

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

**INTEGRAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL E  
ARTIFICIAL: MÉTODOS E GUIA PRÁTICO PARA  
PROJETO LUMINOTÉCNICO**

**BEATRIZ GUIMARÃES TOLEDO**

Brasília  
2008

**BEATRIZ GUIMARÃES TOLEDO**

**INTEGRAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL E  
ARTIFICIAL: MÉTODOS E GUIA PRÁTICO PARA  
PROJETO LUMINOTÉCNICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

**Orientadora:**  
**Profa. Dra. Cláudia Naves D. Amorim**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP**

T649i Toledo, Beatriz Guimarães.

Integração de iluminação natural e artificial : métodos e guia prático para projeto luminotécnico / Beatriz Guimarães Toledo. – 2008.

165 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2008.

Orientadora: Profa. Dra. Cláudia Naves D. Amorim

1. Iluminação natural. 2. Iluminação artificial. 3. Luminotécnica. 4. Projeto luminotécnico. 5. Eficiência energética. I. Título.

CDU 628.92/.97(043.3)

Bibliotecário responsável: Arlan Morais de Lima CRB-1/1816

Beatriz Guimarães Toledo

**INTEGRAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL:  
MÉTODOS E GUIA PRÁTICO PARA PROJETO LUMINOTÉCNICO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em  
Arquitetura e Urbanismo pelo Programa de Pós-Graduação da  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, UnB

Profa. Cláudia Naves David Amorim, Dra. (orientadora)  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB

Prof. Otto Toledo Ribas, Dr.  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB

Prof. Fernando Oscar Ruttkay Pereira, PhD  
Faculdade de Engenharia Civil, UFSC

À minha família, que se fez sempre  
presente ao longo desta jornada.

À minha mãe pela paciência em ouvir.

Ao meu pai pela torcida e confiança.

Ao Lúcio, meu marido e companheiro,  
pela paciência, otimismo e incentivo.

## Agradecimentos

À dedicação de minha orientadora, Profa. Dra. Cláudia Amorim, que me conduziu com maestria ao longo deste trabalho, sempre com paciência e confiança em minha capacidade.

Aos arquitetos luminotécnicos que me atenderam com tanta disposição e compartilharam comigo suas valiosas experiências:

Sra. Esther Stiller, Sr. Ginter Parschalk, Sr. Gilberto Franco, Sra. Cristina Maluf, Sra. Márcia Chamixaes, Sr. Altimar Cypriano, Sr. Eliton Brandão, Sra. Neide Senzi, Sr. José Luiz Galvão, Sr. Antônio Carlos Mingrone, Sr. Rafael Leão, Sr. Marcos Noyori (Godoy Luminotecnia), Sra. Daniele (LD Studio), Sr. Rodrigo Cruz (Peter Gasper Associados), e Sr. Luiz Carlos Chichierchio.

Ao escritório de arquitetura do Sr. Siegbert Zanettini, em especial à Sra. Adriana, que atendeu prontamente à minha solicitação para apresentar um dos projetos do escritório como modelo de integração entre iluminação natural e artificial.

À arquiteta e Profa. Dra. Alexandra Maciel por sua contribuição durante a banca de qualificação do projeto de pesquisa, pelos conselhos e bibliografia cedida.

Aos queridos amigos que conheci ao longo do curso, Joene, Carol, Patrícia, Márcio, Marília, Mônica, Jamilson, Juliana, Camila, Carla e Lorena, com os quais compartilhei as angústias e glórias de cada etapa.

Aos amigos do LaCAm (Laboratório de Conforto Ambiental), Ana, Daniel, Darja, Grego, Prof. Paulo Marcos, Renata, Profa. Rosana e Thais, pelo carinho, apoio, dicas e tudo mais.

Aos meus amigos, que mesmo não entendendo do assunto, torceram e vibraram comigo a cada passo, Suy, Simone, D. Celi, Gabi e Miroca, Elenise, Ana Cíntia, Flavinha, Pepeu e Roberto.

Aos membros da banca, Prof. Fernando Ruttkay Pereira, PhD, e Prof. Dr. Otto Ribas pela avaliação deste trabalho, com críticas e sugestões pertinentes e construtivas.

# Sumário

Lista de figuras .....	x
Lista de tabelas .....	xii
Lista de quadros .....	xiii
Lista de abreviaturas e siglas .....	xiv
Resumo .....	xvi
Abstract .....	xvii
1. Introdução .....	1
1.1. Justificativa .....	2
1.2. Objetivos .....	6
1.3. Estrutura do trabalho .....	6
2. Revisão bibliográfica .....	8
2.1. Projeto luminotécnico integrado: iluminação natural e artificial .....	8
2.1.1. Sistemas para iluminação natural .....	9
2.1.1.1. Componentes de condução.....	10
2.1.1.2. Componentes de passagem.....	11
2.1.1.3. Elementos de controle.....	13
2.1.2. Sistemas para iluminação artificial .....	14
2.1.3. Análise do desempenho da iluminação .....	16
2.1.3.1. Iluminâncias .....	17
2.1.3.2. Contrastes adequados de luminâncias.....	18
2.1.3.3. Uniformidade ou distribuição uniforme de iluminâncias.....	19
2.1.3.4. Ausência de ofuscamento .....	20
2.1.3.5. Padrão e direção da luz.....	22
2.1.4. Outros aspectos importantes da iluminação.....	24
2.1.4.1. Temperatura de cor .....	24
2.1.4.2. Índice de Reprodução de Cores.....	25

2.1.4.3. Treinamento de pessoal de manutenção e usuários .....	25
2.1.4.4. Vistas para o exterior.....	26
2.1.5. Disponibilidade de luz natural.....	28
2.1.5.1. Classificação de tipos de céu .....	31
2.1.6. Desempenho da luz natural em ambientes internos e o conceito de zonas luminosas .....	34
2.1.7. Tipos de iluminação para diferentes usos .....	37
2.1.8. Sistemas de controle da iluminação artificial em resposta à luz natural.....	38
2.2. Métodos aplicados ao projeto luminotécnico .....	41
2.2.1. Seleção dos métodos sugeridos neste trabalho.....	43
2.2.2. Métodos para projeto de sistemas de luz natural .....	43
2.2.2.1. Carta Solar .....	44
2.2.2.2. Máscara de Sombra .....	47
2.2.2.3. Método do Fator de Luz Natural (Daylight Factor) e a Contribuição de Iluminação Natural - CIN .....	52
2.2.2.4. Método dos Lumens para iluminação natural.....	60
2.2.3. Métodos para projeto de sistemas de luz artificial.....	69
2.2.3.1. Desempenho de luminárias.....	70
2.2.3.2. Método dos Lumens para iluminação artificial.....	73
2.2.3.3. Método Pontual .....	80
2.2.4. Programas computacionais.....	83
2.2.4.1. A escolha dos programas de simulação de iluminação.....	84
2.2.5. Métodos para integração da luz natural e artificial .....	87
2.2.5.1. IASPI - Iluminação Artificial Suplementar Permanente em Interiores.....	87
2.2.5.2. PALN - Percentual de Aproveitamento da Luz Natural .....	89
2.2.6. Outros instrumentos de avaliação para projetos luminotécnicos.....	93
2.2.6.1. Modelos em escala reduzida.....	93
2.2.6.2. <i>Source-path-target</i> .....	94
2.2.6.3. Diagrama Morfológico .....	98
2.2.7. Eficiência energética e o programa brasileiro de Etiquetagem de Edificações .....	103
2.2.8. Projetos luminotécnicos integrando luz natural e artificial .....	105
2.2.8.1. Cenpes II - Centro de Pesquisas Petrobrás .....	106

2.2.8.2. Commerzbank Headquarters .....	110
2.2.8.3. Harmony Library .....	114
3. Metodologia.....	119
3.1. Investigação da formação dos luminotécnicos .....	119
3.2. Entrevistas aos arquitetos luminotécnicos.....	120
3.2.1. Análise das entrevistas.....	122
3.3. Elaboração de um guia para projetos luminotécnicos .....	124
3.3.1. O uso do guia para projetos luminotécnicos.....	125
4. Resultados e discussão.....	126
4.1. Resultados da investigação sobre a formação profissional.....	126
4.2. Resultados das entrevistas aos arquitetos luminotécnicos .....	127
4.3. Apresentação do guia para projetos luminotécnicos .....	130
4.3.1. Fases do projeto luminotécnico.....	131
4.3.2. Procedimentos do projeto luminotécnico.....	132
4.3.2.1. Levantamento de dados.....	132
4.3.2.2. Definição dos objetivos de projeto.....	134
4.3.2.3. Estudo de tipologia da arquitetura.....	135
4.3.2.4. Implantação da edificação no terreno.....	136
4.3.2.5. Pré-lançamento das aberturas .....	136
4.3.2.6. Análise e controle da luz natural direta.....	137
4.3.2.7. Estimativa da iluminação natural.....	138
4.3.2.8. Revisão do projeto.....	139
4.3.2.9. Iluminação artificial I.....	141
4.3.2.10. Iluminação artificial II.....	141
4.3.2.11. Estimativa da luz artificial para fontes pontuais.....	141
4.3.2.12. Estimativa da luz artificial para fontes não pontuais.....	142
4.3.2.13. Integração iluminação natural e artificial .....	142
4.3.2.14. Distribuição das luminárias.....	143
4.3.2.15. Escolha do sistema de controle da iluminação artificial.....	144
4.3.3. Considerações sobre o uso do guia .....	144
4.4. Guia para projetos luminotécnicos .....	146

5. Conclusões.....	147
5.1. Sobre a formação profissional de arquitetos luminotécnicos.....	147
5.2. Sobre a atuação do arquiteto luminotécnico .....	148
5.3. Sobre o projeto luminotécnico integrado .....	149
5.4. Sobre o estado da arte em projetos luminotécnicos integrados .....	151
5.5. Sobre as ferramentas de projeto .....	153
5.6. Recomendações e limitações para uso do guia .....	155
5.7. Considerações finais .....	156
5.8. Sugestões para trabalhos futuros.....	157
6. Referências bibliográficas .....	159
Apêndices.....	165
Apêndice A .....	166
Apêndice B.....	167

## Lista de figuras

Figura 2.1 - Eficiência luminosa de diferentes fontes de luz .....	9
Figura 2.2 - Componentes de condução .....	10
Figura 2.3 - Componentes de condução .....	11
Figura 2.4 - Componentes de passagem laterais.....	12
Figura 2.5 - Componentes de passagem zenitais .....	12
Figura 2.6 - Elementos de controle .....	13
Figura 2.7 - Elementos de controle .....	14
Figura 2.8 - Elementos de controle .....	14
Figura 2.9 - Classificação das luminárias e curvas de distribuição da intensidade luminosa.....	15
Figura 2.10 - Efeitos do padrão e direcionalidade da luz sobre os objetos .....	22
Figura 2.11 - O efeito da luz na percepção da profundidade .....	23
Figura 2.12 - Vista harmônica para o exterior .....	27
Figura 2.13 - Vistas indesejáveis para o exterior.....	28
Figura 2.14 - Azimute e altura solar .....	29
Figura 2.15 - Limites das zonas luminosas .....	35
Figura 2.16 - Delimitação das zonas luminosas no plano de trabalho .....	36
Figura 2.17 - Mapas das zonas luminosas para três tipos de céu.....	37
Figura 2.18 - Azimute e altura solar .....	45
Figura 2.19 - Carta solar para latitude 16° Sul .....	46
Figura 2.20 - Transferidor de ângulos verticais e horizontais.....	48
Figura 2.21 - Determinação dos ângulos para a máscara de sombra a partir de uma janela.....	50
Figura 2.22 - Superposição de uma máscara de sombra com a carta solar .....	51
Figura 2.23 - Fontes de luz natural que alcançam o edifício .....	53
Figura 2.24 - Diagrama de Soteras .....	57
Figura 2.25 - Diagrama com fatores de forma da hemisfera celeste.....	58
Figura 2.26 - Diagramas de iluminâncias sobre superfícies verticais.....	63
Figura 2.27 - Diagramas de iluminâncias provenientes do Sol (componente direta).63	

Figura 2.28 - Diagramas de iluminâncias sobre superfícies horizontais.....	64
Figura 2.29 - Duas das tabelas utilizadas no Método dos Lumens para a determinação dos coeficientes de utilização para iluminação lateral .....	65
Figura 2.30 - Diagrama de eficiência luminosa do poço de luz .....	67
Figura 2.31 - Tabela utilizada no Método dos Lumens para a determinação dos coeficientes de utilização para iluminação zenital .....	68
Figura 2.32 - Tabela utilizada no Método dos Lumens para determinar o coeficiente de manutenção da superfície envidraçada para iluminação zenital .....	69
Figura 2.33 - Exemplos de curvas fotométricas horizontal e vertical.....	71
Figura 2.34 - Distribuição das intensidades luminosas de uma luminária .....	72
Figura 2.35 - As três cavidades do Método das Cavidades Zonais.....	75
Figura 2.36 - Coeficientes de utilização de uma luminária qualquer .....	76
Figura 2.37 - Fatores de depreciação devido à diminuição da refletância das paredes e do teto .....	78
Figura 2.38 - Fatores de depreciação da luminária por sujeira .....	79
Figura 2.39 - Demonstração da regra <i>five-times-rule</i> para medidas fotométricas .....	81
Figura 2.40 - Fonte luminosa pontual iluminando a área elementar de um plano.....	82
Figura 2.41 - Curva fotométrica típica de uma luminária.....	83
Figura 2.42 - Iluminação Artificial Suplementar Permanente em Interiores - IASPI ..	88
Figura 2.43 - Fonte-caminho-alvo .....	94
Figura 2.44 - Luminância x tamanho aparente da fonte luminosa.....	95
Figura 2.45 - Refletores difusos .....	96
Figura 2.46 - Iluminação através de um difusor que transmite e reflete a luz .....	97
Figura 2.47 - Efeito co-seno do posicionamento de uma fonte distribuída sobre o plano iluminado .....	94
Figura 2.48 - Cenpes II - Perspectiva do complexo.....	106
Figura 2.49 - Cenpes II - Planta de situação .....	107
Figura 2.50 - Cenpes II - Jardins entre os prédios dos laboratórios.....	108
Figura 2.51 - Cenpes II - Cobertura do prédio central .....	109
Figura 2.52 - <i>Commerzbank</i> - O edifício .....	110
Figura 2.53 - <i>Commerzbank</i> - Jardins internos .....	111
Figura 2.54 - <i>Commerzbank</i> - Acesso da luz natural ao interior do edifício .....	112
Figura 2.55 - <i>Commerzbank</i> - Esquadrias externas .....	113

Figura 2.56 - <i>Harmony Library</i> - O edifício .....	114
Figura 2.57 - <i>Harmony Library</i> - Aberturas superiores .....	115
Figura 2.58 - <i>Harmony Library</i> - Aberturas inferiores .....	115
Figura 2.59 - <i>Harmony Library</i> - Estratégia de integração dos sistemas de iluminação natural e artificial .....	116
Figura 2.60 - <i>Harmony Library</i> - Resultado da integração entre luz natural e artificial .....	117
Figura 2.61 - <i>Harmony Library</i> - Iluminação de tarefa suplementa a iluminação geral .....	117
Figura 4.1 - Máscara de sombra do entorno a partir da visão de um observador ...	133
Figura 4.2 - Guia para projetos luminotécnicos .....	146

## Lista de tabelas

Tabela 2.1 - Contrastes de luminâncias adequados .....	18
Tabela 2.2 - Índices recomendados para razão entre iluminâncias .....	20
Tabela 2.3 - Caracterização das condições do céu - ABNT .....	33
Tabela 4.1 - Disciplinas ministradas nos cursos de pós-graduação em iluminação no Brasil .....	127

## Lista de quadros

Quadro 2.1 - Diagrama Morfológico, Nível I - Espaço urbano .....	100
Quadro 2.2 - Diagrama Morfológico, Nível II - Edifício .....	101
Quadro 2.3 - Diagrama Morfológico, Nível III - Ambiente .....	102

## Lista de abreviaturas e siglas

ABNT -	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AsBAI -	Associação Brasileira de Arquitetos de Iluminação
BRE -	Building Research Establishment
CAD -	Computer Aided Design
CC -	Componente do Céu
CEDF -	Código de Edificações do Distrito Federal
Cenpes II -	Centro de Pesquisas da Petrobrás (projeto de ampliação)
CIBSE -	The Chartered Institution of Building Services Engineers
CIE -	Commission Internationale de l'Eclairage
CIN -	Contribuição de Iluminação Natural
CRE -	Componente Refletida Externa
CRI -	Componente Refletida Interna
DCRL -	Diagramas de Contribuição Relativa de Luz
DF -	Daylight Factor
DIN -	Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemão de Normatização)
DLN -	Disponibilidade de Luz Natural
DLT -	Dia Luminoso Típico
DOE -	US Department of Energy
DUF -	Daylight Utilization Fraction
FLN -	Fator de Luz Natural
IASPI -	Iluminação Artificial Suplementar Permanente em Interiores
IDMP -	International Daylighting Measurement Programme
IEA -	International Energy Agency
IESNA ou IES -	Illuminating Engineering Society of North America
IRC -	Índice de Reprodução de Cores
ISO -	International Organization for Standardization

Labaut -	Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética do Departamento de Tecnologia da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade São Paulo
LabEEE -	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina
LANL -	Los Alamos National Laboratory
MME -	Ministério de Minas e Energia, Brasil
NBR -	Norma Brasileira aprovada pela ABNT
NOAA -	National Oceanic and Atmospheric Administration
PALN -	Percentual de Aproveitamento da Luz Natural
PROCEL -	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
Procel EDIFICA -	Programa de Eficiência Energética em Edificações
PSALI -	Permanent Supplementary Artificial Lighting in Interiors
UNI -	Ente Nazionale Italiano di Unificazione (associação italiana de normatização)

## Resumo

O uso eficiente da iluminação na arquitetura está condicionado ao estudo da disponibilidade da luz natural e à sua integração ao sistema de iluminação artificial. Esta pesquisa reúne e organiza de forma sistematizada o referencial teórico sobre projeto luminotécnico, com especial atenção aos métodos para a análise da iluminação. Apóia-se na revisão bibliográfica dos métodos de projeto luminotécnico existentes, nas investigações sobre a formação do profissional luminotécnico e de seu processo projetual, culminando na elaboração de um guia para o desenvolvimento de projetos integrando luz natural e artificial.

Palavras-chave: projeto luminotécnico integrado; métodos para projeto luminotécnico; iluminação natural; iluminação artificial.

## **Abstract**

The efficient use of the lighting in architecture depends upon the study of the daylighting availability and its integration with the electric lighting system. This research concentrates and organizes systematically theoretical bases on lighting design, with special attention to lighting analyses methods. It is based on the bibliographic review of the existent lighting design methods, in investigations about the professional formation of the lighting designer and its process of project, culminating on the development of a guide for lighting designing integrating daylight and electric light.

Key-words: integrated lighting design; lighting design methods; daylighting; electric lighting.

# 1. Introdução

Os impactos das ações humanas no meio ambiente são uma das principais preocupações de governos em vários países. Garantir a sustentabilidade ambiental<sup>1</sup> tem sido a palavra de ordem do século XXI. Wines (2000) comenta a importância do arquiteto como agente multiplicador da “filosofia ecológica” e aponta algumas diretrizes para uma arquitetura em conformidade com a responsabilidade ambiental. Dentre elas, o autor cita a eficiência energética e a orientação solar, que deve ser adequada para potencializar o aproveitamento da luz natural.

A importância do aproveitamento da luz natural na arquitetura transcende a questão da necessidade de redução do consumo de energia vivida nos dias de hoje. Ela está associada também ao conforto e ao conceito de qualidade ambiental (AMORIM, 2002). Qualidade ambiental<sup>2</sup> e eficiência energética podem ser alcançadas, por exemplo, a partir do uso adequado da luz natural nas edificações.

Uma das principais vantagens da luz natural é a qualidade da luz proporcionada. A visão humana evoluiu ao longo de milhões de anos usando a luz natural — uma combinação de luz solar direta e luz difusa do céu — e por esse motivo apresenta maior facilidade de se adaptar a ela. A luz natural é uma fonte luminosa de espectro completo, por isso é usada como referência na comparação com as fontes artificiais. Também é considerada a melhor fonte de luz para a fidelidade na reprodução de cores (ROBBINS, 1986).

A presença da luz natural direta e difusa em um ambiente proporciona variedade através de mudanças nas cores, contrastes e luminosidade. Isto estabelece uma dinâmica espacial única, que nenhum outro elemento de projeto

---

<sup>1</sup> Um dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio segundo a ONU - Organização das Nações Unidas. Disponível em: <<http://www.un.org/millenniumgoals/>> Acesso em: 18 jun. 2007;

<sup>2</sup> A HQE – *Association pour la Haute Qualité Environnementale*, associação francesa que certifica a alta qualidade ambiental nas edificações preconiza 14 objetivos ambientais: integração do edifício ao entorno; integração dos produtos, sistemas e processos construtivos; obra de baixo impacto ambiental; gestão da energia; gestão da água; gestão de resíduos; gestão da manutenção; conforto higrotérmico; conforto acústico; conforto visual; conforto olfativo; qualidade sanitária dos espaços; qualidade sanitária do ar; qualidade sanitária da água. (trad. livre) Disponível em: <<http://www.assohqe.org/docs/deqe.pdf>> Acesso em: 24 jun. 2007.

pode proporcionar (COLLINS<sup>3</sup>, apud ROBBINS, 1986). Além disso, considera-se também uma vantagem o fato das aberturas para a entrada de luz natural permitirem a visão do exterior, fator associado ao bem-estar mental dos usuários de uma edificação (ROBBINS, 1986).

A luz natural é pouco uniforme, e sua cor, intensidade, direção e distribuição no espaço variam constantemente, por isso é mais estimulante que a luz artificial. Mas, “independente do aproveitamento que se faça da luz natural, a luz artificial, para ser usada à noite ou não, é um elemento quase inevitável da expressividade dos ambientes.” (SCHMID, 2005, p. 297).

## 1.1. Justificativa

A crise energética em 2001 pode ter contribuído para reacender o interesse profissional pela iluminação. Este fato é revelado pelo surgimento de um grande número de cursos de especialização em iluminação no país nos últimos anos. Infelizmente, o entendimento da necessidade da conservação de energia e o próprio termo eficiência energética foram assimilados em geral, à redução do consumo da iluminação elétrica através do uso de equipamentos mais eficientes (lâmpadas, luminárias e reatores), enquanto a questão do uso eficiente da iluminação natural recebeu menor atenção.

No que diz respeito à iluminação de edificações, a eficiência energética pode ser alcançada através de dois fatores: uso adequado da luz natural e de sistemas de iluminação artificial eficientes. Quando ambos os fatores são reunidos numa proposta projetual, aumentam as chances de êxito com relação à economia de energia.

De acordo com Souza (2003, p. 13-14) "a utilização eficiente qualitativa e quantitativamente de sistemas integrados de iluminação artificial e natural proporciona ao usuário ambientes agradáveis e prazerosos, evitando desperdício de energia elétrica e proporcionando o retorno em curto prazo do investimento

---

<sup>3</sup> COLLINS, B. L. *Review of the psychological reaction to windows*. *Lighting Research and Technology* 8(2): 80-88, 1976.

inicial em sistemas tecnologicamente eficientes." A economia de energia elétrica pode ser significativa quando a luz natural atuar em conjunto com um sistema de controle adequado da iluminação artificial.

Para tirar proveito da iluminação natural em um edifício, o sistema de controle da iluminação artificial deve desligar ou reduzir a intensidade (dimerizar) da iluminação artificial nos momentos em que a iluminação natural for suficiente. A iluminação artificial deve operar para suplementar as mudanças nos níveis da iluminação natural e manter constante a iluminância de projeto usando as mais eficientes tecnologias e estratégias de controle disponíveis (LANL, 2002).

A integração da luz natural e artificial tem início na determinação das intenções globais do projeto luminotécnico. Definem-se, então, os papéis a serem desempenhados pela luz natural e pela luz artificial para que os objetivos do projeto sejam atingidos. Antes de mais nada é preciso analisar o desempenho da luz natural no ambiente em diferentes períodos ao longo do ano. Podem ser observados os níveis de luminância das superfícies, níveis de iluminância, as zonas luminosas, variações sazonais da disponibilidade de luz natural (direção e intensidade), e mudanças na distribuição da luminosidade com aberturas e elementos de controle da luz solar direta (IESNA, 2000).

A luz natural é tanto elemento de projeto, quanto sistema ambiental. Enquanto elemento de projeto pode valorizar aspectos estéticos e qualitativos da edificação. Enquanto sistema ambiental deve ser analisada quantitativamente segundo o desempenho de seus atributos (iluminação, energia e economia), suas características físicas, e sua interação com outros sistemas ambientais, incluindo iluminação artificial, condicionamento de ar e estruturas (ROBBINS, 1986).

As análises quantitativas e qualitativas, tanto da luz natural como da artificial, são objeto de estudo de diversas pesquisas que desenvolveram, aprimoraram e avaliaram métodos para a predição da iluminação.

Diferentes métodos para projeto luminotécnico são descritos por vários autores, principalmente em trabalhos que tratam da luz natural. Usualmente são divididos em métodos de cálculo, métodos gráficos e também é considerado o uso de modelos reduzidos para avaliação do comportamento da luz natural seja sob a luz do dia real, ao ar livre, ou sob um céu artificial criado em laboratório.

Com as facilidades oferecidas pelos recursos da computação, muitos programas de simulação foram criados para facilitar a aplicação das rotinas de cálculo estabelecidas pelos métodos. Os programas implementam os algoritmos<sup>4</sup> de métodos de cálculo possibilitando o estudo de edificações de formas complexas com agilidade e precisão (LIMA; CHRISTAKOU, 2007).

Apesar da existência de todos esses recursos para a avaliação da luz natural e artificial em ambientes, supõe-se que a maioria dos arquitetos luminotécnicos<sup>5</sup> no Brasil desconhece os métodos relacionados à iluminação natural e os métodos de integração entre iluminação natural e artificial. Em uma pesquisa<sup>6</sup> preliminar feita a partir da Internet a sites com registros de projetos de iluminação, foi observado que poucos dos projetos desenvolvidos no país integram luz natural e artificial. A grande maioria trata apenas da iluminação artificial.

Observa-se ainda que o termo "projeto de iluminação" é tratado de forma distinta por acadêmicos e profissionais atuantes no mercado de trabalho. Usualmente, em trabalhos científicos, o significado abrange iluminação natural e artificial; entretanto fora do meio acadêmico o termo é utilizado, em geral, para designar exclusivamente projeto de iluminação artificial, que também é conhecido como projeto luminotécnico.

Souza (2004) destaca a baixa produção de projetos verdadeiramente comprometidos com a promoção do uso da luz natural no Brasil, acreditando que isso pode ser explicado, em parte, pelo fato do assunto tecnologia em iluminação natural ser ainda recente no ensino da arquitetura.

Amorim (2007, p. 59) comenta que os arquitetos envolvidos em projetos luminotécnicos têm especial interesse nos aspectos estéticos da luz, mas acredita ser necessária a difusão do conhecimento em conforto e eficiência energética:

---

<sup>4</sup> "Conjunto de regras e procedimentos lógicos perfeitamente definidos que levam à solução de um problema num número finito de etapas" (CHRISTAKOU, 2004, p. 102).

<sup>5</sup> Entendemos que o projeto luminotécnico voltado à arquitetura (exclui-se a iluminação cênica, esportiva e de vias públicas) deve ser de competência exclusiva do arquiteto, por considerarmos essencial o conhecimento teórico em arquitetura para uma visão adequada do espaço construído a ser iluminado. Portanto, usaremos o termo arquiteto luminotécnico para designar o profissional competente para a iluminação arquitetônica.

<sup>6</sup> Fontes da pesquisa: <<http://www.arcoweb.com.br/lightdesign.asp>> Acesso em: 14 jun. 2007; <<http://www.asbai.com.br/?area=projetos>> Acesso em: 15 jun. 2007;

O momento atual brasileiro, no entanto, visto a carência de normas e incentivos para projetos conscientes do ponto de vista ambiental, é de construção e disseminação de conhecimentos através de instrumentos que levem a projetos do espaço construído mais sustentáveis e de maior qualidade ambiental (conforto e eficiência energética, principalmente), facilitando a aplicação deste conhecimento à comunidade de projetistas.

Mais uma vez, Souza (2004) comenta a falha na conexão entre as informações existentes sobre a disponibilidade de luz natural e o exercício da arquitetura. Segundo ela, apesar da existência de vários trabalhos referentes à disponibilidade da luz natural e métodos para a estimativa da iluminação, poucos destes estudos fazem o vínculo entre tais métodos e sua aplicação prática.

Neste sentido, considera-se interessante desenvolver um estudo com outra abordagem para a concepção do projeto luminotécnico, que trate a integração da luz natural e artificial em sua essência, e que possa oferecer uma contribuição à prática profissional. Questiona-se a acessibilidade e real utilização dos métodos para projetos luminotécnicos, bem como a preocupação com o melhor aproveitamento da luz natural e sua integração com a iluminação artificial.

Observa-se que a maior parte dos trabalhos teóricos sobre iluminação apresenta vários métodos para a análise da iluminação em projetos arquitetônicos, principalmente os métodos para a iluminação natural. Poucos abordam métodos para a integração da iluminação natural e artificial. Algumas destas obras apresentam estudos de casos para ilustrar a correta utilização dos princípios teóricos abordados. Mas a quantidade e diversidade de métodos para a análise da iluminação natural e artificial encontrada no conjunto das obras pesquisadas gera um montante de informações teóricas confusas e desvinculadas do exercício prático.

Identifica-se, portanto, a necessidade de um guia para projetos luminotécnicos, voltado ao profissional arquiteto, visando organizar de maneira sistemática o referencial teórico, principalmente os métodos para a análise da iluminação.

## 1.2. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é reunir e organizar de forma sistematizada o referencial teórico sobre projeto luminotécnico, com especial atenção aos métodos para a análise da iluminação, na forma de um guia para o desenvolvimento de projetos integrando luz natural e artificial.

Os objetivos específicos são:

- Analisar o conceito de projeto integrado de iluminação natural e artificial;
- Identificar possíveis lacunas na formação técnica do arquiteto luminotécnico e o comprometimento dos profissionais com o uso da iluminação natural e sua integração à iluminação artificial, através da investigação dos métodos utilizados pelos escritórios de projeto luminotécnico;
- Levantar e selecionar métodos e ferramentas existentes para cálculo e análise da iluminação natural e artificial, e para a integração entre iluminação natural e artificial;
- Elaborar um guia para projetos luminotécnicos, sintetizando as informações levantadas.

## 1.3. Estrutura do trabalho

O presente trabalho está organizado da seguinte maneira:

Após o capítulo 1 - **Introdução**, o capítulo 2 - **Revisão bibliográfica** reúne e seleciona métodos existentes para cálculo e análise da iluminação natural e artificial, e para a integração entre iluminação natural e artificial. Também fazem parte da revisão da bibliografia uma análise do projeto luminotécnico integrando luz natural e artificial, assim como projetos luminotécnicos considerados exemplares para ilustrar o que se propõe nesta pesquisa.

O capítulo 3 - **Metodologia** apresenta os procedimentos adotados no trabalho, que têm início com a revisão bibliográfica. Uma investigação sobre a formação técnica em projetos luminotécnicos foi feita ainda nos primeiros estágios da pesquisa no intuito de entender a estrutura dos cursos de especialização em

projeto de iluminação existentes no país. Em seguida desenvolveu-se uma pesquisa sobre o processo projetual dos escritórios de iluminação realizada na forma de entrevistas a um grupo de arquitetos luminotécnicos, a fim de se investigar os métodos e ferramentas utilizadas no desenvolvimento dos projetos luminotécnicos. Os procedimentos citados forneceram as informações que são usadas como insumo para a criação do guia para projetos luminotécnicos proposto ao final.

Os procedimentos seguidos resultaram em informações que são analisadas no capítulo 4 - **Resultados e discussão**. Neste capítulo são discutidos os resultados da investigação sobre a formação profissional e das entrevistas aos arquitetos luminotécnicos. Finalmente é apresentado o guia para projetos luminotécnicos planejado na forma de um organograma, sugerindo uma seqüência de etapas a serem cumpridas. A estas etapas foram associadas algumas alternativas de métodos mais adequados aos resultados esperados para cada uma delas. No mesmo capítulo é explicitado o significado de cada fase do projeto e os objetivos a serem alcançados em cada uma das etapas envolvidas, de acordo com a visão do projeto luminotécnico integrando iluminação natural e artificial que se pretende transmitir com este trabalho.

Por fim, o capítulo 5 - **Conclusões** apresenta as principais conclusões obtidas a partir dos resultados das pesquisas realizadas, as recomendações e limitações par o uso do guia e algumas indicações para trabalhos futuros.

O **Apêndice A** traz a ficha de anotações contendo as perguntas aplicadas nas entrevistas aos arquitetos luminotécnicos.

O **Apêndice B** apresenta os resultados das entrevistas relacionados em tabelas que evidenciam o referencial de codificação construído para analisar as respostas obtidas.

## 2. Revisão bibliográfica

A revisão da bibliografia examina o conceito do projeto luminotécnico integrando luz natural e artificial e os métodos para análise e predição da iluminação natural e artificial, assim como os métodos para a integração entre sistemas de iluminação natural e artificial, selecionando os mais adequados às condições brasileiras de disponibilidade de luz natural.

### 2.1. Projeto luminotécnico integrado: iluminação natural e artificial

A questão da sustentabilidade em edificações está diretamente relacionada, entre outros aspectos, à eficiência energética. O projeto luminotécnico tem ação direta sobre o impacto do uso da energia elétrica nas edificações em diversos pontos: uso apropriado da luz natural visando à redução da necessidade da iluminação artificial; a especificação do sistema de iluminação natural; a especificação de um sistema de iluminação artificial que garanta máxima eficiência energética dentro dos objetivos de projeto; e a especificação de sistemas de controle e acionamento da iluminação artificial que façam a conexão da operação desse sistema com a luz natural disponível.

Outro aspecto relativo à eficiência energética que também precisa ser considerado em projetos luminotécnicos diz respeito ao aumento da carga térmica no interior de um ambiente causado pelas fontes luminosas, sejam elas a luz natural ou luminárias do sistema de iluminação artificial. Um estudo do LANL - *Los Alamos National Laboratory* (2002) mostrou que o ganho de calor gerado por um sistema de iluminação artificial considerado eficiente corresponde a quase o dobro do calor provocado por um bom sistema de iluminação natural, conforme apresentado na figura 2.1 a seguir:

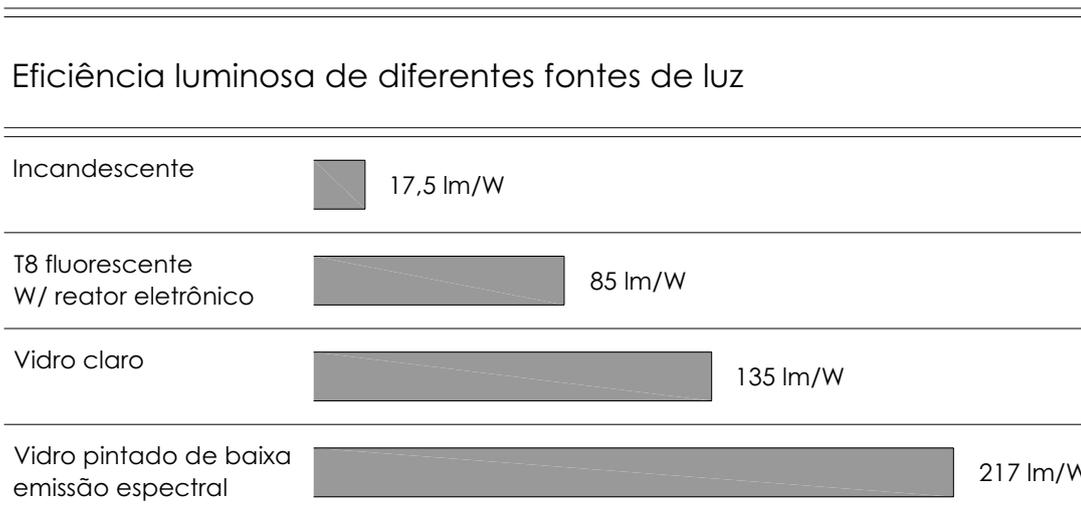


Figura 2.1 - Eficiência luminosa de diferentes fontes de luz. (Adaptado de: LANL, 2002)

O sistema de iluminação artificial integrado ao projeto arquitetônico deverá suplementar as oscilações no nível de iluminação natural, mantendo constante o nível de iluminância prescrito para cada ambiente, utilizando tecnologias de iluminação artificial mais eficientes e as estratégias de controle disponíveis (LANL, 2002).

