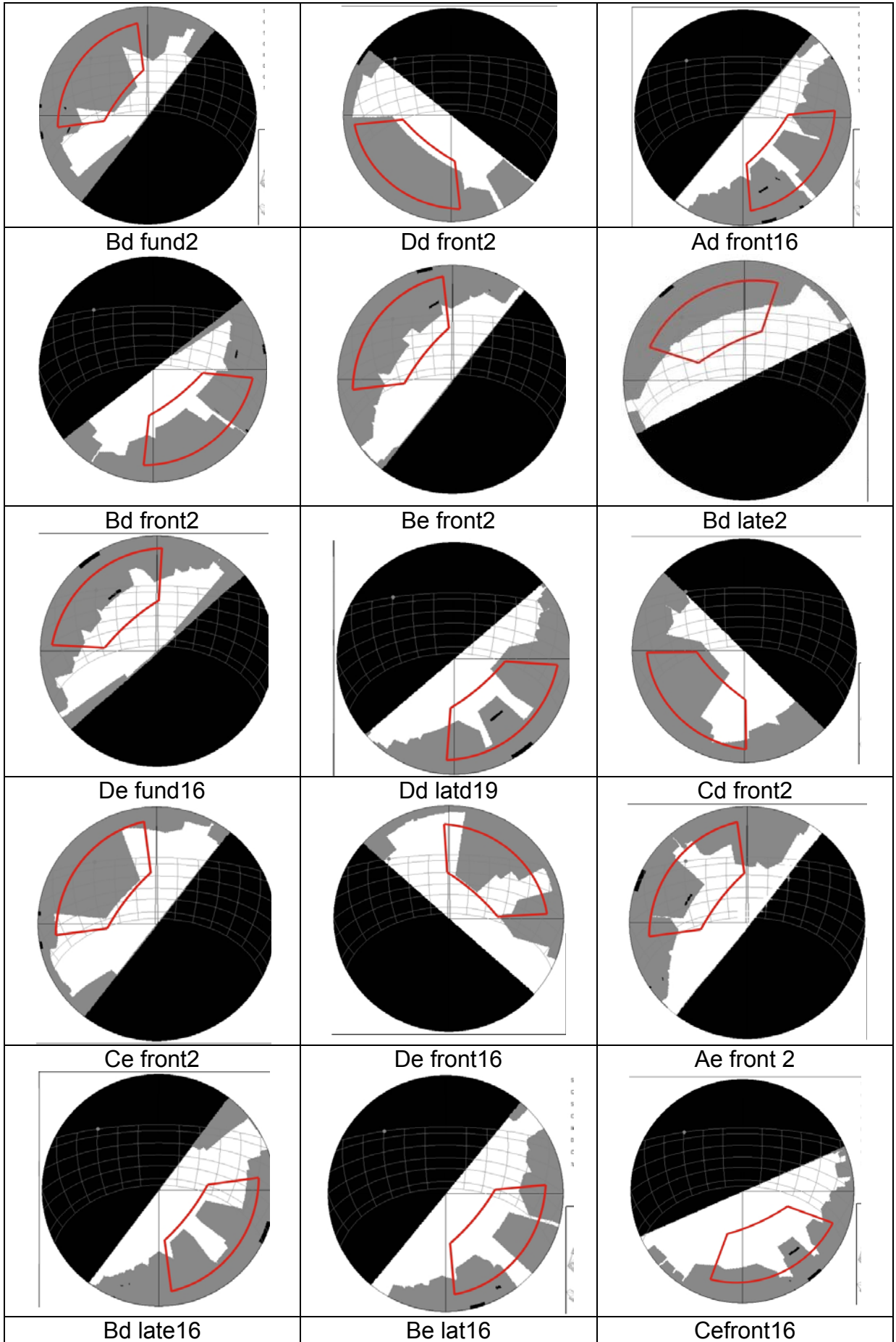
As máscaras de obstrução do entorno do cenário legislação estão apresentadas na tabela 6.18 e foram ordenadas em ordem crescente. Os ambientes de maior obstrução do céu são apresentados inicialmente.

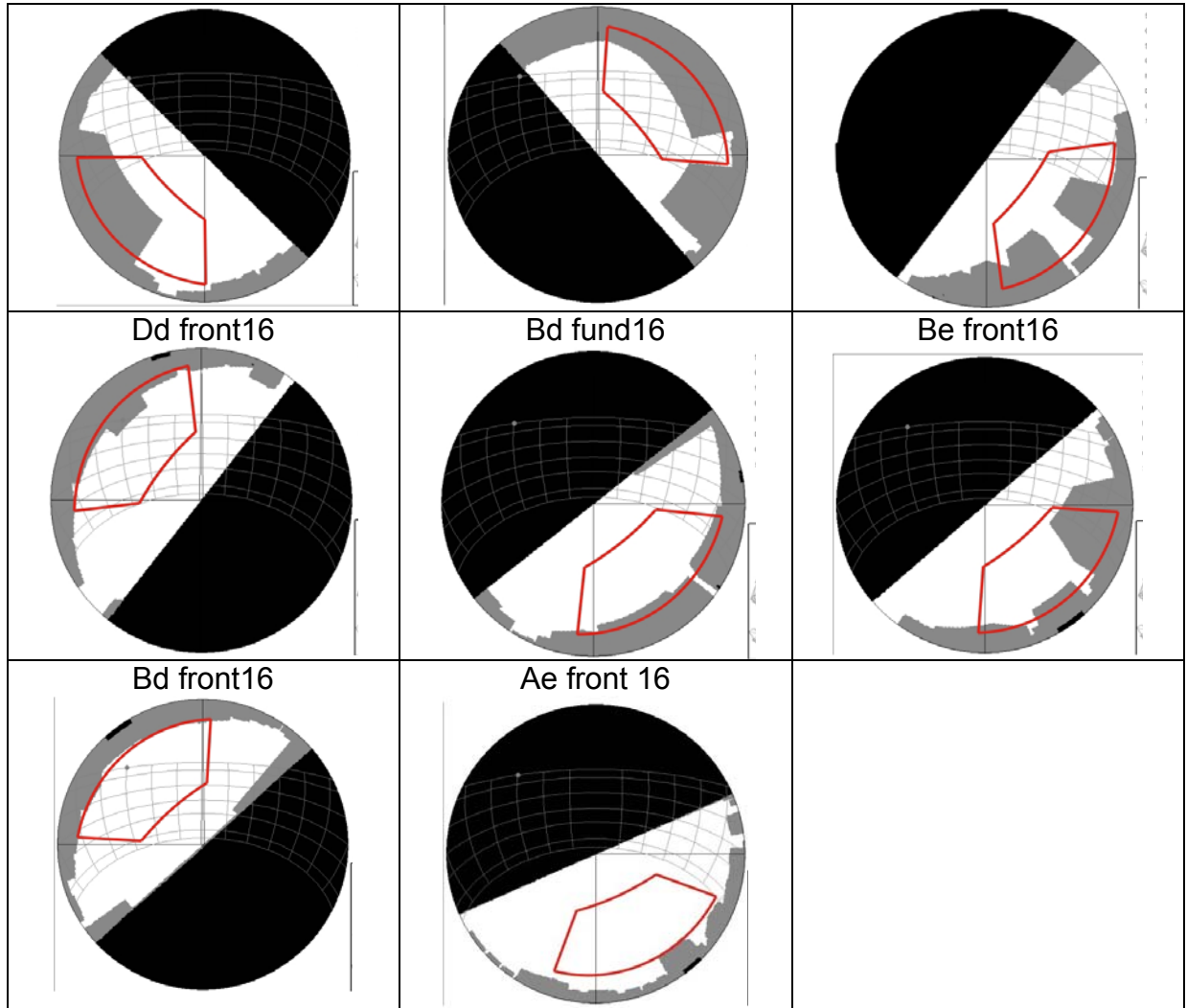
Com as máscaras podem ser observados ambientes nos quais o fator de céu visível é relativamente baixo ou mediano. No entanto, em consequência de grande parte desse céu visível estar incluído dentro da área de céu preferível, os percentuais de FLD no ambiente interno são maiores. Destacam-se no cenário legislação os ambientes Ddfund2, Belat2, Bdlate2, Cdfront2, Cefront2 e Belat16.

**Tabela 6. 18 - Máscaras sobre plano vertical externo no cenário legislação**

<p>Bd latd2</p> 	<p>De latd2</p> 	<p>Dd fund2</p> 
<p>Dd latd2</p> 	<p>Be lat2</p> 	<p>Ad front2</p> 
<p>De fund2</p>	<p>De latd16</p>	<p>De front2</p>







Fonte: Imagens geradas com o programa Apolux.

Na Figura 6.57 é possível visualizar, para cada ambiente em análise no cenário legislação, os valores encontrados para as variáveis FCV médio, FCP médio e percentual do plano de análise com FLD superior a 2%. Os valores obtidos com o percentual de FLD superior a 2% foram ordenados em ordem crescente, e as outras variáveis ordenadas segundo a seqüência obtida com o FLD.

No gráfico da Figura 6.57 observa-se algumas situações que podem ser explicadas se relacionadas com as máscaras apresentadas na Tabela 6.18. Como os ambientes que Ddfront2, Bdfont2 e Adfront2

A partir do gráfico gerado (Figura 6.57), verifica-se que a curva resultante com os valores de FCP é muito similar à curva obtida com o FLD, o que aparentemente confirma a existência de maior influência da Janela de Céu Preferível sobre a iluminação no ambiente interno. Posteriormente, com a correlação linear positiva

encontrada entre o FCP e FLD de 0,95 (Tabela 6.19) a hipótese de forte correlação é confirmada.

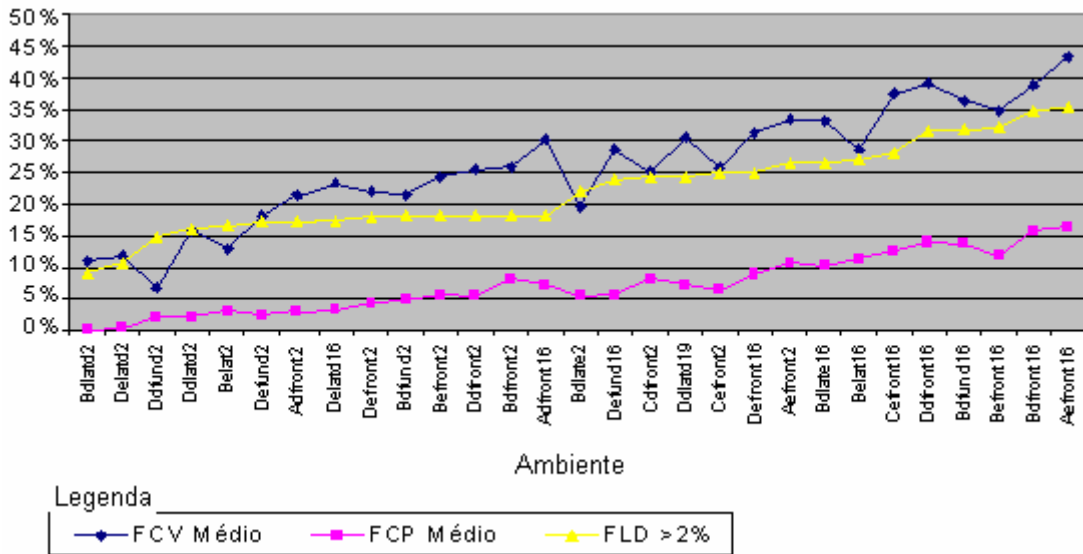


Figura 6. 57 – Curva do Fator de Céu Visível, Fator de Céu Preferível e FLD inferior a 2%

A curva resultante do FCV também é similar à curva do FLD, e a correlação entre ambas apresentou um valor de 0,90. Valor bastante elevado, porém, inferior àquele encontrado com o FCP.

Tabela 6. 19 – Correlação linear de Pearson entre FCV, FCP e FLD

	FCV x FLD	FCP x FLD
<b>Correlação linear de Pearson</b>	0,90	0,95

Na Figura 6.58 são apresentados os gráficos de dispersão para o FCV médio e o percentual de FLD superior a 2% e também o FCP médio e o percentual de FLD superior a 2%, cenário legislação.