### 2.1.1. Sistemas para iluminação natural

Sistemas para iluminação natural são compostos por aberturas laterais e zenitais que permitem a passagem da luz para o interior do edifício e as superfícies da edificação atuam como protetores e refletores modelando e distribuindo a luz natural internamente (NBI, 2003).

Baker, Fanchiotti e Steemers (1993) classificam as estratégias de projeto para iluminação natural em: componentes de condução, componentes de passagem e elementos de proteção.

A utilização e combinação de uma ou mais destas estratégias deve considerar as condições do clima local, disponibilidade de luz natural, orientação solar e tipo de atividade desenvolvida no ambiente interno.

### 2.1.1.1. Componentes de condução

São espaços intermediários ou internos, que conduzem e distribuem a luz natural do exterior ao interior do edifício. Podem estar conectados entre si formando espaços contíguos.

São exemplos de componentes de condução intermediários as galerias e os pórticos (fig. 2.2). Pátios, átrios e dutos de luz são componentes de condução internos. Pátios são comumente definidos como ambientes internos cercados por todos os lados e abertos pelo topo. Difere-se do átrio que tem as mesmas características, mas é coberto por elementos que dão passagem à luz natural (fig. 2.3).

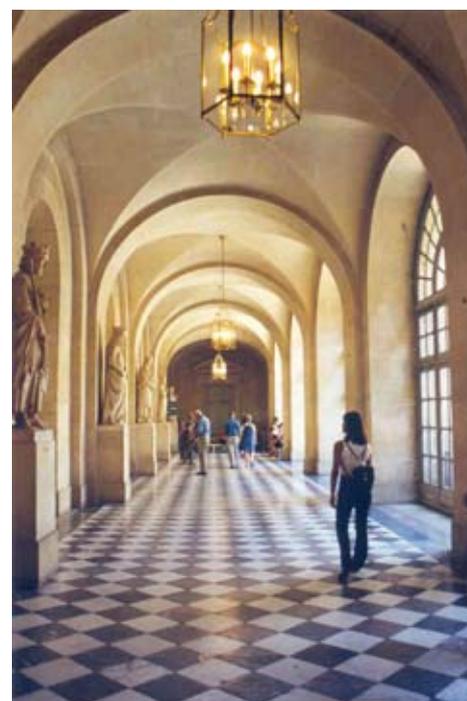


Figura 2.2 - Componentes de condução. Esquerda: Galeria aberta (andar superior) e pórtico (térreo) - Pinacoteca de Brera, Milão; Direita: Galeria fechada - Palácio de Versailles.

A utilização de espaços abertos intermediários em climas quentes e temperados permite que os ambientes internos sejam climatizados naturalmente, beneficiando-se ainda da visão para o exterior. Ao contrário, em climas frios, o

emprego destes espaços fica um pouco restrito à visão do exterior. (SCHILLER; EVANS<sup>7</sup>, apud POGERE, 2001).



Figura 2.3 - Componentes de condução. Esquerda: Átrio - Estação Oriente, Lisboa; Direita: Pátio - Claustro da Igreja *Santa Maria delle Grazie*, Milão.

Por terem normalmente uma grande extensão, os átrios devem ser cobertos por materiais translúcidos de baixa transmissão luminosa: 10% a 25% segundo recomendação do IESNA - *Illuminating Engineering Society of North America* (2000).

### 2.1.1.2. Componentes de passagem

São elementos que permitem a passagem da luz natural ao interior dos ambientes. Podem ser aberturas laterais ou zenitais. Podem dar passagem à luz do exterior para o interior ou a partir de um ambiente intermediário a um ambiente interno. Para evitar penetração de radiação solar direta podem receber elementos de controle.

As aberturas laterais mais tradicionais, as janelas, variam em comprimento e altura e quanto à sua disposição em um ambiente, sendo mais comuns as unilaterais e bilaterais em paredes opostas ou em paredes adjacentes (fig. 2.4).

<sup>7</sup> SCHILLER, S. de; EVANS, J. M. **Rediscovering outdoor living space**. Design from the outside in. PLEA' 98, Lisboa, Portugal, 1998.



Figura 2.4 - Componentes de passagem laterais. Janelas. (fonte: <[http://casa.abril.com.br/materias/portas/mt\\_190119.shtml?portas-janelas](http://casa.abril.com.br/materias/portas/mt_190119.shtml?portas-janelas)> Acesso em 13/12/2008).

Com relação às aberturas laterais, as aberturas zenitais proporcionam uma distribuição mais uniforme da iluminação natural interna se estiverem uniformemente distribuídas pela cobertura. Também geram maiores níveis de iluminância em relação às laterais porque contam, em geral, com o dobro da área iluminante de céu, com exceção dos sheds verticais (VIANNA; GONÇALVES, 2001). Pelo mesmo motivo, recebem uma carga térmica duas vezes maior que de aberturas verticais, e, portanto devem ser usadas com critério (AMORIM, 2002). Análises de conforto térmico serão fundamentais para a comprovação do bem estar no ambiente interno.

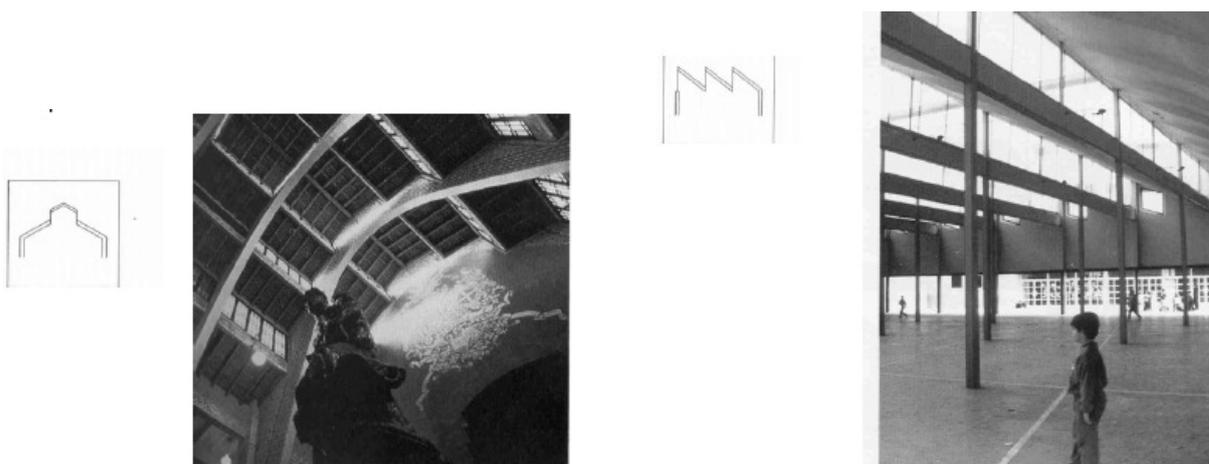


Figura 2.5 - Componentes de passagem zenitais. Esquerda: Lucernário tipo monitor; Direita: Lucernário tipo shed. (fonte: BAKER; FANCHIOTTI; STEEMERS, 1993).

São exemplos de componentes de passagem zenitais os lucernários horizontais, tipo monitor e tipo shed (fig. 2.5). Domos, clarabóias, tetos translúcidos, lanternins e telhados dente-de-serra também são considerados componentes zenitais.

### 2.1.1.3. Elementos de controle

Os elementos de controle servem como filtros e barreiras que protegem os ambientes internos do meio externo (POGERE, 2001). São acrescentados aos componentes de passagem com o intuito de restringir a passagem da luz solar direta e/ou redirecionar a luz que chega ao interior do ambiente.



Figura 2.6 - Elementos de controle. Esquerda: Beiral - Centro tecnológico da Mahle, Jundiaí; Direita: Varandas - Edifício residencial, São Paulo. (fontes: Esquerda: <<http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/arquitetura887.asp>> Acesso em 18/11/2008; Direita: <<http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/arquitetura889.asp>> Acesso em 18/11/2008).

Podem ser externos ou internos às aberturas. Os externos são mais eficientes do ponto de vista do bloqueio da radiação solar que acontece antes de penetrar no ambiente. No caso de elementos de controle internos, a radiação solar atravessa a superfície separadora (vidro ou policarbonato) e atinge o elemento de controle interno que irá refletir parte da radiação de volta para o exterior, mas

também absorverá outra parte da radiação que será convertida em calor e será irradiada no interior do ambiente (SILVA, 2007).



Figura 2.7 - Elementos de controle. Esquerda: Venezianas externas - Como, Itália; Direita: Toldos - Veneza, Itália.

Podemos citar os vidros e policarbonatos transparentes ou translúcidos, varandas, beirais (fig. 2.6), marquises, sacadas, toldos, cortinas, venezianas (externas ou internas) (fig. 2.7), elementos vazados tipo cobogó, brises verticais e horizontais (móveis ou fixos) (fig. 2.8), pérgulas e também a vegetação.

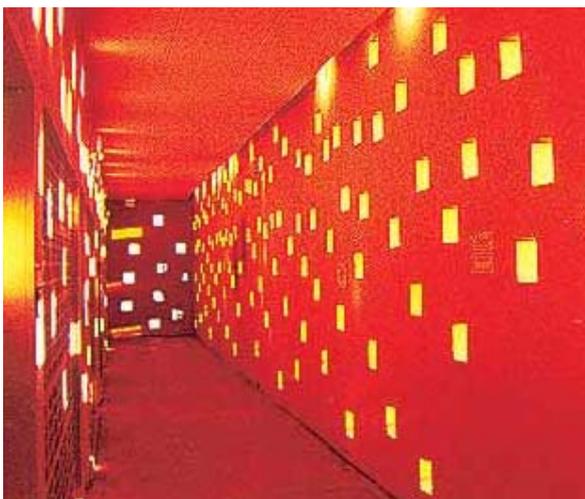


Figura 2.8 - Elementos de controle. Esquerda: Cobogó - Escola PHD Infantil, Natal; Direita: Brise horizontal fixo - Edifício escolar, São Paulo. (fontes: Esquerda: <<http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/arquitetura389.asp>> Acesso em 18/11/2008; Direita: <http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/arquitetura759.asp>> Acesso em 18/11/2008.

### 2.1.2. Sistemas para iluminação artificial

Sistemas de iluminação artificial são compostos por luminárias, lâmpadas e equipamentos complementares (ex.: transformadores e reatores). Segundo Vianna

e Gonçalves (2001) o sistema ótico (luminária + lâmpada) pode ser classificado em função da forma como o fluxo luminoso é irradiado, em direta, semi-direta, uniforme, semi-indireta e indireta (fig. 2.9):

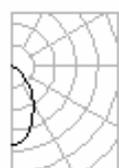
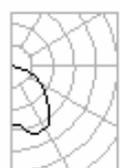
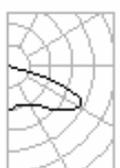
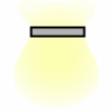
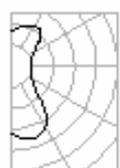
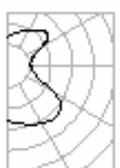
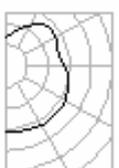
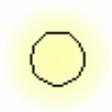
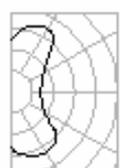
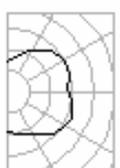
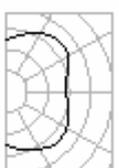
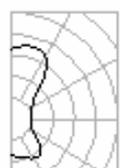
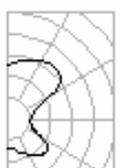
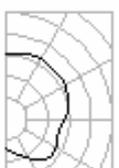
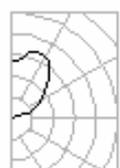
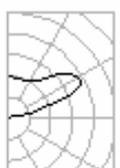
CLASSIFICAÇÃO DIN 5040 e CIE	MUITO DIRIGIDA	INTENSIVA	EXTENSIVA	DIFUSA
<p>DIRETA</p> <p>0 - 10%</p>  <p>90 - 100%</p>				
<p>SEMI-DIRETA</p> <p>10 - 40%</p>  <p>60 - 90%</p>				
<p>UNIFORME</p> <p>40 - 60%</p>  <p>40 - 60%</p>				
<p>SEMI-INDIRETA</p> <p>0 - 10%</p>  <p>90 - 100%</p>				
<p>INDIRETA</p> <p>90 - 100%</p>  <p>0 - 10%</p>				

Figura 2.9 - Classificação das luminárias e curvas de distribuição da intensidade luminosa. (Adaptado de: VIANNA; GONÇALVES, 2001 e IESNA, 2000)

A mesma classificação é proposta pela CIE - *Commission Internationale de l'Eclairage* para luminárias internas, que estabelece mais detalhadamente a proporção do fluxo luminoso dirigido para cima e para baixo do plano horizontal da luminária (IESNA, 2000):

- Direta: quando o sistema ótico direciona 90% a 100% de seu fluxo luminoso emitido para baixo. A distribuição pode variar de muito espalhado a altamente

concentrado dependendo do material do refletor, acabamento e controle ótico empregado;

- Semi-direta: quando o fluxo luminoso do sistema ótico é emitido predominantemente para baixo (60% a 90%), mas uma pequena parte é direcionada para cima, iluminando o teto e a parte superior das paredes;
- Uniforme ou difusa: quando as porções do fluxo luminoso ascendente e descendente se equivalem, medindo cada uma delas entre 40% e 60%, o sistema ótico é dito uniforme ou difuso. Uma outra categoria dentro dessa classificação, porém não considerada pela CIE, é chamada de direta-indireta, e ocorre quando o sistema ótico emite muito pouca luz nos ângulos próximos à horizontal;
- Semi-indireta: é caracterizada pela distribuição luminosa inversa ao sistema semi-direta, ou seja, quando a maior parte do fluxo luminoso é direcionada para cima da luminária (60% a 90%), e o restante é direcionado para baixo;
- Indireta: sistemas óticos classificados como indiretos são aqueles cujo fluxo luminoso é predominantemente ascendente (90% a 100%) iluminando o teto e a parte superior das paredes.

### **2.1.3. Análise do desempenho da iluminação**

A visão depende da luz e a iluminação deve oferecer condições visuais com as quais as pessoas possam desempenhar suas atividades com eficácia, eficiência e conforto. Sistemas de iluminação são projetados objetivando o desempenho visual, mas o conforto visual é um aspecto que deve ser considerado. Desempenho visual é determinado pela capacidade do sistema visual, enquanto conforto visual está relacionado às expectativas humanas. Qualquer sistema de iluminação que não alcance tais expectativas poderá ser considerado desconfortável mesmo que haja adequado desempenho visual (IESNA, 2000).

Em geral, boa visibilidade é definida por um nível de iluminação adequado para uma determinada tarefa visual, distribuição uniforme de iluminância e luminância, direcionalidade da luz para modelar objetos e superfícies tridimensionais, ausência de ofuscamento, e reprodução adequada de cores (IEA,

2000). Um bom projeto de iluminação pressupõe que sejam observadas as seguintes considerações:

### **2.1.3.1. Iluminâncias**

Historicamente a determinação da quantidade de luz necessária em uma edificação baseou-se na quantidade de luz, independente da fonte, necessária para o desempenho de tarefas visuais. A qualidade e caráter da luz no espaço devem ser considerados como o principal elemento do projeto. Em projetos que utilizam sistemas de iluminação natural (característica do projeto integrado), tanto os aspectos quantitativos quanto os qualitativos são de fundamental importância para o projeto arquitetônico em função do impacto da luz natural na forma, organização do espaço e orientação das aberturas (ROBBINS, 1986).

O mesmo autor observou que desde o final do século XX, a crescente demanda pelo uso da iluminação artificial — seja como sistema suplementar à iluminação natural, ou para proporcionar efeitos artísticos — acarretou um crescimento correspondente também nos níveis de iluminância propostos nas diversas diretrizes de projeto luminotécnico por todo o mundo.

Diversos estudos levantados pelo IESNA (2000), que buscavam identificar preferências em níveis de iluminância média no plano de trabalho, apontaram não haver padrões de preferência para um valor de iluminância específico, mas sim extensos intervalos de níveis de iluminância aceitáveis.

Diretrizes apresentadas pela IEA (2000) consideram que os níveis de iluminância recomendados para tarefas com suporte em papel (ex.: leitura e escrita) podem ser excedidos em até duas vezes ou mais, desde que seja garantida a ausência de ofuscamento e mínimo impacto do ganho térmico no sistema de ar condicionado (especialmente em climas quentes). Por outro lado, para tarefas relacionadas a equipamentos emissores de luz (ex.: computadores e aparelhos de televisão), os níveis de iluminância média recomendados em normas devem ser tomados como valores máximos, uma vez que excedidos tais valores possa decorrer uma redução da visibilidade. Para ambientes de escritórios onde aconteçam tarefas relacionadas a ambas as mídias, papel e computador, é dito que

maior será o sucesso do sistema de iluminação, quanto maior for o número de horas por ano em que o sistema de iluminação integrado conseguir atingir, sem no entanto exceder demasiadamente, o nível de iluminância recomendado.

No Brasil, a ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992, p. 1) preconiza através da NBR 5413 - Iluminância de interiores "valores de iluminâncias médias mínimas em serviço para iluminação artificial" para diversos tipos de estabelecimentos. A mesma norma é indicada também para determinar níveis de iluminância para iluminação natural.

Ainda os códigos de obras e edificações vigentes em todo o território nacional estabelecem parâmetros relacionados à área das aberturas externas para a admissão de luz e ventilação natural. Diferentes em cada estado, os códigos devem refletir as necessidades específicas do clima de cada região. Mas apesar de sua autoridade legislativa, os parâmetros estabelecidos por esses códigos devem ser analisados criteriosamente pela equipe de projeto.

### 2.1.3.2. Contrastes adequados de luminâncias

Contraste é a avaliação perceptiva da diferença do aspecto de duas ou mais partes do campo visual observadas simultaneamente (ABNT, 1991).

Baixa visibilidade e desconforto visual podem ocorrer se o olho for forçado a se adaptar rapidamente a uma grande diferença de níveis de iluminação (IEA, 2000). Grandes contrastes de luminância devem ser evitados para minimizar a fadiga visual. Em geral superfícies não devem apresentar diferença extrema de luminâncias, contudo, espaços com total uniformidade de brilho falham em interesse visual (IESNA, 2000).

A tabela a seguir lista alguns contrastes de luminâncias recomendados:

TABELA 2.1 - CONTRASTES DE LUMINÂNCIAS ADEQUADOS

CONTRASTES DE LUMINÂNCIAS	VALOR	REFERÊNCIA
Luminâncias tarefa/ entorno imediato	2,5:1 a 3:1	IESNA apud IEA, 2000
Luminâncias tarefa/ entorno remoto (máximo contraste em um ambiente)	40:1*	IESNA apud IEA, 2000; UNI 10380 apud AMORIM, 2000
Luminâncias fonte luminosa/ entorno	20:1	UNI 10380 apud AMORIM, 2000

\* Observar diretrizes adicionais para evitar ofuscamento.

Quando houver um objeto em destaque, admite-se um contraste máximo onde sua luminância poderá chegar a 50 vezes a luminância do fundo (UNI 10380, apud AMORIM, 2000).

### 2.1.3.3. Uniformidade ou distribuição de iluminâncias

Níveis médios, máximos e mínimos de iluminância admissíveis não são suficientes para avaliar a qualidade visual de um ambiente iluminado. A distribuição de iluminâncias no ambiente como um todo e sobre a área de trabalho são parâmetros que complementam essa avaliação (SOUZA, 2004).

Contrastes de iluminância e de luminância descritos por índices entre valores máximos e médios, ou médios e mínimos são usados para quantificar a uniformidade luminosa sobre superfícies (IESNA, 2000; IEA, 2000).

A iluminância de tarefa deve ser maior que a iluminância do entorno imediato, mas de modo geral, quanto mais uniforme for a distribuição da luz no campo visual, melhor será a visibilidade da tarefa (IESNA, 2000; IEA, 2000).

Um estudo desenvolvido por Tuow<sup>8</sup> (apud IESNA, 2000) observou a relação entre distribuição de iluminâncias e refletância da superfície na área de tarefa. Indivíduos foram colocados para executar uma simples tarefa em diversas carteiras escolares sob diferentes iluminâncias. Depois os participantes do experimento indicaram em qual das carteiras eles preferiram desempenhar a tarefa para cada iluminância avaliada (50, 100, 500, 1000 lux). Os resultados da pesquisa revelaram que para iluminâncias altas os indivíduos preferiram carteiras de baixa refletância. Para altas iluminâncias (500 lux) a maior preferência foi pela razão 3:1 entre o papel e o fundo, enquanto para baixas iluminâncias 2:1 representou a maior preferência.

A partir do conceito de zonas luminosas, Robbins (1986) orienta através de uma regra geral quanto às diferenças de iluminâncias adequadas dentro de uma

---

<sup>8</sup> TUOW, L. M. C. 1951. ***Preferred brightness ratio of task and its immediate surroundings.*** *Proceedings: Commission Internationale de l'Éclairage 12th Session. Paris: Bureau Central de la CIE.*

mesma zona. A luminosidade no ponto de maior iluminância não deve ser maior que aproximadamente três vezes a luminosidade no ponto de menor iluminância. Mas ressalta que esta diretriz deve variar de acordo com a acuidade da tarefa visual. De acordo com o autor três zonas com diferenças de iluminâncias distintas são recomendadas:

- Diferença entre iluminâncias da tarefa e do fundo = 3:1;
- Diferença entre iluminâncias da tarefa e do fundo = 6:1;
- Diferença entre iluminâncias da tarefa e do fundo = 9:1.

Conforme mencionado anteriormente, diferenças superiores a 9:1 não são recomendadas, e quando isso ocorrer a área deverá ser novamente dividida em mais zonas luminosas.

Outros trabalhos e normas preconizam alguns valores para razão entre iluminâncias, que são apresentados na tabela seguinte:

TABELA 2.2 - ÍNDICES RECOMENDADOS PARA RAZÃO ENTRE ILUMINÂNCIAS

UNIFORMIDADE	VALOR	REFERÊNCIA
Iluminâncias tarefa/ mín.	< 3:1	CIE, apud AMORIM, 2000
Iluminâncias tarefa/ entorno	1,5:1 a 3:1	IESNA, 2000
Iluminâncias máx./ mín.	5:1	CIBSE, apud SOUZA, 2004

É importante observar ainda que por questões intencionais de projeto o arquiteto poderá abrir mão da uniformidade quando desejar destacar objetos ou valorizar uma área do ambiente, incorporando ritmo a um ambiente monótono.

#### 2.1.3.4. Ausência de ofuscamento

Ofuscamento é a "condição de visão na qual há desconforto ou redução da capacidade de distinguir detalhes ou objetos, devidos a uma distribuição desfavorável das luminâncias, ou a contraste excessivo." (ABNT, 1991, p. 13) Pode ser direto, quando causado por uma fonte luminosa situada no campo visual, particularmente quando essa fonte está próxima ao eixo de visão; indireto, quando o objeto luminoso não está na mesma direção do eixo de visão (ABNT, 1991); ou

por reflexão, quando causado por reflexos provenientes de superfícies polidas ou brilhantes causando desconforto e reduzindo a visibilidade (IESNA, 2000).

Tais tipos de ofuscamento causam dois efeitos indesejáveis à percepção visual: redução da visibilidade ou **ofuscamento perturbador**, e incômodo ou **ofuscamento desconfortável** (AMORIM, 2000).

**Ofuscamento perturbador** acontece quando a luz se espalha dentro do olho — fenômeno óptico natural que aumenta com o passar da idade (IESNA, 2000) — reduzindo o contraste nas imagens formadas na retina (tipicamente em baixos níveis de iluminação), e a visão é parcialmente ou totalmente impedida/bloqueada (ex.: ofuscamento causado por faróis de automóveis) (IEA, 2000).

O ofuscamento perturbador tem pouca importância em ambientes internos. Esse tipo de ofuscamento normalmente causa desconforto, mas quando a fonte luminosa é grande, poderá não causar a sensação de desconforto (ex.: a visão de um objeto fixado sobre uma parede adjacente a uma janela será dificultada pelo ofuscamento, mas não chega a causar desconforto) (IESNA, 2000).

**Ofuscamento desconfortável** é a sensação de incômodo causada por brilho intenso ou distribuição não uniforme de luminâncias no campo de visão. A avaliação do ofuscamento desconfortável é baseada no tamanho, luminância e número de fontes ofuscantes, posicionamento das fontes no campo de visão e luminância do fundo. Algumas condições devem ser observadas para se evitar o ofuscamento desconfortável (IEA, 2000):

- Luminância - para tarefas desenvolvidas em computador, deverá ser observada uma luminância máxima de  $300 \text{ cd/m}^2$  nas superfícies do entorno imediato e  $850 \text{ cd/m}^2$  nas superfícies no entorno remoto do campo de visão;
- Dimensão - a luminância média de uma área de  $0,6 \times 0,6 \text{ m}$  dentro do campo de visão deve ser mantida abaixo de  $850 \text{ cd/m}^2$ ;
- Contrastes de luminâncias - devem ser observados os valores máximos descritos no item 2.1.1.2. Contrastes adequados de luminâncias;
- Geometria - fontes luminosas ofuscantes devem ser mantidas fora da linha de visão;
- Velamento por reflexo - reflexos causados por superfícies brilhantes reduzem os contrastes e prejudicam a visibilidade. Sistemas de iluminação natural podem reduzir ou eliminar velamentos por reflexo através do controle da

insolação direta e níveis de luminância dentro da área visível a partir da superfície de trabalho.

### 2.1.3.5. Padrão e direção da luz

Algumas tarefas necessitam do efeito direcional da luz para modelar objetos e superfícies tridimensionais. Quanto maior a quantidade de luz difusa em um ambiente, menor será a ocorrência de sombras e, portanto, mais difícil será a avaliação de profundidade, forma e textura das superfícies. Por esse motivo, luz direta e luz difusa devem ser bem dosadas (fig. 2.10). A luz solar direta é tipicamente direcional, porém com suficiente luz difusa proveniente da abóbada celeste para promover contrastes em um objeto tridimensional (IEA, 2000).

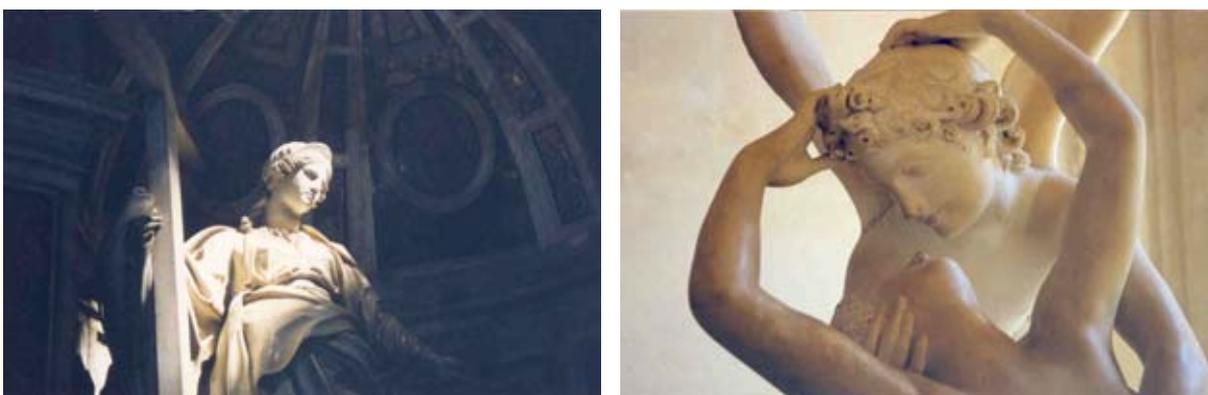


Figura 2.10 - Efeitos do padrão e direcionalidade da luz sobre os objetos. Esquerda: Escultura banhada com luz natural direta no interior da Basílica de São Pedro, Roma. O fecho concentrado de luz descendente revela detalhes de forma dramática e a imagem é destacada do fundo pelo contraste acentuado de claro e escuro; Direita: Escultura iluminada por luz natural difusa proveniente de sua lateral esquerda. Os detalhes são revelados de forma mais suave e o contraste entre imagem e fundo é mais tênue. Museu do Louvre.

A luz natural é considerada referencial para a percepção da iluminação. A percepção do mundo visual não é determinada unicamente pelos estímulos visuais apresentados ao sistema visual como a imagem na retina. Mais propriamente, o estímulo apresentado ao sistema visual provê informação que será interpretada com base em experiências passadas e informações coincidentes (IESNA, 2000).

A figura 2.11 mostra uma superfície com rebaixos e ressaltos. Entretanto, se a página for invertida os rebaixos se tornam ressaltos e vice-versa, porque

inconscientemente assumimos que a luz que desenha as sombras sempre vem de cima. Para a concepção de projetos luminotécnicos deve-se considerar essa informação como uma expectativa do usuário em relação ao ambiente iluminado (IESNA, 2000).

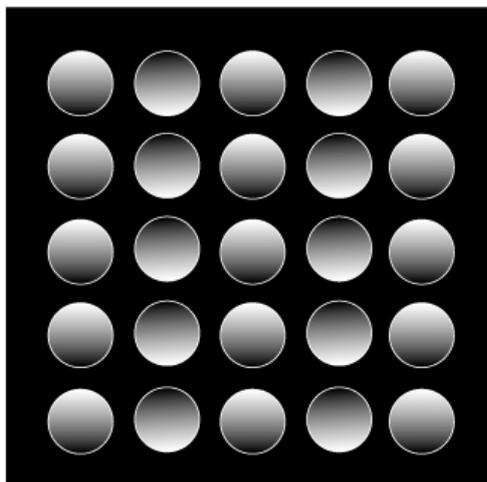


Figura 2.11 - O efeito da luz na percepção da profundidade. Esta figura contém rebaixos e ressaltos. Girando a página de cabeça para baixo os rebaixos parecerão ressaltos e vice-versa porque, perceptualmente, aprendemos que a iluminação vem de cima para baixo. (fonte: IESNA, 2000, trad. livre.)

Algumas regras gerais também foram apontadas em alguns estudos sobre o assunto. A iluminação natural lateral proporciona melhor visibilidade para tarefas horizontais do que a iluminação vinda do teto por sistemas de iluminação artificial (IEA, 2000). Em geral, a iluminação geral difusa em um ambiente é inadequada para avaliação de texturas finas. Nesse caso, a iluminação de tarefa pode ser usada para dar direção, distribuição e intensidade à iluminação (IESNA, 2000).

Uma importante função da iluminação, o reconhecimento facial e a percepção das feições são favorecidos por contrastes em torno da boca e dos olhos, resultado que pode ser alcançado através da iluminação multidirecional para modelar o rosto. A luz refletida pelas paredes, teto e outras superfícies ajudam a aumentar a iluminância vertical na face, preenchendo sombras acentuadas e delineando-a de uma maneira mais agradável. Fachos concentrados de baixo para cima devem ser abolidos por causar muito contraste, gerando sombras muito agudas e acentuando marcas e rugas (IESNA, 2000).

## 2.1.4. Outros aspectos importantes da iluminação

### 2.1.4.1. Temperatura de cor

A cor da iluminação é descrita por sua cromaticidade ou temperatura correlata de cor, ou simplesmente **temperatura de cor**, que designa a cor aparente de uma fonte luminosa.

A temperatura de cor de uma fonte luminosa descreve sua aparência de cor comparada à emitida por um corpo negro<sup>9</sup>, que em teoria irradia toda a energia que recebe (VIANNA; GONÇALVES, 2004). Na prática este parâmetro permite identificar a tonalidade percebida da luz emitida por determinada fonte luminosa.

Medida numa escala de graus Kelvin (K), a tonalidade da luz produzida por uma fonte pode ser percebida como mais amarelada ou de um branco mais puro, assim como ocorre com a cor da luz do sol. A luz do sol ao nascer é mais amarelada e vai se tornando mais branca no passar das horas. No entardecer, quando o sol está novamente próximo ao horizonte, ela torna a ter uma aparência amarela e até mesmo dourada. As lâmpadas artificiais também apresentam essa diferença de tonalidade da luz emitida, e por isso alguns modelos são descritos por características relacionadas às da luz natural. Ex.: luz do dia especial, extra luz do dia, *skywhite* e etc<sup>10</sup>.

---

<sup>9</sup> "Constitui-se num corpo metálico negro que apresenta um valor de 100% de absorção de energia, e portanto quando aquecido apresenta uma variação da sua cor devido ao implemento de calor. À medida que as temperaturas térmicas, medidas na escala Kelvin, crescem, seu espectro segue do infravermelho, passando pelo espectro visível, até atingir o ultravioleta e o ponto de fusão. Esta escala de cor, medida à partir desta correlação do efeito luminoso da incandescência do corpo negro, delimitou a referência de temperaturas de cor." Fonte: MERCOLUX <[http://www.mercolux.com.br/scripts/merc\\_frame.asp?parametro=principal.asp](http://www.mercolux.com.br/scripts/merc_frame.asp?parametro=principal.asp)>. Acesso em 10 abr. 2008.

<sup>10</sup> Nomes dados pelos fabricantes à temperatura de cor de lâmpadas fluorescentes. Luz do dia especial e skywhite são nomes de lâmpadas da Osram, e extra luz do dia, de uma lâmpada fabricada pela Philips. Fonte: Catálogo da Linha de Produtos OSRAM 2006/2007.

#### 2.1.4.2. Índice de Reprodução de Cores

O **IRC - Índice de Reprodução de Cores** é um indicador especificado pela CIE que varia de 0 a 100 para medir a correspondência entre a cor de um objeto observado sob uma determinada fonte luminosa e a sua aparência diante de uma fonte luminosa de referência. Desta forma, o IRC determina a correspondência entre uma fonte que se pretende avaliar e a fonte de referência, para uma mesma temperatura de cor. Sabendo-se que a fonte de referência será sempre a luz natural (cujo IRC equivale a 100%), pode-se dizer que o IRC é a medida da correspondência de uma fonte luminosa qualquer em relação à luz natural (ROBBINS, 1986). Quanto maior a fidelidade de uma fonte artificial em reproduzir as cores tal qual o sol, mais próximo de 100 será seu IRC.

#### 2.1.4.3. Treinamento do pessoal de manutenção e usuários

Outro aspecto muito importante em sistemas integrados de iluminação diz respeito ao **treinamento do pessoal de manutenção e dos usuários**, em relação à operação e objetivos do sistema de controle da iluminação artificial em resposta à luz natural. Os usuários deverão ser instruídos a respeito dos propósitos, bem como do funcionamento normal do sistema, para que se familiarizem com as mudanças ocorridas durante a operação do mesmo e porque algumas vezes terão que interagir com ele através do acionamento manual de alguns comandos controlados automaticamente (IEA, 2001).

Para o sucesso do sistema de iluminação integrado será conveniente que as informações sobre do funcionamento e manutenção do sistema de controle da iluminação artificial em resposta à luz natural cheguem ao usuário e responsáveis pela manutenção através de um gestor do edifício ou de documentação e suporte técnico. Para que o usuário entenda o funcionamento do sistema de controle como um todo, deve entender primeiro o funcionamento do fotossensor. Ele deve ser alertado sobre como o sensor percebe a iluminação e como o sistema reagirá quando houver mudanças no ambiente (IEA, 2001).

O sistema de controle não funcionará a contento se não for aceito pelo usuário. Um sistema será mais bem aceito se reagir de forma previsível. Sua reação deverá ser rápida quando uma ação for necessária (ex.: surgimento repentino de nuvens escuras no céu), e devagar quando a intenção é de que o usuário não perceba mudanças gradativas (ex.: aumento da luz natural ao longo da manhã) (IEA, 2001).

As pessoas gostam de controlar seu ambiente, portanto deve haver um meio pelo qual o usuário domine o sistema. Mas se o controle tiver funções muito complexas o usuário irá se aborrecer na tentativa de manuseá-lo e poderá encontrar uma maneira de adulterar seu funcionamento minando as possibilidades de racionalizar o consumo de energia elétrica pelo sistema de iluminação artificial. Após a instalação do sistema de controle pode ser útil a aplicação de questionários ou entrevistas aos usuários para identificar se o nível de iluminância é aceitável e se ocorrem flutuações indesejáveis da iluminância no ambiente (IEA, 2001).

#### **2.1.4.4. Vistas para o exterior**

Aberturas com vistas para o exterior são desejáveis em ambientes de trabalho ou domésticos. Pessoas não gostam de estar em um ambiente quando sabem que há uma vista para o exterior, mas não podem vê-la. Através das janelas as pessoas podem perceber as mudanças do clima e das horas do dia. A vista externa também auxilia na orientação dos usuários em uma edificação. E ainda, quando olhamos para um ponto distante no horizonte através de uma janela proporcionamos um relaxamento aos músculos oculares (BELL; BURT, 1995).

Vistas de cenas naturais com plantas e céu despertam interesse pela variedade e movimento que oferecem. Quando o cenário externo é urbano, vistas dinâmicas com atividades humanas, assim como as mudanças do clima são preferidas pela maioria das pessoas (BELL; BURT, 1995).

Segundo o *BS Daylight Code* (apud, BELL; BURT, 1995), uma vista pode ser dividida em três partes (fig. 2.12):

- Superior (distante) - o céu acima do *skyline* natural ou urbano;
- Média - o objeto ou a cena. Ex.: campos, árvores, montanhas e edificações;
- Inferior (próximo) – a base da cena. Ex.: piso, pavimentação.

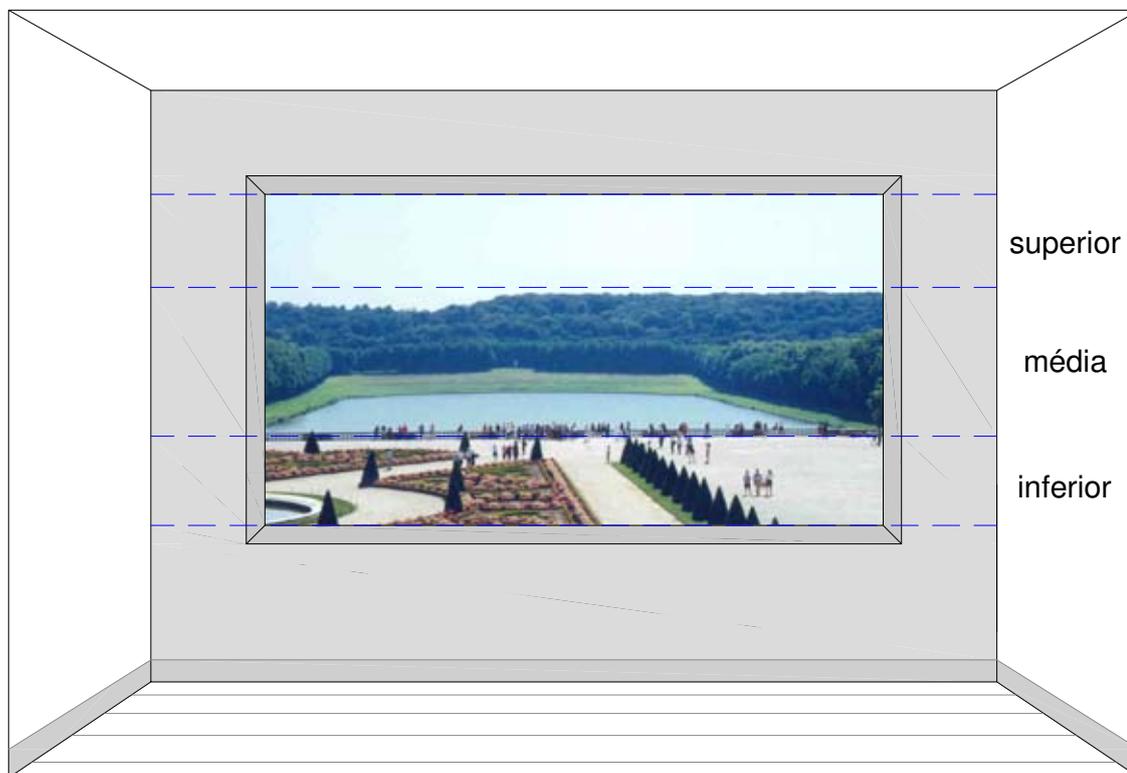


Figura 2.12 - Vista harmônica para o exterior. Jardins do Palácio de Versailles vistos através de uma janela. As três partes da vista são bem definidas.

As vistas que contêm as três partes são mais satisfatórias para os usuários do ambiente em questão. Na prática tal situação não será sempre possível, mas se for perseguida desde o início do projeto, pode ser alcançada com mais facilidade. Vistas onde o céu não aparece costumam causar insatisfação (fig. 2.13).

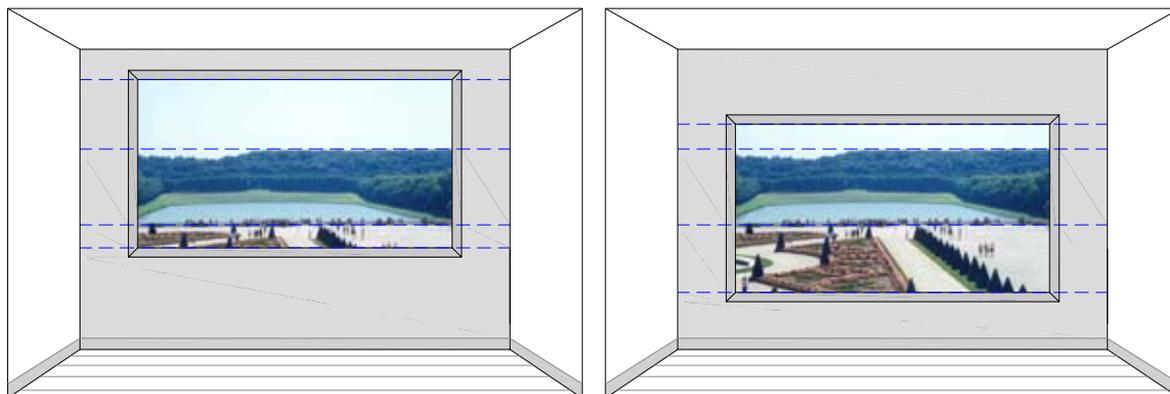


Figura 2.13 - Vistas indesejáveis para o exterior. Esquerda: Abertura muito alta - vista desproporcional com muito céu; Direita: Abertura muito baixa - vista desproporcional com pouco céu e muito solo.

### 2.1.5. Disponibilidade de luz natural

O movimento diário e sazonal do sol na abóbada celeste produz um padrão previsível de quantidade e direcionalidade da luz natural disponível, relativo a uma localidade no globo terrestre, diretamente influenciado por mudanças de clima, temperatura e poluição do ar (IESNA, 2000). Características físicas e geográficas, orientação e configuração morfológica do entorno construído também afetam direta ou indiretamente a disponibilidade de luz natural (VIANNA; GONÇALVES, 2004).

Apenas 40% do espectro da radiação solar recebida pela superfície da Terra correspondem à radiação visível, ou seja, luz. A parcela desta radiação visível que atravessa a atmosfera é variável em função das condições e profundidade das camadas atmosféricas (IESNA, 2000). A luz que atinge a atmosfera se divide em duas frações, uma direta e outra difusa. Uma parte atravessa a atmosfera em forma de feixes de luz direta. A outra parte é difundida pela poeira, vapor de água e outros elementos em suspensão no ar (VIANNA; GONÇALVES, 2004, IESNA, 2000). As componentes direta e difusa formam a iluminação global.

A disponibilidade de luz natural se refere à quantidade de luz natural proveniente do sol e do céu para uma localidade, data, hora e condição de céu específicas (IESNA, 2000). Varia em função da altura do sol no céu e das condições de nebulosidade e turvamento da atmosfera. Esta variação impossibilita a adoção de valores exatos para a predição de luminosidade e desta forma

adotam-se valores estatísticos estabelecidos por meio de medições (SOTERAS<sup>11</sup>, apud SOUZA, 2004).

Para efeito de estudo da iluminação, considera-se que a luz natural provém do sol (luz direta), do céu (luz difusa) e também a luz refletida pelo entorno (luz indireta) (IESNA, 2000).

Para identificar a posição exata do sol no céu com relação a uma dada localidade, dia e horário, e conseqüentemente a direção da luz direta, usam-se coordenadas angulares: azimute e altura solar (fig. 2.3). A altura solar é o ângulo compreendido entre o sol e o plano do observador. O azimute é o ângulo horizontal marcado a partir do Norte geográfico em sentido horário até a projeção do sol no plano. Em ambos os casos, o vértice do ângulo será sempre o centro da projeção horizontal da abóbada. Os percursos aparentes do sol na abóbada celeste para uma determinada latitude são observados nas cartas ou diagramas solares (Ver item 2.2.2.1. Carta Solar).

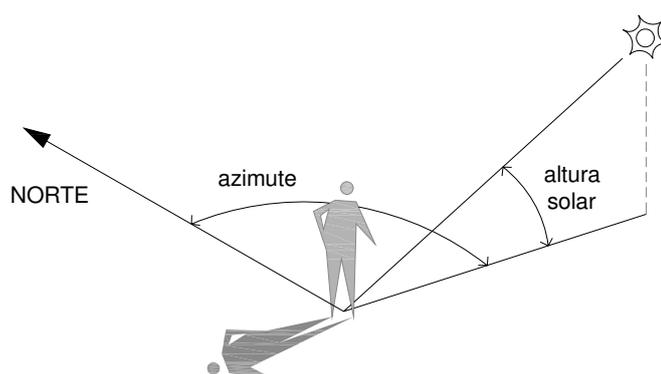


Figura 2.14 - Azimute e altura solar. (adaptado de: BITTENCOURT, 2004).

Informações sobre disponibilidade da luz natural são importantes para a definição de estratégias para uso conjunto da luz natural e artificial. Dados de freqüência de ocorrência de tipos de céu podem definir os períodos do ano em que haverá maior disponibilidade de luz natural. Associada às iluminâncias médias de cada tipo de céu esta informação poderá ser utilizada para estimar a economia energética potencial para projetos que integram sistemas de iluminação natural e artificial.

<sup>11</sup> SOTERAS, R. M. *Geometría e Iluminación Natural: introducción de la iluminación natural em el processo de control gráfico del diseño*, Tesis Doctoral, ETSAB, UPC, Barcelona, España, 1985.

Pela natureza dinâmica da luz natural e conseqüente variação das condições de iluminação, é necessário conhecer informações sobre a disponibilidade de luz natural específicas da região para onde se projeta (AMORIM, 2000; SOUZA, 2004). Tais informações são formuladas a partir de medições periódicas das condições de luminosidade externa para determinada localidade. A partir da criação do Programa Internacional de Medição de Iluminação Natural em 1985, A CIE deu início à implementação de estações de medição pela Europa, América do Norte e América do Sul (SOUZA, 2004). Amorim (2000) e Souza (2004) detectaram a carência de dados sobre a disponibilidade de luz natural no Brasil. Há somente duas estações de medição em território nacional: Florianópolis e Belo Horizonte.

Diante da escassez de dados medidos da disponibilidade de luz natural em nosso país, poderão ser adotados os dados referentes às condições de nebulosidade constantes nas Normais Climatológicas<sup>12</sup> (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2004) em conjunto com valores médios de iluminâncias externas calculados para planos horizontais e verticais gerados, por exemplo, a partir do programa computacional DLN (Disponibilidade de Luz Natural)<sup>13</sup>.

O programa DLN calcula através das equações IES, para qualquer localidade (latitude e longitude) e data, as iluminâncias médias direta, difusa ou global (direta + difusa) para céus claro, parcialmente encoberto e encoberto, sobre planos horizontais ou verticais. Também pode calcular a luminância em qualquer ponto da abóbada celeste, a partir da altura solar e azimute, para as mesmas condições de céu anteriores (SCARAZZATO, 2004).

O trabalho de tese de Scarazzato, que deu origem ao programa DLN, desenvolveu o conceito do Dia Luminoso Típico de Projeto aplicado à iluminação

---

<sup>12</sup> Editadas pelo Departamento Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, as Normais Climatológicas são uma compilação de dados médios mensais e anuais referentes a nove parâmetros meteorológicos (dentre eles nebulosidade) medidos por um período de 30 anos em 209 estações meteorológicas brasileiras, executados de acordo com os critérios recomendados pela Organização Meteorológica Mundial - OMM [BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normais Climatológicas** (1961 - 1990). Brasília, 1992.];

<sup>13</sup> O programa computacional DLN (Disponibilidade de Luz Natural) é de autoria do Professor Paulo Sergio Scarazzato e fornece previsão de luminâncias e iluminâncias, produto da abóbada celeste, para planos horizontais e verticais externos, em função do ângulo azimute, para um intervalo de tempo das 5 h às 19h do dia (hora solar verdadeira) sob condições de céu claro, parcialmente encoberto e encoberto. (AMORIM, 2000; SCARAZZATO, 2004).

natural<sup>14</sup>, que melhor representa, em termos de disponibilidade de luz natural, um dado período de tempo. Para o período estabelecido, o DLN calcula as médias das iluminâncias horizontais estimadas de duas em duas horas, para céus claro, parcialmente encoberto e encoberto. Em seguida o programa busca o dia cujas iluminâncias horizontais mais se aproximam das iluminâncias médias calculadas e este será então considerado o Dia Luminoso Típico, DLT daquele período. Normalmente calcula-se o DLT para todas as estações climáticas ou para cada um dos meses, para uma percepção mais minuciosa da disponibilidade de luz natural ao longo do ano (SCARAZZATO, 2004).

#### 2.1.5.1. Classificação de tipos de céu

A disponibilidade de luz difusa proveniente do céu está diretamente relacionada às condições atmosféricas. Tais condições foram classificadas como tipologias de céu. Os tipos de céu podem ser organizados em duas categorias (KITTLER; PEREZ; DARULA<sup>15</sup>, apud SOUZA, 2004):

- Céus homogêneos - variam de claro a encoberto e são caracterizados por uma distribuição espacial homogênea da densidade atmosférica;
- Céus não homogêneos - céu azul com nuvens, céus parcialmente encobertos e céus com nuvens esparsas são irregulares quanto à distribuição da densidade atmosférica e conseqüentemente das luminâncias.

Segundo Souza (2004) os tipos de céus mais empregados em estudos sobre iluminação natural são três tipos clássicos de céus homogêneos: céu encoberto, céu claro e céu parcialmente encoberto, este último caracterizado como um céu claro com alto índice de turvamento<sup>16</sup>.

---

<sup>14</sup> O conceito do Dia Luminoso Típico de Projeto ou simplesmente Dia Luminoso Típico (DLT), análogo àquele utilizado em conforto térmico, é escolhido como aquele que apresenta iluminâncias mais próximas aos valores médios calculados para o período considerado (AMORIM, 2000).

<sup>15</sup> KITTLER, R.; PEREZ, R.; DARULA, S. **Sky classification respecting energy-efficient lighting, glare and control needs**. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, winter 1997, p 57-68.

<sup>16</sup> De acordo com Souza (2004, p.22) "a atenuação atmosférica da radiação através de uma atmosfera real versus aquela atenuação sofrida em uma atmosfera clara e seca fornece uma indicação do fator de turvamento."

Em 1984 a IESNA publicou um documento<sup>17</sup> apresentando uma série de algoritmos de cálculo aplicáveis à iluminação natural, baseados em medições e métodos preditivos existentes. O modelo proposto incluía pela primeira vez a tipologia de céu parcialmente encoberto além dos céus claro e encoberto (SCARAZZATO, 2004). A IESNA classifica padrões de luminosidade do céu de acordo com o parâmetro da razão de cobertura do céu (*sky-cover*) (IESNA, 2000).

A razão de cobertura do céu estima a quantidade de nuvens que cobrem o céu. É expressa em décimos, numa escala de 0,0 para céu sem nuvens a 1,0 para céu completamente encoberto.

Um novo conceito de distribuição de luminâncias em modelos de céus foi proposto pela CIE para a padronização de condições de luz natural exteriores na recém publicada ISO 15469:2004 (E) / CIE S 011/E:2003 - *Spatial Distribution of Daylight - CIE Standard General Sky*. Segundo Darula e Kittler (2002), o novo conceito abrange um vasto registro de ocorrências, desde o céu encoberto ao céu claro considerando-se ou não a luz direta do sol respectiva. São descritos 16 diferentes modelos padronizados de céu objetivando formular uma base universal para a classificação de medições de luminâncias de céu e fornecer um método para o cálculo de luminâncias do céu.

No Brasil, a ABNT adotou em sua recente normatização para **Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural**, três tipos de céu: céu claro, céu encoberto e céu parcialmente encoberto ou intermediário, assim descritos:

- **Céu claro** - inexistência de nuvens ou baixa nebulosidade, é mais brilhante em torno do sol e próximo ao horizonte. A parte mais escura estará a 90° em relação ao sol. É caracteristicamente azul devido à existência de pequenas partículas de água em suspensão, fazendo com que apenas os menores comprimentos de onda (porção azul do espectro) venham em direção à superfície da Terra. A luminância de qualquer ponto na abóbada é relacionada à luminância do zênite e à altura solar;
- **Céu encoberto** - a superfície da abóbada celeste é completamente preenchida por nuvens. Grandes partículas de água em suspensão na atmosfera refletem e

---

<sup>17</sup> IESNA, RP 21-84 - *Recommended Practice for the Calculation of Daylight Availability*.

refratam a luz direta do sol, para todos os comprimentos de onda. O céu é tipicamente cinza-claro, e a luminância da porção em torno do zênite é três vezes maior que da área próxima à linha do horizonte. A luminância de qualquer ponto na abóbada é relacionada à luminância do zênite;

- **Céu parcialmente encoberto** - condição de céu intermediária entre céu claro e céu encoberto na qual a luminância em qualquer ponto da abóbada celeste é definida em função do posicionamento do sol no céu (altura solar). O sol e sua auréola ao redor não são considerados na distribuição de luminâncias. Análises da iluminação natural sob condições de céus parcialmente encobertos dependem do azimute, altura e declinação solar<sup>18</sup>.

A ABNT adotou o método da cobertura do céu recomendado pela NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration* - EUA, para a caracterização das condições de céu. A cobertura de nuvens da abóbada é estimada visualmente segundo os seguintes parâmetros:

TABELA 2.3 - CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DO CÉU - ABNT

TIPO DE CÉU	COBERTURA DE NUVENS
Claro	0% a 35%
Parcialmente encoberto	35% a 75%
Encoberto	75% a 100%

FONTE: ABNT, 2005 a

As equações que definem as luminâncias em pontos da abóbada para todos os três tipos de céu são encontradas na norma. A norma não considera a condição de céu uniforme, caracterizada pela distribuição uniforme de luminâncias, "devido à inexistência dessa situação em condições reais." (ABNT, 2005 a).

<sup>18</sup> A declinação solar é o ângulo medido entre o raio do sol e o equador celeste, considerado como a inclinação do eixo da Terra em relação ao plano de sua trajetória em torno do sol (ABNT, 1999);

## 2.1.6. Desempenho da luz natural em ambientes internos e o conceito de zonas luminosas

Robbins (1986) considera os métodos de integração da iluminação natural e artificial, e a escolha das características de desempenho do sistema integrado de iluminação, como elementos cruciais ao projeto luminotécnico, a partir dos quais poderá ser definida a melhor estratégia de controle da iluminação artificial e estimado o uso resultante de energia elétrica.

Ainda segundo o mesmo autor, o conceito do sistema de controle para a iluminação artificial em ambientes também iluminados pela luz natural é formado por dois componentes: zonas de controle integradas e estratégias de controle automático para cada zona. As zonas de controle integradas ou **zonas luminosas** (*lighting zones*) são áreas do edifício que usam a luz natural e artificial conjuntamente para prover níveis de iluminância adequados para iluminação geral, de fundo ou de tarefa.

De acordo com Robbins (1986), o primeiro passo para um projeto integrado de iluminação natural e artificial é o conhecimento das características do desempenho da luz natural para cada ambiente a ser trabalhado. As áreas onde esta integração ocorre devem ser compartimentadas em zonas luminosas. Para a determinação do zoneamento deve-se buscar por padrões de desempenho da luz natural agrupando-se as áreas de igual desempenho. O conceito de zonas luminosas é utilizado por alguns métodos de integração da iluminação natural e artificial.

Cada zona receberá um tratamento diferenciado na distribuição de luminárias e na escolha do sistema de controle da iluminação artificial. Assim, os conjuntos de luminárias de diferentes zonas luminosas deverão ser distribuídos de tal forma que possam ser acionados separadamente. Num ambiente ortogonal com aberturas unilaterais, a distribuição das luminárias em zonas de maior e menor luminosidade natural deverá possibilitar o acionamento das luminárias de cada zona separadamente. Imaginando-se que a região mais afastada das janelas estará mais escura que a porção mais próxima das aberturas na maior parte do dia, a redução do consumo de energia se dará com o acionamento gradual das luminárias

à medida que for necessária a complementação ou substituição pela iluminação artificial.

Para garantir um contraste razoável dentro de uma zona luminosa, Robbins (1986) recomenda que a razão entre os pontos de maior e menor iluminâncias seja de 3:1, mas esta regra poderá mudar dependendo do tipo de tarefa visual. Quando essa razão for maior que 9:1, o autor recomenda que a área seja novamente dividida em mais zonas.

Souza (2003) explica como determinar as zonas luminosas de um ambiente a ser analisado:

1. Dividir a superfície de trabalho (normalmente a 75 cm do piso) do ambiente a ser analisado em parcelas de 33 x 33 cm (para ambientes com profundidade entre 4 e 7 metros) ou 50 x 50 cm (para ambientes com profundidade de 8 a 10 metros);
2. Calcular através de programas computacionais a iluminância nos pontos centrais de cada parcela do ambiente, a cada hora, nas datas escolhidas como representativas do ano<sup>19</sup>.
3. Identificar a iluminância mínima  $E_{mín}$ , calculada. Estabelecer um valor mínimo de 50 lux caso a mínima detectada seja inferior a esse número;
4. Determinar os limites das zonas luminosas de cada hora simulada. Os limites de cada zona serão calculados a partir da iluminância mínima, multiplicando-se seu valor por múltiplos de 3: ( $E_{mín}$ ); ( $3 \times E_{mín}$ ); ( $9 \times E_{mín}$ ); ( $27 \times E_{mín}$ ); ( $81 \times E_{mín}$ ) e assim sucessivamente até que se atinja a iluminância máxima encontrada no ambiente (fig. 2.4);

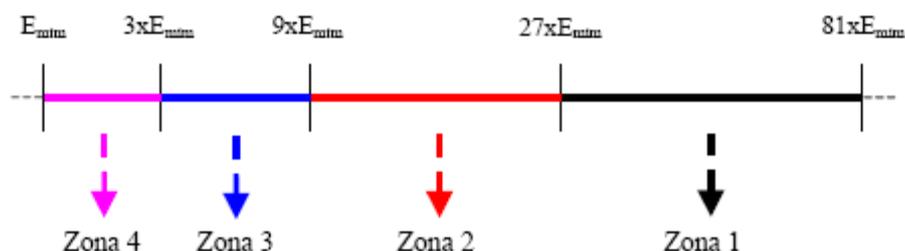


Figura 2.15 - Limites das zonas luminosas. (fonte: SOUZA, 2003).

<sup>19</sup> Já existem programas capazes de calcular a disponibilidade de luz natural em um ambiente para um ano inteiro. É o caso dos programas DAYSIM, TROPLUX, *Dynamic Lighting System* - DLS, DeLight e o Adeline (BERTOLOTTI; PEREIRA; SCARAZZATO, 2006).

5. Delimitar as zonas no plano de trabalho para cada hora simulada. A identificação das zonas luminosas poderá ser feita atribuindo-se cores às parcelas pertencentes a cada zona (fig. 2.5). As parcelas com iluminâncias inferiores a 50 lux serão endereçadas a uma nova zona luminosa, identificada na figura a seguir como zona 0;

1107	1367	1416	1442	1443	1444	1444	1443	1442	1416	1364	1100
829	1062	1163	1197	1219	1225	1226	1219	1197	1163	1062	826
511	660	728	773	795	808	808	795	773	728	659	509
342	418	465	497	513	520	520	513	500	467	420	344
209	244	274	300	310	320	320	312	302	276	246	210
153	177	192	212	220	224	224	220	213	193	177	152
114	133	150	157	161	164	164	161	157	150	133	113
79	91	95	101	109	112	112	109	102	96	91	79
63	74	80	86	85	85	86	86	86	82	76	65
47	50	52	55	55	55	55	55	55	52	50	47
39	43	45	47	51	51	51	51	48	45	43	38
36	39	42	45	47	47	47	47	45	43	39	36
30	34	36	39	40	41	41	40	39	37	34	30
19	20	22	20	21	22	22	21	21	22	20	19
18	20	19	21	21	21	21	21	21	20	20	18
17	18	18	19	20	19	19	21	19	19	19	17

Legenda: ● Zona 0 ● Zona 4 ● Zona 3 ● Zona 2 ● Zona 1

Figura 2.16 - Delimitação das zonas luminosas no plano de trabalho. (fonte: SOUZA, 2003).

6. Gerar mapas de distribuição de zonas luminosas para cada tipo de céu. Após a identificação das zonas em cada hora simulada, deve-se vincular cada parcela do plano de trabalho, à zona que nela incidiu com maior frequência. Deverão ser gerados três mapas de distribuição das zonas luminosas, sendo um para cada tipo de céu (claro, parcialmente encoberto e encoberto);
7. Finalmente, depois de consideradas a distribuição de iluminâncias para cada hora dos dias representativos do ano, e para as três condições de céu, será gerado um mapa de distribuição de zonas do ambiente analisado. Diante dos três mapas relativos aos tipos de céu, considerar visualmente a distribuição definitiva das zonas luminosas no plano de trabalho (fig. 2.4). Para isso deve-se considerar a frequência de ocorrência dos tipos de céu

para a localidade em questão (consultar normais climatológicas) para dar maior ou menor peso a um determinado tipo de céu;

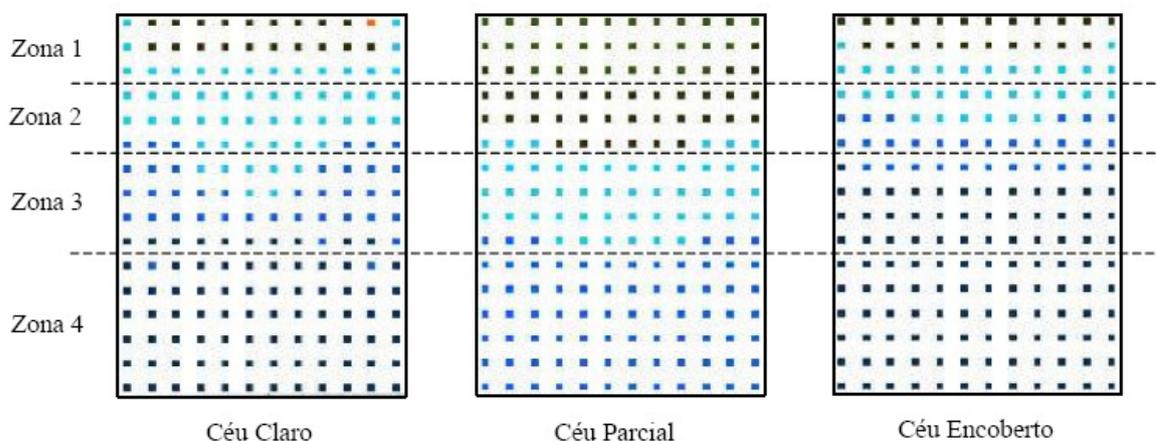


Figura 2.17 - Mapas das zonas luminosas para três tipos de céu. (fonte: SOUZA, 2003).

8. Deve-se buscar que neste mapa de distribuição de zonas luminosas, a diferença das iluminâncias máxima e mínima dentro de uma mesma zona seja de 3:1 conforme recomendação de Robbins (1986). (Ver item 2.1.1.3. Uniformidade ou distribuição de iluminâncias).

O procedimento por ser feito com a utilização de programas de simulação da iluminação natural que ofereçam como dados de saída diagramas numéricos com valores de iluminâncias ou malhas com a distribuição de iluminâncias do tipo curvas isolux para o plano de trabalho.

### 2.1.7. Tipos de iluminação para diferentes usos

Depois de estabelecidos os níveis de iluminância necessários para cada ambiente a ser tratado, será o momento de identificar a tipologia de iluminação adequada ao uso do espaço. De acordo com o Guia de Desenho Sustentável desenvolvido pelo LANL (2002), Os tipos de iluminação podem ser divididos em quatro categorias:

- **Iluminação ambiente** - tipicamente usada para circulação e iluminação geral, promove a percepção espacial do ambiente e deve ser planejada antes dos demais tipos de iluminação que deverão complementá-la;

- **Iluminação de tarefa** - complementa a iluminação geral para conferir os níveis adequados de iluminância para o desenvolvimento de determinadas tarefas especificamente nas áreas de trabalho;
- **Iluminação de destaque** - utilizada com o propósito de dar ênfase ao espaço e realçar detalhes da arquitetura;
- **Iluminação de emergência** - usada para criar uma rota de escape nos edifícios para situações de emergência.

A divisão da iluminação em tipologias, assim como a compartimentação do ambiente em zonas luminosas, são estratégias que viabilizam a integração dos sistemas de iluminação natural e artificial desde que devidamente associadas a um sistema automático de controle da iluminação artificial. Como exemplo, a iluminação natural pode suprir a maior parte ou toda a carga da iluminação ambiente nas horas em que há disponibilidade de luz natural (LANL, 2002), dispensando a necessidade de acionamento da luz artificial naquela situação. Mas a redução do consumo de energia só acontecerá se o sistema de iluminação artificial previr que a iluminação de tarefa e demais tipologias possam ser acionadas e controladas separadamente.

### **2.1.8. Sistemas de controle da iluminação artificial em resposta à luz natural**

A economia direta de energia elétrica em projetos luminotécnicos depende diretamente do aproveitamento da luz natural e da escolha do sistema de controle da iluminação artificial. A interação do usuário, uso do local e horários de funcionamento também devem ser avaliados para a escolha do melhor sistema de controle da iluminação artificial para determinado ambiente.

Sistemas de controle da iluminação artificial em resposta à luz natural são sistemas de ação automática que controlam o sistema de iluminação artificial em função da luz natural disponível no ambiente. Tal sistema de controle deve manter a iluminância de projeto em qualquer circunstância, todo o tempo, em toda a área

de trabalho sem causar qualquer transtorno ao usuário, sendo preferencialmente imperceptível a ele (IEA, 2001).

Porém existem dois tipos básicos de controle de iluminação: manual, operado pelo usuário que, no entanto, não são usualmente recomendados; e automático, mais apropriados para locais onde a luz natural é a fonte de iluminação primária e locais com diferentes horários de ocupação (LANL, 2002). Moore (1993) recomenda sistemas de controle automático da iluminação artificial quando se deseja atingir uma economia de energia significativa em edifícios não residenciais. Souza (2003, p. 4) reitera o uso do controle automático "com base em vários critérios de necessidade de iluminação, tais como a iluminância média do ambiente ou ocupação da sala."

Ainda de acordo com Souza os controles automáticos podem ser: liga/desliga, de passos ou saltos, ou dimerizável. O sistema de passos é usado em luminárias com mais de uma lâmpada, e funciona ligando ou desligando parte das lâmpadas. Como exemplo, imaginemos um ambiente onde luminárias com duas lâmpadas podem estar (1) apagadas quando a luz natural for suficiente para atingir a iluminância de projeto, (2) com apenas uma lâmpada acesa, ou (3) com ambas as lâmpadas acesas conforme necessidade de suplementar a iluminação natural. Cada um desses estágios é conhecido com um passo.

Um sistema dimerizável utiliza um dispositivo chamado *dimmer* que controla a corrente elétrica liberada para alimentar a lâmpada resultando em uma variação da intensidade do fluxo luminoso. O uso de dimerizadores deve observar a compatibilidade com o tipo de lâmpada a ser especificada. Lâmpadas de descarga dependem de equipamentos complementares, tais como reatores dimerizáveis, para que essa função seja realizada.

Alguns equipamentos são necessários para o funcionamento do sistema de controle da iluminação artificial: interruptores manuais, processadores centrais, fotossensores, sensores de presença e/ou movimento, e temporizadores (IESNA, 2000). Interruptores manuais podem ser do tipo liga/desliga ou dimerizáveis. Para maior eficácia na redução do consumo energético a iluminação ambiente deve ser controlada automaticamente, enquanto interruptores manuais podem ser utilizados "em pequenas áreas, dando ao usuário a sensação de posse da luminária que está

acima do seu posto de trabalho, encorajando-o a ligá-la ou desligá-la conforme a sua necessidade." (SOUZA, 2003, p. 30).

Processadores centrais são utilizados para controlar várias zonas de controle em sistemas de operação centralizada. Usualmente, o equipamento recebe um sinal vindo de um sensor (tal como um fotossensor ou temporizador), a informação é analisada de acordo com uma programação pré-estabelecida e uma mudança no sistema é iniciada (IESNA, 2000).

Fotossensores ou fotocélulas têm componentes eletrônicos que transformam luz em corrente elétrica que acionará interruptores simples (manuais) ou processadores centrais. Um sistema de controle da iluminação artificial em resposta à luz natural pressupõe o uso de fotossensores. Sensores de presença/ movimento acionam o sistema de iluminação artificial quando detectam o calor emitido por pessoas (sensores com tecnologia de infravermelho) ou no caso de sensores ultrasônicos, que emite ondas ultra-sônicas, quando percebem a frequência de ondas refletidas, acusando movimento de um corpo no recinto (SOUZA, 2003).

O posicionamento e calibração dos fotossensores obedecem ao tipo de estratégia estabelecida para o sistema de controle: laço fechado (individual ou para um número limitado de luminárias que podem ser de passo ou dimerizável), ou laço aberto (para sistemas centrais). Cada um dos sistemas expressa uma relação diferente entre o sinal do sensor fotoelétrico e a saída da luz artificial (IEA, 2000).

No sistema de laço fechado o fotossensor é posicionado de forma que possa detectar a iluminância tanto da luz natural como a do sistema de iluminação artificial que ele regula. "O controlador do sistema de iluminação artificial ajusta continuamente a saída de luz de modo que a iluminância no fotossensor é mantida no nível do *set-point* do sistema (iluminância de projeto)." (SOUZA, 2003, p. 38) A calibração do sistema é noturna, quando a iluminação artificial será ajustada para fornecer a iluminância de projeto.

Por outro lado, no sistema de laço aberto, o sensor é colocado de maneira a não detectar a iluminância do sistema de iluminação artificial que ele controla, mas apenas as variações da luz natural. Diferente do sistema anterior, a calibração do sistema de laço aberto é diurna e a relação entre o sinal do fotossensor e a saída

de luz pode ser controlada pelo próprio usuário (ELEY e TOLEN<sup>20</sup>, apud SOUZA, 2003).

Os temporizadores são dispositivos que desligam automaticamente o sistema de iluminação artificial após um período programado de funcionamento (SOUZA, 2003). As estratégias de controle da iluminação artificial serão formadas pelo uso conjunto de dois ou mais desses equipamentos, em função dos objetivos e condicionantes de projeto para garantir a integração entre os sistemas de iluminação natural e artificial.

Sistemas de controle variam em capacidade e complexidade. Sistemas mais complexos podem controlar não somente a iluminação como o ar condicionado e protetores solares, oferecendo a possibilidade do uso de controles remotos, cenários pré-estabelecidos, dentre outras facilidades (IEA, 2001).