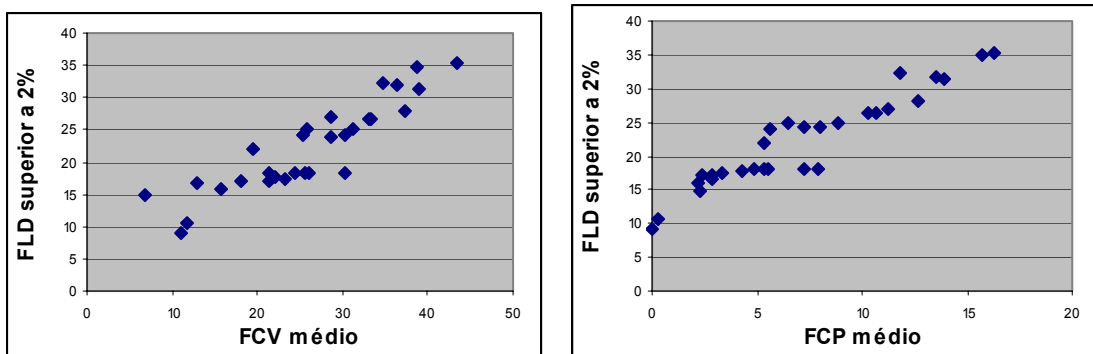


Figura 6. 58 – Gráfico de dispersão: FCV médio x FLD e FCP médio x FLD - Cenário Legislação

Sobre o gráfico da Figura 6.57 destaca-se ainda os ambientes Dd fund2, Be lat2, Bd late2 e Be lat16, para os quais a curva do céu visível, que vinha apresentando um comportamento crescente, mostra uma redução brusca. Nessa condição, esperava-se uma redução também na curva do FLD, o que ocorreu, devido à maior influência do Fator de Céu Preferível na iluminação do ambiente interno, que, por sua vez, não apresentou redução no comportamento crescente que vinha demonstrando.

A Figura 6.59 exibe os valores encontrados para as variáveis FCV Médio, FCP Médio e o percentual do plano de análise com iluminância superior a 100 lux. Nesse caso, as curvas FCV e FCP apresentam semelhanças com a curva da iluminância, com uma leve tendência para o FCP. Pode-se destacar novamente as situações Ddfund2, Belat2 e Bdlate2, que apresentam uma redução no FCV, que, contudo, não é percebida na curva da iluminância e tampouco na curva do FCP.

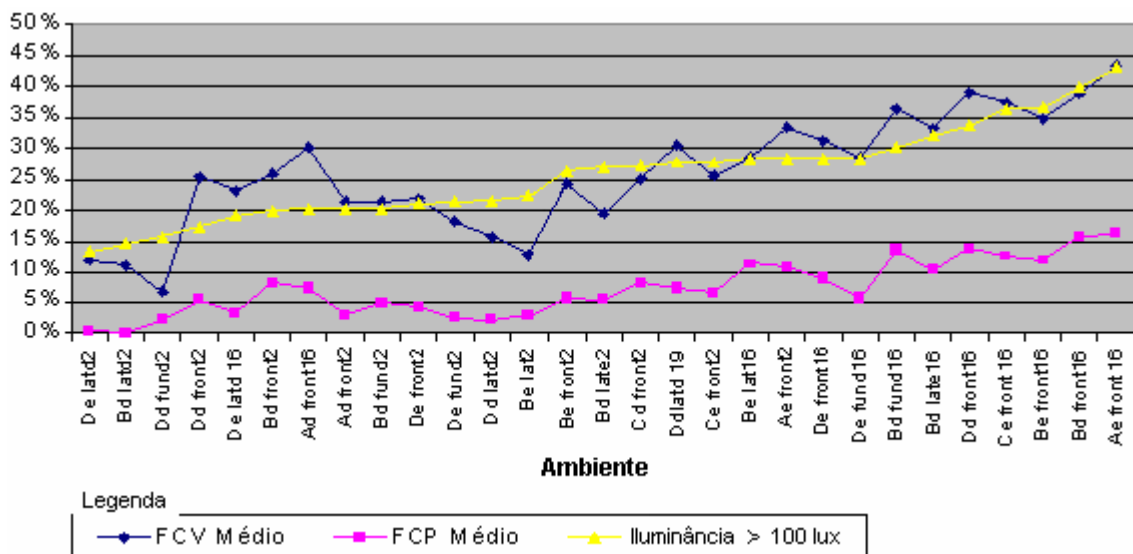


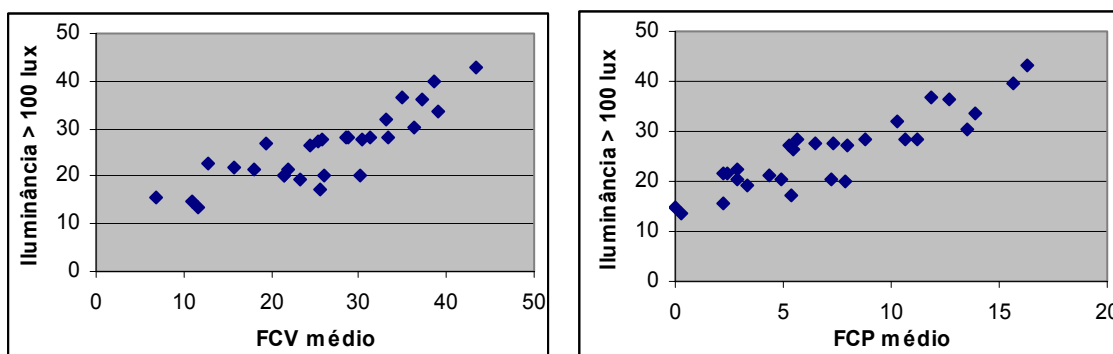
Figura 6. 59 – FCV médio, FCP médio e percentual do ambiente com iluminância superior a 100 lux

A correlação entre o FCP e a iluminância, de 0,90, novamente é superior a correlação entre o FCV e a iluminância, de 0,86, ver Tabela 6.20.

Tabela 6. 20 – Correlação linear de Pearson entre FCV, FCP e Iluminância superior a 100 lux

	FCV x Iluminância	FCP x Iluminância
<b>Correlação linear de Pearson</b>	0,86	0,90

Na Figura 6.60 pode-se visualizar os gráficos de dispersão para o FCV médio e o percentual de iluminância superior a 100 lux e também o FCP médio e o percentual de iluminância superior a 100 lux, cenário legislação.



**Figura 6. 60 – Gráficos de dispersão: FCV médio x iluminância superior a 100 lux e FCP médio x iluminância superior a 100 lux – Cenário Legislação**

Novamente com o objetivo de reforçar a correlação obtida entre o FCP e a performance da iluminação natural no ambiente interno, através das variáveis FLD e iluminância, obteve-se a correlação entre o céu remanescente e as referidas variáveis. Na tabela 6.21 é possível visualizar a correlação encontrada entre o céu remanescente e as variáveis da performance da iluminação natural.

**Tabela 6. 21 – Correlação linear de Pearson entre Céu remanescente, FLD e iluminância – Cenário Legislação**

	Céu remanescente x FLD	Céu remanescente x iluminância
<b>Correlação linear de Pearson</b>	0,76	0,73

A correlação obtida entre o céu remanescente e as variáveis FLD e iluminância apresenta-se mais forte que aquela encontrada no cenário atual. Contudo, trata-se de um valor considerado de moderada correlação. Prevalendo ainda os valores obtidos com o FCP de maior correlação.

#### 6.4.4 Análise das imagens dos cenários

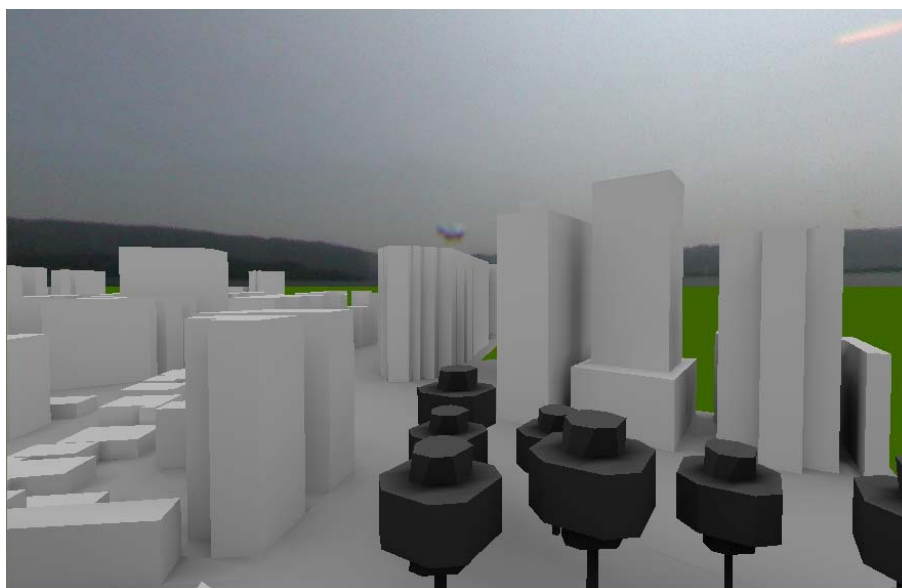
Ao aproximar-se do final do trabalho, não se poderia encerrá-lo sem a análise de algumas imagens resultantes da simulação da luz natural nos cenários. A

metodologia de construção dos cenários e a posterior simulação do comportamento da luz natural oferecem várias possibilidades de investigações, algumas comentadas a seguir. O ponto do observador, nas imagens a serem apresentadas, está localizado na planta do cenário, Figura 6.61, e é numerado em 1, 2 e 3.



**Figura 6. 61 – Mapa com a indicação do ponto do observador na posição 1, 2 e 3**

A Figura 6.62 resulta da simulação da luz natural sobre o Cenário Legislação com o ponto do observador na posição 1 (Figura 6.61). O céu que aparece ao fundo é um céu real na cidade de Florianópolis, inserido posteriormente à simulação. Os elementos inseridos no cenário são simplificados, como por exemplo, as árvores são estilizadas para reduzir o tempo de processamento.



**Figura 6. 62 – Simulação da luz natural no cenário legislação**

Ainda sobre a Figura 6.62, ressalta-se que não houve preocupação com a cor (apenas com o coeficiente de reflexão), assim como as fachadas são simplificadas. Contudo, se houver um refinamento dessas variáveis, pode-se reproduzir uma situação muito próxima do real, possibilitando análises de aspectos e variáveis qualitativas do espaço urbano.

As Figuras 6.63 e 6.64 resultam da simulação da luz natural sobre o cenário atual e representam as iluminâncias e luminâncias. Essa variável do programa Apolux permite a análise visual da distribuição da iluminação, possibilitando simultaneamente avaliações qualitativas e quantitativas. Na Figura 6.63 a imagem foi tomada a partir da praça Olívio Amorim, posição 2 na Figura 6.61. As cores representam a distribuição das iluminâncias sobre as superfícies do cenário. Os planos de cobertura apresentam os máximos valores, em torno de 15.000 lux. O plano da rua, passeios e a praça apresentam valores um pouco reduzidos em relação aos planos de cobertura, em torno de 4.000 e 7500 lux. As fachadas apresentam valores variáveis entre 400 e 6.500 lux. Pode-se observar que a distribuição sobre as fachadas é desigual, com áreas de menor iluminâncias, que se atribui à proximidade com outras edificações e reentrâncias na forma do edifício.