## 2.2. Métodos aplicados ao projeto luminotécnico

Do ponto de vista funcional, a arquitetura cumpre o papel de oferecer respostas a uma série de condicionantes pré-estabelecidas. Todo processo de desenho tem início no reconhecimento de uma situação problema e na disposição de solucioná-la. "Enquanto arte, a arquitetura é algo mais que a mera resposta a uma exigência puramente funcional inscrita em um programa de construção. Fundamentalmente, as expressões físicas da arquitetura se acomodam à atividade humana." (CHING, 1993, p. 10, trad. livre)

---

<sup>20</sup> ELEY, C.; TOLEN, T. M. **Advanced Lighting Guidelines**. Final Report. U.S. Department of Energy. Office of building technologies. Washington, D.C. 20585, 1993.

<sup>25</sup> Disponível no site do EERE - Energy Efficiency and Renewable Energy: <[http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools\\_directory/subjects.cfm/pagename=subjects/pagename\\_menu=materials\\_components/pagename\\_submenu=lighting\\_systems](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/subjects.cfm/pagename=subjects/pagename_menu=materials_components/pagename_submenu=lighting_systems)>. Acesso em 06/02/2008.

O principal objetivo, para a arquitetura, do estudo da iluminação natural e artificial é gerar conhecimento técnico para o desenvolvimento de projetos que atendam às necessidades humanas. Neste intuito, diversos métodos foram criados para a predição da iluminação natural e artificial.

Os métodos para projeto luminotécnico são distintos entre si conforme a fonte luminosa: podem ser específicos para análise e estimativa da iluminação natural, ou para iluminação artificial, ou podem tratar da integração entre ambas as fontes. Dentro desses três universos, os métodos podem ser classificados de acordo com sua tipologia, relacionada ao tipo de instrumento utilizado para gerar resultados.

Segundo Souza (2004), os métodos para avaliação da iluminação natural em ambientes internos podem ser divididos em: métodos de cálculo ou matemáticos, métodos gráficos simplificados, simulações com modelos em escala reduzida e simulações computacionais.

Para a avaliação da iluminação artificial são mais utilizados os métodos matemáticos e programas de simulação computacional.

- Os **métodos matemáticos** para a iluminação natural expressam em equações matemáticas o fenômeno físico da emissão, propagação e incidência da energia luminosa. Segundo Souza (2004), geram valores pontuais de níveis de iluminação, dada uma determinada característica de céu. Já os métodos matemáticos para a iluminação artificial geram valores pontuais ou médios de níveis de iluminação em função das características físicas do ambiente analisado e das fontes de luz artificial, e das condições de uso de ambos. "Estes métodos analíticos são gerados a partir de considerações teóricas sobre o comportamento do fluxo luminoso." (SOUZA, 2004, p. 46).
- Os **métodos gráficos** permitem a extração de níveis de iluminação interna a partir de gráficos e ábacos. São rápidos e fáceis de usar, mas geram resultados para um único ponto de cada vez. (SOUZA, 2004). Incluímos nesta categoria as ferramentas utilizadas para avaliar a geometria da insolação, ou seja, observar o desempenho da luz solar direta sobre uma edificação e com isso planejar proteções contra a incidência indesejável do sol.

- Além dos métodos de cálculo e dos métodos gráficos, **modelos em escala reduzida** e céus artificiais construídos também podem gerar uma avaliação do desempenho da iluminação natural a partir de uma solução arquitetônica.
- Os **programas de simulação computacional** são ferramentas que incorporam algoritmos de cálculo para iluminação natural e modelos de distribuição de luminâncias do céu. Com isso são capazes de simular o desempenho da iluminação natural em um ambiente gerando dados numéricos e em alguns casos, imagens fotorrealísticas.

### 2.2.1. Seleção dos métodos sugeridos neste trabalho

O critério para a seleção dos métodos relacionados e sugeridos para uso em projetos luminotécnicos baseou-se na observação daqueles citados em trabalhos científicos sobre iluminação natural e artificial e pelos arquitetos luminotécnicos entrevistados no início desta pesquisa. A inclusão da opinião dos arquitetos nos pareceu valiosa por apontar algum tipo de preferência do público alvo deste estudo.

O programa conhecido como *Building Technologies Program* do Departamento de Energia norte-americano oferece informações sobre diversos programas computacionais dirigidos ao estudo da iluminação natural e artificial em edificações<sup>25</sup>.

### 2.2.2. Métodos para projeto de sistemas de luz natural

Apresentam-se aqui alguns métodos e ferramentas para o projeto dos sistemas de luz natural.

Os métodos de cálculo ou matemáticos geram dados pontuais de estimativa da iluminância interna, em função de uma determinada data, hora e condição de céu. Para uma análise mais abrangente do desempenho da luz natural num ambiente será preciso calcular o nível de iluminação em vários pontos durante

vários dias e horários, conforme citado anteriormente. Infelizmente esse processo demanda tempo, o que se torna um obstáculo para a prática profissional. Além disso, análises pontuais realizadas para datas específicas são atualmente questionadas quanto à sua representatividade das condições de iluminação natural para o ano todo (BERTOLOTTI; PEREIRA; SCARAZZATO, 2006).

Recentes pesquisas apontam para uma nova abordagem de métricas dinâmicas do desempenho da iluminação natural, que consideram a especificidade local, interação dinâmica entre o edifício, seus ocupantes e as condições climáticas do entorno ao longo de um ano. As métricas dinâmicas da iluminação natural baseiam-se em dados de radiações solar anual para um local específico gerando série de dados de iluminâncias e luminâncias dentro de uma edificação (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006).

#### **2.2.2.1. Carta Solar**

Considerada como uma ferramenta para avaliação da geometria da insolação, segundo definição de Bittencourt (2004, p. 27) as cartas solares "...são representações gráficas do percurso do sol na abóbada celeste da terra, nos diferentes períodos do dia e do ano." E completa lembrando que o movimento do sol é aparente, uma vez que na verdade é Terra que gira em torno dele. As cartas solares são instrumentos utilizados para verificar o comportamento da luz direta do sol, interna ou externamente. A partir da carta solar podem-se projetar elementos de controle da luz solar direta, os chamados protetores solares, com a confecção de máscaras de sombra (Ver item 2.2.2.2. Máscara de Sombra).

Uma carta solar é elaborada a partir da projeção do percurso do sol ao longo do ano sobre um plano horizontal. Com ela pode-se saber a exata posição do sol na abóbada celeste vista por um observador num dado momento (dia e hora) em qualquer local no globo terrestre (latitude). Conforme visto anteriormente, esta posição do sol na abóbada é dada por duas coordenadas angulares: altura solar e azimute (fig. 2.18).

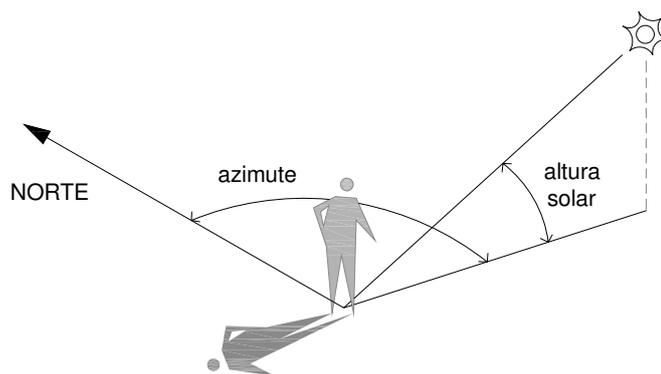


Figura 2.18 - Azimute e altura solar. (adaptado de: BITTENCOURT, 2004).

Embora existam vários tipos de projeção para a confecção das cartas solares, a mais usada é a projeção estereográfica<sup>27</sup> (BITTENCOURT, 2004). O plano horizontal de projeção da carta solar é o plano onde se encontra o observador, no qual são projetadas as trajetórias solares, as alturas solares, e as horas solares. Neste plano também são marcadas os azimutes. O plano do observador para qualquer localidade passa pelo centro do globo terrestre, deslocando-se a norte ou sul de acordo com o ângulo da latitude local. Sobre a linha do Equador a latitude é zero grau.

Uma carta solar apresenta os seguintes elementos (fig. 2.19):

- Projeções das alturas solares - de 0° a 90° marcadas a cada 10 graus, são representadas por linhas concêntricas;
- Azimutes - raios partindo do centro da esfera que representa a abóbada celeste, assinalados a cada 10 graus de 0° a 360°;
- Projeção das trajetórias solares - periodicamente, tendo como extremos as datas correspondentes aos solstícios de verão (ao sul) e de inverno (ao norte) e uma única linha correspondente aos equinócios no meio;
- Projeção das horas solares - curvas demarcam as horas relativas ao movimento do sol sobre as linhas das trajetórias solares.

<sup>27</sup> Na projeção estereográfica as linhas de projeção dos pontos sobre o plano convergem para o ponto do globo terrestre mais abaixo do plano do observador, conhecido como nadir.

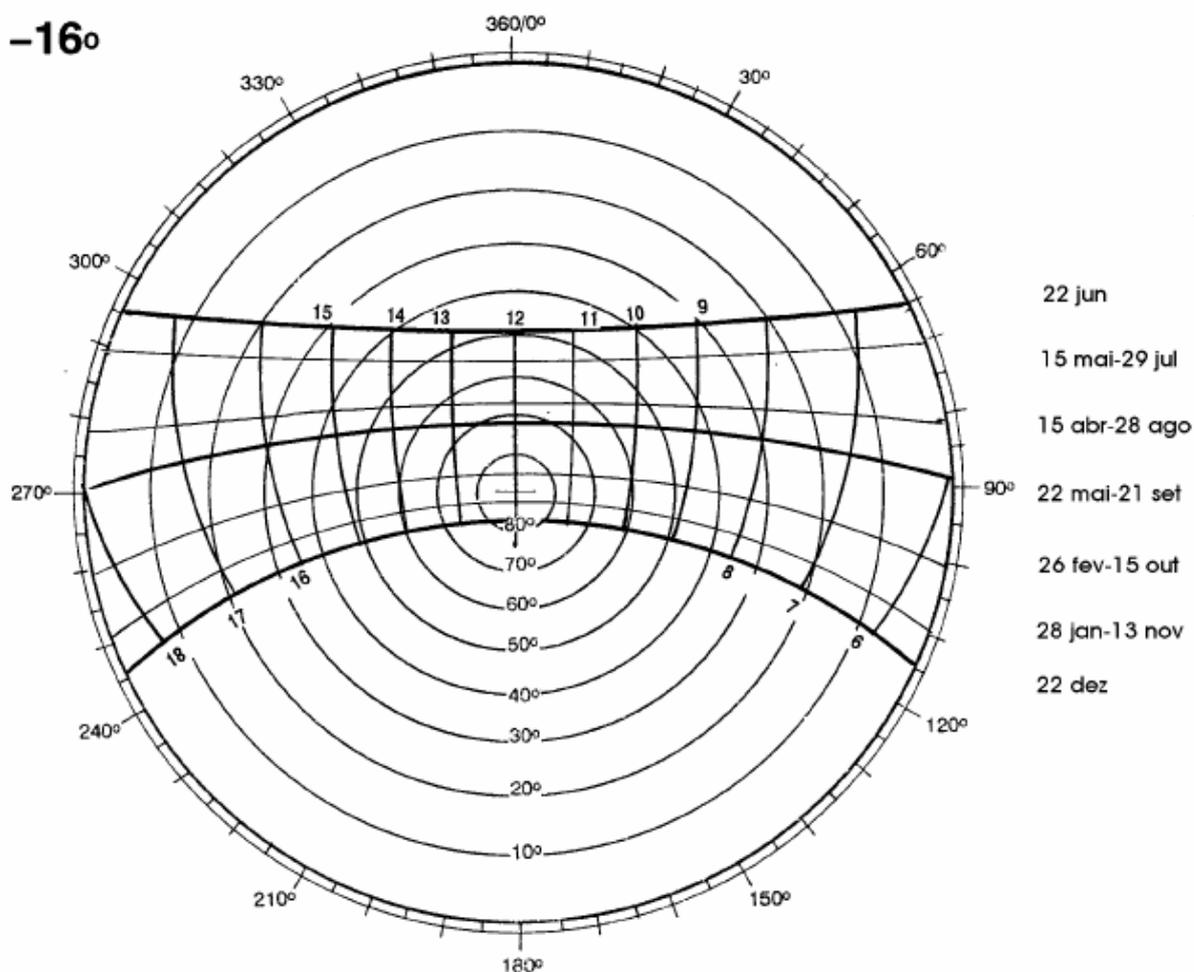


Figura 2.19 - Carta solar para latitude 16° Sul. (fonte: ABNT, 2005 b).

A carta solar é um método bastante eficiente para a análise da orientação de edificações e no desenho urbano para a definição do traçado viário, insolação e sombreamento de equipamentos urbanos (BITTENCOURT, 2004). Na orientação de edificações, o método é utilizado da conforme as seguintes etapas:

Posicionar o Norte da carta solar coincidindo com o do terreno;

Traçar uma linha pelo centro da carta solar com a mesma orientação da fachada que se pretende estudar (repetir o procedimento para cada fachada estudada);

A insolação para cada fachada corresponde à metade da carta voltada para aquela orientação.

A leitura do resultado informará as datas e horários de insolação direta sobre a fachada. Caso haja uma abertura naquela fachada, sabe-se que a insolação prevista poderá entrar no interior da edificação em forma de luz direta caso não haja uma proteção. As diretrizes de projeto deverão ser então consultadas para que

a implantação do projeto seja a mais adequada possível. Havendo ainda necessidade de impedir a entrada da luz direta em determinados pontos, a carta poderá ser novamente utilizada para o projeto de elementos de proteção. Desta vez será usada uma ferramenta complementar chamada máscara de sombra (Ver item 2.2.2.2. Máscara de Sombra).

Dois aspectos deverão ser observados na aplicação das cartas solares: as diferenças entre a hora solar e a hora legal, e entre o Norte verdadeiro e o Norte magnético. A partir da hora solar calcula-se a hora legal (horário oficial) através de uma expressão matemática. Este procedimento de cálculo depende da compreensão de vários fatores e conceitos relativamente complexos (ângulo horário, tempo solar médio, tempo universal, correção de longitude). Já a declinação magnética entre o Norte verdadeiro e o Norte magnético pode ser obtida com o auxílio de um programa computacional chamado Declinação Magnética 2.0, desenvolvido no LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina, que faz o cálculo da declinação magnética e outros parâmetros correlatos, aplicáveis ao território brasileiro, ou ainda através do site do Observatório Nacional<sup>28</sup>.

Recomendamos uma investigação mais aprofundada sobre a aplicação das cartas solares no livro de Bittencourt, **Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos** (2004) que inclui o programa computacional **Introdução às cartas solares**<sup>29</sup> que permite a construção de cartas solares para uma determinada latitude, e possui um módulo didático que ensina a teoria das cartas solares através de vídeos de animação 3D.

### 2.2.2.2. Máscara de Sombra

Construídas a partir da carta solar, a máscara de sombra (ou de obstrução) representa graficamente os obstáculos que impedem a visão da abóbada celeste

---

<sup>28</sup> Disponível em: <<http://obsn3.on.br/~jlk/magdec/index.html>>. Acesso em 24/11/2008.

<sup>29</sup> O programa foi desenvolvido por Clarissa C. dos Santos C. Marques e Thales M. de Almeida Vieira sob a orientação do Professor Dr. Hilário A. da Silva e co-orientação do Professor Ms. Ailton da Cruz dos Santos, através de um projeto de Iniciação Científica no Departamento de Matemática da Universidade Federal de Alagoas.

por um observador situado em um local qualquer. Com a máscara sobreposta à carta solar pode-se saber que parte do céu é visível e que parte está obstruída por alguma barreira a partir de um ponto de referência (BITTENCOURT, 2004).

A construção da máscara de sombra é feita com o uso de instrumentos auxiliares chamados medidores de ângulos (medidor de ângulos verticais frontais, medidor de ângulos verticais laterais e medidor de ângulos horizontais). Os três medidores são usualmente colocados num mesmo gráfico esférico resultando num medidor de ângulos horizontais e verticais (fig. 2.20).

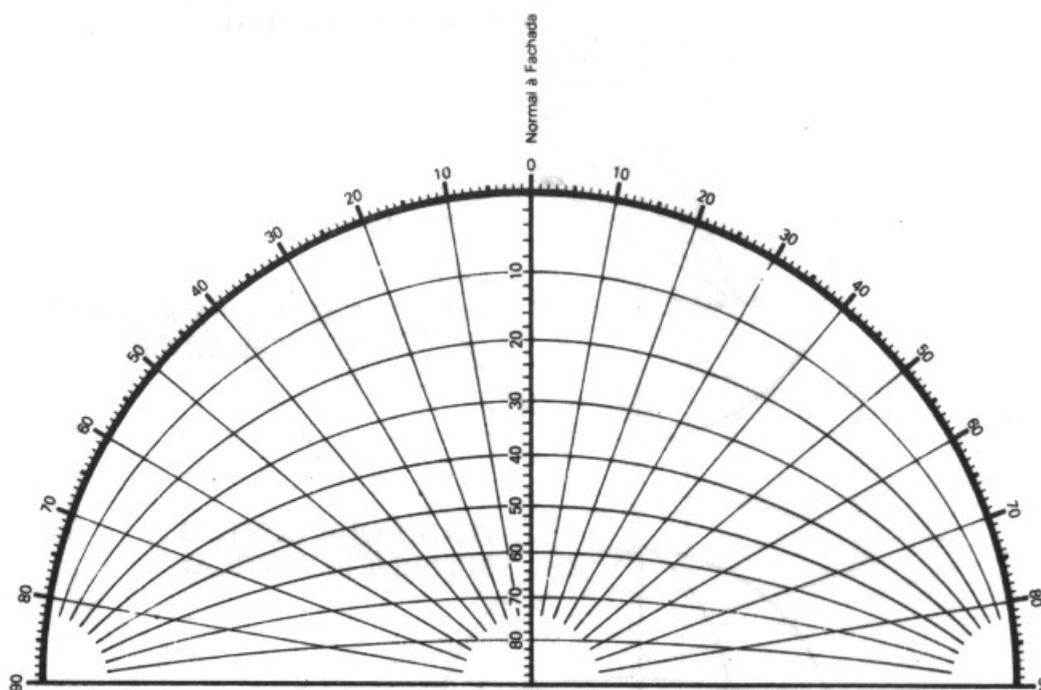


Figura 2.20 - Transferidor de ângulos verticais e horizontais. (fonte: IAB-DF. Disponível em: <[http://www.iabdf.org.br/sebrae/documentos/doc\\_tecnicos/ambientais.doc](http://www.iabdf.org.br/sebrae/documentos/doc_tecnicos/ambientais.doc)>).

O sol incidindo sobre um plano vertical e outro horizontal formará duas projeções (uma vertical sobre o plano vertical e outra horizontal sobre o plano horizontal); parte desse princípio a elaboração da máscara de sombra.

Para efeito de estudo do método, o raio solar incidente sobre uma fachada será projetado em três planos: um plano vertical imaginário, perpendicular à fachada, passando pelo observador, que chamaremos de plano vertical frontal; o plano vertical da própria fachada, ou plano vertical lateral; e o plano horizontal do piso externo à edificação, o plano horizontal. Três ângulos provenientes desses

elementos serão usados para traçar as obstruções na máscara de sombra. São eles:

- O ângulo vertical frontal - formado pela projeção do raio sobre o plano vertical frontal e uma linha horizontal normal à fachada;
- O ângulo vertical lateral - compreendido entre a projeção do raio sobre o plano vertical lateral e uma linha vertical normal ao piso;
- O ângulo horizontal - entre a projeção do raio sobre o plano horizontal e uma linha horizontal normal à fachada.

Cabe salientar que nos três casos as linhas complementares à formação dos ângulos estão contidas no mesmo plano da linha de projeção correspondente. Para a construção da máscara de sombras deve-se proceder da seguinte forma:

1. Sobre a planta da edificação, marcar um ponto de referência como o ponto de vista do observador (no caso de uma abertura o ponto deve ser marcado na face interna do ambiente) (fig. 2.21);
2. Determinar os ângulos horizontais traçando linhas a partir das arestas verticais das faces visíveis de cada obstáculo (fig. 2.21);
3. Repetir os dois procedimentos anteriores nos cortes para a definição dos ângulos verticais. Neste caso as linhas serão traçadas a partir das arestas horizontais dos obstáculos (fig. 2.21);
4. Com o auxílio dos medidores de ângulos, traçar os ângulos obtidos na planta e no corte sobre a máscara, que sobreposta à carta solar ganhará o mesmo contorno circular externo (fig. 2.22);
5. As linhas dos ângulos verticais e horizontais se encontram definindo as arestas verticais e horizontais dos obstáculos representados na máscara (fig. 2.22).

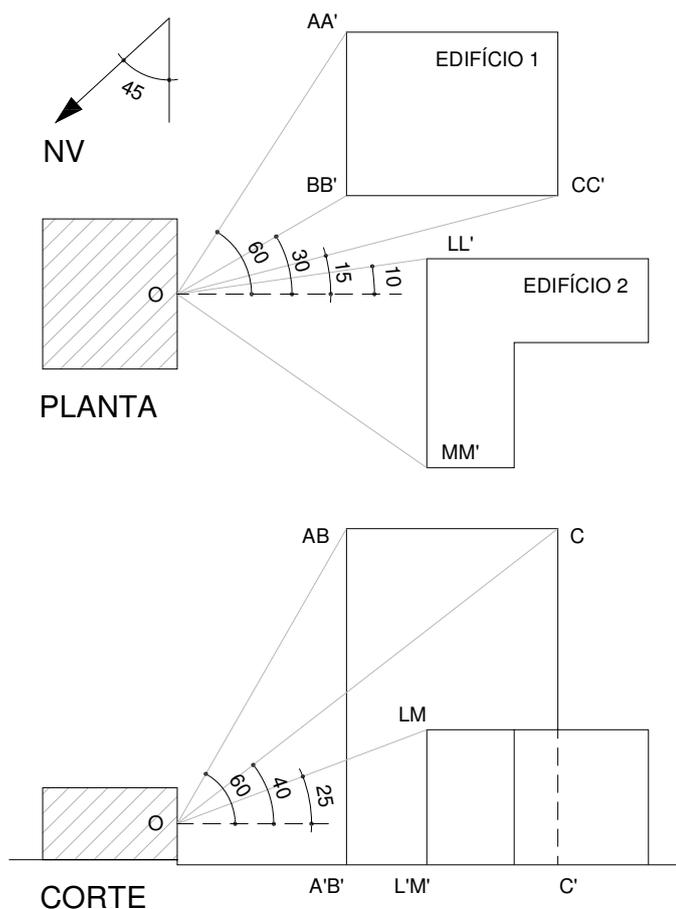


Figura 2.21 - Determinação dos ângulos para a máscara de sombra a partir de uma janela. (adaptado de: BITTENCOURT, 2004).

O gráfico resultante reproduz uma imagem feita com uma lente tipo "olho-de-peixe", com o eixo da lente apontado para o zênite. Máscaras produzidas para representar um ambiente externo consideram toda a circunferência correspondente à carta solar com o ponto de referência ao centro. Já as máscaras traçadas a partir de uma abertura na fachada (muito comuns para a avaliação de elementos de proteção solar) têm o formato de um meio-círculo também com o ponto de referência ao centro (igual ao exemplo da figura 2.22). A máscara de sombra deve ser traçada sobre uma folha de material transparente (acetato ou papel vegetal) para a visualização concomitante da carta solar por baixo.

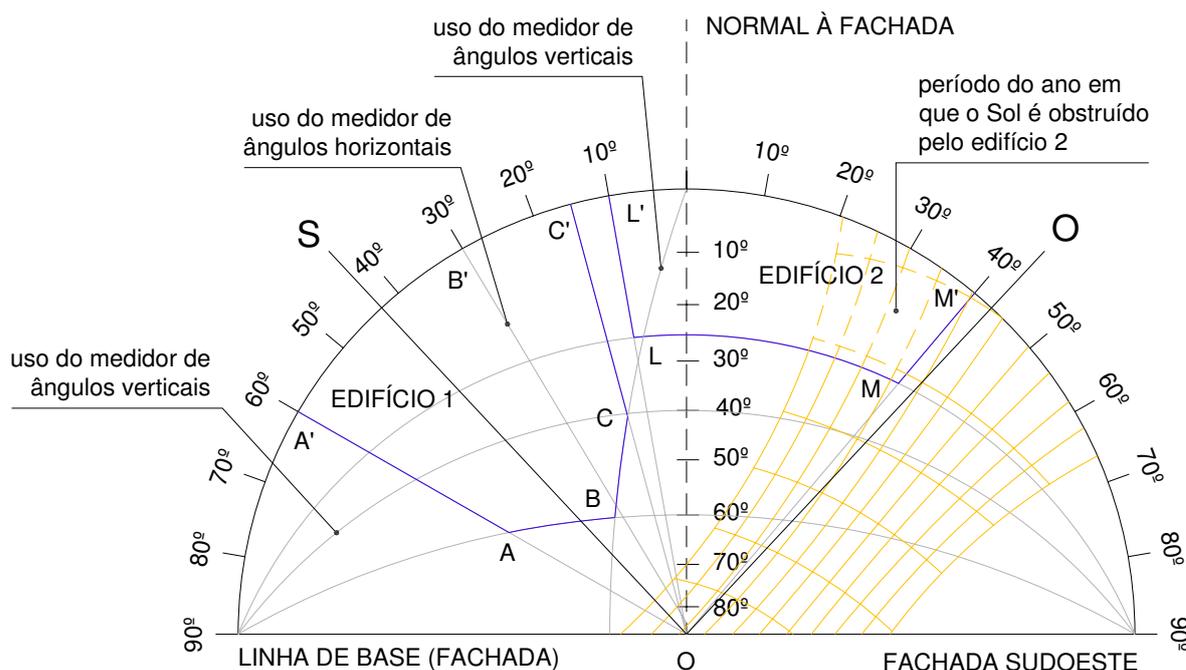


Figura 2.22 - Superposição de uma máscara de sombra com a carta solar. Edifícios do exemplo anterior. O traço em azul corresponde às sombras formadas pelas edificações vizinhas. (adaptado de: BITTENCOURT, 2004).

Bittencourt (2004) indica algumas instruções básicas para o projeto de protetores solares: definir, a partir do clima local (necessidade de insolação ou não), o horário e período do ano a ser protegido; traçar na máscara de sombra as edificações vizinhas e massas vegetais próximas; incluir as saliências da própria edificação que se constituam em obstáculos para a visão do observador (marquises, saques, beirais, etc.); observar a insolação de cada fachada e os pontos críticos do projeto para definir qual o tipo de protetor solar mais adequado (vertical, horizontal, misto, fixo ou móvel). Para isso alinhar a face da fachada (em planta ou corte) com o centro da carta solar fazendo coincidir o Norte do terreno com o Norte da carta. Considerar na escolha da melhor solução os aspectos pertinentes, dos quais visibilidade, custos, plasticidade, etc. fazem parte.

Muitos programas computacionais foram desenvolvidos para auxiliar no projeto de protetores solares. MACIEL (2006) analisou alguns desses programas: Overhang Design<sup>30</sup>, Posição do Sol<sup>16</sup>, Sunpath<sup>16</sup>, Sunangle<sup>16</sup>, Window Heat Gain<sup>16</sup>,

<sup>30</sup> Produzido por *Sustainable Design*. Disponível em: <<http://www.sundesign.com>>;

Suncast<sup>31</sup>, Shadow Calculator<sup>32</sup>, Shadowfx<sup>18</sup>, Sun Chart Solar Design<sup>33</sup>, Solar 2<sup>34</sup>, Awnshade<sup>35</sup>, Lesoshade<sup>36</sup>, Sunspec<sup>37</sup>, Sundi<sup>38</sup>, e mais dois programas nacionais, Luz do sol<sup>39</sup> e Analysis sol-Ar<sup>40</sup> desenvolvidos junto ao LabEEE - UFSC. De acordo com sua avaliação em relação aos programas citados, "nenhum dos programas de análise climática e proteção solar relacionam as estratégias recomendadas ao real comportamento climático do respectivo período. A possibilidade de verificar a aplicabilidade das estratégias para os períodos em que estas são recomendadas não é oferecida." (MACIEL, 2006). Sabendo disso, tais ferramentas devem ser usadas com critério por parte dos arquitetos.

O programa ECOTECH gera imagens do percurso solar em relação à edificação para qualquer data, hora e local e visualiza sombras do entorno sobre a edificação e vice-versa. Ainda oferece visualização estática e contínua do percurso da luz solar no interior dos ambientes e fachadas através de cortes dinâmicos da edificação, análise das reflexões, diagramas diversos de percurso solar (esférico, estereográfico, eqüidistante, BRE, ortográfico, Waldram e dados tabulados) com interação das sombras, cálculo da radiação solar sobre as fachadas, e máscaras de sombra combinadas a radiação solar direta e difusa.

### 2.2.2.3. Método do Fator de Luz Natural (Daylight Factor) e a Contribuição de Iluminação Natural - CIN

Baseado em diversas pesquisas ao longo de mais de 90 anos, o Método do Fator de Luz Natural - FLN é o mais comumente usado para a estimativa de iluminâncias internas a partir da luz natural. Recomendado pela CIE, o FLN

<sup>31</sup> Produzido por IESNA. Disponível em: <<http://www.ies4d.com>>;

<sup>32</sup> Produzido por *CA Design Associates*. Disponível em: <<http://www.shadowfx.com.uk>>;

<sup>33</sup> Produzido por *Optical Physics Technology*. Disponível em: <<http://www.srv.net/opt/sunchrt.html>>;

<sup>34</sup> Produzido por Murray Milne. Disponível em: <<http://www.aud.ucla.edu/energy-design-tools>>;

<sup>35</sup> Produzido por *Florida Solar Energy Center*. Disponível em: <<http://www.fsec.ucf.edu>>;

<sup>36</sup> Produzido por *Solar Energy and Building Physics Laboratory*. Disponível em: <<http://lesowww.epfl.ch>>;

<sup>37</sup> Produzido por *Florida Solar Energy Center*. Disponível em: <<http://www.fsec.ucf.edu>>;

<sup>38</sup> Produzido por *Volker Quaschnig- Solargruppe*. Disponível em:

<<http://emsolar.ee.tuberlin.de/simulation/sundi.html>>;

<sup>39</sup> Produzido por Mauricio Roriz- UFSCAR. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br>>;

<sup>40</sup> Produzido por LabEEE. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br>>.

expressa a razão entre a iluminância horizontal interna em um ponto e a iluminância horizontal externa, medidas simultaneamente sob condição de céu encoberto e desobstruído, que permanece constante independente de mudanças da luminância do céu (ROBBINS, 1986; MOORE, 1993).

O Fator de Luz Natural foi considerado por Moore (1993) como uma medida mais realista da iluminância percebida uma vez que o olho humano possui a habilidade de adaptação que torna mudanças relativas mais significativas percentualmente que em valores absolutos.

A ABNT (2005 b) sugere o uso do *Daylight Factor*, como é conhecido originalmente, como critério de comparação de desempenho entre diferentes sistemas de iluminação natural, podendo ser convertido em iluminâncias internas quando multiplicado pela iluminância externa adequada.

Por considerar apenas as condições de céu uniforme e encoberto, o *Daylight Factor* torna-se um mecanismo inválido para medidas de iluminação natural em condições de céu claro, bastante comum em climas tropicais assim como no Brasil. Por esse motivo, a ABNT (2005 b, p. 2) estendeu "...o conceito da medida proporcional da iluminação natural, possibilitando a sua predição para qualquer condição de céu não uniforme conhecida..." e o nomeou Contribuição de Iluminação Natural, CIN. Desta forma, recomenda-se o uso do método da CIN ao invés do FLN para projetos luminotécnicos em qualquer região brasileira.

Considerado como um método gráfico, o método da CIN conjuga diagramas e fórmulas matemáticas para a obtenção de resultados. O método do fluxo dividido adotado na norma para cálculo da iluminação natural em ambientes internos (ABNT, 2005 b) decompõe a CIN em Componente do Céu (CC), Componente Refletida Externa (CRE) e Componente Refletida Interna (CRI) (fig. 2.1).

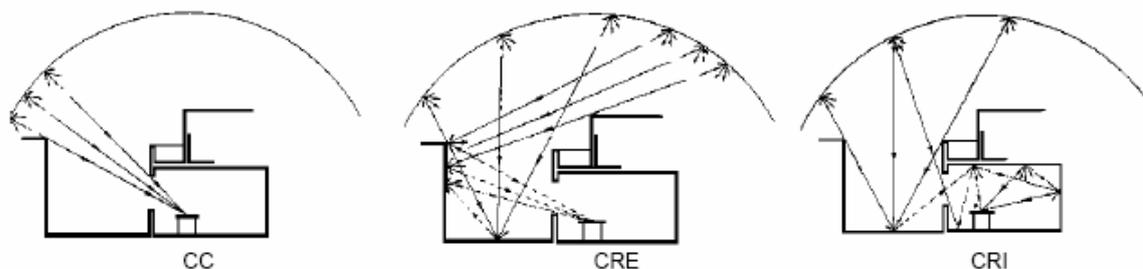


Figura 2.23 - Fontes de luz natural que alcançam o edifício. (fonte: ABNT, 2005 b)

Para efeito de cálculo, FLN ou CIN são expressos pela razão entre iluminância interna num ponto e externa, medidas simultaneamente:

$$CIN = \frac{E_P}{E_{Hext}} \times 100 \quad (\%) \quad (E.1)$$

onde:  $E_P$  - iluminância num ponto P sobre uma superfície horizontal interna;  
 $E_{Hext}$  - iluminância horizontal externa.

E segundo sua composição nas três componentes, também pode ser expresso por:

$$CIN = (CC + CRE + CRI) \times K_T \times K_M \times K_C \quad (E.2)$$

onde:  $K_T$  - transmitância do vidro;  
 $K_M$  - fator de manutenção;  
 $K_C$  - fator de caixilho.

Relacionando ambas as equações podemos encontrar a iluminância num ponto P ( $E_P$ ) no interior de um ambiente em estudo:

$$E_P = \frac{(CC + CRE + CRI) \times K_T \times K_M \times K_C}{E_{Hext}} \times 100 \quad (\%) \quad (E.3)$$

Para condições de céu encoberto e desobstruído a CIN comporta-se como o FLN, permanecendo constante em qualquer ponto interno ao ambiente, independente de mudanças da luminância do céu. Para o cálculo da iluminância horizontal interna em condições de céu encoberto e de céu claro, a norma da ABNT (2005 b) apresenta um método que utiliza cartas de trajetórias solares aparentes (cartas solares), diagramas de obstrução (máscaras de sombra) e tabelas de distribuição de luminâncias (diagramas de contribuição relativa de luz - DCRL), todas em mesma escala e mesmo sistema de projeção. A norma utiliza a projeção estereográfica.

Da mesma maneira que o CIN, suas três componentes também podem ser determinadas por um percentual da iluminância horizontal externa (ABNT, 2005 b). Para a componente de céu CC segue-se os passos descritos a seguir.

### **Cálculo da Componente do Céu (CC)**

1. Produzir a máscara de sombra a partir do ponto P escolhido no interior do ambiente para se obter a fração visível da abóbada celeste;
2. Determinar o azimute e a altura solar de acordo com a orientação, data e hora a ser estudada;
3. Escolher o DCRL correspondente aos valores obtidos anteriormente, marcar o Norte orientando-se pela carta solar e sobrepor a máscara de sombra sobre o DCRL observando-se a orientação da abertura indicada;
4. Para céu encoberto, como a distribuição luminosa da abóbada celeste é uniforme, não é preciso considerar as questões relativas à orientação do sol. A DCRL para esse tipo de céu é única;
5. Somar os valores das parcelas internas à abertura na máscara de sombra, incluindo os valores proporcionais referentes às parcelas não inteiras. No caso de mais de uma abertura, somam-se os valores de todas elas. O valor encontrado deve então ser dividido por 100 e apresentado em forma de percentual da contribuição total do céu.

### **Cálculo da Componente Refletida Externa (CRE)**

A CRE deve ser calculada sempre que houver uma obstrução externa que limite a visão do céu a partir do ponto de referência. Existem, no entanto, duas possíveis situações quando isso ocorrer. A primeira com a obstrução externa (geralmente uma superfície vertical) não iluminada pelo sol direto. Pode acontecer com céu encoberto ou céu claro. E a segunda situação, ao contrário, quando a obstrução externa for iluminada pelo sol direto. Cada situação exige um procedimento distinto para o cálculo da CRE.

### Cálculo da CRE com a obstrução não iluminada pelo sol direto

A obstrução externa visível a partir do ponto de referência interno, deve ser tratada como uma porção do céu cuja luminância é inferior à porção do céu obstruído. Para isso, calcula-se a porção de céu obstruído da mesma forma que se calcula a Componente do Céu (CC) e em seguida multiplica-se o resultado pelo coeficiente de reflexão da obstrução, conforme a seguinte equação:

$$CRE = CC_{\text{céu obstruído}} \times \rho_{\text{obstrução}} \quad (\text{E.4})$$

onde: CRE - percentual da componente refletida externa;

$\rho_{\text{obstrução}}$  - coeficiente de reflexão da superfície externa.

### Cálculo da CRE com a obstrução iluminada pelo sol direto

Ao contrário do que ocorre no cálculo da CRE com a obstrução não iluminada pelo sol direto, a obstrução externa visível deve ser tratada como uma porção do céu cuja luminância é superior à porção do céu obstruído quando receber luz solar direta. Existem várias formas de estimar a iluminância no plano vertical através de diferentes modelos matemáticos ou ainda, conforme recomendação da NBR 15215-3 (ABNT, 2005 b), através da sobreposição da carta solar com um diagrama proposto por SOTERAS<sup>42</sup> (apud ABNT, 2005 b) que representa a estimativa da iluminância, dada em klux, produzida pelo sol num plano vertical (fig. 2.24).

Outra variável que fazer parte do cálculo da CRE, o fator de forma das obstruções externas ( $FF_{oe}$ ) é encontrado pela superposição da máscara de sombra e do diagrama de fatores de forma, que é único para qualquer condição de céu (fig. 2.3).

A equação<sup>43</sup> seguinte é usada para o cálculo da CRE:

$$CRE_{\text{absoluto}} = E_{SV} \times FF_{OE} \times \rho_{\text{obstrução}} \quad (\text{E.5})$$

<sup>42</sup> SOTERAS, R.M. Geometria e Iluminacion Natural. Tese de Doutorado, ETSAB/ UPC: Barcelona, 1985.

<sup>43</sup> Equação corrigida em errata 1 publicada em 25-06-2007.

onde:  $CRE_{\text{absoluto}}$  - valor absoluto da componente refletida externa (lux);

$E_{SV}$  - iluminância da superfície vertical externa devida ao sol;

$FF_{OE}$  - fator de forma das obstruções externas relativo ao ponto de observação;

$\rho_{\text{obstrução}}$  - coeficiente de reflexão da superfície externa.

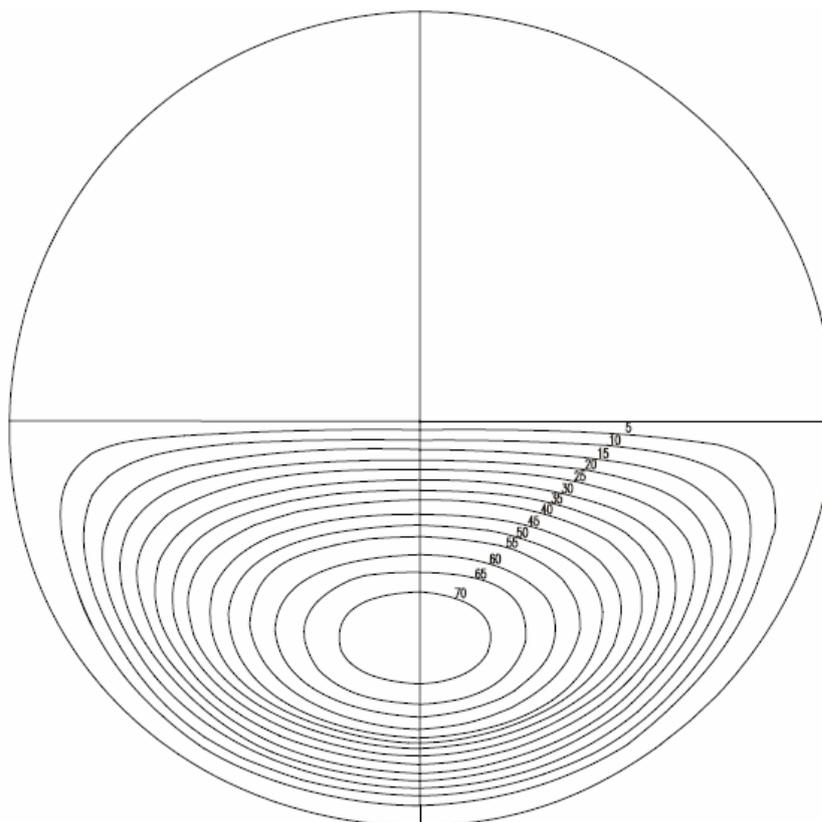


Figura 2.24 - Diagrama de Soteras. Estima a iluminância (klux) produzida pelo sol num plano vertical ( $E_{sv}$ ). A projeção do sol numa determinada data e hora permite a leitura ou interpolação das iluminâncias nas linhas isolux (fonte: ABNT, 2005 b).

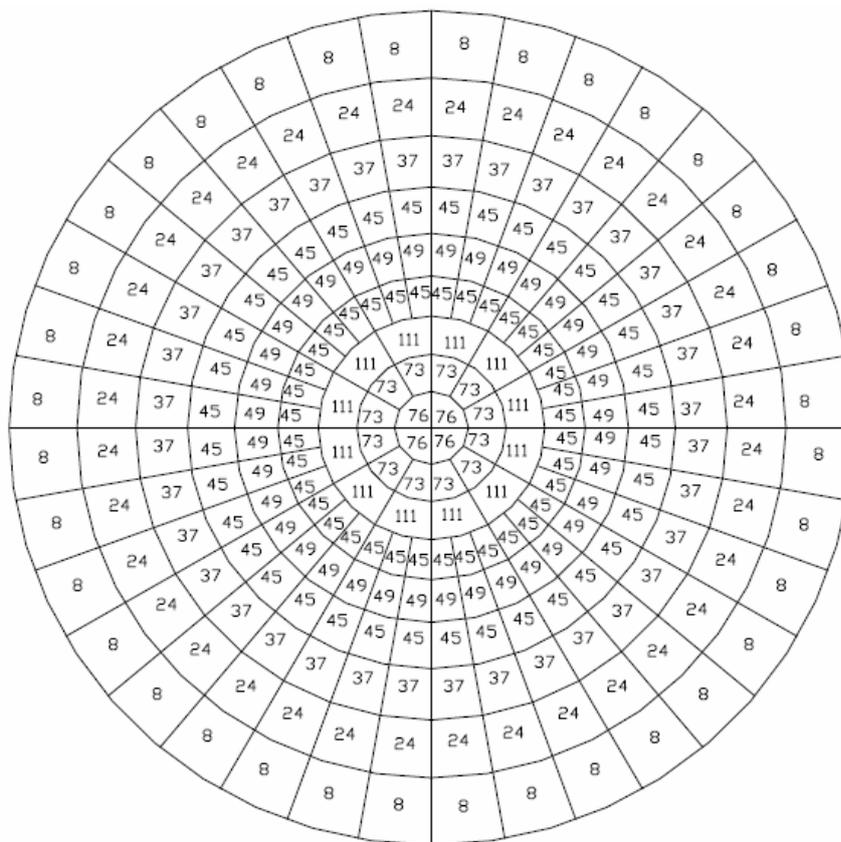


Figura 2.25 - Diagrama com fatores de forma da hemisfera celeste. Utilizado no cômputo da CRE e da CRI. (fonte: ABNT, 2005 b).

### **Cálculo da Componente Refletida Interna (CRI)**

A projeção estereográfica do espaço interno usada para estimar a componente refletida interna se assemelha àquela descrita para a estimativa da componente do céu. Deve-se proceder à representação das principais superfícies e aberturas do ambiente analisado, como na representação da máscara de sombra. Cada ponto de referência estudado corresponde a uma projeção estereográfica que deverá ser sobreposta ao diagrama de fatores de forma (fig. 2.25).

Diferentemente do cálculo para a componente do céu (CC), na contagem para o cálculo da CRI deve-se observar a quantidade de células sobreposta a cada superfície sem considerar os valores a elas atribuídos. O número de células de cada superfície que deverá ser um percentual do total de 244 células que compõem o diagrama constitui o fator de forma FF. Na equação para o cálculo da

CRI há o somatório dos fatores de forma multiplicados pelas refletâncias médias de cada superfície:

$$CRI = \left[ \sum_{n=i}^{n=1} (FF_{si} \times \rho_{mi}) \right] \times (CC + CRE) \times K_p \quad (E.6)$$

onde: n - número de superfícies;

FF<sub>si</sub> - fator de forma das obstruções externas relativo ao ponto de observação;

ρ<sub>mi</sub> - coeficiente de reflexão da superfície externa;

K<sub>p</sub> - fator empírico de correção relacionado à posição do ponto de referência. Para pontos próximos à abertura usar K<sub>p</sub> = 0,9; posição intermediária K<sub>p</sub> = 1,15; afastado da abertura K<sub>p</sub> = 1,6.

O método da CIN pode ser considerado um método de único estágio por apresentar um resultado unificado das componentes direta e indireta da luz natural. Demais métodos de único estágio apresentam como desvantagem a imprecisão dos resultados em relação a métodos que estipulam apenas uma das componentes principais (BAKER; FANCHIOTTI; STEEMERS, 1993). Entretanto, por depender diretamente dos resultados das três componentes da iluminação natural (Componente do Céu, Componente Refletida Externa e Componente Refletida Interna), e uma vez que estas são calculadas separadamente, podemos dizer que o método da CIN tem a precisão dentre suas vantagens. Em relação ao método do FLN, a CIN também tem a vantagem de ter um uso mais abrangente, pois se adapta a todas as condições de céu não uniformes conhecidas (ABNT, 2005 b).

Em contrapartida o método demanda muito tempo para o cálculo da iluminância em um único ponto interno ao ambiente. Para uma noção mais precisa do comportamento da luz natural é desejável que o cálculo seja efetuado para diversos pontos de referência internos, em quatro datas representativas das estações climáticas, em dois horários do dia. O somatório de todos estes esforços nos dá a dimensão da dificuldade da análise da iluminação natural através do método da CIN, o que se torna uma limitação ao uso do método.

#### 2.2.2.4. Método dos Lumens para iluminação natural

Considerado como um método de cálculo, e recomendado pela IESNA, o Método dos Lumens é baseado no princípio de que a iluminância que atinge um ponto no interior de um ambiente é uma função da luminância do plano das aberturas externas (ROBBINS, 1986). O mesmo autor ainda cita que o método torna-se mais eficiente do que o Fator de Luz Natural, nos casos de ambientes de pequenas dimensões, iluminados por aberturas verticais, onde a reflexão das superfícies externas e internas desempenha um papel fundamental no cálculo da iluminância interna.

É importante lembrar que o método tem algumas limitações que conferem certa rigidez à tipologia dos ambientes em relação às condições previamente testadas, quais sejam: o comprimento da abertura é igual ao comprimento da parede; a parte superior da abertura coincide com o nível do teto; a base inferior da abertura coincide com a altura do plano de trabalho; e etc. (MOORE, 1993).

Algumas variáveis afetam a quantidade e qualidade da iluminação natural em ambientes internos. Um conjunto de variáveis refere-se à luz proveniente do céu e do sol, dentre elas: a luminosidade do céu claro ou encoberto; a posição do sol em relação à abertura; a intensidade da luz solar direta. A iluminância global medida no plano horizontal do terreno, para condições de céu claro ou encoberto, e a refletância do terreno, também são variáveis referentes ao ambiente externo (IESNA, 2000).

Internamente, um outro grupo de variáveis diz respeito à luminosidade que parte da superfície interna da abertura: a área da abertura envidraçada; a transmissividade do vidro; a razão entre a área real da abertura envidraçada e a área total da abertura; o efeito da sujeira na opacificação do vidro. Ainda resta mais um conjunto de variáveis internas relativas à distribuição da luz no ambiente, sobre plano de trabalho, após ter deixado a superfície da abertura: a inter-reflexão da luz; a geometria da abertura (comprimento e altura); e a geometria do ambiente (comprimento, largura e pé-direito) (IESNA, 2000).

A equação básica do Método dos Lumens é a seguinte:

$$E_I = E_{EV} \times \tau \times CU \quad (E.7)$$

onde:  $E_I$  - iluminância interna (lux);

$E_{EV}$  - iluminância externa vertical (lux);

$\tau$  - coeficiente de transmissão luminosa da abertura;

CU - coeficiente de utilização<sup>44</sup>.

### Cálculo da iluminância para abertura lateral

Inicialmente o ambiente deverá ser demarcado de acordo com algumas condições básicas. Segundo a IESNA (2000), a iluminância deve ser medida em cinco pontos alinhados perpendicularmente à abertura, passando pelo centro do ambiente. O ponto central será localizado à metade desta distância (D) e dos demais pontos estarão afastados a uma distância de 0,2 D um do outro, todos localizados à altura da base inferior da abertura.

Os coeficientes de reflexão das superfícies deverão ser considerados assim: (1) 30% para o piso e a porção inferior das paredes, logo abaixo da altura da base inferior da abertura (que coincide com a altura do plano de trabalho); (2) 70% para o teto e a porção superior das paredes, logo acima do limite superior da abertura; e (3) 50% para a porção mediana das paredes, resultante das porções inferior e superior.

A equação para o cálculo da iluminância interna em qualquer um dos cinco pontos de referência para vidro transparente é:

$$E_I = \tau (E_{EVc\acute{e}u} CU_{c\acute{e}u} + E_{EVt} CU_t) \quad (E.8)$$

E no caso de vidro não transparente com uma redução de 50% da iluminância externa vertical deve-se considerar um céu com distribuição de iluminância uniforme ( $E_{EVc\acute{e}u}/E_{EHc\acute{e}u} = 1$ ) para a obtenção do  $CU_{c\acute{e}u}$ . A expressão se transforma para:

$$E_i = 50\% \tau (E_{EVc\acute{e}u} + E_{EVt}) (CU_{c\acute{e}u} + CU_t) \quad (E.9)$$

onde:  $E_I$  - iluminância interna no ponto (lux);

<sup>44</sup> Coeficientes de utilização exprimem a razão entre as iluminâncias horizontal interna e horizontal externa. Para o cálculo da iluminação zenital com luz natural, o coeficiente de utilização (CU) apresenta a iluminância média sobre o plano de trabalho. Para o cálculo da iluminação lateral, o CU produz a iluminância em cinco pontos predeterminados (IESNA, 2000).

- $\tau$  - coeficiente de transmissão luminosa da superfície envidraçada;
- $E_{EVc\acute{e}u}$  - iluminância externa vertical sobre a abertura devido à componente difusa (lux);
- $E_{EVt}$  - iluminância externa vertical sobre a abertura devido ao terreno (lux);
- $CU_{c\acute{e}u}$  - coeficiente de utilização devido à componente difusa;
- $CU_t$  - coeficiente de utilização devido ao terreno.

Para o cálculo do coeficiente de transmissão luminosa da superfície envidraçada  $\tau$  nova fórmula é apresentada:

$$\tau = t R_a t_c M \quad (E.10)$$

- onde:  $\tau$  - coeficiente de transmissão luminosa da superfície envidraçada;
- $t$  - coeficiente de transmissão luminosa do vidro;
  - $R_a$  - razão entre a área translúcida e a área total da esquadria (vidro + caixilho);
  - $t_c$  - coeficiente de transmissão de eventual dispositivo de controle da radiação solar;
  - $M$  - coeficiente de manutenção da superfície envidraçada.

A iluminância externa vertical  $E_{EV}$  é a iluminância sobre a abertura vertical, excluída a componente solar direta. Para o cálculo de  $E_{EV}$  são consideradas as luminâncias da abóbada celeste (componente difusa) e do terreno. A porção devida à componente difusa  $E_{EVc\acute{e}u}$  pode ser obtida através de três diagramas (IESNA, 2000) diferenciados pelas condições de céu, relacionando altura solar e azimute (figs. 2.26 a 2.28). Para a porção devida ao terreno  $E_{EVt}$ , o mesmo deve ser considerado como uma fonte luminosa superficial cuja radiância é calculada pela seguinte expressão:

$$M_t = \rho_t (E_{EHc\acute{e}u} + E_{EHsol}) \quad (E.11)$$

- onde:  $M_t$  - radiância do terreno ( $lm/m^2$ );
- $\rho_t$  - coeficiente de reflexão do terreno;
  - $E_{EHc\acute{e}u}$  - iluminância externa horizontal devido à componente difusa (lux);
  - $E_{EHsol}$  - iluminância externa horizontal devido à componente direta (lux).

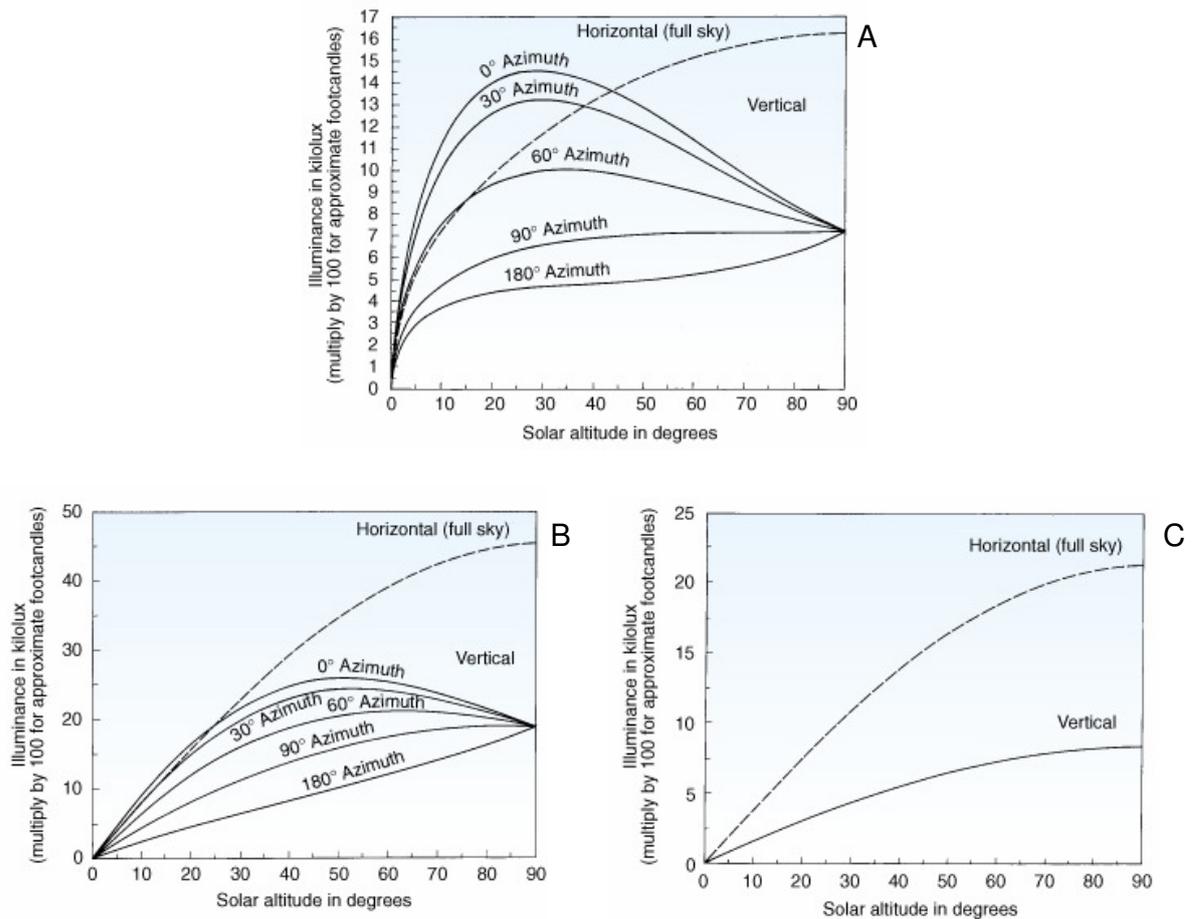


Figura 2.26 - Diagramas de iluminâncias sobre superfícies verticais. Sob condições de céu claro (A), céu parcialmente encoberto (B), e céu encoberto (C), em função da altura solar e azimute. Utilizadas para determinar o valor de  $E_{EH\text{céu}}$  (fonte: IESNA, 2000).

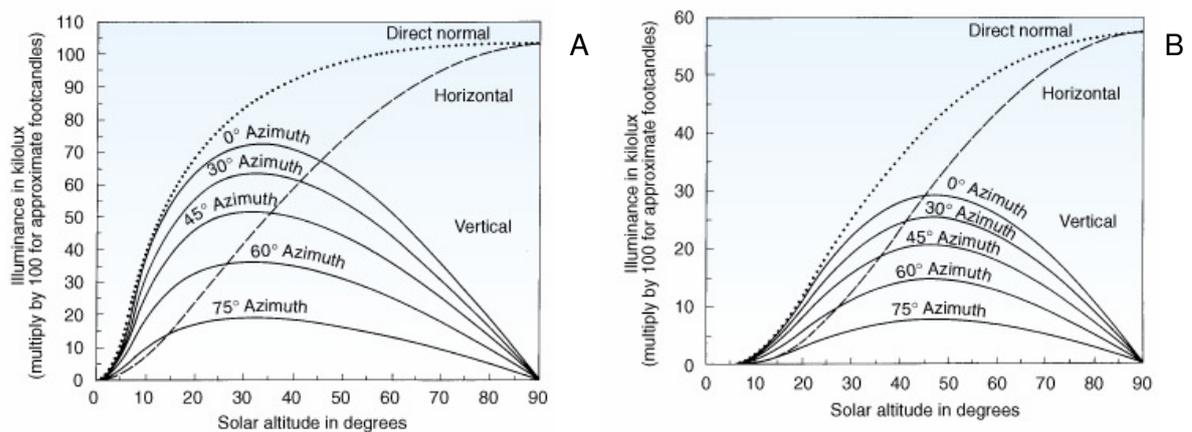


Figura 2.27 - Diagramas de iluminâncias provenientes do sol (componente direta). Sob condições de céu claro (A), e céu parcialmente encoberto (B), em função da altura solar e azimute. Utilizadas para determinar o valor de  $E_{EH\text{sol}}$  (fonte: IESNA, 2000).

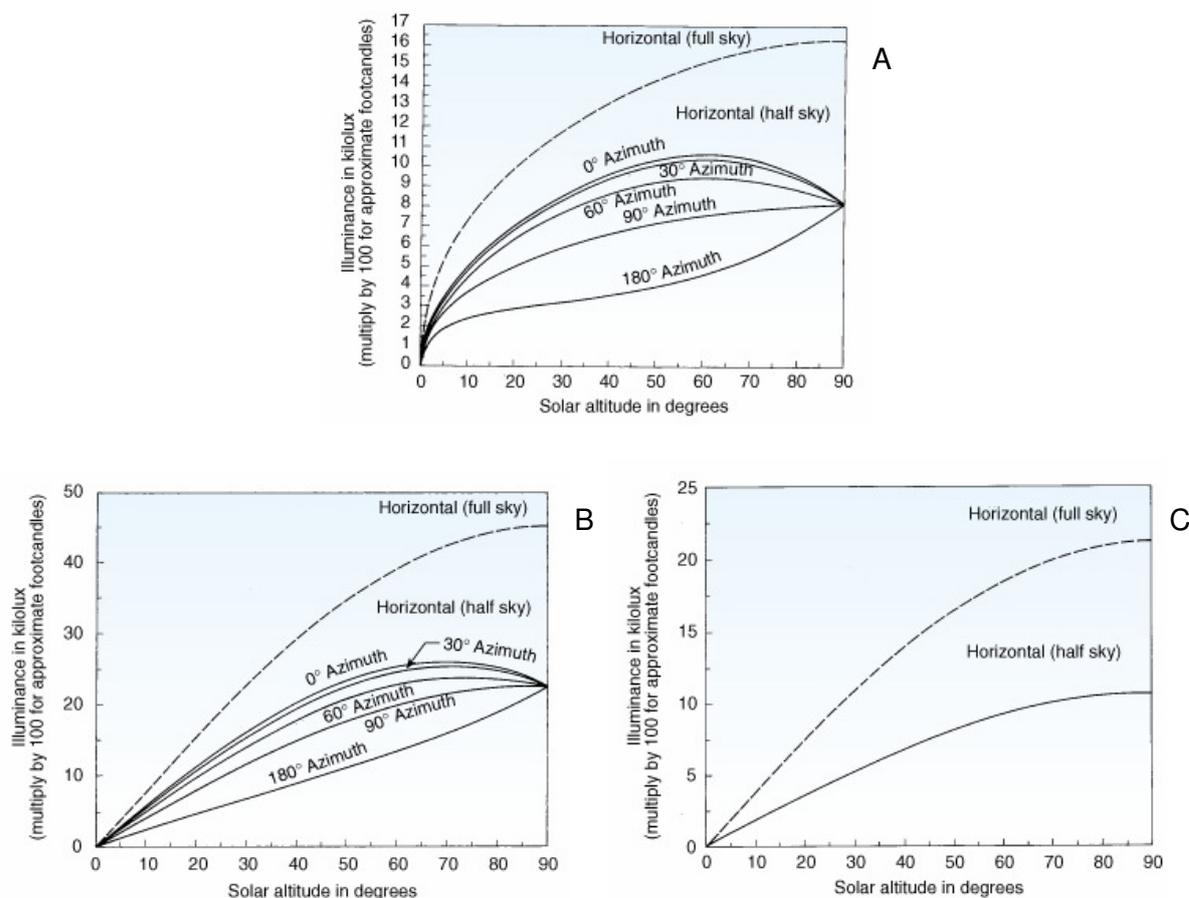


Figura 2.28 - Diagramas de iluminâncias sobre superfícies horizontais. Sob condições de céu claro (A), céu parcialmente encoberto (B), e céu encoberto (C), em função da altura solar e azimute. Utilizadas para determinar o valor de  $E_{EV\text{céu}}$  (fonte: IESNA, 2000).

Então, a iluminância externa vertical devida ao terreno  $E_{EVt}$  poderá agora ser calculada através da fórmula:

$$E_{EVt} = \pi M_t \quad (E.12)$$

onde:  $E_{EVt}$  - iluminância externa vertical devida ao terreno, assumido como um refletor perfeitamente difuso (lux);

$M_t$  - exitância luminosa do terreno ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ).

Os coeficientes de utilização encontram-se disponíveis em tabelas<sup>45</sup> (IESNA, 2000) distintas entre si pelos valores obtidos na razão da iluminância vertical pela iluminância horizontal externas  $E_{EV}/E_{EH}$ . Para o coeficiente de utilização devido à

<sup>45</sup> As tabelas com os coeficientes de utilização podem ser encontradas no *IESNA Lighting Handbook* 9ª edição.

componente direta  $CU_{c\acute{e}u}$ , são ao todo cinco tabelas, relativas a diferentes valores de  $E_{EV}/E_{EH}$ : 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, e 1.75, e uma outra tabela para o coeficiente de utilização devido ao terreno  $CU_t$  (fig. 2.29).

Room Depth/ Window Height	Percent D*	Window Width/Window Height							Infinite
		.5	1	2	3	4	6	8	
1	10	.671	.704	.711	.715	.717	.726	.726	.728
	30	.458	.595	.654	.668	.672	.682	.683	.685
	50	.313	.462	.563	.589	.598	.607	.608	.610
	70	.227	.362	.478	.515	.527	.530	.532	.534
2	10	.545	.636	.658	.660	.661	.665	.666	.672
	30	.239	.367	.459	.484	.491	.499	.501	.506
	50	.121	.203	.286	.320	.335	.348	.351	.355
	70	.074	.128	.192	.226	.243	.259	.264	.267
3	10	.431	.561	.607	.613	.614	.616	.615	.631
	30	.133	.223	.306	.337	.348	.357	.357	.366
	50	.058	.103	.155	.183	.197	.211	.213	.218
	70	.037	.064	.098	.119	.132	.147	.150	.154
4	10	.339	.482	.549	.560	.563	.566	.565	.593
	30	.078	.139	.204	.234	.247	.258	.260	.272
	50	.033	.060	.094	.114	.126	.139	.143	.150
	70	.022	.039	.061	.074	.083	.095	.099	.104
6	10	.211	.343	.433	.453	.458	.461	.461	.518
	30	.033	.065	.103	.123	.135	.145	.148	.167
	50	.015	.029	.047	.057	.064	.073	.077	.086
	70	.011	.021	.033	.040	.045	.051	.054	.060
8	10	.135	.238	.326	.353	.362	.366	.367	.452
	30	.016	.034	.058	.072	.080	.090	.094	.116
	50	.008	.017	.027	.034	.039	.045	.048	.059
	70	.006	.013	.021	.026	.028	.032	.035	.043
10	10	.090	.165	.244	.272	.283	.290	.291	.395
	30	.009	.020	.036	.045	.052	.060	.064	.087
	50	.005	.010	.019	.023	.026	.030	.033	.044
	70	.004	.009	.015	.018	.020	.023	.025	.033
Infinite	10	.091	.146	.199	.230	.239	.239	.290	.292
	30	.082	.132	.179	.201	.212	.219	.222	.225
	50	.062	.113	.165	.189	.202	.214	.218	.220
	70	.051	.093	.141	.165	.179	.194	.198	.200
3	10	.088	.120	.157	.175	.183	.185	.163	.167
	30	.059	.107	.154	.176	.187	.198	.193	.198
	50	.039	.074	.114	.134	.146	.157	.166	.170
	70	.031	.055	.085	.101	.111	.122	.127	.130
4	10	.073	.113	.154	.174	.183	.187	.176	.184
	30	.040	.082	.127	.148	.159	.170	.177	.185
	50	.025	.049	.078	.094	.103	.113	.117	.123
	70	.020	.036	.054	.065	.071	.079	.083	.087
6	10	.056	.106	.143	.164	.175	.184	.173	.194
	30	.021	.050	.081	.098	.107	.117	.123	.138
	50	.013	.027	.041	.049	.054	.060	.064	.072
	70	.011	.021	.029	.033	.035	.039	.041	.046
8	10	.036	.082	.122	.143	.156	.166	.170	.208
	30	.011	.029	.050	.062	.070	.078	.082	.101
	50	.007	.016	.024	.028	.031	.035	.038	.046
	70	.006	.013	.018	.020	.021	.023	.025	.030
10	10	.024	.061	.109	.120	.131	.144	.147	.200
	30	.006	.017	.034	.040	.046	.053	.056	.076
	50	.004	.010	.016	.018	.020	.023	.024	.033
	70	.004	.009	.013	.014	.015	.016	.016	.022
Infinite	10	.091	.146	.199	.230	.239	.239	.290	.292
	30	.082	.132	.179	.201	.212	.219	.222	.225
	50	.062	.113	.165	.189	.202	.214	.218	.220
	70	.051	.093	.141	.165	.179	.194	.198	.200

Figura 2.29 - Duas das tabelas utilizadas no Método dos Lumens para a determinação dos coeficientes de utilização para iluminação lateral. A da esquerda é uma das cinco relativas ao  $CU_{c\acute{e}u}$  (para  $E_{EV}/E_{EH} = 0,75$ ) e a da direita determina o  $CU_t$ . Os valores constantes na segunda coluna (*Percent D*) referem-se à distância relativa da abertura até a parede oposta (fonte: IESNA, 2000).

Importante observar a limitação deste método para o cálculo da iluminação natural através de aberturas laterais. O procedimento descrito antes é restrito a aberturas com nenhum sistema de controle da radiação solar (apenas com vidros transparentes) ou apenas elementos simples tais como películas e cortinas. O mesmo não se aplica às aberturas com proteções externas ou venezianas.

### Cálculo da iluminância para abertura zenital

O procedimento permite o cálculo da iluminância média sobre o plano de trabalho ou a área da abertura zenital para iluminância interna prevista, dada uma determinada iluminância externa horizontal. A expressão para o cálculo da iluminância interna média sobre o plano de trabalho é:

$$E_I = E_{EH} \tau CU \frac{A_z}{A_t} \quad (\text{E.13})$$

onde:  $E_I$  - iluminância interna média no plano de trabalho (lux);

$E_{EH}$  - iluminância externa horizontal (lux);

$\tau$  - coeficiente de transmissão luminosa da superfície envidraçada e do poço de luz;

CU - coeficiente de utilização do ambiente para abertura zenital;

$A_z$  - projeção horizontal da área total do zenital ( $\text{m}^2$ );

$A_t$  - área do plano de trabalho ( $\text{m}^2$ ).

No caso de aberturas zenitais, a iluminância externa horizontal  $E_{EH}$  depende apenas da luminância da abóbada celeste  $E_{EH\text{céu}}$  e não mais da luminância do terreno. Os valores são informados nos mesmos diagramas (IESNA, 2000) utilizados para o cálculo da iluminância interna com abertura lateral (figs. 2.26 a 2.28). A condição de céu deverá ser observada para a escolha do diagrama correspondente, e a iluminância é dada em função da altura solar e azimute.

O coeficiente de transmissão luminosa da superfície envidraçada  $\tau$  deverá considerar tanto a componente direta  $\tau_D$ , cujo coeficiente de transmissão  $t_D$  depende do ângulo de incidência, como a componente difusa  $\tau_d$ , cujo coeficiente de transmissão  $t_d$  assume um único valor. Na prática tais dados são fornecidos em catálogos técnicos dos fabricantes de vidros. As fórmulas dos coeficientes de transmissão para ambas as componentes são:

$$\tau_D = t_D N_z R_a t_c M \quad (\text{E.14})$$

$$\tau_d = t_d N_z R_a t_c M \quad (\text{E.15})$$

onde:  $\tau_D$  - coeficiente de transmissão luminosa da superfície envidraçada para a componente direta;

$\tau_d$  - coeficiente de transmissão luminosa da superfície envidraçada para a componente difusa;

$t_D$  - coeficiente de transmissão luminosa do vidro para a componente direta;

$t_d$  - coeficiente de transmissão luminosa do vidro para a componente difusa;

$N_z$  - eficiência luminosa do poço de luz;

$R_a$  - razão entre a área translúcida e a área total da esquadria (vidro + caixilho);

$t_c$  - coeficiente de transmissão de eventual dispositivo de controle da radiação solar;

$M$  - coeficiente de manutenção da superfície envidraçada.

Quando não houver nenhum dispositivo de controle da radiação solar junto ao zenital, o coeficiente de transmissão relativo a esse dispositivo  $t_c = 1$ . A eficiência luminosa do poço de luz  $N_z$  será obtida pelo diagrama a seguir (fig. 2.30), que relaciona o coeficiente de reflexão das paredes do poço de luz (40%, 60% ou 80%) e o índice da cavidade do poço de luz:

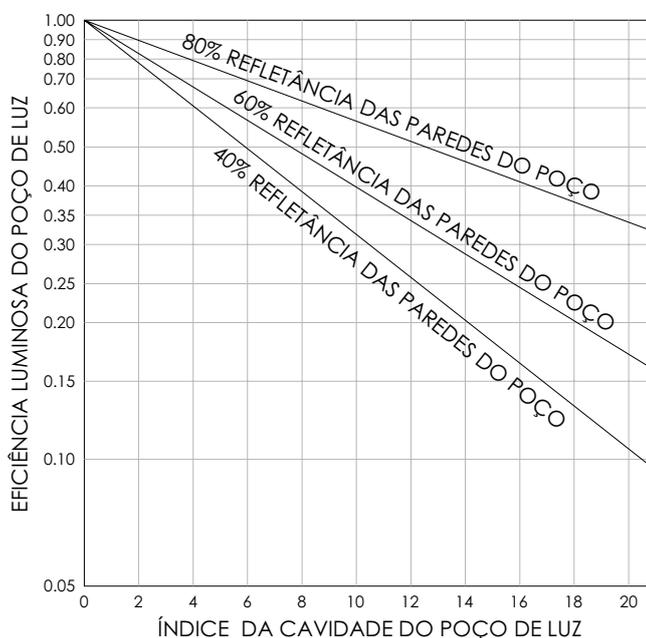


Figura 2.30 - Diagrama de eficiência luminosa do poço de luz. Relaciona o coeficiente de reflexão das paredes e o índice da cavidade do poço. (fonte: IESNA, 2000).