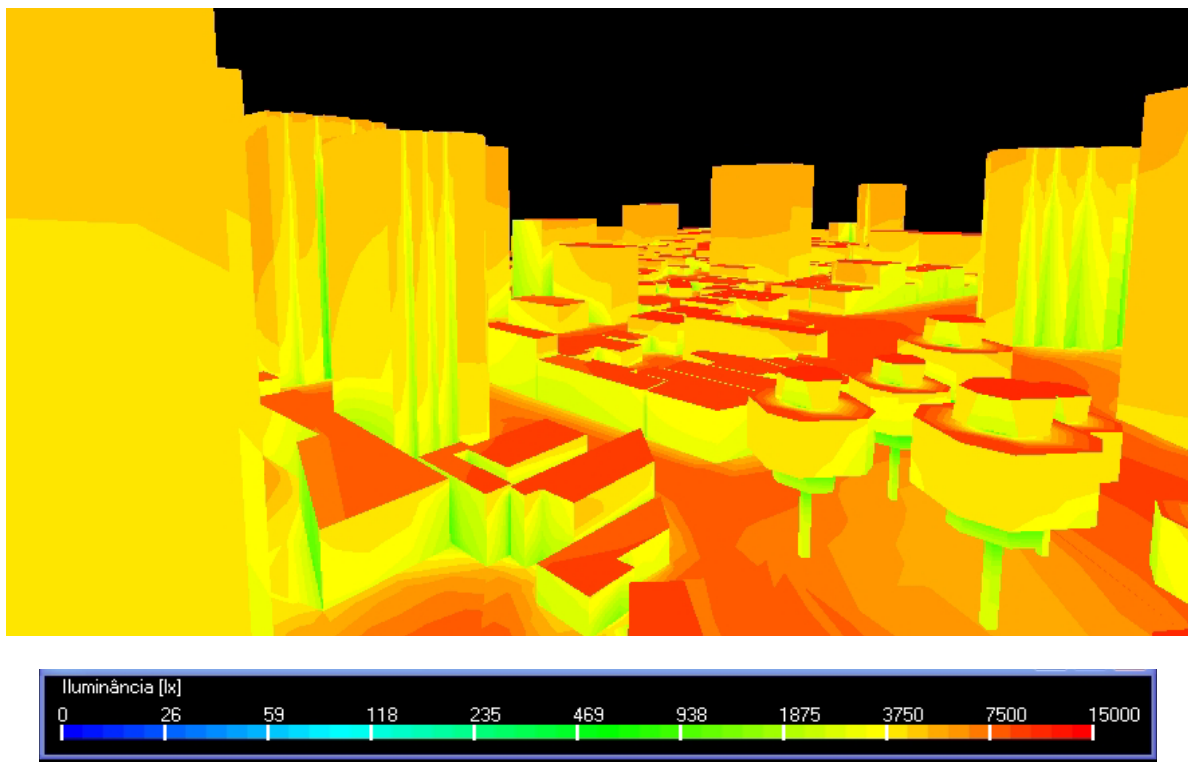


Figura 6. 63 – Imagem em cor falsa do cenário atual

A imagem exibida na Figura 6.64 resultou do cenário atual na posição 3, assinalada no mapa da Figura 6.61, as cores indicam as luminâncias sobre as superfícies do cenário. O retângulo em azul sobre algumas fachadas aponta as aberturas dos ambientes internos em análise, como o indicado na seta e que representa o eixo D. Assim como na imagem com as iluminâncias, os planos de cobertura apresentam os maiores valores, entre 600 e 1200  $\text{cd}/\text{m}^2$ . Os planos da rua, passeio e meio de lote apresentam valores entre 243 e 700  $\text{cd}/\text{m}^2$ ; nas proximidades das edificações os valores são mais baixos; no meio dos lotes se percebe o efeito de sombreamento dos edifícios, através da redução na luminância. Sobre as fachadas, as luminâncias variam em torno de 400 a 700, com os menores valores mais próximos dos planos inferiores, devido ao sombreamento do entorno.

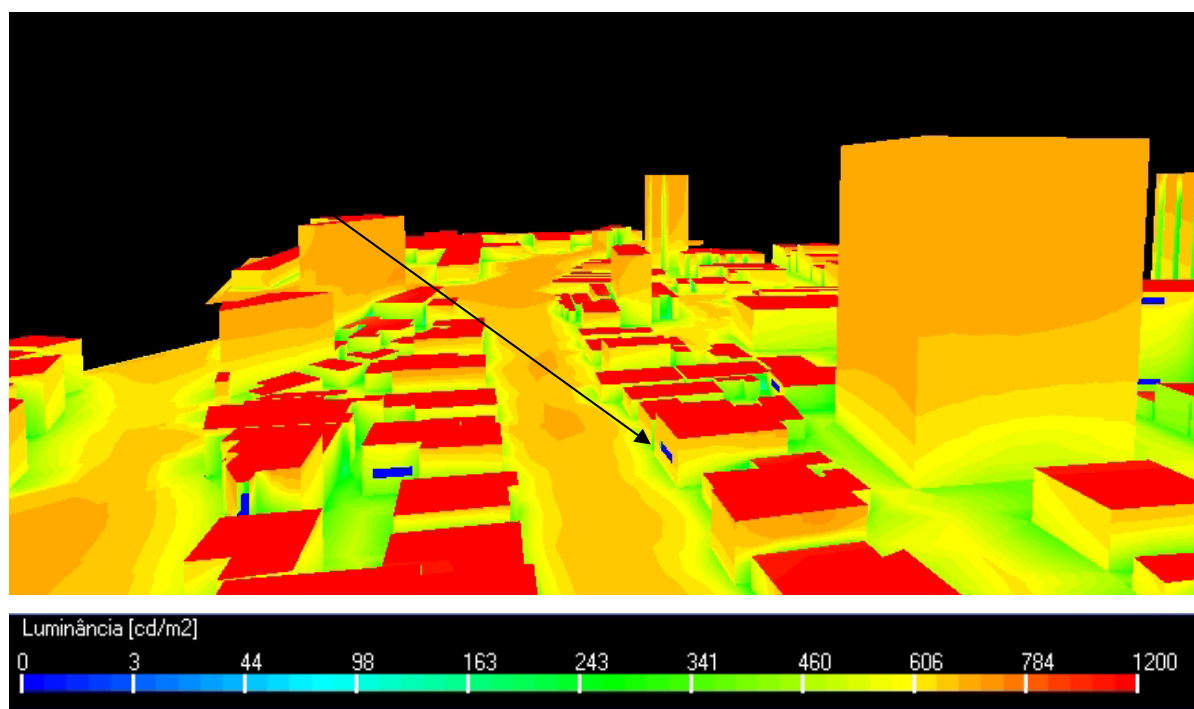


Figura 6. 64 – Imagem em cor falsa representando a luminância

Ao finalizar as análises das imagens dos cenários, destaca-se que a metodologia desenvolvida nesta pesquisa pode ser utilizada em outras investigações e, principalmente, que é possível tirar partido de potencialidades dos programas utilizados, que não foram, ou foram pouco, exploradas no escopo desse trabalho.





## capítulo 7

---

### **7 conclusão**

## 7.1 CONCLUSÃO

Atualmente existe uma lacuna na ocupação urbana e uma redução da disponibilidade de luz natural, resultante dessa ocupação. Acredita-se que o controle dessa situação deveria basear-se no conhecimento do impacto que a obstrução do céu provoca na iluminação natural dos espaços internos. A partir dessa motivação, esse trabalho propôs um parâmetro de garantia do acesso à luz natural que pode ser utilizado no controle da ocupação urbana.

Os primeiros capítulos do trabalho apresentaram a revisão bibliográfica sobre luz e iluminação natural. O primeiro capítulo refere-se a aspectos gerais e os dois seguintes contemplam a luz natural no meio externo e no ambiente interno. As principais conclusões dessa etapa foram:

- A possibilidade da área do céu visualizada a partir de um plano horizontal localizado no ambiente interno apresenta-se como um parâmetro a ser explorado;
- As leis e normas atuais que tratam a luz natural nas edificações e no meio urbano são baseadas em critérios simplistas, negligenciando importantes aspectos, tais como: alturas variadas e vazios existentes entre as edificações e a efetiva disponibilidade da luz natural;
- A distribuição de luminâncias na abóbada celeste, proposta desenvolvida inicialmente por Tregenza (1993) e inserida na NBR 15215 (2005), constitui-se em uma metodologia que permite caracterizar o potencial de iluminação da abóbada celeste em relação a planos em diferentes inclinações e condições de obstrução, inclusive no ambiente interno;
- As propostas de controle de obstrução do céu de autores como Hopkinson (1975), Littlefair (1991) e Robbins (1986) podem ser consideradas limitadas, pois se resumem à determinação de ângulos de proteção, que desconsideram os vazios entre as edificações e as diferenças de luminância da abóbada.

O capítulo sobre a metodologia dividiu-se em três etapas. A primeira refere-se à definição do parâmetro proposto neste trabalho: Janela de Céu Preferível. A segunda etapa trata da verificação da relação existente entre o parâmetro Janela de Céu Preferível e a iluminação natural em ambientes internos, com o objetivo de confirmar a hipótese deste trabalho: a possibilidade de identificação de uma região do céu com maior potencial de iluminação em relação a um plano localizado em um

ambiente interno. Na terceira e última etapa, o referido parâmetro foi inserido em um recorte urbano, com a finalidade de relacionar o grau de obstrução do meio exterior com a iluminação natural no ambiente interno, utilizando o parâmetro proposto.

Os itens apresentados a seguir são o resultado das análises das três etapas adotadas no desenvolvimento do trabalho.

#### 7.1.1 Conclusões sobre a definição do parâmetro Janela de Céu Preferível

A caracterização do parâmetro compreendeu três aspectos principais: i) a contribuição de luz relativa de diferentes parcelas da abóbada celeste, ii) o efeito redutor associado ao cosseno do ângulo de incidência e iii) o percentual de visão da abóbada pelo ambiente interno. A consideração destas três variáveis permitiu a caracterização do efetivo potencial de iluminação da abóbada celeste no ambiente interno. As principais conclusões são apresentadas a seguir.

- Embora a contribuição de luz relativa da abóbada celeste sobre o plano horizontal seja a porção da maior luminância, quando ela ilumina um plano vertical externo, ocorre um deslocamento das áreas de maior contribuição, estando a área de maior contribuição na região da abóbada com altitude solar de  $8,5^\circ$  e  $59,5^\circ$  e no intervalo angular sobre o eixo longitudinal de  $45^\circ$  à esquerda e  $45^\circ$  à direita (em relação à normal). Associa-se a esse fenômeno o efeito cosseno sobre o ângulo de incidência;
- Com a análise do efeito cosseno sobre o ângulo de incidência, conclui-se que o efeito cosseno sobre o ângulo da luz incidente é mais significativo a partir do ângulo de  $45^\circ$ .

Sobre o percentual de visão do céu no ambiente interno, as principais observações foram:

- As zonas da abóbada com maior percentual de visão no ambiente interno são aquelas próximas do horizonte, também localizadas próximas ao eixo normal da abertura, que, quando centralizada, apresenta simetria;
- Para aberturas descentralizadas ocorre assimetria, com a inclinação, do conjunto de valores mais elevados, para a lateral em que se encontra a abertura;

- Sobre a variável largura do ambiente x largura da abertura, observa-se que, quando a abertura corresponde à largura do ambiente, os percentuais apresentam valores altos, chegando a 100%, e que quando se reduz a largura da abertura, ocorre também uma redução no percentual, com valores em até 50%;
- No ambiente de maior profundidade, as áreas de maior percentual estão concentradas próximas à normal em relação à abertura, em torno de ângulos horizontais de 25° a 30°, enquanto que, no ambiente de menor profundidade, percebe-se um espalhamento dessas áreas com ângulos horizontais de 40° e 50°;
- Quanto menor a profundidade do ambiente, maior o número de parcelas vistas. Em contrapartida, quanto maior a profundidade do ambiente, menor a porção do céu com visibilidade no ambiente interno.

Ainda sobre os gráficos de percentual de visão do céu no ambiente interno, destaca-se que a ferramenta proposta pode ser uma ferramenta de análise da influência da geometria da abertura e do ambiente na performance da iluminação natural, aspecto analisado rapidamente nesse trabalho.

Com os gráficos do potencial de iluminação do céu sobre um plano no ambiente interno, ressalta-se que as zonas da abóbada de maior contribuição na iluminação de um ambiente interno (para os ambientes em análise) situam-se entre os ângulos de altitude de 5° a 58° e entre os ângulos horizontais de, no máximo, 50°, à esquerda ou à direita. Essa contribuição é de aproximadamente 60% do fluxo luminoso incidente sobre o plano de análise no ambiente interno. Relembrando que, na contribuição relativa da abóbada sobre um plano horizontal, as áreas de maior valor encontram-se próximas ao zênite, enquanto que, nos gráficos do percentual de visão do céu no ambiente interno, as áreas de maior valor estão próximas à linha do horizonte. O gráfico do potencial de iluminação resulta do cruzamento dessas duas variáveis, conseqüentemente as zonas de maior potencial de iluminação localizam-se justamente em posição intermediária, com uma tendência para a linha do horizonte, na qual se observa que a variável de maior influência é o percentual de visão do céu.

Na definição da região da Janela de Céu Preferível, dois critérios subjacentes foram utilizados: nos ângulos horizontais (ou azimutais) foi adotado o limite de +/- 45°, considerando a influência do efeito cosseno, e nos ângulos verticais (altitude) o

ângulo inferior de 15° foi adotado como limite, ao considerar-se que usualmente essa altura apresenta-se obstruída, devido ao entorno natural ou construído.

Como resultado, a região da abóbada celeste definida para a Janela de Céu Preferível apresenta limites horizontais de 45° à esquerda e de 45° à direita, e limites verticais de 15° inferior e de 60° superior. A área proposta para o céu preferível apresenta um Fator de Céu Visível de aproximadamente 34%, enquanto que a área remanescente apresenta um Fator Céu Visível de aproximadamente 66%.

As conclusões sobre a verificação da proposta Janela de Céu Preferível são expostas a seguir.

#### 7.1.2 Conclusões sobre a verificação da iluminação natural no ambiente interno proveniente da Janela de Céu Preferível

A verificação da iluminação natural no ambiente interno proveniente da Janela de Céu Preferível foi realizada através da comparação da iluminação em um ambiente interno, proveniente de duas condições de obstrução do céu e do céu totalmente desobstruído. As obstruções do céu dividem-se em: Janela de Céu Preferível desobstruída e Janela de Céu Preferível obstruída. Complementarmente, foram ainda simulados modelos de obstrução do céu com a Janela de Céu Preferível subdividida, configurando situações nas quais a mesma encontra-se parcialmente obstruída.