O índice da cavidade do poço de luz  $i_z$  é dado através da seguinte expressão:

$$i_z = \frac{5h(c+l)}{c \times l} \quad (\text{E.16})$$

onde: h - altura do poço de luz (m);

c - comprimento do poço de luz (m);

l - largura do poço de luz (m).

De maneira semelhante ao cálculo do índice da cavidade do poço de luz  $i_z$ , o índice da cavidade do local deverá ser calculado para a obtenção do valor do coeficiente de utilização do ambiente CU através de uma tabela fornecida pela IESNA (apud AGHEMO; AZZOLINO, 1995) (fig. 2.31). Depois desses procedimentos será conhecida a iluminância média sobre o plano de trabalho  $E_i$ .

Ceiling Reflectance (Percent)	RCR*	Wall Reflectance (Percent)		
		50	30	10
80	0	1.19	1.19	1.19
	1	1.05	1.00	0.97
	2	0.93	0.86	0.81
	3	0.83	0.76	0.70
	4	0.75	0.67	0.60
	5	0.67	0.59	0.53
	6	0.62	0.53	0.47
	7	0.57	0.49	0.43
	8	0.54	0.47	0.41
	9	0.53	0.46	0.41
	10	0.52	0.45	0.40
50	0	1.11	1.11	1.11
	1	0.98	0.95	0.92
	2	0.87	0.83	0.78
	3	0.79	0.73	0.68
	4	0.71	0.64	0.59
	5	0.64	0.57	0.52
	6	0.59	0.52	0.47
	7	0.55	0.48	0.43
	8	0.52	0.46	0.41
	9	0.51	0.45	0.40
	10	0.50	0.44	0.40
20	0	1.04	1.04	1.04
	1	0.92	0.90	0.88
	2	0.83	0.79	0.76
	3	0.75	0.70	0.66
	4	0.68	0.62	0.58
	5	0.61	0.56	0.51
	6	0.57	0.51	0.46
	7	0.53	0.47	0.43
	8	0.51	0.45	0.41
	9	0.50	0.44	0.40
	10	0.49	0.44	0.40

Figura 2.31 - Tabela utilizada no método dos Lumens para a determinação dos coeficientes de utilização para iluminação zenital. A tabela determina o CU do ambiente para uma refletância do piso de 20%. Os valores constantes na segunda coluna (*RCR*) referem-se índice da cavidade do local, calculado de maneira semelhante ao índice da cavidade do poço de luz  $i_z$  (fonte: IESNA, 2000).

O coeficiente de manutenção da superfície envidraçada é obtido da figura 2.32:

Locations	Light Loss Factor Glazing Position		
	Vertical	Sloped	Horizontal
Clean Areas	0.9	0.8	0.7
Industrial Areas	0.8	0.7	0.6
Very Dirty Areas	0.7	0.6	0.5

Figura 2.32 - Tabela utilizada no método dos Lumens para determinar o coeficiente de manutenção da superfície envidraçada para iluminação zenital (fonte: IESNA, 2000).

O Método dos Lumens tem a vantagem de calcular cinco pontos ao mesmo tempo, ao invés de um único ponto de referência. Mas apresenta a desvantagem de calcular separadamente a iluminação devida às aberturas laterais e zenitais, considerando uma única abertura. O Método dos Lumens também considera as três diferentes condições de céu, encoberto, parcialmente encoberto e claro.

### 2.2.3. Métodos para projeto de sistemas de luz artificial

Os métodos de cálculo para a iluminação artificial avaliam quantitativamente uma solução proposta ainda em fase de projeto. Existem dois métodos mais conhecidos para o cálculo de iluminâncias para iluminação artificial: o Método dos Lumens e o Método Pontual. O primeiro parte da iluminância média de projeto, para calcular a quantidade de luminárias que atendam à essa condição. É mais adequado para áreas onde as luminárias estão uniformemente distribuídas. O segundo método baseia-se nas leis de Lambert<sup>48</sup> e utiliza curvas de distribuição de

<sup>48</sup> Leis de Lambert: 1. A iluminância varia na razão direta da intensidade luminosa na direção do ponto considerado; 2. A iluminância varia na razão inversa do quadrado da distância da fonte ao ponto iluminado; 3. A iluminância varia proporcionalmente ao co-seno do ângulo formado pela normal à superfície no ponto considerado e pela direção do raio luminoso incidente sobre o mesmo (MOREIRA, V. **Iluminação e fotometria: teoria e aplicação**. São Paulo: Edgard Blücher, 1987).

intensidades luminosas, também conhecidas como curvas fotométricas, para calcular a iluminância em um único ponto produzida por uma ou duas luminárias pontuais (MOORE, 1993).

Para a avaliação do comportamento do sistema de iluminação artificial projeto é fundamental o conhecimento das informações técnicas sobre o desempenho das luminárias utilizadas.

### **2.2.3.1. Desempenho de luminárias**

O desempenho de uma luminária pode ser considerado como a combinação dos desempenhos fotométrico, elétrico e mecânico. O desempenho fotométrico descreve a eficiência e a forma como a luz produzida pela lâmpada é emitida, enquanto o desempenho elétrico a eficácia com a qual a luminária gera luz e o comportamento dos equipamentos complementares (transformadores, reatores e etc.). O desempenho mecânico refere-se a seu comportamento quando submetida a estresse (temperaturas elevadas, água, choques mecânicos e fogo) (IESNA, 2000).

O desempenho fotométrico é resumido num relatório de dados fotométricos normalmente fornecido pelo fabricante da luminária. Estes dados contam como a luminária distribui a luz. Para a representação gráfica da distribuição espacial das intensidades luminosas, adotam-se planos passando pelo centro da fonte luminosa e que podem ser verticais ou horizontais. O contorno da distribuição espacial das intensidades luminosas projetado sobre um destes planos é chamado de curva fotométrica (MOREIRA, 1987) (fig.2.33).

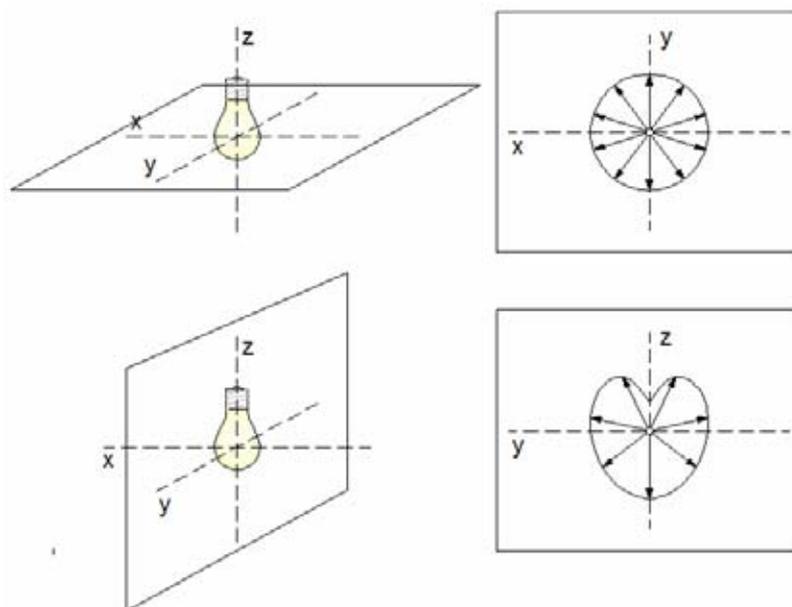


Figura 2.33 - Exemplos de curvas fotométricas horizontal (superior) e vertical (inferior). (fonte: MOREIRA, 1987).

As medições das intensidades luminosas são feitas a uma distância grande o bastante para que a luminária seja considerada uma fonte pontual, como se todo o fluxo luminoso fosse emitido a partir do centro fotométrico da luminária. As intensidades luminosas são medidas em candelas. A distribuição de intensidades luminosas oferece uma idéia geral de como a luz é distribuída pela luminária (IESNA, 2000).

Para luminárias de uso interno, as medições obtidas da distribuição das intensidades luminosas podem ser apresentadas graficamente de duas formas: valores numéricos ou diagrama polar (fig. 2.34). O plano vertical é mais frequentemente utilizado em diagramas polares para delinear as curvas fotométricas. Três são os planos verticais mais comuns em uma fotometria: transversal, longitudinal e diagonal à luminária.

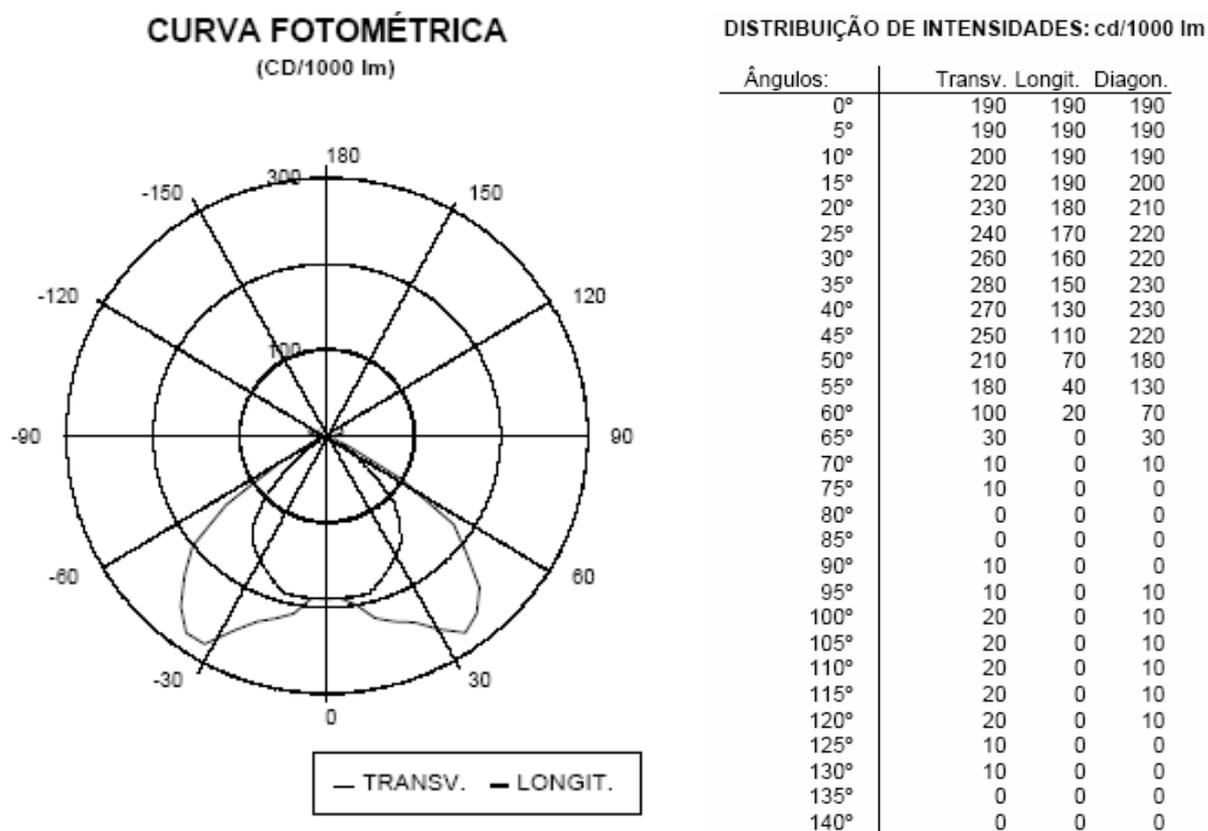


Figura 2.34 - Distribuição das intensidades luminosas de uma luminária. Diagrama polar (esquerda) apresenta curvas fotométricas em dois planos verticais, e as mesmas intensidades representadas de forma numérica (direita). (fonte: Lumini Equipamentos de Iluminação Ltda. <<http://www.lumini.com.br>>. Acesso em 26/04/2008).

Outros parâmetros estão presentes nos relatórios de dados fotométricos de uma luminária. A eficiência luminosa reporta ao rendimento da luminária e é obtido dividindo-se o fluxo luminoso total emitido pela(s) lâmpada(s) pelo fluxo emitido pela luminária. Os coeficientes de utilização para luminárias de uso interno são utilizados no cálculo das iluminâncias médias horizontais pelo Método dos Lumens. Descrevem a eficácia com a qual a luminária distribui a iluminância sobre os planos horizontais. Critério de espaçamento é um indicador que estabelece a distância ideal entre luminárias para garantir um grau de uniformidade aceitável (IESNA, 2000).

Relatórios de dados fotométricos são úteis para a escolha de uma luminária. Lâmpadas de fecho também apresentam dados da distribuição de intensidades luminosas assim como das luminárias. Vida útil, eficiência luminosa, IRC - índice de reprodução de cores e temperatura de cor também são parâmetros relevantes para

a escolha da lâmpada (Ver item 2.1.4. Outros aspectos importantes da iluminação). Todos eles são reportados em catálogos técnicos dos fabricantes.

Algumas lâmpadas necessitam de equipamentos complementares para funcionar. Transformadores, reatores, ignitores e etc. também influenciam no desempenho do conjunto ótico (luminária + lâmpada). O fator de potência de um reator determina uma depreciação ( $< 1,0$ ) ao rendimento da luminária. Reatores de alto fator de potência ( $> 1,0$ ), ao contrário, podem majorar o desempenho do sistema. Para o uso de sistemas de controle automáticos e dimerizados alguns tipos de lâmpadas necessitam de reatores específicos classificados como dimerizáveis, como é o caso das lâmpadas fluorescentes. Alguns tipos de lâmpadas ainda não contam, até o momento, com dispositivos capazes de variar a intensidade de luz emitida.

### 2.2.3.2. Método dos Lumens para iluminação artificial

O Método dos Lumens é usado para determinar a quantidade de luminárias (dada uma determinada fotometria), necessária para atingir a iluminância média desejada sobre a área de trabalho em um ambiente interno, e é dado pela seguinte equação (IESNA, 2000):

$$\bar{E} = \frac{\text{fluxo total}}{\text{área de trabalho}} \quad (\text{E.17})$$

onde:  $\bar{E}$  - Iluminância média (lux);

fluxo total (lm);

área de trabalho ( $\text{m}^2$ ).

Para que o cálculo seja mais acurado, algumas variáveis devem ser consideradas. O coeficiente de utilização da luminária, CU expressa a fração do fluxo das lâmpadas que atinge a área de trabalho de forma direta e indireta. O CU considera a eficiência da luminária, o impacto da distribuição das luminárias e as refletâncias das superfícies (IESNA, 2000). Moore (1993) acrescenta ainda a distribuição de intensidades do fluxo emitido pelas luminárias, e as medidas do

ambiente. O coeficiente de utilização é normalmente fornecido pelo fabricante da luminária.

Considerando que o objetivo da instalação é manter a iluminância ao longo do período de uso do ambiente, um fator de perda dos lumens ( $F_p$ ) estima a depreciação do fluxo das lâmpadas, das refletâncias das superfícies em função do acúmulo de sujeira, e outros fatores que afetam o desempenho das luminárias (ex.: depreciação das luminárias por acúmulo de sujeira, perdas provenientes de reatores e transformadores) (IESNA, 2000). A iluminância fornecida pela instalação precisa ser reduzida pelo  $F_p$  para determinar a iluminância que será mantida ao longo do uso. O  $F_p$  é o produto de vários subfatores, cada qual valendo 1 ou menos (MOORE, 1993).

Agora a equação inicial pode ser delineada da seguinte maneira:

$$\bar{E} = \frac{n \times \theta \times CU \times F_p}{A} \quad (\text{E.18})$$

onde:  $\bar{E}$  - iluminância média (lux);

$n$  - número de luminárias no ambiente;

$\theta$  - fluxo total da luminária (lm);

$CU$  - coeficiente de utilização da luminária;

$F_p$  - fator de perda dos lumens;

$A$  - área do ambiente ( $\text{m}^2$ ).

A mesma equação pode ser invertida para se calcular o número de luminárias necessárias para fornecer a iluminância desejada em um ambiente:

$$n = \frac{\bar{E} \times A}{\theta \times CU \times F_p} \quad (\text{E.19})$$

O procedimento de cálculo da iluminância média utiliza um sub-método chamado Método das Cavidades Zonais. Este é usado para a determinação do fator de utilização -  $F_u$  da luminária escolhida. Para a aplicação do método, o ambiente é dividido em três partes da seguinte maneira (fig. 2.35):

- Cavidade do piso - compreende o piso e a porção inferior das paredes, logo abaixo da altura do plano de trabalho;

- Cavidade do teto - compreende o teto e a porção superior das paredes, logo acima do limite inferior das luminárias;
- Cavidade do local - é a porção mediana das paredes, resultante das porções inferior (cavidade do piso) e superior (cavidade do teto).

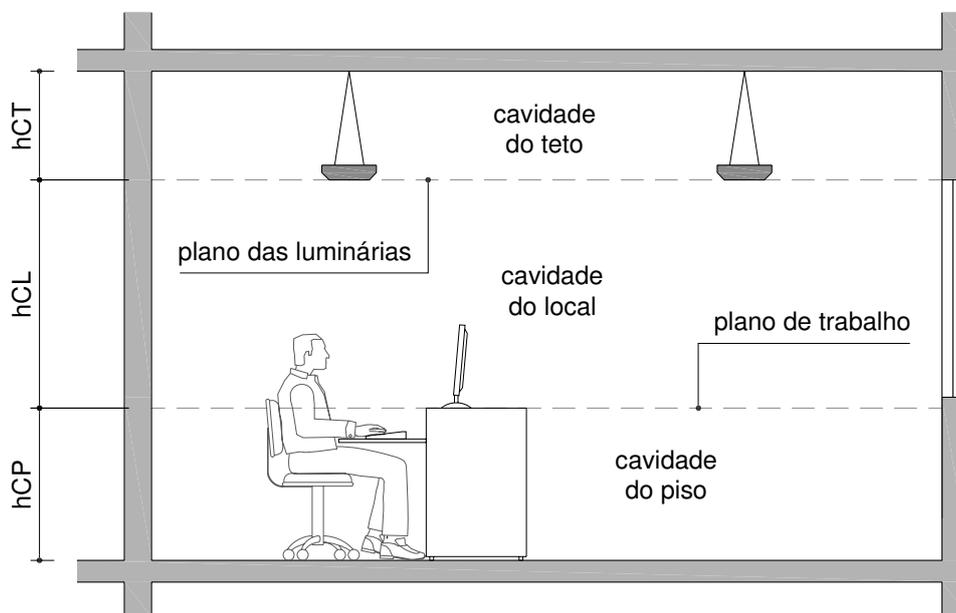


Figura 2.35 - As três cavidades do Método das Cavidades Zonais. (adaptado de IESNA, 2000).

A radiação trocada entre o topo e a base de um espaço retangular é uma função de suas medidas (comprimento, largura e altura). Um índice chamado razão da cavidade, RC aproxima este efeito combinando as medidas do recinto em uma única variável. A razão de cada uma das cavidades pode ser encontrada usando a fórmula:

$$RC = \frac{5h(LC + CC)}{LC \times CC} \quad (E.20)$$

onde: RC - razão da cavidade;

h - altura da cavidade (m);

LC - largura da cavidade (m);

CC - comprimento da cavidade (m).

sendo: hCT - altura para a razão da cavidade do teto (RCT);

hCL - altura para a razão da cavidade do local (RCL);

hCP - altura para a razão da cavidade do piso (RCP).

A fórmula anterior é usada para ambientes retangulares. Para ambientes com planta irregular, ela deve ser substituída por:

$$RC = \frac{2,5 \times h \times PC}{A} \quad (\text{E.21})$$

onde: RC - razão da cavidade;

h - altura da cavidade (m);

PC - perímetro da cavidade (m);

A - área da base da cavidade (m).

A razão da cavidade do local deve ser calculada para buscar o valor do CU nas informações técnicas das luminárias. Normalmente os fabricantes disponibilizam tabelas com valores de CU em função da razão da cavidade do local (RCL) e refletâncias das superfícies de piso, paredes e teto. A figura 2.36 faz parte das informações técnicas de uma luminária e apresenta uma tabela típica de valores de CU.

FATORES DE UTILIZAÇÃO									
RCL	Reflectâncias de teto, parede, piso								
	752	732	712	552	532	512	332	312	0
1	0.76	0.73	0.71	0.73	0.71	0.69	0.68	0.67	0.64
2	0.68	0.64	0.61	0.65	0.62	0.59	0.60	0.58	0.55
3	0.61	0.56	0.52	0.58	0.55	0.51	0.53	0.50	0.48
4	0.54	0.49	0.45	0.52	0.48	0.44	0.47	0.44	0.42
5	0.48	0.42	0.38	0.47	0.42	0.38	0.41	0.38	0.36
6	0.43	0.37	0.33	0.42	0.37	0.33	0.36	0.33	0.31
7	0.39	0.33	0.29	0.38	0.32	0.29	0.32	0.28	0.27
8	0.34	0.29	0.25	0.33	0.28	0.25	0.28	0.24	0.23
9	0.31	0.25	0.21	0.30	0.25	0.21	0.24	0.21	0.20
10	0.28	0.22	0.19	0.27	0.22	0.19	0.22	0.18	0.17

Figura 2.36 - Coeficientes de utilização de uma luminária qualquer. Aqui tratado como fator de utilização. (fonte: Lumini Equipamentos de Iluminação Ltda. <<http://www.lumini.com.br>>. Acesso em 26/04/2008.

Alguns fabricantes, no entanto podem oferecer os valores de CU em função de um outro índice da cavidade do local designado pela letra K. A fórmula para o cálculo de K é um pouco diversa daquela usada para o RCL:

$$K = \frac{LC \times CC}{h(LC + CC)} \quad (\text{E.22})$$

onde: K - índice da cavidade do local;

h - altura da cavidade (m);

LC - largura da cavidade (m);

CC - comprimento da cavidade (m).

Retomando a equação de cálculo da iluminância média (E.19) constatamos que além de determinar o valor de CU, ainda é preciso determinar o fator de perda dos lumens ( $F_p$ ). Alguns dos subfatores considerados são:

- FDS - Fator de depreciação das refletâncias das superfícies do ambiente por acúmulo de sujeira;
- FDL - Fator de depreciação das luminárias por acúmulo de sujeira;
- FDF - Fator de depreciação do fluxo das lâmpadas, encontrado nos catálogos dos fabricantes;
- FR - Fator do reator, encontrado nos catálogos dos fabricantes como fator de potência.

O Fator de depreciação das refletâncias das superfícies do ambiente em função do acúmulo de sujeira (FDS) é dado pela figura 2.37. Primeiro deve-se encontrar o valor de  $\alpha$  referente à depreciação da refletância no gráfico superior. Os tipos de atmosfera do local são:

- Muito limpa - escritórios ou locais com ar condicionado;
- Limpa - ambientes limpos sem ar condicionado, lojas grandes com ar condicionado;
- Média - lojas á beira de ruas ou avenidas sem ar condicionado;
- Suja - ambientes industriais, cozinhas, lavanderias, garagens;
- Muito suja - marcenarias, marmorarias, ambientes externos<sup>49</sup>.

Em seguida, o valor de  $\alpha$  é usado na tabela da parte inferior para se determinar o FDS.

---

<sup>49</sup> A classificação dos tipos de atmosfera do local foi retirada do programa de cálculo da Lumini Equipamentos de Iluminação Ltda. <<http://www.lumini.com.br>>. Acesso em 26/04/2008.

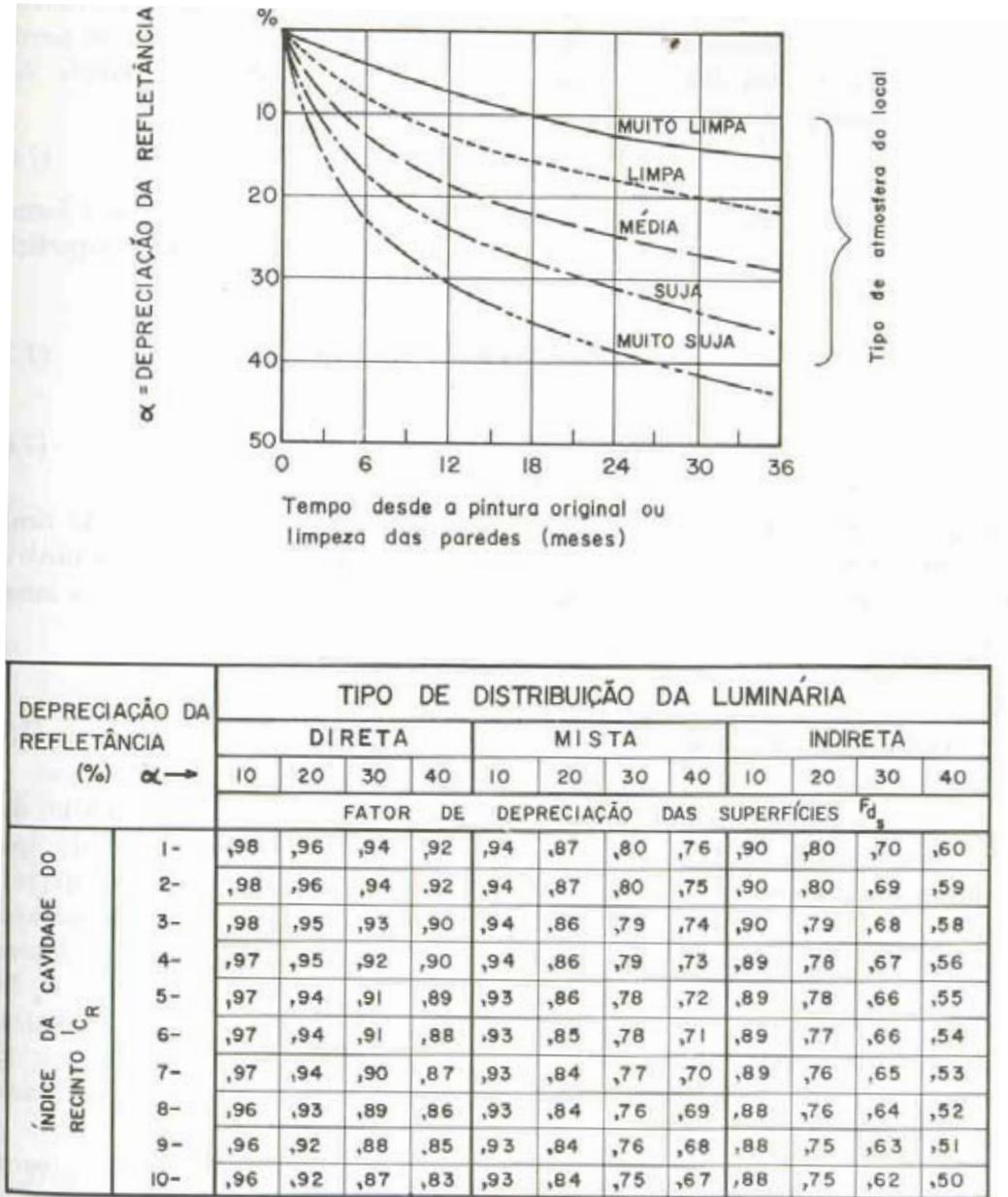


Figura 2.37 - Fatores de depreciação devido à diminuição da refletância das paredes e do teto. (fonte: MOREIRA, 1987).

O fator de depreciação das luminárias por acúmulo de sujeira (FDL) também é encontrado através do uso de gráficos divididos em seis categorias de luminárias (fig. 2.38). Após a escolha da categoria que melhor descreve a luminária utilizada, o FDL é avaliado em função da freqüência (em meses) de manutenção das luminárias (limpeza) e as condições da atmosfera do ambiente.

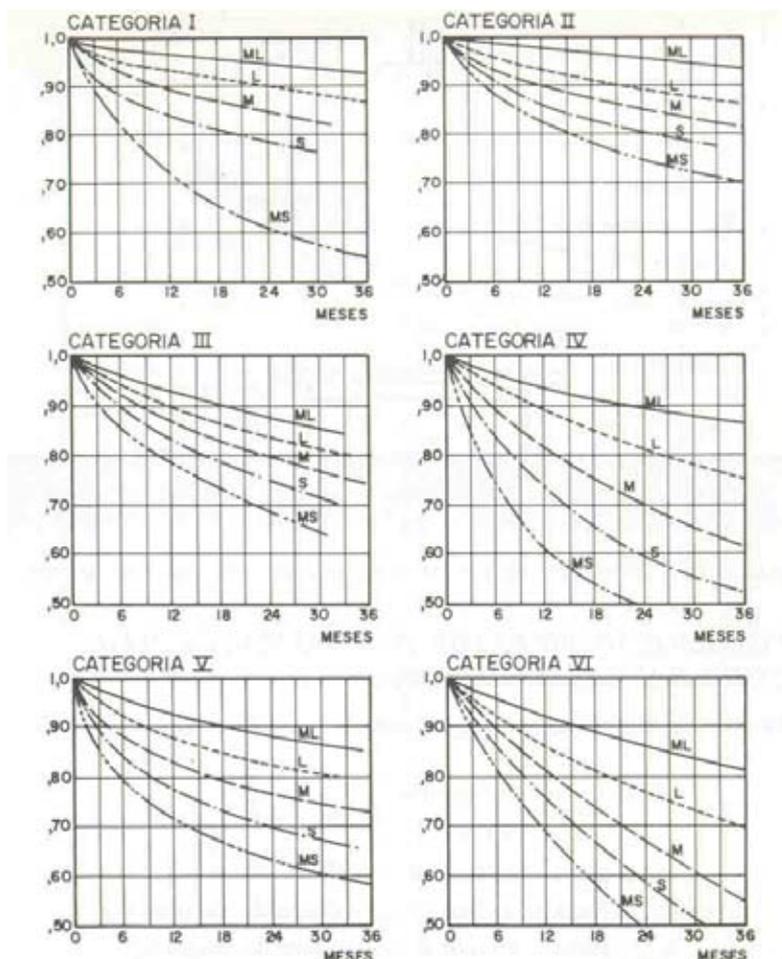


Figura 2.38 - Fatores de depreciação da luminária por sujeira. (fonte: MOREIRA, 1987).

As curvas presentes em todos os gráficos distinguem-se pelo tipo de atmosfera do ambiente: ML, muito limpo; L, limpo; M, médio; S, sujo; MS, muito sujo. As luminárias enquadram-se em categorias conforme a seguinte descrição:

- Categoria I - luminárias abertas na parte inferior e superior (lâmpadas nuas);
- Categoria II - luminárias abertas por baixo ou com colméias, sendo mais de 15% de seu fluxo luminoso emitido para cima através de aberturas;
- Categoria III - luminárias abertas por baixo ou com colméias, com menos de 15% de seu fluxo luminoso emitido para cima através de aberturas;
- Categoria IV - luminárias abertas ou com colméias por baixo e sem aberturas superiores;
- Categoria V - luminárias com fechamento inferior por lentes ou difusores e sem aberturas superiores;

- Categoria VI - luminárias de iluminação totalmente direta ou totalmente indireta (MOREIRA, 1987, p. 121).

Para a utilização do Método dos Lumens para cálculo da iluminação artificial deve-se observar, no entanto que ele apresenta algumas limitações. A iluminância média só será representativa se a distribuição das luminárias for uniforme. Além disso, o cálculo do fator de utilização considera ambientes vazios com superfícies que exibem perfeita reflexão difusa (IESNA, 2000). O método das cavidades zonais foi apresentado aqui de forma simplificada. É adequado para luminárias montadas diretamente no teto (embutidas ou de sobrepor) e quando as paredes abaixo do plano das luminárias apresentarem a mesma refletância do teto (MOORE, 1993). Para instalações com luminárias pendentes, onde a cavidade do teto tem uma altura considerável, Moore (1993) aconselha a consulta ao procedimento mais complexo do método, apresentado no *IESNA Lighting Handbook*.

### 2.2.3.3. Método Pontual

Mesmo num ambiente iluminado de maneira uniforme a iluminância pode variar consideravelmente em um local específico. Para locais críticos pode ser desejável calcular a iluminância específica num determinado ponto (MOORE, 1993). Método Pontual ou Método Ponto-a-Ponto são denominações para o cálculo das iluminâncias pontuais a partir de uma fonte pontual.

Antes da aplicação do método em situações iguais à descrita acima, deve-se assegurar de que a fonte em questão pode ser mesmo considerada pontual, de modo contrário, os procedimentos relacionados a seguir não serão adequados.

Uma regra geral chamada *five-times-rule* estabelece uma relação entre o tamanho de uma fonte quadrada difusa, sua distância até o ponto iluminado e a precisão do cálculo baseado na lei do quadrado do co-seno. Exibida de forma gráfica na figura 2.39, a curva de erro esperada demonstra que a distância da luminária à fonte não deve ser inferior a cinco vezes o comprimento da fonte para se garantir a precisão do cálculo. Nessas condições o erro admissível será inferior a 5% do valor verdadeiro (IESNA, 2000).

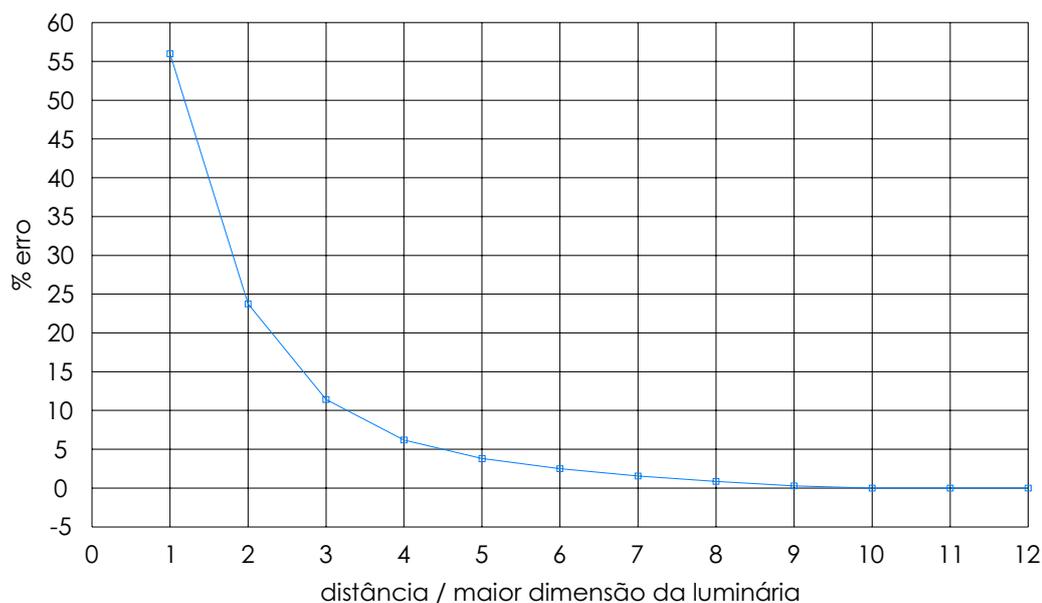


Figura 2.39 - Demonstração da regra *five-times-rule* para medidas fotométricas. (adaptado de IESNA, 2000).

O método pontual é baseado na lei de Lambert que diz que a iluminância varia na razão inversa do quadrado da distância da fonte ao ponto iluminado, e pode ser expresso pela fórmula a seguir. Porém, este cálculo só será verdadeiro quando o plano onde está o ponto for perpendicular à direção do fluxo luminoso.

$$E = \frac{I}{d^2} \quad (\text{E.23})$$

onde: E - iluminância (lux);

I - intensidade luminosa da fonte em candelas (cd);

d - distância da fonte luminosa ao ponto em (m).