As principais conclusões apresentadas a seguir referem-se à região da Janela de Céu Preferível, obstruída e desobstruída, e à Janela de Céu Preferível, subdividida internamente.

A análise da luz natural proveniente da Janela de Céu Preferível sobre um plano horizontal em alguns modelos de ambiente interno, e a comparação com a luz natural proveniente da área de céu remanescente confirmaram a confiabilidade do mesmo. A Janela de Céu Preferível, que corresponde a uma área de 34% da abóbada celeste, apresentou performance da iluminação natural próxima daquela encontrada com o céu totalmente desobstruído. Paralelamente, a área de céu remanescente, que representa 66% da abóbada, apresentou performance inferior.

Observando o percentual do FLD inferior a 2%, o céu remanescente apresentou a pior condição, em torno de 85%, a Janela de Céu Preferível, valores em torno de 70% e o céu desobstruído, de 65%.

Na comparação entre as iluminâncias obtidas com o céu totalmente desobstruído e a Janela de Céu Preferível, a diferença varia de 60% a 100%, enquanto a diferença entre o céu desobstruído e céu remanescente varia em torno de 30% a 60%.

Na análise da Janela de Céu Preferível subdividida internamente, conclui-se que as mesmas não apresentam diferenças significativas na performance da iluminação natural no ambiente interno.

Nas condições de obstrução da Janela de Céu Preferível, no eixo longitudinal (20%, 40%, 60% e 80%), pode-se afirmar que, em média, cada ampliação da área de céu preferível em 20% resulta em um aumento da iluminação no plano interno de 9%.

Nas condições de obstrução da Janela de Céu Preferível, no eixo latitudinal (parcela superior, mediana e inferior), pode-se concluir que a zona inferior apresenta contribuição maior na iluminação do ambiente interno, seguida pela zona mediana e, por último, a zona superior. A diferença é de no máximo 9%.

### 7.1.3 Conclusões sobre a Janela de Céu Preferível nos cenários urbanos

O parâmetro Janela de Céu Preferível foi aplicado em dois cenários urbanos, situação atual e situação com a máxima ocupação permitida pela legislação, definidos a partir de uma situação real e existente na cidade de Florianópolis. Esses cenários foram modelados com o auxílio do programa de simulação urbana, o Cityzoom, e, para a simulação da luz natural sobre os cenários, o programa Apolux. As principais conclusões sobre a caracterização do coeficiente de reflexão das superfícies verticais no meio urbano e sobre o parâmetro da Janela de Céu Preferível no cenário atual e legislação são apresentadas a seguir.

Com a metodologia empregada, o coeficiente de reflexão médio para o recorte urbano em análise é de 43,9 %. Com isso pode-se concluir que os valores de 20%, usualmente utilizados, estão abaixo daqueles normalmente encontrados em uma situação real.

Sobre os resultados obtidos com os cenários esperava-se uma relação entre o percentual de céu visível e a iluminação natural em ambientes externos ou internos, assim como se esperava que a Janela de Céu Preferível apresentasse uma

correlação superior àquela observada com o céu visível. Os resultados confirmaram essa hipótese, pois os dados apresentaram correlação linear positiva.

No cenário atual, a correlação encontrada entre o Fator de Céu Visível e o FLD foi de 0,82, enquanto que a correlação encontrada entre o Fator de Céu Preferível e o FLD foi de 0,94. A correlação entre o Fator de Céu Visível e a Iluminância foi de 0,81 e entre o Fator do Céu Preferível e a Iluminância foi de 0,87.

No Cenário Legislação, a correlação encontrada entre o Fator de Céu Visível e o FLD foi de 0,90, enquanto que a correlação encontrada entre o Fator de Céu Preferível e o FLD foi de 0,95. A correlação entre o Fator de Céu Visível e a Iluminância foi de 0,86 e entre o Fator do Céu Preferível e a Iluminância foi de 0,90.

A correlação verificada entre o céu remanescente e a performance da iluminação natural no ambiente interno nos cenários em análise é de fraca a moderada.

Considerando que a Janela de Céu Preferível apresenta forte correlação com a performance da iluminação natural no ambiente interno, pode-se confirmar a hipótese de que a Janela de Céu Preferível apresenta maior potencial de iluminação natural sobre um plano horizontal localizado em um ambiente interno.

Sobre a performance da iluminação natural observada nos dois cenários urbanos em análise, Cenário Atual e Cenário Legislação, observou-se que:

- O percentual sobre o plano de análise com FLD superior a 2% encontrado no Cenário Atual varia de 17,4% a 35,6%, enquanto para o Cenário Legislação a variação é de 9,09% a 35,23%. Os valores mais elevados observados nos dois cenários estão próximos, contudo os valores mínimos encontram-se mais críticos no Cenário Legislação.
- O percentual sobre o plano de análise com iluminância superior a 100 lux no Cenário Atual varia de 27,7% a 51,5%. No Cenário Legislação o percentual de iluminância superior a 100 lux é de 13,5% a 43%. Para a iluminância observa-se uma redução nos valores mínimos e máximos encontrados no Cenário Legislação em comparação com o Cenário Atual.
- O FCV no Cenário Atual varia de 13,4% a 46,4%, para o Cenário Legislação a variação é de 6,8% a 43,4%. Com o FCV também se verifica redução nos valores mínimos para o Cenário Legislação.
- O FCP no Cenário Atual é de 0,3% a 16,9, enquanto no Cenário Legislação a variação é de 0% a 16,3%. A princípio poder-se-ia afirmar que os dois cenários apresentam comportamento semelhante. Contudo, no Cenário Atual

observa-se maior número de ambientes com FCP superior a 10%, que determina melhor performance dessa variável no Cenário Atual.

Como conclusão geral sobre a performance da iluminação observada nos dois cenários pode-se afirmar que o Cenário Atual apresenta melhor performance.

#### 7.1.4 Conclusões finais

A integração entre os dois programas, Apolux e Cityzoom, mostrou ser uma metodologia adequada ao desenvolvimento desse trabalho. Principalmente, através da resolução das dificuldades de comunicação entre os programas, conclui-se que essa metodologia pode auxiliar em outras investigações, não somente de aspectos quantitativos como também, de qualitativos.

A contribuição do programa Cityzoom neste trabalho foi de grande importância. O Cityzoom consiste em uma ferramenta de múltiplas funções no exercício de planejamento urbano. Acredita-se que a integração entre os dois programas, e esse se constitui em um objetivo que ultrapassa os limites desse trabalho, pode efetivamente constituir uma ferramenta de auxílio e controle da disponibilidade da luz natural e insolação no meio urbano.

Destaca-se ainda que a utilização do programa de simulação da luz natural escolhido, o Apolux, foi de grande importância no desenvolvimento do trabalho. No decorrer do processo, houve alterações na rotina do programa, habilitando-o a tarefas extras como, por exemplo, os gráficos da contribuição relativa de diferentes parcelas da abóbada celeste, assim como a inclusão do Fator do Céu Preferível no programa. Essas alterações permitiram a realização das análises pretendidas e a obtenção dos objetivos deste trabalho.

A partir dos resultados obtidos com a correlação, conclui-se que investigações posteriores com o parâmetro proposto podem chegar à definição de uma equação que associe a iluminação no ambiente externo à obstrução no exterior. Também se observou que o padrão da obstrução é uma variável de grande influência, confirmando a hipótese de que os intervalos entre as edificações podem apresentar forte impacto na iluminação do ambiente interno.

Acredita-se que o parâmetro proposto, Janela de Céu Preferível, possa vir a ser uma ferramenta de controle da disponibilidade da luz natural em meios urbanos. Servindo de base na definição das regras urbanísticas de ocupação do solo e a conseqüente obstrução do céu. Variáveis urbanísticas como o afastamento entre as



edificações, os recuos frontais e o gabarito podem ser definidos tendo como parâmetro a JCP.

Outra possibilidade de investigação a partir do parâmetro JCP é a determinação de regras edilícias presentes nos códigos de edificações como o posicionamento das janelas nas fachadas das edificações, assim como dimensionamento mínimo da área das aberturas.

#### 7.1.5 Sugestões para trabalhos futuros

O parâmetro Janela de Céu Preferível desenvolvido neste trabalho, embora tenha apresentado resultados satisfatórios, possui algumas limitações, que poderiam ser reduzidas para obter maior aplicabilidade. As seguintes ações são sugeridas:

- Análise de um maior número de modelos de ambiente interno;
- Análise com maior número de soluções de abertura;
- Análise com diferentes posicionamentos do ambiente interno no edifício;
- Análise de outros cenários urbanos;
- Análise com a condição de céu claro e parcialmente encoberto.

Destaca-se que a introdução do sol na análise do parâmetro Janela de Céu Preferível mostra dois aspectos de grande importância a serem explorados: a orientação do edifício e a variável insolação.

O parâmetro Janela de Céu Preferível foi desenvolvido com o objetivo de auxiliar o processo de ocupação urbana, de maneira que ele possa ocorrer com a garantia da disponibilidade de luz natural. Dentro desse contexto, as seguintes ações podem ser conduzidas utilizando o referido parâmetro:

- Definição de coeficientes mínimos de área da Janela de Céu Preferível que possam garantir ao ambiente interno condições mínimas de iluminação natural;
- Definição de limites de ocupação urbana, como afastamentos, recuos e gabarito, a fim de garantir o direito da disponibilidade de luz natural.

Na definição do parâmetro de céu preferível, algumas metodologias desenvolvidas podem ser mais exploradas. Um exemplo é o gráfico do percentual de visão da abóbada celeste sobre um plano de análise no ambiente interno. Esse gráfico pode ser, a exemplo do parâmetro denominado de linha de não visão de céu (LYNES, 1968; LITTLEFAIR, 2001) - com a vantagem de ser tridimensional

enquanto o parâmetro de Lynes e Littefair é bidimensional - uma ferramenta de apoio no desenvolvimento de regras para o controle da luz natural no ambiente interno. Observou-se que variações como a geometria do ambiente (largura, profundidade e área) e a geometria e posicionamento da abertura apresentaram grande influência. Essa influência foi abordada de forma simplificada neste trabalho e possibilita uma série de investigações que, acredita-se, podem auxiliar no desenvolvimento de um parâmetro de garantia da luz natural no ambiente interno mais efetivo que a atual regra de 1/6 e 1/8 da área do ambiente.

Também merece destaque a metodologia desenvolvida para a análise da iluminação natural no cenário urbano. Uma importante etapa do trabalho que demandou esforço adicional na compatibilização de dois programas distintos, que não possuíam interface entre si. A resolução desse problema tornou possível a compatibilização entre os dois programas e possibilita a análise da insolação e da luz natural em outros recortes e meios urbanos. Nesse contexto são também sugeridas:

- Análise da magnitude e distribuição das luminâncias e iluminâncias nos planos verticais e horizontais no cenário urbano;
- Análise das horas de insolação sobre os planos verticais e horizontais no cenário urbano. Nesse contexto, possibilidades como o potencial de aproveitamento da radiação solar para fins energéticos poderia ser mensurado.
- Análise sobre a influência de variações de *skyline*, largura de rua, afastamentos e recuos, gabarito e densidade sobre a luz natural no meio urbano.

## **Referências**

## REFERÊNCIAS

ALI-TOUDERT, F.; MAYER, H. Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. **Building and Environment**, London, v.41, p.94-108, 2006.

ALUCCI, M. P. **Conforto térmico, conforto luminoso e conservação de energia elétrica: Procedimentos para desenvolvimento e avaliação de projeto de edificações**. São Paulo, 225p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 1992.

\_\_\_\_\_. Eficiência da iluminação natural: procedimento de cálculo / software Lux 1.0. Nutau 2002, São Paulo.

\_\_\_\_\_; ASSIS, E. S.; SCARAZZATO, P. S. Subsídios para normalização da iluminação natural no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO, 4., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: ANTAC (Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído), 1997.

AMARAL, M.G.V. **Iluminação natural: revisão da legislação construtiva de Florianópolis**. Florianópolis, 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

\_\_\_\_\_; PEREIRA, F. O. R. Iluminação natural: revisão da legislação construtiva de Florianópolis. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO, 5., 1999, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ANTAC, 1999.

ASCHEHOUG, O.; CHRISTOFFERSEN, J.; JAKOBIAK, R.; JOHNSEN, K.; LEE, E.; RUCK, N.; SELKOWITZ, S. Daylight in Buildings: A source book on daylighting systems and components. **A report of International Energy Agency (IEA) Solar Heating and Cooling Programme Task 21**, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, 2000. Disponível em: <<http://www.iea-shc.org>> Acesso em: dez 2005.