Na maioria dos casos, entretanto, a reta formada entre a fonte e o ponto não será perpendicular ao plano, como mostra a figura 2.40:

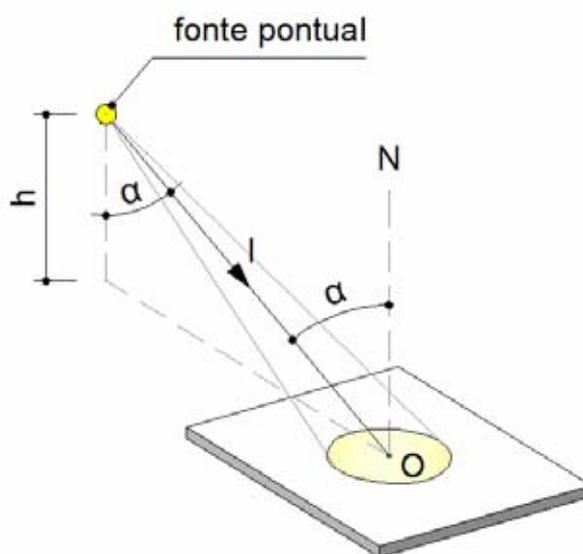


Figura 2.40 - Fonte luminosa pontual iluminando a área elementar de um plano. (adaptado de MOREIRA, 1987).

Neste caso a fórmula deve ser ajustada reduzindo a iluminância na medida em que o ângulo de incidência aumenta. O ajuste, baseado no efeito co-seno (lei de Lambert), a é igual ao co-seno do ângulo de incidência  $\alpha$ , e a fórmula deve ser aplicada conforme o seguinte:

$$E = \frac{I}{d^2} \cos \alpha \quad (\text{E.24})$$

onde: E - iluminância (lux);

I - intensidade luminosa da fonte em candelas (cd);

d - distância da fonte luminosa ao ponto (m);

$\alpha$  - ângulo formado entre a normal (N) e o eixo do fluxo luminoso (I).

As intensidades luminosas requeridas para o cálculo deverão ser encontradas nas curvas fotométricas (ou isocandelas) nos catálogos técnicos de luminárias ou de lâmpadas, quando se tratar de uma lâmpada de fecho concentrado (fig. 2.41). Em seguida, o fator de perda ( $F_p$ ), assim como no Método dos Lumens, deve ser multiplicado à iluminância inicial calculada para se determinar a iluminância que será mantida ao longo do período de uso da instalação. O Método pontual também apresenta algumas limitações para o cálculo da iluminância pontual. A principal deve-se ao fato de que toda a luz refletida pelas

superfícies adjacentes é excluída do cálculo (MOORE, 1993), o que certamente configura uma imprecisão no resultado final.

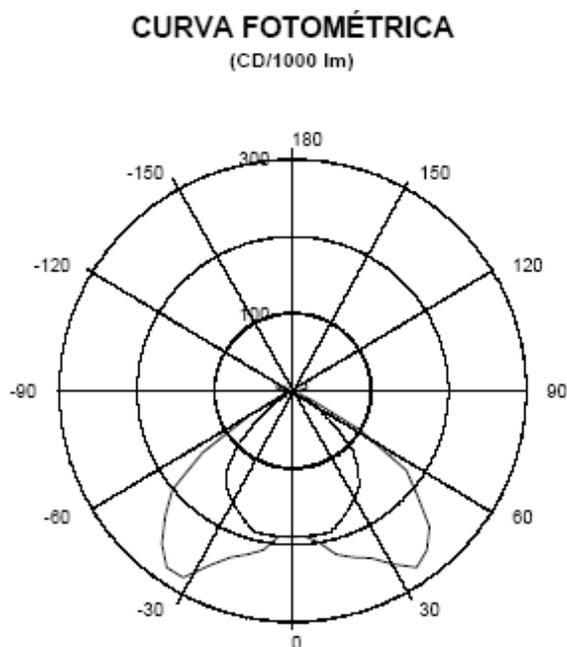


Figura 2.41 - Curva fotométrica típica de uma luminária. As medidas devem ser multiplicadas pelo fator descrito na parte superior. O ponto 0° marca a intensidade no centro do fecho. As duas curvas isocandelas representam as seções transversal e longitudinal do fluxo da luminária (fonte: Lumini Equipamentos de Iluminação Ltda. <<http://www.lumini.com.br>>. Acesso em 26/04/2008).

Deve ficar claro que a aplicação do Método Pontual tal como foi apresentado aqui é restrito ao cálculo de iluminâncias provenientes de fontes pontuais. O cálculo de iluminâncias oriundas de fontes lineares ou de grandes dimensões exige algoritmos específicos. Sugere-se para estes casos a consulta ao *IESNA Lighting Handbook* que apresenta tais rotinas de cálculo de forma detalhada.

#### **2.2.4. Programas computacionais**

Uma das principais aplicações dos programas de simulação computacional do ambiente construído para arquitetos é sem dúvida a visualização antecipada das idéias concebidas. Na geração de uma imagem fotorrealística a iluminação pode assumir uma representação idealizada da realidade, criada por aproximações

empíricas, ou pode simular os fenômenos físicos da luz na interação com o ambiente (BESUIEVSKY<sup>50</sup>, apud CHRISTAKOU, 2004).

Programas de simulação da iluminação apropriados para o auxílio em projetos luminotécnicos precisam ser baseados em "motor de cálculo" fisicamente fundamentado para uma representação correta da quantidade e da distribuição da luz no espaço arquitetônico (CHRISTAKOU, 2004). Tais ferramentas utilizam modelos de iluminação que descrevem o comportamento da luz na superfície dos objetos, a intensidade da cor dos objetos, a partir de informações sobre as propriedades óticas das superfícies, sobre a fonte luminosa e a posição e orientação do observador da cena (LIMA, 2003).

Os modelos de iluminação utilizados por algoritmos preditivos de simulação da iluminação podem ser de iluminação local ou de iluminação global. Modelos de iluminação local consideram apenas as fontes de luz primárias para a descrição da distribuição da luz sobre uma superfície. Modelos de iluminação global analisam toda a iluminação que chega a um dado ponto, considerando não somente a luz proveniente diretamente da fonte luminosa, mas toda a luz indireta derivada da inter-reflexão da luz entre as superfícies. (CHRISTAKOU, 2004).

#### **2.2.4.1. A escolha dos programas de simulação de iluminação**

A escolha de um programa de simulação deve ser baseada principalmente na validação da ferramenta. A validação do programa computacional diz respeito à confiabilidade dos resultados obtidos na simulação (LIMA, 2003). Porém a exatidão da imagem final não depende apenas da validade do método, mas é relativa à "qualidade dos dados de entrada e dos métodos adotados para transformar os resultados do cálculo em pixels" (CHRISTAKOU, 2004).

Recentemente, a CIE publicou o relatório 171:2006 - *Test Cases to Assess the Accuracy of Lighting Computer Programs*, que apresenta uma abordagem da validação de programas computacionais de simulação da iluminação natural e artificial, onde diversos aspectos da propagação da luz (iluminação artificial direta,

---

<sup>50</sup> BESUIEVSKY, S.G. **Cálculo da Iluminação em Síntese de Imagens através de Ray Tracing Estocástico**. Dissertação de mestrado em Física. Unicamp, 1992.

iluminação natural direta, reflexões e inter-reflexões difusas) são testados separadamente. Esse conceito permite avaliar a aplicabilidade de um programa computacional testado, ressaltando seus pontos fortes e fracos (IEA, 2005).

Para isso foram utilizados como referência dados baseados em cálculo analítico, testados em cenários teóricos, e dados baseados em medições experimentais realizadas em cenário real. Os cenários propostos são devidamente descritos quanto à sua geometria, fonte luminosa, pontos de referência e os dados de referência relacionados (IEA, 2005).

Um relatório elaborado pelo IEA analisa a aplicabilidade dos testes desenvolvidos pelo CIE, submetendo os programas Lightscape 3.2 e Relux Professional 2004 como exemplo. O relatório comprova a aplicabilidade dos 32 testes desenvolvidos pelo CIE na verificação da exatidão e capacidade do programas testados diante dos aspectos relacionados e ressalta a simplicidade de sua utilização (IEA, 2005).

Programas de simulação computacional de iluminação natural também podem ser validados através da comparação de seus resultados com dados provenientes de monitoramento a partir do BRE-IDMP: um banco de dados referencial de medidas reais de grandezas relativas à iluminação natural. Um ambiente medindo 3,00m x 9,00m x 2,70m é equipado com seis sensores que medem a iluminância interna. Simultaneamente uma estação IDMP - *International Daylighting Measurement Programme*, localizada na mesma edificação, em Garston, Inglaterra, mede a distribuição de luminâncias do céu, iluminância global e difusa horizontal externa, dentre outros parâmetros. Os dados medidos pelo banco de dados BRE-IDMP são comparados com os valores obtidos em simulação com o programa computacional que se deseja testar para se determinar a precisão de seus resultados.

O programa Radiance foi validado desta maneira (MARDALJEVIC, 2004). O programa Relux Professional 2004 foi avaliado positivamente quando submetido aos testes do CIE, mas o mesmo trabalho recomenda o uso do Lightscape 3.2 para cálculos da iluminação artificial, fazendo uma ressalva quanto à sua utilização para iluminação natural. Foi observando que o programa tende a subestimar ou superestimar a iluminância direta com telhado ou fachada aberta e é limitado na simulação da transmissão direcional de vidros (IEA, 2005).

Para simulações baseadas em métricas dinâmicas para iluminação natural, Reinhart, Mardaljevic e Rogers (2006) indicam alguns programas de simulação da iluminação natural baseados no Radiance, capazes de produzir simulações dinâmicas de iluminação natural. São eles: Adeline, Daysim, ESP-r, Lightswitch Wizard e SPOT (a partir da versão 4.0), já citados anteriormente.

Segundo Reinhart, Mardaljevic e Rogers (2006), muitos estudos demonstraram que o programa Radiance combinado a um coeficiente de luz natural e o modelo de céu de Perez é capaz de calcular séries dados de iluminâncias e luminâncias para um ambiente (MARDALJEVIC<sup>51</sup>; REINHART, ANDERSEN<sup>52</sup>; REINHART, WALKENHORST<sup>53</sup> apud REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006). A partir daí alguns programas de simulação baseados no Radiance são sugeridos pelos autores: Adeline, Daysim, ESP-r, Lightswitch Wizard, e SPOT (a partir da versão 4.0).

Bertolotti, Pereira e Scarazzato (2006) também indicam a utilização de programas computacionais capazes de modelar todas as condições de céu para a localidade do projeto durante todo o ano. Os autores citam alguns desses programas que se utilizam do modelo de céu proposto por Perez que possibilita a inserção de dados meteorológicos locais hora a hora. Dentre eles novamente o DAYSIM e o Adeline, além do TROPLUX, *Dynamic Lighting System - DLS* e DeLight.

Na prática, para que o arquiteto escolha um programa para o desenvolvimento de projetos luminotécnicos, precisa definir primeiramente as necessidades de projeto e estipular um orçamento. O custo total de um programa de simulação da iluminação deve incluir o treinamento e a expectativa de ganho em produtividade. Sabendo o que se deseja poderá determinar quais produtos disponíveis no mercado no momento da escolha se adequam às suas necessidades e expectativas (IESNA, 2002).

---

<sup>51</sup> MARDALJEVIC, J. **Simulation of annual daylighting profiles for internal illuminance.** Lighting Research & Technology, 32(2), 111-118, 2000.

<sup>52</sup> REINHART, C.F.; ANDERSEN, M. **Development and validation of a Radiance model for a translucent panel.** Energy and Buildings, 38(7), 890-904, 2006.

<sup>53</sup> REINHART, C.F.; WALKENHORST, O. **Dynamic RADIANCE-based Daylight Simulations for a full-scale Test Office with outer Venetian Blinds.** Energy & Buildings, 33(7), 683-679, 2001.

## 2.2.5. Métodos para integração da luz natural e artificial

Robbins (1986) considera a escolha, compreensão e aceitação de um método de integração da iluminação natural e artificial como uma das questões fundamentais para que a luz natural seja utilizada plenamente em edificações. Para ele a interface, ou melhor, a estratégia de controle que integra os sistemas de iluminação natural e artificial é a responsável por viabilizar o sistema de iluminação natural como um sistema de iluminação do edifício.

Dois dos métodos mais conhecidos que abordam a questão da integração da iluminação natural e artificial são os métodos IASPI - Iluminação Artificial Suplementar Permanente em Interiores, e PALN - Percentual de Aproveitamento da Luz Natural. O método IASPI, originalmente conhecido por *PSALI - Permanent Supplementary Artificial Lighting in Interiors* (MOORE, 1993), propõe a divisão do ambiente em zonas de diferentes níveis de iluminância (iluminação natural) mostrando onde há necessidade do uso da iluminação artificial suplementar para a execução de determinada tarefa. Apesar de superficial, o método tem como vantagens a rápida aplicação e o fácil entendimento.

O método PALN atua de forma diversa, avaliando o consumo energético inerente ao tipo de controle utilizado para um sistema de iluminação artificial. Permite avaliar em profundidade os tipos de controle para a iluminação artificial aplicados ao ambiente em questão, auxiliando na escolha da alternativa que proporciona maior economia de energia.

### 2.2.5.1. IASPI - Iluminação Artificial Suplementar Permanente em Interiores

Iluminação Artificial Suplementar Permanente em Interiores - IASPI é a tradução conhecida para o método *PSALI - Permanent Supplementary Artificial Lighting in Interiors* (MOORE, 1993). O método IASPI parte do princípio

fundamental de que a luz artificial deve ser considerada suplementar à luz natural e nunca o contrário. É guiado pelas seguintes hipóteses básicas:

- Em relação à luz natural, a grande variação da iluminância que ocorre ao longo de um dia típico não afeta o desempenho visual mesmo quando esta se encontra abaixo da aceitação recomendada, em função da habilidade de adaptação da visão humana;
- As iluminâncias de tarefa são aquelas recomendadas pela IESNA, e as iluminâncias gerais são 1/3 da iluminância recomendada para a tarefa visual;
- A luz elétrica pode ser usada para suplementar a luz natural com sucesso quando esta for insuficiente.

O esquema a seguir resume o princípio de funcionamento do método, representando em gráfico a queda da iluminância média a partir da luz natural, evidenciando a necessidade de iluminação suplementar artificial na porção mais afastada das janelas no ambiente em questão (fig. 2.42). Mesmo em mínimas condições de iluminação natural haverá luz suficiente para atender à iluminância recomendada a uma distância igual à altura da janela acima do plano de trabalho, e neste caso, a primeira luminária será usada somente no período noturno. A segunda e terceira luminárias podem ser acionadas por controle automático ou por dosador de intensidade (dimmer), enquanto a última poderá permanecer ligada ao longo das horas de uso do ambiente (MOORE, 1993).

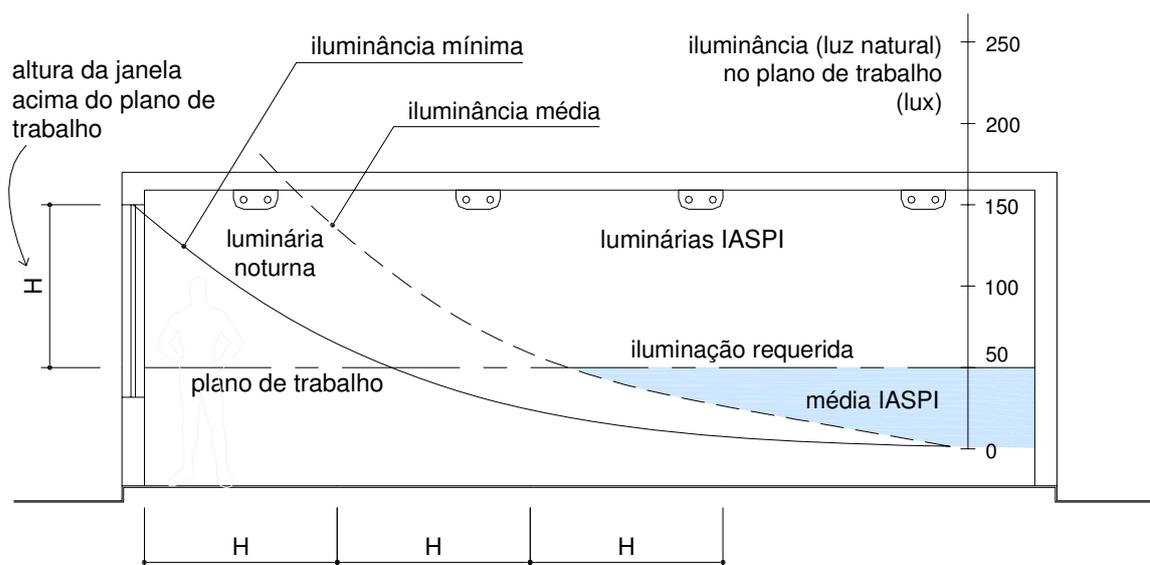


Figura 2.42 - Iluminação Artificial Suplementar Permanente em Interiores - IASPI (adaptado de MOORE, 1993).

O Método IASPI delinea a concepção do zoneamento do ambiente para que sejam implantadas as estratégias de controle da iluminação artificial. O conceito de zonas luminosas, sistemas de controle da iluminação artificial em resposta à luz natural e outras questões fundamentais para a integração dos sistemas de iluminação foram abordadas no item 2.1. Projeto luminotécnico integrado: iluminação natural e artificial.

#### **2.2.5.2. PALN - Percentual de Aproveitamento da Luz Natural**

O método PALN foi desenvolvido tendo como referência o método *DUF - Daylight Utilization Fraction* proposto por Robbins (1986). O método é utilizado para analisar o desempenho da iluminação a partir do uso dos sistemas de controle para a iluminação artificial e o potencial de conservação de energia para cada opção.

Robbins recomenda uma análise do comportamento da luz natural no ambiente ao longo do ano em datas representativas das estações climáticas, em pelo menos dois horários distintos, e para as diferentes condições de céu. A partir desta análise poderão ser demarcadas as zonas luminosas caracterizadas por áreas de mesmo padrão de desempenho da luz natural. O número de zonas luminosas de um ambiente é proporcional à possibilidade de economia de energia com o sistema de controle da iluminação artificial. Portanto, quanto maior o número de zonas, maior a eficiência do sistema de iluminação.

Para o cálculo do PALN, e conseqüentemente do potencial de conservação de energia de um sistema de iluminação integrado, determina-se dentro do horário de utilização do ambiente, o período no qual a luz natural poderá substituir ou suplementar a luz artificial (AMORIM, 2000). A partir daí, de acordo com Souza (2003), é correto afirmar que:

- Se  $E_{LN} \geq E_P$ , então  $E_{LA} = 0$ , ou seja, a luz natural poderá substituir a iluminação artificial quando a iluminância proporcionada pela luz natural  $E_{LN}$  for igual à iluminância de projeto  $E_P$ . Neste caso, a iluminância proporcionada pelo sistema de iluminação artificial  $E_{LA}$  é considerada nula;
- Se  $E_{LA\ min.} \leq E_{LN} < E_P$ , então  $E_{LA} = \% E_P$ , assim sendo, a luz natural pode ser usada para suplementar o sistema de iluminação artificial quando a iluminância

proporcionada por ela,  $E_{LN}$ , for menor que a iluminância de projeto  $E_P$  e maior que a iluminância mínima fornecida pelo sistema de iluminação artificial  $E_{LAmín}$ .

Para a medida da iluminância proporcionada pela luz natural (através de simulação) deve-se escolher um ponto de referência em cada zona luminosa. "A iluminância mínima fornecida pelo sistema artificial dependerá da estratégia de controle adotada para a zona..." (SOUZA, 2003).

A equação que representa o percentual de aproveitamento da luz natural é:

$$PALN = PALN_s + PALN_c \quad (E.25)$$

onde: PALN - percentual de aproveitamento da luz natural;

$PALN_s$  - percentual de aproveitamento da luz natural por substituição da iluminação artificial;

$PALN_c$  - percentual de aproveitamento da luz natural por complementação da iluminação artificial.

O PALN deve ser calculado para cada zona e para três condições de céu: céu claro, parcialmente encoberto e encoberto (que correspondem ainda às quatro datas representativas das estações climáticas). Para que a comparação entre as várias estratégias de controle (liga/ desliga; passos; ou dimerização) possa ser feita, são atribuídos pesos aos PALNs correspondentes à probabilidade de ocorrência de cada tipo de céu (SOUZA, 2003). Então, o cálculo do PALN ponderado para as três condições de céu é feito conforme a equação seguinte:

$$PALN_p = [(PALN_{cc} \times \rho_{cc}) + (PALN_{cp} \times \rho_{cp}) + (PALN_{ce} \times \rho_{ce})] \quad (E.26)$$

onde:  $PALN_p$  - percentual de aproveitamento da luz natural ponderado;

$PALN_{cc}$  - percentual de aproveitamento da luz natural com céu claro;

$PALN_{cp}$  - percentual de aproveitamento da luz natural com céu parcialmente encoberto;

$PALN_{ce}$  - percentual de aproveitamento da luz natural com céu encoberto;

$\rho_{cc}$  - probabilidade de ocorrência de céu claro;

$\rho_{cp}$  - probabilidade de ocorrência de céu parcialmente encoberto;

$\rho_{ce}$  - probabilidade de ocorrência de céu encoberto.

Quando não há informações disponíveis sobre a probabilidade de ocorrência dos tipos de céu, pode-se proceder a uma estatística baseada nos índices médios de nebulosidade mensal conforme adotado por Amorim (2000) para um estudo de casos em Brasília. O somatório das probabilidades de ocorrência de céu claro, parcialmente encoberto e encoberto deve ser igual a uma unidade:

$$\rho_{CC} + \rho_{CP} + \rho_{CE} = 1 \quad (\text{E.27})$$

Depois de efetuado o cálculo do PALN ponderado de cada zona, calcula-se o PALN ponderado do ambiente, numa equação que agrega todas as zonas:

$$PALN_A = \frac{[(PALN_{p1} \times A1) + (PALN_{p2} \times A2) + \dots + (PALN_{pn} \times An)]}{A1 + A2 + \dots + An} \quad (\text{E.28})$$

onde:  $PALN_A$  - percentual de aproveitamento da luz natural do ambiente;

$PALN_{p1}$  - percentual de aproveitamento da luz natural da zona 1;

$PALN_{p2}$  - percentual de aproveitamento da luz natural da zona 2;

$A1$  - área da zona 1 ( $m^2$ );

$A2$  - área da zona 2 ( $m^2$ ).

Com relação às estratégias de controle da iluminação artificial, deve-se observar que quando se avalia um sistema de iluminação artificial com acionamento automático do tipo liga/desliga, o PALN só poderá ser de substituição, uma vez que não há a possibilidade de regular, ou seja, dimerizar o fluxo luminoso. Pelo mesmo princípio, para sistemas de iluminação artificial automatizados e controlados por sistema dimerizável, o cálculo do PALN deverá ser de substituição e complementação.

Em resumo, o método de cálculo do PALN para uma ambiente deve seguir as seguintes etapas:

1. Análise do desempenho da iluminação natural no ambiente;
2. Parcelamento da área em zonas luminosas e escolha do ponto de referência;
3. Levantamento da possibilidade da luz natural de substituir ( $ELN \geq EP$ ) ou suplementar ( $ELA \text{ mín.} \leq ELN < EP$ ) a iluminação artificial em cada zona;

4. Cálculo do percentual de horas em que a luz natural poderá substituir ou suplementar a iluminação artificial, em função do total de horas em que há disponibilidade de luz natural;
5. Levantamento das probabilidades de ocorrência dos tipos de céu para a região avaliada para a composição dos pesos;
6. Cálculo do PALN ponderando os três tipos de céu para cada zona, a partir dos resultados encontrados nas etapas x e y;
7. Cálculo do PALN ponderado do ambiente;
8. Cálculo do número de horas nas quais a luz natural poderá substituir ou suplementar a iluminação artificial, durante o período de funcionamento da luz artificial em que há disponibilidade de luz natural (multiplicar o percentual encontrado na etapa anterior, pelo número de horas de funcionamento da iluminação artificial enquanto há luz natural). Exemplo:
9.  $PALN_A = 17,73\%$
10. Total de horas de funcionamento da luz artificial, havendo disponibilidade de luz natural: das 10h às 18h = 8h por dia, 365 dias do ano ►  $10 \times 365 = 2920$  horas
11.  $17,73\%$  de 2920 horas = 517 horas;
12. Cálculo das horas de uso do ambiente nas quais a luz natural pode substituir a iluminação artificial (dividir o resultado da etapa anterior pelo total de horas de funcionamento do ambiente). Exemplo:
13. Período de funcionamento do ambiente: 4380 horas ►  $517 \div 4380 = 0.118$ , ou seja, em 11.8% das horas de uso do ambiente a luz natural pode substituir a artificial.

O Método PALN foi implementado em um programa computacional, o LUZPALN de autoria de Marcos Souza (2003). O método e o programa são explicados em sua tese de doutorado.

## **2.2.6. Outros instrumentos de avaliação para projetos**

### **luminotécnicos**

Além dos métodos matemáticos, gráficos, e programas computacionais, citamos aqui outros instrumentos de avaliação para projetos luminotécnicos que não se enquadram nas categorias anteriores.

#### **2.2.6.1. Modelos em escala reduzida**

Modelos em escala, ou maquetes físicas, podem ser utilizados tanto para a avaliação do desempenho da insolação sobre as fachadas de uma edificação como também podem ser utilizados para a avaliação da iluminação natural nos espaços internos (ABNT, 2005 c).

Há uma vantagem do uso de maquetes para a medição de iluminâncias internas uma vez que suas dimensões reduzidas não influenciarão na distribuição da luz, porque os comprimentos de ondas da radiação visível são tão curtos comparados ao tamanho das maquetes que o padrão de distribuição da luz será praticamente idêntico ao de da edificação em tamanho real (ABNT, 2005 c).

Como a luz natural interna não sofre distorções, pode-se analisar, a partir dos modelos em escala, a orientação dos componentes construtivos, bem com a eficiência das aberturas para a entrada de luz natural (ABNT, 2005 c).

A ABNT ressalva que deverá ser observado o tamanho dos sensores fotométricos utilizados para a medição das condições da iluminação natural interna, que serão consideradas como iluminâncias pontuais. Segunda a recomendação, as dimensões dos sensores devem ser limitadas a  $0,03 \text{ m}^2$  na escala do modelo, ou 20 cm, também na escala do modelo para sensores circulares.

Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975) recomendam o uso de aparelhos visuais auxiliares para uma apreciação subjetiva da iluminação no modelo reduzido, e a calibração do céu artificial, quando este for utilizado. Quando o modelo for analisado sob a luz do sol, recomendam o uso de um equipamento complementar chamado relógio de sol de Pleijel. Equipado com um ponteiro tipo

alfinete que marca a sombra sobre uma escala correspondente à hora do dia e à época do ano em estudo, o equipamento confere maior confiabilidade na orientação da maquete em relação ao sol.

### 2.2.6.2. Source-path-target

*Source-path-target* foi o nome dado ao modelo conceitual desenvolvido por Moore (1993) para a análise da iluminação natural indireta. O método auxilia na visualização dos efeitos dos vários fatores que afetam a distribuição da luz natural no edifício. A seqüência dos termos "fonte-caminho-alvo"<sup>54</sup> indica que o caminho a ser traçado pela luz solar direta é determinado pela posição do sol no céu e do ponto iluminado no interior do edifício. Essa trajetória pode ser facilmente desenhada com setas, observando-se as leis de reflexão da luz.

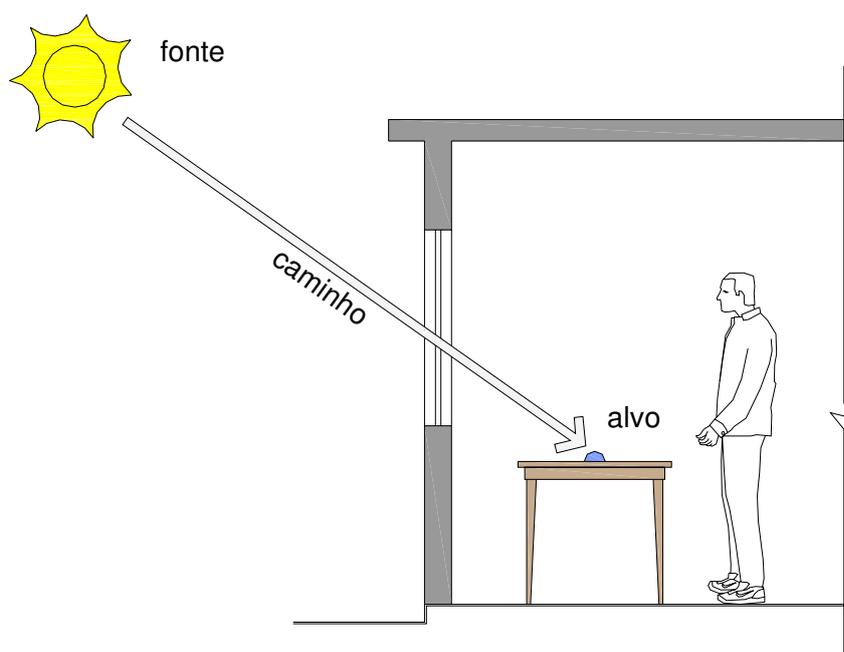


Figura 2.43 - Fonte-caminho-alvo - modelo conceitual simples e válido de visualização da trajetória da luz natural. (adaptado de MOORE, 1993).

O método é recomendado para situações específicas onde a fonte luminosa é pontual (o sol ou mesmo fontes artificiais) e o caminho percorrido pela luz é

<sup>54</sup> Tradução livre para o título do método.

especular (vidros transparentes e superfícies especulares). Fontes luminosas difusas, como a luz difusa proveniente do céu ou uma superfície iluminada, e elementos de passagem difusos tais como vidros translúcidos ou refletores brancos foscos geram uma profusão de feixes de luz difusa dificultando a visualização (mental ou gráfica) da trajetória da luz (MOORE, 1993).

O método exige que quatro abordagens sejam consideradas:

- **Luminância x tamanho aparente** - a quantidade de luz no ponto iluminado é o produto da luminância de uma determinada fonte vezes seu tamanho aparente assim como 'visto' a partir deste ponto. Esse conceito não faz distinção entre diferentes fontes luminosas. Exemplo: um céu encoberto visto através de uma clarabóia e uma superfície branca iluminada contribuirão igualmente em qualidade e quantidade de luz em um ponto desde que tenham mesma luminância, cor e tamanho aparente;

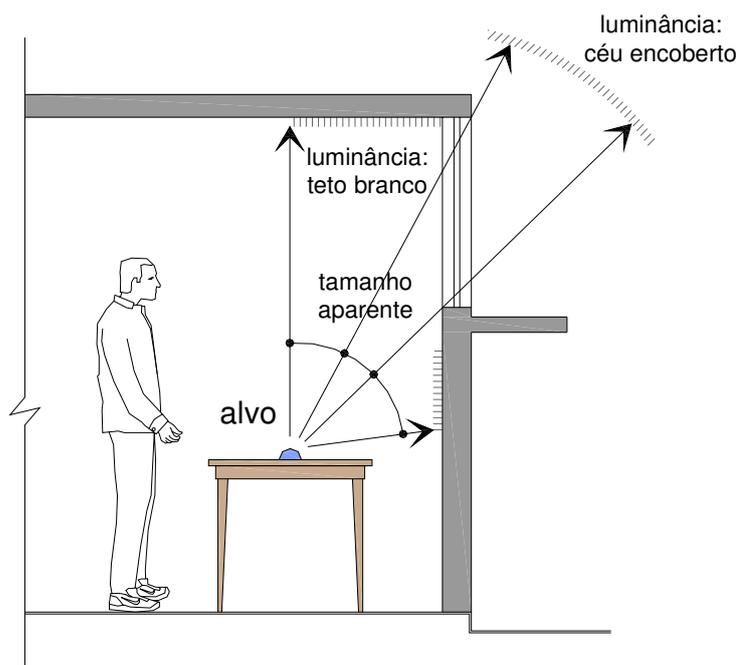


Figura 2.44 - Luminância x tamanho aparente da fonte luminosa - modelo conceitual. (adaptado de MOORE, 1993).

- **Refletores difusos** - se a fonte luminosa difusa é um refletor branco, a inclinação deste refletor relativa ao ponto iluminado (receptor) não afeta a sua luminância (admitindo um acabamento fosco ideal). O tamanho aparente de um refletor é maximizado quando for inclinado com a normal ao receptor. Todavia,

esta inclinação é invariavelmente diferente daquela que maximiza a luminância do refletor. Podemos dizer então, que a inclinação ideal será uma inclinação intermediária do refletor em relação à fonte e ao receptor. Desta forma, Moore afirma que mesmo em decorrência de um considerável desvio desta inclinação ideal a iluminação no ponto receptor sofrerá pequena variação;

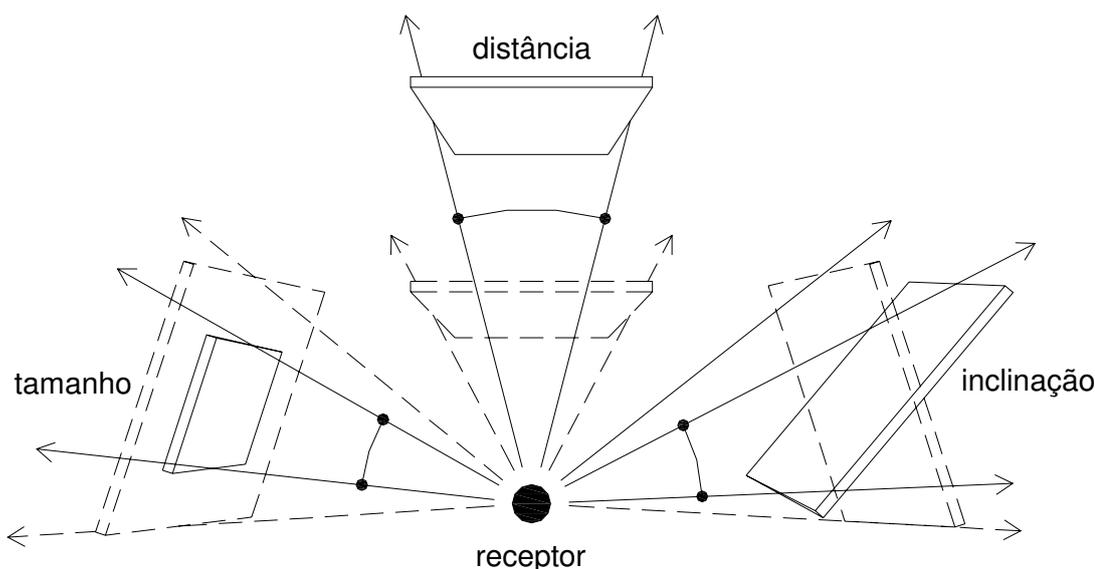


Figura 2.45 - Refletores difusos. Tamanho aparente de um refletor é uma função do tamanho, inclinação e distância. (adaptado de MOORE, 1993).