ASHRAE - American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers. 90.1 Code Compliance Manual, 1995.

ASSAF, L.; PEREIRA, F.O.R. Perspectivas de la eficiencia energética en la iluminación: Desafios para el desarrollo. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO, 7., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2003.

ASSIS, E. S. A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexões sobre uma trajetória. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO, 8., 2005, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2005.

\_\_\_\_\_; VALADARES, V. M.; SOUZA, R. V. G. Bases para a determinação dos recuos e volumetria dos edifícios, considerando a insolação e iluminação natural, na

revisão da lei de uso e ocupação do solo de Belo Horizonte, MG. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO, 3., 1995, Gramado. **Anais...** Gramado: ANTAC, 1995.

AUGENBROE, G.; DE WILDE, P.; MOON, H. J.; MALKAVI, A. The design analysis integration (DAI) initiative. In: BUILDING SIMULATION, 8., 2003, Eindhoven, Netherlands. **Proceedings...** Eindhoven: IBPSA (International Building Performance Simulation Association), 2003, p.79-86.

\_\_\_\_\_. An interoperability workbench for design analysis integration. **Energy and buildings**, London: Elsevier, v.36, p.737-748, 2004.

BAHIA, S. R.; GUEDES, P. A.; THOMÉ, M. R. V.; LA ROVERE, A. L. N. **Modelo para elaboração de código de obras e edificações**. Rio de Janeiro: IBAM/DUMA, 1997. 151p.

BAKER, N.; STEEMERS, K. **Daylighting design of buildings**. London: James & James, 2002. 250 p.

BAKER, N.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K. **Daylighting in Architecture**. London: James & James, 1993.

BEGEMANN, S.H.A.; VAN DEN BELD, G.J. Daylight, artificial light and people in an Office environment, overview of visual and biological responses. **Internacional Journal of Industrial ergonomics**, London: Elsevier, v.20, n.3, p.231-239, 1997.

BITTENCOURT, LEONARDO. **Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos**. Maceió: Edufal, 1990. 93p.

BODART, M.; DE HERDE, A. Global energy savings in offices buildings by the use of daylighting. **Energy and buildings**, London: Elsevier, V.34, N.5, p. 421-429, 2002.

BOUBEKRI, M.H.; BOYER, L.L. Effect of window size and sunlight presence of glare. **Lighting Research & Technology**, London, v.24, n.2, p.69-74, 1992.

BRANDÃO, R. S.; ALUCCI, M. P. Solar access in tropical cities: towards a multicriteria solar envelope. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ARCHITECTURE, 22., 2005, Beirut. **Proceedings...** Beirut: Passive and Low Energy Architecture Association (PLEA), 2005.

\_\_\_\_\_. Procedimento para a avaliação do impacto de novas edificações no consumo energético do entorno. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 2005, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2005.

CABUS, R. Troplux: Um sotaque tropical na simulação da luz natural em edificações. Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., Maceió, 2005. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2005.

\_\_\_\_\_; PEREIRA, F. O. R. Avaliação através de método gráfico da distribuição de iluminâncias em ambientes. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., Salvador, 1997. **Anais...** Salvador: ANTAC, 1997.

CAPELUTO, G.I. Energy performance of the self-shading building envelope. **Energy and buildings**, London: Elsevier, v. 35, p.327-336, 2003.

\_\_\_\_\_. The influence of the urban environment on the availability of the daylighting in office buildings in Israel. **Buildings and Environment**, London: Elsevier, v. 38, p.745-752, 2003.

CAPELUTO, J. G; SHAVIV, E. On the use of solar volume for determining the urban fabric. **Solar Energy**, v.70, n.3, p. 275-280, 2001.

CARLO, J.; LAMBERTS, R.; GHISI, E. Energy Efficiency Building Code of Salvador, Brasil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AN LOW ENERGY ARCHITECTURE, 20., 2003, Santiago. **Proceedings...** Santiago: PLEA, 2003.

CARLO, J.; PEREIRA, F. O. R.; LAMBERTS, R. Iluminação natural para redução do consumo de energia de edificações de escritório aplicando propostas de eficiência energética para o código de obras de Recife. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., São Paulo, 2004. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004.

CARVALHO, L.T.A.; BASTOS, L.E.G. Simulação da iluminação natural para economia de energia e conforto lumínico em edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2., 1993, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 1993.

CARVALHO, H. J. M.; CORBELLA, O. D.; SILVA, F. A. G. Correlações entre atributos da morfologia urbana e variáveis climáticas em uma fração urbana da cidade de João Pessoa – PB. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2005, Maceió, **Anais...** Maceió: ANTAC, 2005.

CARVALHO, B. **Técnica da orientação dos edifícios**. Rio de Janeiro: Ao livro técnico, 1970. 106p.

CARVALHO, L. C. **Iluminação natural no projecto dos edifícios**. Lisboa: LNEC, 1997. Informativo técnico. 189p.

CASABIANCA, G., DE SCHILLER, S.; PERINA, M.F.; NICKISH, M. Solar access in médium and high density urban áreas in Argentina. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ARCHITECTURE, 18., Florianópolis, 2001. **Proceedings...** Florianópolis: PLEA, 2001.

CASTRO, A. P. A. S.; LABAKI, L. C.; CARAM, R. M.; BASSO, A.; FERNANDES, M. R. Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral. **Ambiente Construído**, Porto Alegre: ANTAC, V. 3, N.2, p.69-76, 2003.

CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS. **CIBSE Code for Interior Lighting**. CIBSE, London, 1994.

CHAIYAKUL, Y. Reduction of daylight in urban canyons with trees. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AN LOW ENERGY ARCHITECTURE, 21., 2004, Eindhoven. **Proceedings...** Eindhoven: PLEA, 2004.

CHATZIDIMITRIOU, A.; YANNAS, S. Microclimatic studies of urban open spaces in Northern Greece. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AN LOW ENERGY ARCHITECTURE, 21., 2004, Eindhoven. **Proceedings...** Eindhoven: PLEA, 2004.

CHAUVEL, P.; COLLINS, J.B.; DOGNIAUX, R.; LONGMORE, J. Glare from windows: current views of the problem. **Lighting Research & Technology**, London, v.14, n.1, p.31-46, 1982.

COMMISSION INTERNATIONALE L'ACLAIRAGE. TC 6-11. Draft: Ocular lighting effects on human physiology, mood and behavior. 2003.

CLARO, ANDERSON. **Modelo vetorial esférico para radiosidade aplicado à iluminação natural**. Florianópolis, 177p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas). Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

\_\_\_\_\_; PEREIRA, F. O. R. LuzSolar: prototype for the study of daylight in architecture and Urbanism. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 18., 2001, Florianópolis. **Proceedings...** Florianópolis: PLEA, 2001.

CLARO, A.; PEREIRA, F. O. R. Integração da especularidade ao método da radiosidade em iluminação. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ANTAC, 2002.

CRISP, V.H.C.; LITTLEFAIR, P.J.; COOPER, I.; MCKENNAN, G. **Daylighting as a passive solar energy option: an assessment of its potential in non-domestic buildings**. Garston: Building Research Establishment, 1988. 55p.

COMPAGNON, R. Solar and daylight availability in the urban fabric. **Energy and Buildings**, London, v.36, p.321-328, 2004.

Código de Obras do município de Florianópolis, 2000. Disponível em: <<http://www.pmf.sc.gov.br>>. Acesso em: out 2005.

CORREA, E. N.; PATTINI, A.; CÓRICA, M. L. FORNÉS, M.; LESINO, G. Evaluación del factor de visión de cielo a partir del procesamiento digital de imágenes hemiesféricas. Influencia de la configuración del cãnon urbano em la disponibilidad del recurso solar. **Avances em Energias Renovables y Médio Ambiente**, Argentina, v. 9, p.11.43-11.48, 2005.

DE WILDE, P.; VOORDEN, M. V. Providing computational support for the selections of energy saving building components. **Energy and buildings**, London: Elsevier, v. 36, p.749-758, 2004.

DE WILDE, P.; AUGENBROE, V.; VOORDEN, M. V. Invocation of building simulation tools in building design practice. In: BUILDING SIMULATIONS, Kyoto, Japan, 1999. **Proceedings...** Kyoto: IBPSA, 1999, p. 1211-1218.

DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT WELSH OFFICE. **Sunlight and daylight: Planning criteria and design of buildings**. London: Her Majesty's Stationery Office. 1972. 52p.

DIÁRIO OFICIAL. **Lei nº10.295** – Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. V.138, nº200 – Secção:1, p.1, 2001.

DUARTE, D. H. S.; SERRA, G. G. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlações e proposta de um indicador. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p.l 7-20. 2003.

EDMONDS, I.R.; GREENUP, P.J. Daylight in the tropics. **Solar energy**, London: Pergamon, v.73, n.2, p.111-121, 2002.

EMBRECHTS, R.; VAN BELLEGEM, C. Increased energy savings by individual light control. In: RIGHT LIGHT, 4., 1997, Copenhagen. **Proceedings...** Copenhagen: International Association for Energy-Efficient Lighting, 1997, p.179-182.

ENERGY RESEARCH GROUP. **Energie solar shading for the european climates. University college Dublin, European Commission Report**, 2000. Disponível em: <[http://erg.ucd.ie/mb\\_shading\\_system.pdf](http://erg.ucd.ie/mb_shading_system.pdf)>. Acesso em: ago 2004.

FANCHIOTTI, A.; AMORIN, C. Daylighting in commercial buildings: The use of new components and design solutions to optimize visual comfort and energy efficiency. In: BUILDING SIMULATION, 7., 2001, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: IBPSA, 2001, p.1341-1348.

FADZIL, S. F. S., SIA, S. **Sunlight control and daylight distribution analysis: the KOMTAR case study**. Building and Environment, London, V.39, p.713-717, 2004.

FERNANDEZ, J.; BASSO, M.; MESA, A.; ROSA, C. An assessment of the solar potential of built environments in the city of Mendoza, Argentina. A study in advance. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AN LOW ENERGY ARCHITECTURE, 18., 2001, Florianópolis. **Proceedings...** Florianópolis: PLEA, 2001.

FISCHER, Udo. **Tageslichttechnik**. Köln – Braunsfeld: R. Muller, 1982.

FONSECA, M. **Desenho solar**. São Paulo: Projeto Editores Associados, 1983. 47p.

FONTOYNONT, M. Perceived performance of daylighting systems: Lighting efficacy and agreeableness. **Solar energy**, London: Pergamon, v.73, n.2, p.83-94, 2002.



\_\_\_\_\_. **Daylight performance of buildings**. London: James & James, 1999. 304p.

FROTA, A. B. **Geometria da insolação**. São Paulo: Geros, 2004. 289 p.

GALASIU, A.D.; ATIF, M.R. Field-performance of daylight-linked controls and window blinds: a pilot study. In: RIGHT LIGHT, 5., Nice. **Proceedings...** Nice: International Association for Energy-Efficient Lighting, 2002, p.1-14.

GEEBELEN, B.; NEUCKERMANS, H. Natural-lighting design in architecture: Filling the blanks. In: BUILDING SIMULATION, 7., Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: IBPSA, 2001, p.1207-1214.

GELLER, H.S. **O uso eficiente da eletricidade: uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil**. Rio de Janeiro: INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética, 1994. 226p.

\_\_\_\_\_; LEONELLI, P.. Energy-Efficient Lighting in Brazil: Market Evolution, Electricity Savings and Public Policies. In: RIGHT LIGHT, 4., 1997, Copenhagen. **Proceedings...** Copenhagen: International Association for Energy-Efficient Lighting, 1997, V.2, p. 208-210.

GHISI, E. **The use of fibre optics on energy efficient lighting in buildings**. Leeds, 295p. Tese (Doctor of philosophy) – School of Civil Engineering, University of Leeds, 2002.

\_\_\_\_\_. TINKER, J. Optimising energy consumption in offices as a function of window área and room size. In: BUILDING SIMULATION, 7., Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: IBPSA, 2001, p.1307-1314.

GIVONI, B. **Passive and low energy cooling of buildings**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1994. 263p.

GODET, M. A. “caixa de ferramentas” da prospectiva estratégica – Problemas e métodos. **Cadernos do CEPES** – Centro de Estudos de Prospectiva e Estratégia, Lisboa, 2000, 97p.

GRAZZIOTIN, P.; TURKIENICZ, B.; SCLOVSKY, L.; FREITAS, C. M. D. S. Cityzoom: A tool for the visualization of the impact of urban regulations. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE GRÁFICA DIGITAL, São Leopoldo, 2004. **Anais...** São Leopoldo: SigrDi, 2004.

GUTJAHR, J.; MÜLLER, H. **Messen und erproben Lichtlenkender Maßnahmen im Büroneubau Geysse**. Abschlußbericht von der Institut für Licht- und Bautechnik an der Fachhochschule Köln, 1996.

HOPKINSON, R.G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. **Illuminação Natural**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1975. 776p.

HUNT, D. R. G. Predicting artificial lighting use – a method based upon observed patterns of behaviour. **Lighting Research and Technology**, London, v.12, n. 1, p. 7-14, 1980.

IEA SHC TASK 21. **Daylight in buildings: design tools and performance analysis**, 2005. Disponível em: <<http://www.iea-shc.org/task21>>. Acesso em: nov 2005.

IEA SHC TASK 31. **Daylighting buildings in the 21<sup>st</sup> century**, 2005. Disponível em: <<http://www.iea-shc.org/task31>>. Acesso em: nov 2005.

IIDA, Itiro. **Ergonomia: projeto e produção**. São Paulo: Edgar Blücher, 1995.

IRAM AADL J 20-02. Iluminacion natural en edificios: Condiciones generales y requisitos especiales. Instituto Argentino de racionalizacion de materiales. Asociacion Argentina de Luminotecnica, 1969. 23 p.

IWASHITA, J. Estudo da iluminação natural em edifícios de escritórios na cidade de São Paulo – Estudo de casos. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 1999, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ANTAC, 1999.

JAKOBIAK, R.A. Tageslichtnutzung in Gebäuden. Bine informationsdienst – Fachinformationzentrum Karlsruhe, Gesellschaft für wissenschaftlich-technische Information GmbH. Eggenstein-Leopoldshafen, 2000. 12p.

JOHNSEN, K. Daylight in buildings, Collaborative research in the International Energy Agency (IEA Task 21). **Renewable energy**. London, 15, p.142-150. 1998.

KISS, M. **Diane Projekt Tageslichtnutzung**. Bern: Bundesamt fuer Energiewirtschaft, 1995. 142p.

KNOWLES, R. The solar envelope: its meaning for energy and buildings. **Energy and buildings**, London: Elsevier, v. 35, p.15-25, 2003.

KRARTI, M.; ERICKSON, P. M.; HILLMAN, T. C. A simplified method to estimate energy savings of artificial lighting use from daylighting. **Building and Environment**, London, v.40, p.747-754, 2005.

KOENIGSBERGER, O., INGERSOLL, T.G., MAYHEW, A., SOKOLAY, S. **Manual of Tropical Housing**. Londres: Logman group Ltda. 1997.

KRAMER, H.; VON LOM, W. **Licht: bauen mit Licht**. Köln: Muller, 2002. 287p.  
KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; LABAKI, L. C. O projeto arquitetônico e o conforto ambiental: necessidade de uma metodologia. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2., 1993, São Paulo, **Anais...** São Paulo: ANTAC, 1993, p.785-794.

KREMER, Adriano. **A influência de elementos de obstrução solar no nível e na distribuição interna de iluminação natural em escolas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. 2002.

LAAR, M. Tageslichtnutzung in den Tropen. In: SYMPOSIUM INNOVATIVE LICHTTECHNIK IN GEBÄUDEN, 8., 2002, Staffelstein. **Proceedings...** Staffelstein, 2002. p.191-196.

LABAKI, L.; GUTIERREZ, G. Avaliação de desempenho térmico de dispositivos de proteção solar. In: ENCONTRO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO, 7., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2003.

LAM, W. C. **Sunlighting as Formgiver for Architecture**, Van Nostrand Reinhold, New York, 1986.

LAM, J.C.; LI, K.H.W. An analysis of daylighting and solar heat for cooling dominated Office building. **Solar Energy**, London, v.65, n.4, p.251-262, 1999.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997. 192p.

LEED Leadership in Energy and Environmental Design - Green Building Rating System® Disponível em: <<http://www.usgbc.org/leed>>. Acesso em: dez 2004.

LEE, E.S.; DIBARTOLOMEO, D.L.; RUBINSTEIN, F.M.; SELKOWITZ, S.E. Low-cost networking for dynamic window systems. **Energy and Building**, London (Elsevier), v.36, p.503-513, 2004.

LEE, E.S.; SELKOWITZ, S.E.; LEVI, M.S.; et al. Active load management with advanced window wall systems: research and industry perspectives. In: AMERICAN COUNCIL FOR AN ENERGY EFFICIENT ECONOMY, 2002, Washington. **Proceedings...** Washington, 2002.

LITTLEFAIR, P. **Site layout planning for daylight and sunlight: a guide to good practice**. Garston: Building Research Establishment report, 1991. 82p.

(a)\_\_\_\_\_. Predicting lighting energy use under daylight controls. **Building Research & Information**, London, v.26, n.4, p.208-222, 1998.

(b) \_\_\_\_\_. Passive solar urban design: ensuring the penetration of solar energy into the city. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, London, n.2, p.303-326, 1998.

\_\_\_\_\_. Daylight, sunlight and solar gain in the urban environment. **Solar Energy**, London, v.70, n.3, p.177-185, 2001.

LYNES, J. A. **Principles of Natural Lighting**. Elsevier, London, 1968. 207p.

LOVE, J. A. The evolution of performance indicators for the evaluation of daylighting systems. In: INDUSTRY APPLICATIONS SOCIETY ANNUAL MEETING, Houston, 1992. **Proceedings...**Houston, 1992, p. 1830-1836.

MARSH, A. J. A computational approach to regulatory compliance. In: BUILDING SIMULATION; 9., 2005, Montreal. **Proceedings...** Montreal: IBPSA, 2005.

MOECK, M. On daylight quality and quantity and its application to advanced daylight systems. **Journal of the Illuminating Engineering Society**, New York: Illuminating Engineering Society of North America, p. 3-21, winter 1998.

MESA, N. A.; PATTINI, A.; CÓRICA, I.; DE ROSA, C. Metodologia de evaluación de la potencialidad de la luz natural para iluminar edificios, en entornos de alta densidad, en zonas áridas andinas. **Estúdios de arquitectura bioclimática**, México, v.6, p. 279-297, 2004.

MONTAVON, M.; SCARTEZZINI, J. L.; COMPAGNON, R. Comparison of the solar energy utilisation potential of different urban environments. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ARCHITECTURE, 21., 2004, Eindhoven. **Proceedings...** Eindhoven: PLEA, 2004.

MOORE, FULLER. **Concepts and practice of architectural daylighting**. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1985. 289p.

MORAES, O.; SCARAZZATO, P. S. Iluminação natural no meio urbano: estudo de caso com o método dos indicadores de altura admissíveis aplicado a Campinas, SP. In: ENCONTRO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO, 7., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2003.

MOUSSADEK, D.; RAFIK, B. Urban form participation in controlling solar irradiation: emphasis of the street in hot dry regions. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AN LOW ENERGY ARCHITECTURE, 22., 2005, Beirut. **Proceedings...** Beirut: PLEA, 2005, p.751-756.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. **Energy and Buildings**, London: Elsevier, v.38, p.905-913, 2006.

NBR 15215-1. Iluminação natural – Parte 1: Conceitos básicos e definições, 2005.

NBR 15215-2. Iluminação natural – Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural, 2005.

NBR 15215-3. Iluminação natural – Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos, 2005.

NBR 15215-4. Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – método experimental, 2005.

NBR 5413 – Iluminância de interiores, 1992.

NG, E.; WONG, N. H. Better daylight and natural ventilation by design. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AN LOW ENERGY ARCHITECTURE, 21., 2004, Eindhoven, Netherlands. **Proceedings...** Eindhoven: PLEA, 2004, p.175-179.

NG, E. A study of the relationship between daylight performance and height difference of buildings in high density cities using computational simulation. In:

INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION CONFERENCE, 9., 2005, Montreal, Canadá. **Proceedings...** Montreal: IBPSA, 2005, p.847-852.

\_\_\_\_\_. Towards better building and urban design in Hong Kong. In: INTERNATIONAL CONFERENCE PASSIVE AND LOW ENERGY COOLING FOR THE BUILT ENVIRONMENT, 2005, Santorini, Greece. **Proceedings...** Santorini: M. Santamouris, 2005, p.923-928.

NIKIFORIADIS, F.; PITTS, A. 3D digital geometric reconstruction of the urban environment for daylight simulations studies. In: INTERNATIONAL BUILDING SIMULATION CONFERENCE, 8., Eindhoven, Netherlands, 2003. **Proceedings...** Eindhoven: IBPSA, 2003.

O'CONNOR, J.; LEE, E.; RUBINSTEIN, F.; SELKOWITZ, S. **Tips for daylight with windows: The integrated approach.** Lawrence Berkeley National Laboratory, 1997.

OLGYAY, VICTOR. **Arquitetura y clima: manual de diseno bioclimático para arquitectos y urbanistas.** Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1998. 203p.

ORAL, G. K.; YENER, A. K.; BAYAZIT, N. T. Building envelope design with the objective to ensure thermal, visual and acoustic comfort conditions. **Building and Environment**, London, v. 39, p. 281-287, 2004.

ORNSTEIN, S.W.; LEITE, B.C.C.; ANDRADE, C.M. O conforto ergonômico e visual no posto de trabalho em escritórios: avaliação pós-ocupacao (APO) aplicada em edifício de alta tecnologia. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO, 5., 1999, Fortaleza, **Anais...** Fortaleza: ANTAC, 1999.

PARK, C.; AUGENBROE, G.; MESSADI, T. Daylighting optimization in smart façade systems. In: BUILDING SIMULATIONS INTERNATIONAL CONFERENCE, 8., Eindhoven, Netherlands, 2003. **Proceedings...** Eindhoven: IBPSA, 2003, p. 1001-1008.

PEDRINI, A. **Integration of low energy strategies to the early stages of design process of Office buildings in warm climate.** Brisbane, 257p. Tese (Doctor of Philosophy) – Department of Architecture, University of Queensland, 2002.

PEREIRA, F.O.R. **Uma metodologia para indicações de ocupação do ambiente urbano: Controle da obstrução do sol e da abobada celeste.** 1994. 29f. Monografia (Concurso para professor titular) - Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1994.

\_\_\_\_\_; SILVA, C. A. N.; TURKIENICZ, B. A methodology for sunlight urban planning: A computer-based solar and sky vault obstruction analysis. **Solar Energy**, V.70, N.3, p.217-226, 2001.

PEREIRA, R.; PEREIRA, F. O. R.; CLARO, A.; SOUZA, L. P. F. Metodologia para avaliação de ferramentas de simulação da iluminação natural através de mapeamento digital de luminâncias. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO

NO AMBIENTE CONSTRUIDO, 9., 2007, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: ANTAC, 2007.

PEREIRA, E. M. Leis que desenham cidades. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA DESCRITIVA E DESENHO TÉCNICO, 15., São Paulo, 2001. **Anais...** São Paulo, 2001.

PIMENTA, G. C.; BARROSO-KRAUSE, C. Legislação edilícia e eficiência energética. Uma discussão sobre os vãos de ventilação adotados pelo código de obras do Rio de Janeiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO, 6., 2001, São Pedro. **Anais...** São Pedro: ANTAC, 2001.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. **Plano diretor de Belo Horizonte**: Lei de uso e ocupação do solo – Estudos básicos. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte: 1995. 247p.

RATTI, C.; MORELLO, E. Sunscapes: Extending the “Solar envelopes” concepts through “iso-solar surfaces”. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ARCHITECTURE, 22., 2005, Beirut. **Proceedings...** Beirut: PLEA, 2005.

RATTI, C.; BAKER, N.; STEEMERS, K. Energy consumption and urban texture. **Energy and buildings**, V.37, p. 762-776, 2005.

REA, M.S. **IESNA Lighting Handbook: Reference and application**. New York: Illuminating Engineering Society of North América. 2000.

REICHARD, G.; PAPAMICHAEL, K. Decision-making through performance simulation and code compliance from the early schematic phases of building design. **Automation in Construction**, London, v. 14, p. 173-180, 2005.

REINHART, C. F. A simulation-based review of the ubiquitous window-head-height to daylight zone depth rule-of-thumb. In: INTERNATIONAL BUILDING SIMULATIONS CONFERENCE, 9., Montreal, Canada, 2005. **Proceedings...** Montreal: IBPSA, 2005, p. 1011-1018.

\_\_\_\_\_; WALKENHORST, O. Validation of dynamic Radiance based daylight simulations for a test Office with external blinds. **Energy and Buildings**, London, v.33, p.683-697, 2001.

RIVERO, ROBERTO. **Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural**. Porto Alegre: D.C. Luzzato Editores, 1986. 239p.

ROBBINS, Claude L. **Daylighting: Design and analysis**. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1986. 751p.

ROMERO, M. A. B. Building a system of urban sustainability indicators for Brasília, Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ARCHITECTURE, 22., 2005, Beirut. **Proceedings...** Beirut: PLEA, 2005. p. 1007-1012.

RORIZ, Maurício. **Programa luz do sol**, 1995.

SCOTT, James G. **Architectural Building Codes: A graphic reference**. New York: John Wiley & Sons, 1997. 472p.

SHAVIV, EDNA; YEZIORO, ABRAHAM. Analyzing mutual shading among buildings. **Solar Energy**. London: Elsevier Science, v.59, p.83-88, 1997.

SILVEIRA, A.L.R.C.; RAMOS, D.Q. A utilização da iluminação natural em prédios públicos em Teresina/PI. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO, 6., 2001, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2001.

SOLER, A.; OTEIZA, P. Light shelf performance in Madrid, Spain. **Building and Environment**, Oxford, v.32, n.2, p.87-93, 1997.

SCIUTO, Salvo. Solar control: an integrated approach to solar control techniques. **Renewable Energy**. London: Pergamon, v.15, p.368-376, 1998.

SOUZA, L. C. L.; LEME, F. T.; PEDROTTI, F. S. Relações entre o fator de visão do céu, a temperatura urbana e o consumo de energia elétrica. In: CONFERÊNCIA LATINO AMERICANA SOBRE CONFORT Y COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE EDIFICACIONES, 2005, México. **Proceedings...** México: COTEDI, 2005, p.329-336.

SOUZA, R. V. G; PEREIRA, F.O.R. Primeira estação de medição de iluminação natural em território brasileiro: análise dos dados dos dois primeiros anos de funcionamento. **Ambiente Construído**. Porto Alegre: ANTAC, v.4, n.3, p. 79-94, 2004.

SOUZA, M. B.; PEREIRA, F. O. R.; CLARO, A. Potencialidade de economia de energia elétrica gasta em iluminação através do aproveitamento da luz natural com a utilização de sistemas automáticos de controle. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUIDO, 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ANTAC, 2002.

SOUZA, M.B. **Potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia**. Florianópolis, 208p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Pós graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

STEEMERS, K. Energy and the city: density, buildings and transport. **Energy and Building**, London, v.35, p.3-14, 2003.

SUGA, M.; KRÜGER, E. L. Verificação das condições de iluminação em ambientes internos de edificações situadas em um cânion urbano de Curitiba. In: CONFERÊNCIA LATINO AMERICANA SOBRE CONFORT Y COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE EDIFICACIONES, 2005, México. **Proceedings...** México: COTEDI, 2005, p. 323-328.

SZOKOLAY, S. V. **Arquitectura solar**. Barcelona: Editorial Blume, 1983. 278 p.

THEODOSIOU, T.; CHRISOMALLIDOU, N. Shading and solar availability in the urban environment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ARCHITECTURE, 22., 2005, Beirut. **Proceedings...** Beirut: PLEA, 2005. p. 51-56.

THERMIE ENERGY RESEARCH GROUP. **Daylighting in buildings**. Dublin: School of Architecture, University College Dublin, 1994.

TURKIENICZ, B. **Indicações estratégicas para adensamento urbano de Porto Alegre**. Porto Alegre: Faculdade de Arquitetura da UFRGS e Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 1994. 285p.

TREGENZA, P. **Daylighting Algorithms**. School of Architecture Studies University of Sheffield, 1993. 104p.

ÜNVER, R.; ÖZTÜRK, L.; ADIGÜZEL, S.; ÇELİK, Ö. Effect of the facade alternatives on the daylight illuminance in offices. **Energy and building**, London, v.35, p. 737-746, 2003.

VELDS, Martine. User acceptance studies to evaluate discomfort glare in daylight rooms. **Solar Energy**, London: Pergamon, v.73, n.2, p.95-103, 2002.

VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e arquitetura**. São Paulo: Geros, 2004. 357p.

WIENOLD, J.; KUHN, T. Tageslichtnutzung versus Energie – Ganzheitliche Bewertung von Tageslicht- und Sonnenschutzsystemen. In: SYMPOSIUM INNOVATIVE LICHTTECHNIK IN GEBÄUDEN, 7., 2001, Staffelstein (Germany). **Proceedings...** Staffelstein, 2001.

WOTTON, E. Daylighting Codes, Standards and Policies. In: INTERNATIONAL DAYLIGHTING CONFERENCE, 1998, Canadá. **Proceedings...** Canadá, 1998.

WRIGHT, J. T.; SPERS, R. G. O país no futuro: aspectos metodológicos e cenários. **Estudos Avançados**, São Paulo, n.20, v.56, p.13-28, 2006.

ZEILMANN, S.M.L.; CLARO, A.; PEREIRA, F.O.R. O estudo da geometria da insolação como ferramenta de projeto. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO, 7., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2003.

ZHU, Y.; LIN, B. Sustainable housing and urban construction in China. **Energy and Buildings**, London. N.36, p.1287-1297, 2004.



**Anexo**

## ANEXO

### PLANO DIRETOR DE FLORIANÓPOLIS

O primeiro plano diretor da cidade de Florianópolis data de 1952, tendo um segundo plano sido aprovado em 1976 e mais recentemente, na década de 90, o terceiro plano foi implantado (PEREIRA, 2001). As exigências do plano referentes à iluminação natural definem dimensões mínimas para os vãos de iluminação e ventilação, recuos e afastamentos.

Uma exigência adicional em relação à luz natural é a lei 1715, que caracteriza um afastamento gradativo da edificação conforme ele cresça verticalmente. O edifício tende a seguir um volume piramidal, em forma de degraus ou inclinado, segundo um ângulo de 70°, medido a partir do eixo da rua. A seguinte fórmula deve ser observada:

$$A \geq \frac{2H - 2,75 L}{5,5} \geq 4,00 \text{ m}$$

Onde:

A = Afastamento frontal

H = Altura da edificação

L = Largura média da rua

### Índice de aproveitamento

Segundo definição no plano diretor de Florianópolis índice de aproveitamento é o quociente entre o total das áreas construídas da edificação e a área do terreno. Esse índice pode variar de 0.1 a 4.1, podendo atingir até 6.0 através de mecanismos de transferência de índice.

$$IA = \frac{\sum \text{áreas construídas}}{\text{Área do lote}}$$

**Área do lote**

Segundo a legislação não são computados no IA:

- Dois pavimentos de garagem;
- Subsolos destinados à garagem;
- Sobrelojas;
- Mezaninos;
- Áreas de lazer abertas ou livres com no mínimo 80% da área do terreno.

Edificações contempladas com obras de arte ganham um abono de 2% no índice de aproveitamento.

### **Taxa de ocupação**

Taxa de ocupação é a relação percentual entre a projeção horizontal da edificação e a área do terreno. Varia de 5% a 50%, podendo atingir 80% nos térreos das zonas mistas centrais (AMC) destinados à comércio e serviços, ou ser ampliada em 1/3 através de transferência de índice nas demais zonas. Essa variável regula o espaço não edificado ao redor das edificações, especialmente o térreo e também pode estar associada ao controle da área impermeável do lote.

**TO = Projeção Horizontal da Área Construída X 100**

#### **Área do Terreno**

A atual legislação permite que não sejam computadas na taxa de ocupação garagens construídas no subsolo.

Os dois primeiros pavimentos de garagem e os dois primeiros pavimentos comerciais possuem taxa de ocupação diferenciada. Nas AMC (área mista central) do Polígono Central a taxa de ocupação pode ser de 100% e nas áreas com índice de aproveitamento maior que 1 a taxa de ocupação pode ser de até 80%.

### **Altura das edificações**

É a medida entre o nível natural do terreno e o ponto mais alto da edificação, excluídos chaminés, casas de máquinas e outros equipamentos situados na cobertura.

A altura das edificações é dada pela aplicação conjunta do índice de aproveitamento e da taxa de ocupação, do afastamento e do gabarito.

O pé-direito máximo é de 3,6 metros, exceto em pavimentos térreos comerciais e pavimentos térreos sob pilotis, onde poderá valer até 7,2 metros.

Os dois primeiros pavimentos quando destinados à garagem, não contam na altura da edificação. A figura 7 a seguir apresenta um corte com a indicação do eixo vertical no meio da fachada sobre o qual deve ser calculada a altura da edificação. Pode-se observar ainda que o sub-solo pode atingir até 1,50 metros acima do nível do solo.

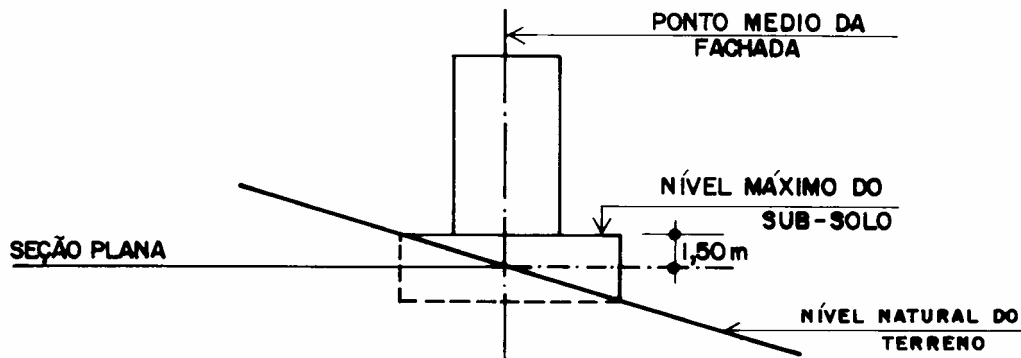


Figura 1 – Corte com a indicação de cálculo para a altura da edificação

### Afastamentos obrigatórios

Os afastamentos são as variáveis urbanísticas que estão diretamente ligadas ao controle da garantia de insolação e ventilação das edificações. O afastamento frontal é a distância mínima que a edificação deve ficar das vias. Para Florianópolis ele é calculado a partir de um ângulo de 70° formado entre a edificação e o eixo da via, ver corte apresentado na figura 2, sendo no mínimo de 4.0 metros. A caixa da via compreende o conjunto formado pelas pistas de rolamento, os canteiros centrais e os passeios.

Dependendo da altura da edificação e do tamanho da caixa da via, o afastamento frontal mínimo exigido pode ser maior seguindo o desenho (figura 2) e a fórmula:

$$A = \frac{2H - 2,75L}{5,5} \geq 4,0m,$$

onde:

L = Largura média da rua na testada do lote;

E = Eixo da rua

H = Altura da edificação

A = Afastamento frontal

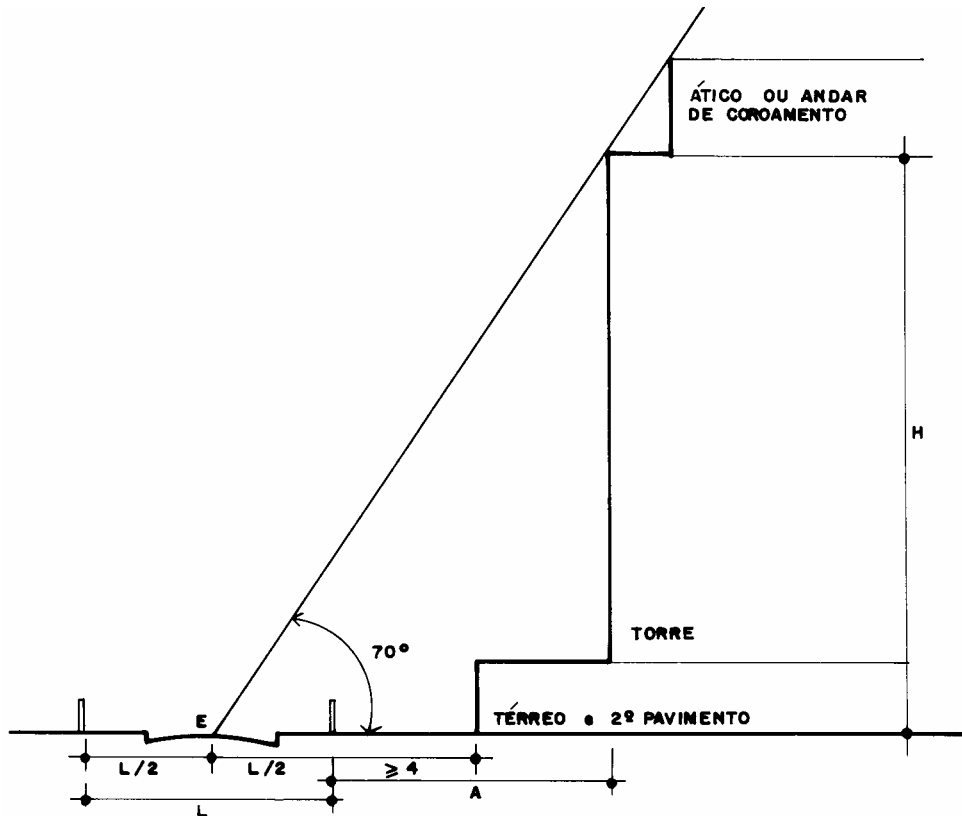


Figura 2 – Corte esquemático com a exigência do ângulo de 70° no afastamento frontal

Afastamento lateral e de fundos é a distância mínima que uma edificação deve ficar das divisas do terreno. É calculado pela proporção entre o afastamento do prédio das divisas e a sua altura total. Varia de  $\frac{1}{2}$  a  $\frac{1}{9}$ , conforme o comprimento da fachada e a zona, predominando o valor de  $\frac{1}{5}$ . O afastamento mínimo é de 1,50 metros até 2 pavimentos e de 3,00 metros para os demais.

Para edificações com até 40m de altura:

- Afastamento lateral e de fundos deve ser maior que  $\frac{1}{5}$  da altura e de, no mínimo, 3,0 metros.
- Afastamento lateral e fundos nas áreas do Polígono Central  $\geq \frac{1}{9}$  da altura, sendo no mínimo 3,0 metros.
- Afastamento lateral e fundos nas áreas do Triângulo Central  $\geq \frac{1}{7}$  da altura, sendo o mínimo de 3,0 metros.

Para edificações com altura entre 40 e 60 metros:

- Cada metro a mais além dos 40m de altura, acrescenta 5% nos afastamentos laterais e de fundos.

Edificações com altura superior a 60 metros devem possuir um afastamento lateral e de fundos de  $\frac{1}{2}$  da altura, sendo o mínimo de 3 metros.

### Zoneamento da área em estudo

O zoneamento consiste em uma das principais regras existentes nos planos diretores. Através desse mecanismo a área urbana é dividida em diferentes zonas de uso e ocupação do solo, definidas segundo as funções que deverão desempenhar na cidade: habitação, lazer, trabalho, institucional ou circulação. Os parâmetros de controle de ocupação do meio urbano: índice de aproveitamento, taxa de ocupação e outros, variam conforme a zona a qual aquela parcela pertence. A figura 3 representa o zoneamento previsto para o recorte urbano objeto de estudo desse trabalho. As zonas visualizadas são:

- ACI – ÁREA COMUNITÁRIA INSTITUCIONAL: Destinada a equipamentos comunitários ou aos usos institucionais.
- AMC – ÁREA MISTA CENTRAL: Predomínio de atividades comerciais, onde é proibida a construção de edificações unifamiliares.
- ARP – ÁREA RESIDENCIAL PREDOMINANTE: Destinada à função de habitacional complementada ou não por atividades de comércio e serviços vicinais de pequeno porte.

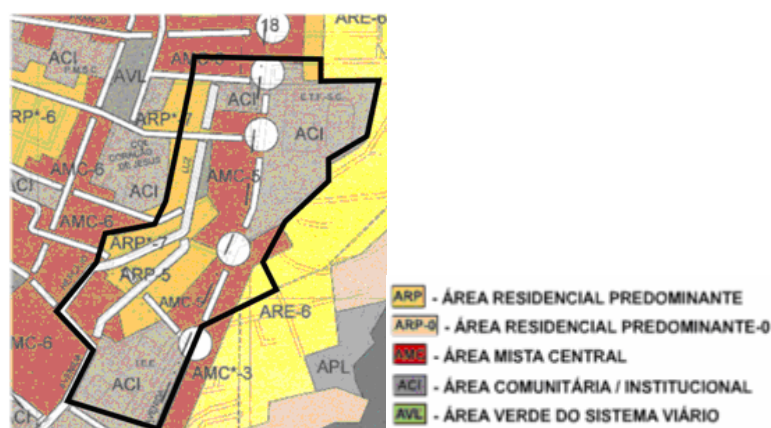


Figura 3 – Quadro com a definição das zonas no recorte urbano em estudo

No quadro apresentado na tabela 1 estão apresentadas as regras existentes para cada zona. Podem ser observados os limites para lote mínimo, testada mínima

do lote, número máximo de pavimentos, índice de aproveitamento (IA), taxa de ocupação (TO) e afastamento frontal.

Tabela 1 – Quadro com a indicação das regras existentes conforme a zona

	AMC – 5	AMC – 6	AMC – 3	ARP – 7	ARP – 5
Lote Mínimo (m <sup>2</sup> )	600	1020	360	1020	360
Testada Mínima (m)	20	30	12	30	12
Nº Máximo de Pavimentos	8	12	6	12	4
IA Máximo	2,3 / 3,3 (B)	3,0 / 4,1 (B)	1,3 / 2,2 (B)	3,0	1,3
TO Máximo	(G) / A)*	(G) / A)*	(G) / (A)*	(G)	(G)
Afastamento Frontal (m)	*	*	*	*	*
Afastamento Lateral / Fundos (m)	*	*	*	*	*

(B) = Índice mais elevado somente para edificações exclusivamente comerciais, exceto no triângulo central.

(A) = Até 80% nos dois primeiros pavimentos quando destinados à comércio e serviços (sendo de 100% no Polígono Central).

(G) = As Taxas de Ocupação máxima variam conforme a fórmula:  $TO = (37 - NP)\%$ , onde: NP = Nº de Pavimentos

(\*) = Deve obedecer à legislação vigente.

Além do zoneamento o plano diretor estabelece ainda regras para as vias urbanas, que para o recorte urbano em estudo denominam-se: via coletora insular (CI), via sub-coletora insular (SCI) e via de ligação (LI), apresentados na figura 4.

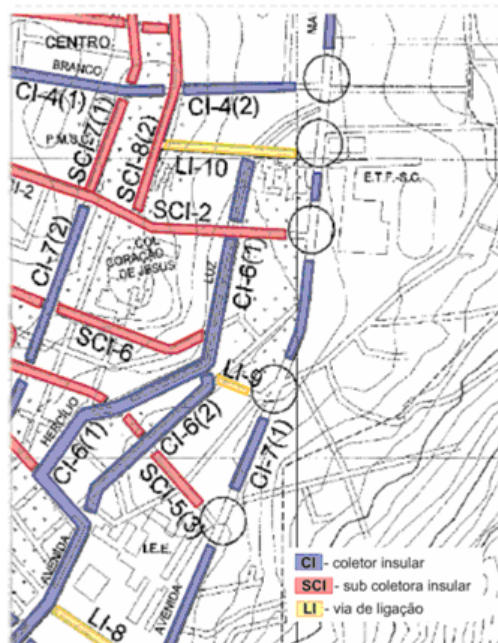


Figura 4 – Mapa do recorte urbano com as principais vias conforme o Plano Diretor

As regras definidas pelo Plano Diretor para as vias apresentadas na figura 4 estão na tabela 2. São estabelecidos limites para seção transversal, faixa de

domínio, número de pistas de rolamento, largura das pistas, número de faixas por pista, canteiro, acostamento e largura de passeios.

Tabela 2 – Conjunto de regras vigentes para as vias do recorte urbano

	<b>CI – 6 (1)</b>	<b>CI – 6 (2)</b>	<b>CI – 7 (1)</b>	<b>SCI – 7 (2)</b>	<b>SCI – 5 (3)</b>	<b>LI – 9</b>
Seção Transversal (m)	37	30	39	36	34	36
Faixa de Domínio (m)	31,6	14	28	12	12	12
Nº de Pistas de Rolamento	2	1	2	1	1	1
Largura da(s) Pista(s) (m)	7	8	7	8	8	8
Nº de Faixas por Pista	2	2	2	-	2	2
Canteiro Central (m)	7,6	-	3	-	-	-
Acostamento/Estacionamento (m)	2	-	2	-	-	-
Largura dos Passeios (m)	3	3	3,5	2	2	2
Alinhamento da Edificação - a partir do eixo da via (m)	(*)/11,5	11	14	10	6	10

(\*) = Deve obedecer à legislação vigente

### Regras para edificações de interesse histórico

As edificações históricas que se encontram atualmente tombadas pelo IPHAN / SEPHAN estão situadas dentro de conjuntos históricos. Na área em estudo situam-se três conjuntos históricos denominados de: Conjunto Hermann Blumenau, Conjunto General Bittencourt I e Conjunto General Bittencourt II, localizados na figura 5. Os imóveis que fazem parte desses conjuntos históricos podem ser classificados em 3 tipos de restrições:

**P1** = Imóvel a ser totalmente conservado;

**P2** = Imóvel onde deverá ser preservada totalmente a parte exterior, podendo haver alterações do interior da edificação;

**P3** = Imóvel que pode vir a ser tombado, estando a reedificação sujeita a restrição. A altura das novas construções ou de ampliação da existente não pode exceder a altura da edificação P1 e P2 mais próxima, o alinhamento deve ser observado (vedados os afastamentos frontais e laterais antes existentes), a cobertura deve ser do mesmo material que das coberturas das P1 e P2 do Conjunto.



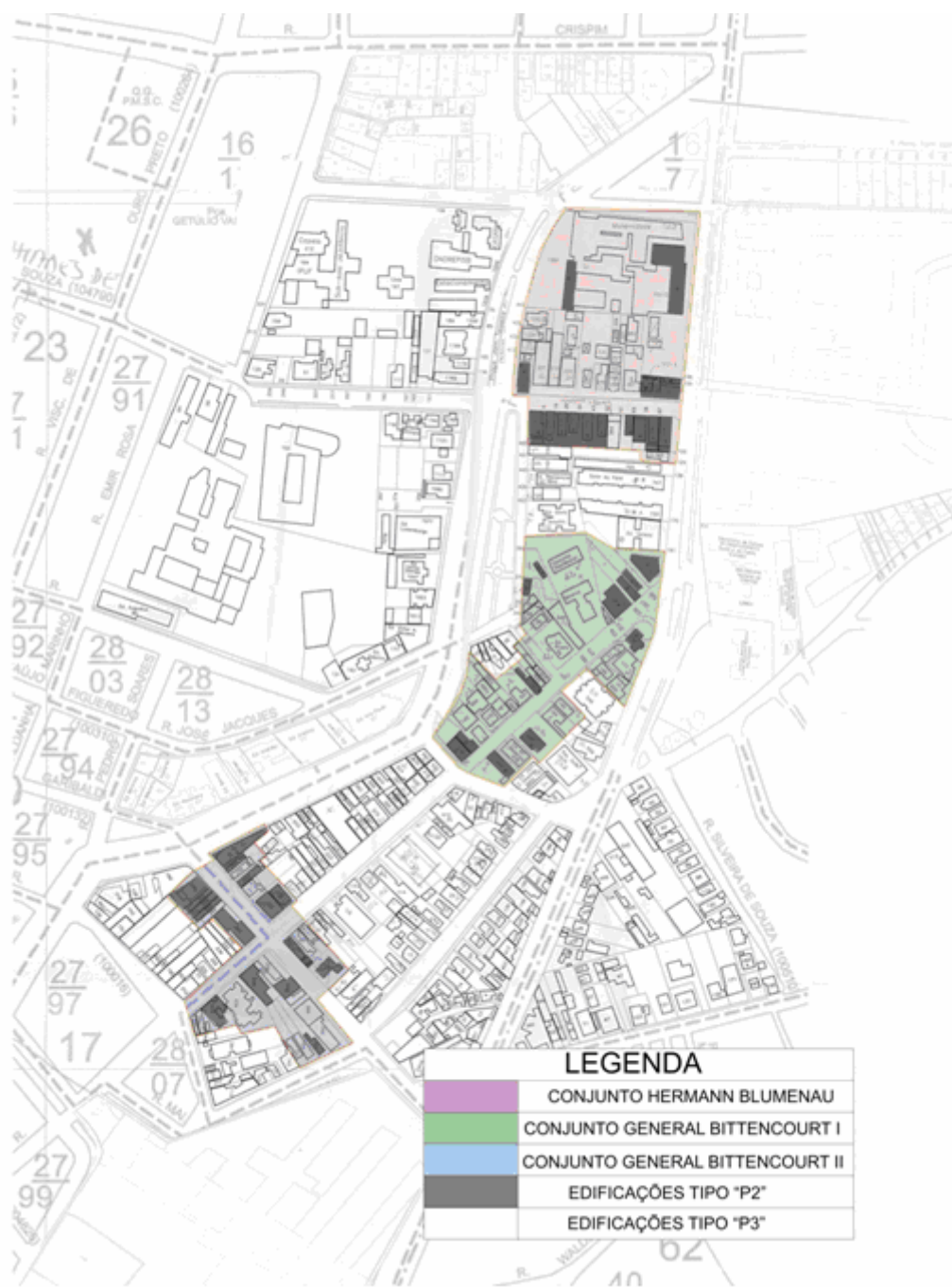


Figura 5 – Planta baixa do recorte urbano com a indicação dos conjuntos históricos