- **Difusores translúcidos** - difusores translúcidos tais como vidros opalinos (brancos) tornam-se fontes de luz indireta quando iluminados por trás. Difusores translúcidos opalinos atuam de maneira análoga a refletores difusos brancos frente à luz. O tamanho aparente de um difusor translúcido é maximizado quando ele for inclinado com a normal ao receptor, mas assim como acontece com os refletores, a máxima luminância será obtida quando o difusor estiver orientado normal à fonte luminosa. Analogamente, a inclinação ideal para a máxima iluminação do receptor será entre essas duas e uma variação desta inclinação ideal não provocará diferença significativa na luz que chega ao receptor. A alta refletância dos materiais opalinos pode ser usada vantajosamente para difundir a luz direta de duas maneiras: por transmissão e por reflexão. Assim, um elemento feito com tal material e colocado à frente de uma fonte de luz direta pode transmitir luz difusa para um lado e refletir para o lado oposto, duplicando as áreas iluminadas indiretamente;

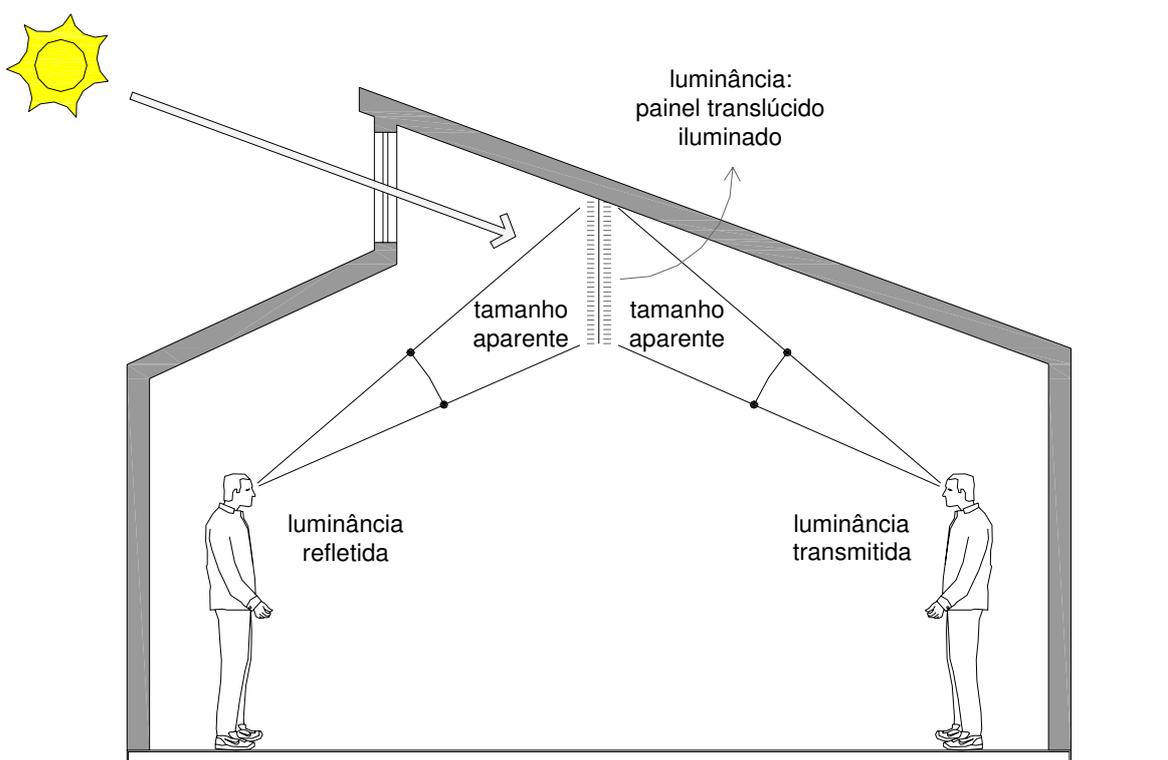


Figura 2.46 - Iluminação através de um difusor que transmite e reflete a luz. (adaptado de MOORE, 1993).

- Posição da fonte e o efeito co-seno** - o primeiro conceito apresentado da luminância  $\times$  tamanho aparente é na verdade uma simplificação da realidade. Quando o objeto iluminado for um plano bidimensional a máxima iluminação será alcançada quando a fonte estiver posicionada normal a este plano. Mas em razão da ocorrência de sombras do usuário e velamento por reflexo, quando a fonte estiver posicionada em frente ao plano iluminado, a iluminação oblíqua tende a apresentar-se mais eficiente. Quando a luz que chega a uma superfície incide a  $45^\circ$  ou mais, a iluminação será reduzida em apenas 30% (por causa do efeito co-seno), seja sobre planos horizontais ou verticais. Em contrapartida, reflexos do teto e ofuscamento causado pela fonte luminosa tendem a desaparecer do campo visual do usuário.

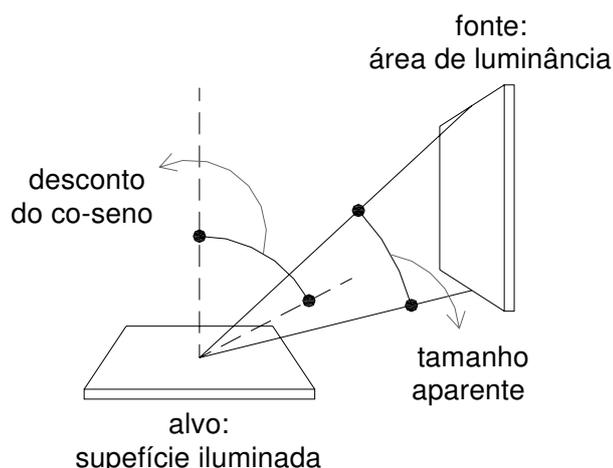


Figura 2.47 - Efeito co-seno do posicionamento de uma fonte distribuída sobre o plano iluminado. (adaptado de MOORE, 1993).

Conclui-se que a iluminância sobre um plano de referência é uma função do trinômio: luminância x tamanho aparente x posicionamento da fonte luminosa.

### 2.2.6.3. Diagrama Morfológico

Amorim (2007) adaptou o método conhecido como *Morphological Box* proposto por Zwicky e Wilson<sup>55</sup> (apud BAKER; FANCHIOTTI; STEEMERS, 1993), "...acrescentando categorias com base nas especificidades do contexto climático e construtivo brasileiro, além de ampliar a análise, originalmente restrita à luz natural, a outros quesitos ambientais, como ventilação natural, integração com a luz artificial e controles..." (AMORIM, 2007, p. 60) visando contemplar questões de conforto ambiental e eficiência energética à análise do projeto.

A aplicação do método para a análise de projetos exemplares (pré-existent) do ponto de vista do conforto ambiental objetiva a composição de um repertório de tipologias arquitetônicas e pode ser também aplicado nas fases iniciais e finais de um projeto em andamento (nova edificação) a fim de se constatar eventuais aspectos que ainda podem ser otimizados.

<sup>55</sup> ZWICKY, F & WILSON, A. (eds.), *New Methods of Thought and Procedure: Contributions to the Symposium on Methodologies*. Berlin: Springer, 1967.

De acordo com o método, toda edificação pode ser decomposta em elementos que são as variações de parâmetros pré-definidos. A estrutura do diagrama é composta por níveis, parâmetros e variações formando uma seqüência de análise do macro para o micro. os quadros a seguir apresentam a estrutura completa separada por níveis:

QUADRO 2.1 - DIAGRAMA MORFOLÓGICO, NÍVEL I - ESPAÇO URBANO

NÍVEL	PARÂMETROS	VARIÁVEIS
I Espaço Urbano	A - Desenho Urbano	A1. Pequenos quarteirões irregulares; A2. Guandes quarteirões; A3. Quarteirões orientados em relação ao sol; A4. Superquadras; A5. Fachadas principais orientadas para Norte-Sul; A6. Fachadas principais orientadas para leste-oeste; A7. Fachada principal com orientação intermediária; A8. Blocos abertos; A9. Torres; A10. Torre isolada; A11. Outros;
	B - Refletância das Fachadas	B1. Alta; B2. Média; B3. Baixa; B4. Outros;
	C - Especificidade das Fachadas	C1. Alta; C2. Média; C3. Baixa; C4. Outros;
	D - Ângulo máximo de Incidência do Sol na Fachada do Edifício	D1. Ângulo menor que 30°; D2. Ângulo de 30° a 60°; D3. Ângulo de 60° a 90°; D4. Ângulo de 90°; D5. Outros;

FONTE: AMORIM, 2007, p.57-76.

QUADRO 2.2 - DIAGRAMA MORFOLÓGICO, NÍVEL II - EDIFÍCIO

NÍVEL	PARÂMETROS	VARIÁVEIS
II Edifício	E - Forma e Planta Baixa	E1. Edifícios com planta profunda; E2. Edifício térreo; E3. Blocos unilaterais/ bilaterais;  E4. Edifícios com pátio interno ou átrio; E5. Edifício sobre pilotis; E6. Edifício com pele dupla; E7. Outros;
	F - Taxa de abertura nas Fachadas	F1. Até 25% de abertura; F2. Entre 25% e 50% de aberturas; F3. Entre 50% e 75% de aberturas; F4. Mais de 75% de aberturas;
	G - Distribuição das aberturas nas Fachadas	G1. Fachadas uniformes; G2. Fachadas não uniformes com relação à orientação solar; G3. Fachadas não uniformes com relação ao espaço urbano; G4. Outros;
	H - Proteções Solares nas Fachadas	H1. Pórticos e varandas; H2. Brise-soleil; H3. Cobogós; H4. Beirais e marquises; H5. Pergolados; H6. Vegetação; H7. Outros;
	I - Aberturas Zenitais	I1. Clarabóia; I2. Lanternim; I3. Shed ou dente de serra; I4. Zenital horizontal; I5. Poço de luz; I6. Não há; I7. Outros;
	J - Mecanismo de Ventilação	J1. Cruzada; J2. Cruzada adjacente; J3. Efeito chaminé; J4. Abertura única; J5. Não há; J6. Outros;

FONTE: AMORIM, 2007, p.57-76.

QUADRO 2.3 - DIAGRAMA MORFOLÓGICO, NÍVEL III - AMBIENTE

NÍVEL	PARÂMETROS	VARIÁVEIS
III Ambiente	L - Planta Baixa	L1. Unilateral; L2. Bilateral; L3. Ambiente profundo; L4. Outros;
	M - Posição do Coletor de Luz	M1. Centro do plano lateral; M2. Centro do plano zenital; M3. Entre planos; M4. Ao longo do canto entre planos; M5. Parede aberta; M6. Outros;
	N - Dimensão do Coletor de Luz	N1. Abertura lateral até 15%; N2. Abertura lateral de 15% a 30%; N3. Abertura lateral acima de 30%; N4. Abertura zenital até 15%; N5. Abertura zenital de 15% a 30%; N6. Abertura zenital acima de 30%;
	O - Forma do Coletor de Luz	O1. Janela intermediária; O2. Janela horizontal; O3. Janela vertical; O4. Cortina de vidro; O5. Abertura zenital horizontal; O6. Abertura zenital vertical; O7. Teto envidraçado;
	P - Controle da Entrada de Luz	P1. Peitoris; P2. Prateleiras de luz;; P3. Beirais ou toldos; P4. Brises; P5. Cobogós;  P6. Cortina, película ou vidro especial; P7. Outros;
	Q - Controle da Ventilação Natural	Q1. Janela de correr;  Q2. Janela máximo ar ou basculante; Q3. Janela pivotante; Q4. Aberturas com lamelas; Q5. Guilhotina; Q6. Abertura no teto; Q7. Outros;
	R - Controle e Integração da Iluminação Artificial	R1. On/ off manual; R2. On/ off com sensor; R3. Dimming manual; R4. Dimming com sensor; R5. Sensor de presença ou temporizador; R6. Outros.

FONTE: AMORIM, 2007, p.57-76.

A aplicação do método constitui-se na compilação dos dados sobre o projeto em uma espécie de ficha onde serão anotados inicialmente os dados básicos da edificação (tipologia, localização, data de construção e autoria), dados sobre o clima local (tipo de clima, temperaturas, radiação solar, duração da insolação, ventos, chuvas, etc.) e a carta solar local. Em seguida uma planta de implantação do edifício ou foto aérea mostrando a sua inserção no contexto urbano. Finalmente, os parâmetros e variáveis de cada nível devem ser preenchidos e ilustrados com desenhos ou fotos dos aspectos que se deseja evidenciar (AMORIM, 2007).

A autora acrescenta que a ferramenta poderá evoluir no futuro através da criação de escalas de valores relacionando o uso de determinadas estratégias de projeto ao tipo de clima de forma a confirmar ao arquiteto as soluções mais acertadas para aquele contexto. Para a autora a maior contribuição da ferramenta é sem dúvida na criação de um senso crítico dos profissionais com relação ao uso da luz natural, qualidade ambiental e sustentabilidade de seus projetos.

### **2.2.7. Eficiência energética e o programa brasileiro de Etiquetagem de Edificações**

A eficiência energética de sistemas de iluminação de uma edificação está diretamente relacionada a duas variáveis: uso adequado da luz natural e de sistemas de iluminação artificial eficientes. Sistemas automáticos de controle da iluminação artificial em resposta à luz natural fazem a integração dos sistemas natural e artificial garantindo maior eficiência energética ao sistema de iluminação (SOUZA, 2003).

Ainda segundo Souza (2003), sistemas integrados de iluminação natural e artificial proporcionam ambientes mais agradáveis ao usuário, e o retorno em curto prazo do investimento inicial em equipamentos tecnologicamente mais eficientes, através da redução do consumo em energia elétrica por parte do sistema de iluminação artificial.

Alcançar a eficiência energética em edificações é o objetivo que motivou a criação de um programa de etiquetagem voluntária de níveis de eficiência

energética de edifícios comerciais, de serviço e públicos, de iniciativa do Ministério de Minas e Energia em parceria com a Eletrobrás através do PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Um grupo de pesquisadores do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LabEEE, da Universidade Federal de Santa Catarina foi encarregado de formular as bases da regulamentação que passará a ter caráter obrigatório no prazo máximo de cinco anos a contar de 2007, data de sua implementação (PROCEL, 2008).

A regulamentação estabelece uma classificação para as edificações citadas em categorias que variam de maior a menor nível de eficiência energética. Três são os parâmetros analisados para a classificação: eficiência e potência instalada do sistema de iluminação, eficiência do sistema de condicionamento do ar e o desempenho térmico da envoltória do edifício. Os aspectos considerados para a avaliação da eficiência do sistema de iluminação são: divisão dos circuitos (controle manual para o acionamento independente da iluminação), contribuição da luz natural e desligamento automático do sistema de iluminação (PROCEL, 2008).

A iniciativa do governo de incentivar a construção de edificações mais eficientes do ponto de vista da energia elétrica é válida, mas a forma como a regulamentação do programa Procel EDIFICA foi elaborada valoriza muito mais o uso de equipamentos de ar condicionado eficientes do que a utilização de estratégias passivas de iluminação e condicionamento térmico. A distribuição de pesos entre os três parâmetros analisados: 30% para envoltória, 30% para sistema de iluminação, e 40% para sistema de condicionamento de ar, poderia ser mais bem adequada sob dois pontos de vista:

1. Quanto melhor o desempenho térmico da envoltória, menor será a necessidade do uso de sistemas artificiais de condicionamento de ar. Então, parece lógico que a envoltória deva receber peso mais significativo em relação ao sistema de ar condicionado. Um edifício bem planejado poderá até mesmo dispensar o uso de ar condicionado em boa parte do ano;
2. Em relação à iluminação, potência instalada não parece ser o melhor parâmetro para a avaliação de um sistema de iluminação artificial uma vez que este parâmetro por si só não reflete o consumo energético do sistema. Melhor seria avaliar a estratégia e o sistema de controle da iluminação artificial em resposta à luz natural, pois estes parâmetros refletem

verdadeiramente o potencial de economia de energia do sistema de iluminação artificial. Pela possibilidade do uso de estratégias passivas a iluminação também deve ser mais valorizada do que o sistema artificial de condicionamento de ar.

Outro aspecto relativo ao sistema de iluminação levanta um questionamento sobre os níveis de iluminação recomendados. A regulamentação do Procel determina que seja adotada a iluminância inferior dos três valores constantes na NBR 5413 da ABNT. A recomendação é conflitante com a norma que estabelece que prioritariamente seja adotado o valor intermediário como nível de iluminância médio de um ambiente. Esta contradição evidencia a necessidade de reavaliação da questão e ajuste de ambas as regulamentações — ABNT e Procel EDIFICA — para que sejam concordantes.

Positivamente, a implementação desta regulamentação estimula um movimento progressivo em direção ao compromisso e responsabilidade profissionais com as questões da sustentabilidade na arquitetura. A eficiência energética é um apelo de grande peso, sobretudo do ponto de vista econômico. O aumento da demanda por edificações ditas sustentáveis (balizadas na eficiência energética, reuso de água da chuva, uso de materiais menos agressivos ao meio ambiente e qualidade do ar) no Brasil impulsiona o crescimento da procura por serviços de consultoria, prestados por escritórios de projeto, numa média de 50% ao ano. O retorno financeiro esperado é de até 20% de aumento no valor do imóvel (O Estado de S. Paulo, 2008).

### **2.2.8. Projetos luminotécnicos integrando luz natural e artificial**

A fim de ilustrar os conceitos apresentados, selecionam-se aqui três projetos luminotécnicos nacionais e internacionais que se destacam pelo planejamento integrado dos sistemas de iluminação natural e artificial.

### 2.2.8.1. Cenpes II - Centro de Pesquisas Petrobrás - Ilha do Fundão, Rio de Janeiro

Autoria do projeto de arquitetura: Siegbert Zanettini - Zanettini Arquitetura S.A.;

Co-Autoria do projeto de arquitetura: José Wagner Garcia;

Autoria do projeto luminotécnico: Esther Stiller;

Autoria do projeto de conforto ambiental: Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética do Departamento de Tecnologia da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade São Paulo - Labaut;

Localização: Ilha do Fundão - Rio de Janeiro, Brasil;

Data do projeto: 2004.

Conhecido como Cenpes II, o projeto de ampliação do Centro de Pesquisas da Petrobrás foi realizado por meio de concurso público de projetos em 2004. O projeto vencedor contemplou as questões de sustentabilidade e impacto ambiental das construções determinadas pelo edital do concurso, através da idéia de concepção de "...uma arquitetura de menor impacto ambiental, desde o processo de projeto até o resultado final, lançando mão de tecnologias avançadas de simulação computacional para as análises de desempenho ambiental." (GONÇALVES; DUARTE, 2007) (fig. 2.48).



Figura 2.48 - Cenpes II - Perspectiva do complexo. Voltado para a Baía de Guanabara, é formado por um volume principal e blocos horizontais intercalados por espaços abertos com vegetação. (fonte: ARCOWeb <<http://www.arcoweb.com.br/tecnologia/tecnologia76.asp>>. Acesso em 07/04/2008).

Orientação solar adequada, proteções solares externas adequadas às fachadas e aproveitamento da luz natural foram aspectos considerados fundamentais ao projeto e exigidos pelo edital. A atenção a esses objetivos "...levou à interação entre arquitetura, paisagismo, estruturas, sistemas prediais e conforto ambiental, desde a etapa de concepção." (GONÇALVES; DUARTE, 2007)

A implantação do complexo priorizou as orientações norte e sul aos blocos de laboratórios, para se evitar a incidência da radiação solar direta, proveniente de leste e oeste, mais difícil de tratar com estratégias passivas de controle ambiental. As condições climáticas foram tomadas como critérios de projeto preponderantes para a implantação do conjunto de edificações predominantemente horizontais, intercaladas por espaços de transição sombreados por vegetação para facilitar a ventilação natural (fig. 2.49).

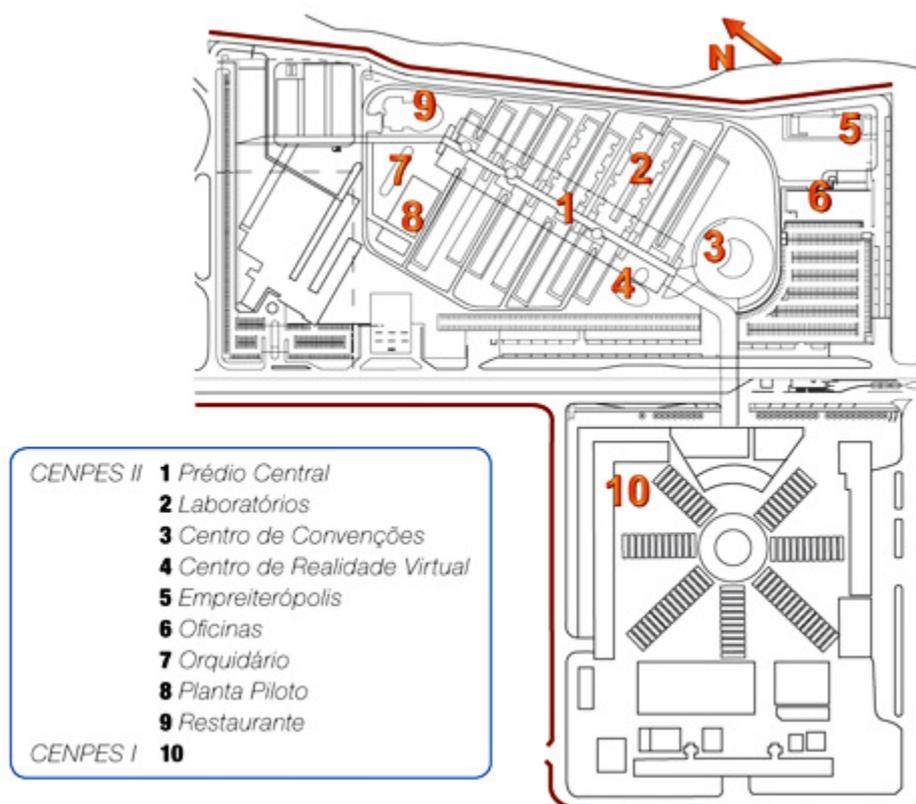


Figura 2.49 - Cenpes II - Planta de situação. O novo complexo e sua ligação com o Cenpes I - complexo existente de autoria de Sérgio Bernardes. (fonte: Gonçalves e Duarte, 2007 - Portal Nova Técnica  
<<http://www.nteditorial.com.br/revista/Materias/index.asp?RevistaID1=7&Edicao=35&id=310&TopicoID=462>>. Acesso em 07/04/2008).

A vegetação dos jardins (fig. 2.50) serve ainda como um filtro para a passagem da luz natural até o interior dos blocos onde funcionam os laboratórios, banhados por iluminação natural difusa abundante proveniente também das coberturas. Com base nas análises e recomendações de eco-eficiência nestes locais as aberturas zenitais receberam vidros verdes e as laterais, vidro incolor laminado de oito milímetros.



Figura 2.50 - Cenpes II - Jardins entre os prédios dos laboratórios. Contribuem para filtrar a iluminação natural até o interior dos ambientes. (fonte: ARCOweb <<http://www.arcoweb.com.br/tecnologia/tecnologia76.asp>>. Acesso em 07/04/2008).

Os beirais nos blocos dos laboratórios receberam diferentes soluções para cada orientação. Na fachada norte que recebe maior incidência de radiação solar direta os beirais foram desenhados com aletas que barram os raios diretos e refletem a iluminação natural difusa redirecionando-a para o fundo dos ambientes. Na fachada sul os beirais serão menores para permitir maior visão do céu a partir das aberturas. A iluminância média obtida com a iluminação natural atingiu níveis razoáveis para iluminação geral. "A complementação com a iluminação artificial é necessária em pontos específicos das bancadas e postos de trabalho." (GONÇALVES; DUARTE, 2007)

O prédio central onde se encontram os escritórios foi orientado para leste-oeste tirando proveito da vista para o mar a leste (fig. 2.5). A partir da constatação da necessidade de proteção de suas fachadas principais contra a incidência da radiação solar direta, que é crítica no início da manhã e final da tarde, o projeto recebeu brises externos que contribuem ainda aumentando a penetração da luz difusa até o fundo das salas, melhorando assim a distribuição da iluminação. Vidros

laminados de oito milímetros também foram especificados para o controle solar nas coberturas e fachadas leste e oeste (fig. 2.51).

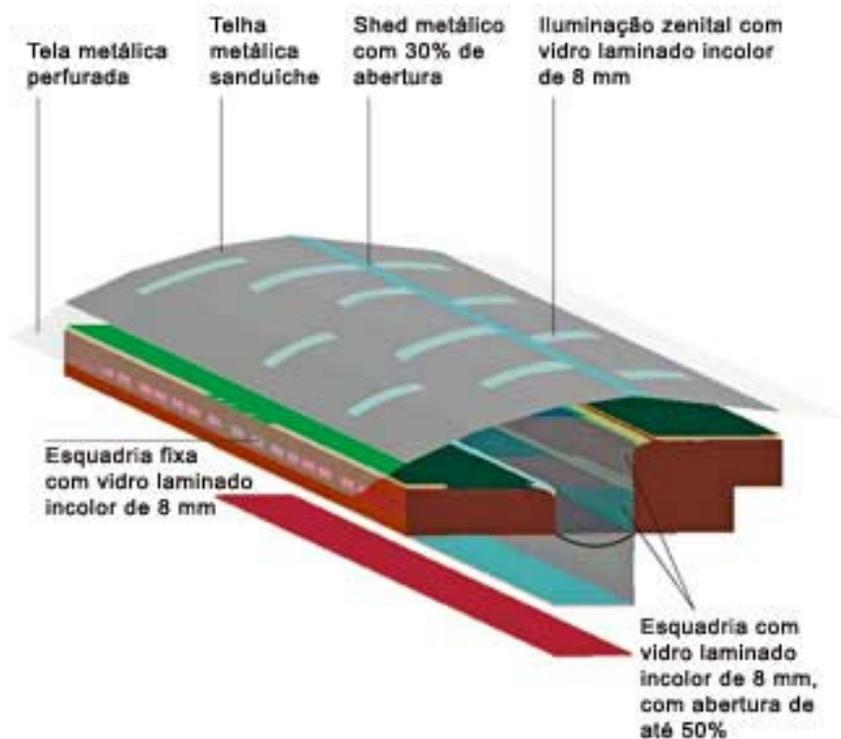


Figura 2.51 - Cenpes II - Cobertura do prédio central. Modelo tridimensional elaborado a partir de simulação computacional mostra os vidros colocados na cobertura e nas fachadas leste e oeste. (fonte: ARCOweb <<http://www.arcoweb.com.br/tecnologia/tecnologia76.asp>>. Acesso em 07/04/2008).

Nos escritórios voltados para leste a iluminância média calculada foi de 315 lux, que é considerado ideal de acordo com a norma da ABNT. Em entrevista ao ARCOweb (<http://www.arcoweb.com.br/tecnologia/tecnologia76.asp>. Acesso em 07/04/2008), o arquiteto Siegbert Zanettini, autor do projeto, explica que nos escritórios do prédio central a iluminação artificial terá seu acionamento automático em função da disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes. A construção do complexo está prevista para ser finalizada no início de 2010.

### 2.2.8.2. Commerzbank Headquarters - Frankfurt, Alemanha

Autoria do projeto de arquitetura: Norman Foster - *Foster & Partners*;

Localização: *Frankfurt*, Alemanha;

Data do projeto e construção: 1991 a 1997.

Planejado para abrigar todos os funcionários do banco *Commerzbank* que se encontravam espalhados em diversas edificações, o edifício de 53 andares com planta triangular (fig. 2.52) foi o mais alto da Europa à época de sua construção. Mas seu principal atrativo é ser considerado o primeiro arranha-céu ecológico de escritórios no mundo (*FOSTER & Partners* - <http://www.fosterandpartners.com>. Acesso em 03/04/2008). O mérito do título deve-se principalmente ao uso de estratégias passivas para iluminação e ventilação, tirando máximo proveito da luz natural associada a sistemas automáticos de controle da iluminação artificial, venezianas e esquadrias, que conseqüentemente contribuem para o consumo eficiente de energia elétrica (BOSCH, 2000).

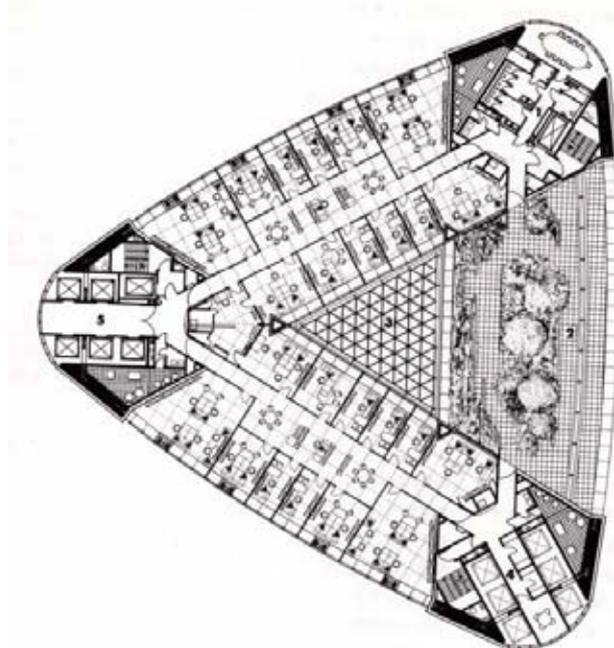


Figura 2.52 - *Commerzbank* - O edifício. Foto: Edifício e entorno. Desenho: Planta do pavimento tipo com o átrio ao centro, jardim interno à direita, escritórios internos e periféricos, torres de circulação e serviços nos vértices do triângulo. (fontes: foto - *Foster & Partners* <<http://www.fosterandpartners.com/Projects/0626/Default.aspx>>. Acesso em

03/04/2008; desenho: BUCHANAN<sup>56</sup>, 1998 apud NOBLE, C. [200?] <[http://web.utk.edu/~archinfo/a489\\_f02/PDF/commerzbank.pdf](http://web.utk.edu/~archinfo/a489_f02/PDF/commerzbank.pdf)>. Acesso em 03/04/2008).

Nove jardins internos, adjacentes às fachadas e ocupando quatro andares em altura cada, promovem o acesso da luz natural aos ambientes mais internos da edificação (fig. 2.53). São intercalados a cada oito andares e nas três fachadas do edifício proporcionando a entrada de um grande fluxo de luz natural. Todos os escritórios, internos e externos, recebem iluminação natural seja da fachada externa ou proveniente destes jardins internos. Os jardins são recuados em relação ao restante da fachada e receberam fechamento em vidro com esquadrias que se abrem na parte superior para a passagem de ar quente proveniente dos escritórios e na inferior para a entrada de ar fresco no verão (*The Architectural Record*<sup>57</sup>, apud CONEYBEARE, [?]).



Figura 2.53 - *Commerzbank* - Jardins internos. Esquerda: Vista interna de um dos jardins. Direita: Vista do recuo na fachada em função dos jardins. (fontes: Esquerda: FOSTER & Partners <<http://www.fosterandpartners.com/Projects/0626/Default.aspx>> Acesso em 03/04/2008. Direita: EVANS, B. ***Banking on Ventilation***, AJ Building Study, 1997 <[http://www.ajspeification.com/Buildings/Picture\\_Gallery/?CI\\_Building\\_ID=293](http://www.ajspeification.com/Buildings/Picture_Gallery/?CI_Building_ID=293)> Acesso em 03/04/2008).

<sup>56</sup> BUCHANAN, Peter. ***Reinventing the Sky-Scraper***. *A and U*. no 329, February, 1998.

<sup>57</sup> *The Architectural Record*. p.74.

O átrio central também funciona como fonte adicional de entrada de luz natural. Para isso o vão foi planejado livre de estruturas que impedissem a condução da luz. Para evitar que o efeito chaminé causasse fortes correntes de ar da base do edifício para o topo, o átrio foi dividido por painéis horizontais de vidro translúcido a cada 12 pavimentos (fig. 2.54). Os escritórios internos voltados para o átrio possuem esquadrias de vidro translúcido que se abrem permitindo a troca de ar com o interior do edifício. Através destas esquadrias a luz natural que penetra pelos jardins e átrio chega até os escritórios internos (fig. 2.54).

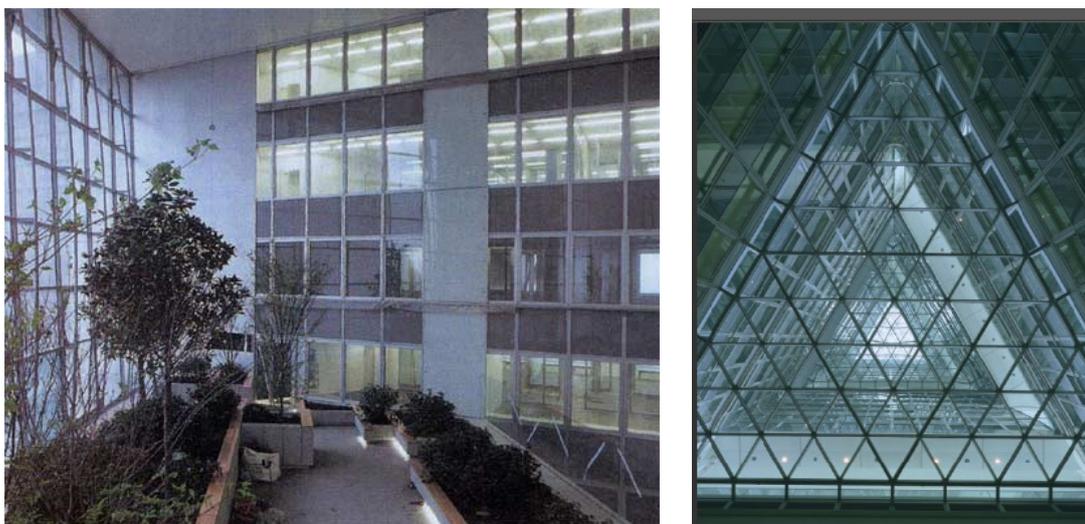
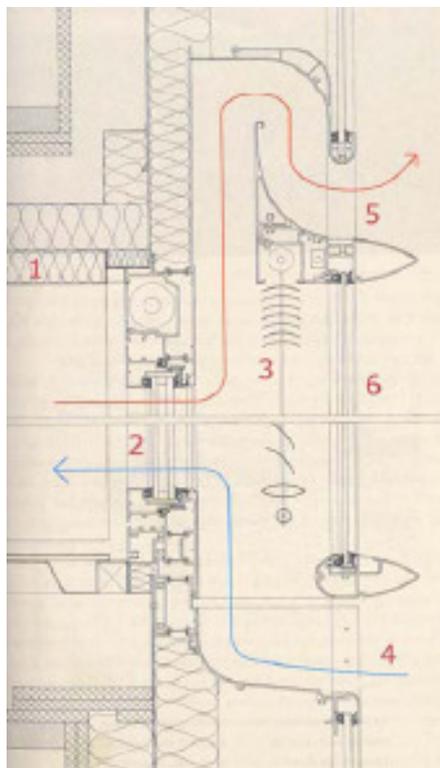


Figura 2.54 - *Commerzbank* - Acesso da luz natural ao interior do edifício. Esquerda: Esquadrias dos escritórios internos voltadas para um dos jardins. Direita: Vista dos painéis horizontais de vidro que seccionam o átrio a cada 12 pavimentos. (fontes: Esquerda: EVANS, B. ***Banking on Ventilation***, AJ Building Study, 1997 <[http://www.ajspeification.com/Buildings/Picture\\_Gallery/?CI\\_Building\\_ID=293](http://www.ajspeification.com/Buildings/Picture_Gallery/?CI_Building_ID=293)> Acesso em 03/04/2008. Direita: FOSTER & Partners <<http://www.fosterandpartners.com/Projects/0626/Default.aspx>> Acesso em 03/04/2008).

As fachadas externas são totalmente envidraçadas, compostas por três camadas: um painel de vidro simples voltado para o exterior protege a fachada da chuva, um colchão de ar com 165 mm de espessura ao centro, e um painel de vidro duplo na parte interna inibe a entrada de calor (fig. 2.55). O painel interno pode ser aberto ou fechado pelos usuários para controlar a passagem de ar. O painel externo oferece proteção contra ventos fortes quando o painel interno estiver aberto. A cavidade entre os painéis é permeável à passagem de ar e dentro dela existe uma veneziana móvel de alumínio operada automaticamente pelo sistema de gerenciamento do edifício ou através de controles pelo próprio usuário. As

venezianas protegem contra a radiação solar direta no verão ou redirecionam a luz natural por reflexão para o teto do ambiente no inverno (*Architectural Review*<sup>58</sup>, apud CONEYBEARE, [?]).



#### Legenda

1. Painéis com sistema de resfriamento;
2. Painel de vidro duplo;
3. Colchão de ar com veneziana móvel;
4. Fluxo de entrada de ar fresco;
5. Fluxo de saída de ar quente;
6. Painel de vidro simples.

Figura 2.55 - *Commerzbank* - Esquadrias externas. Corte esquemático do fechamento externo do edifício. (fonte: Adaptado de *The Architectural Record*, apud CONEYBEARE, [?] <[http://www.architecture.uwaterloo.ca/faculty\\_projects/terri/366essaysW03/coneybeare-commerzbank.pdf](http://www.architecture.uwaterloo.ca/faculty_projects/terri/366essaysW03/coneybeare-commerzbank.pdf)> Acesso em 03/04/2008).

Além do aproveitamento da iluminação natural alcançada por meio da permeabilidade dos jardins internos, o sistema de iluminação artificial é controlado automaticamente pelo sistema de gerenciamento do edifício que dimeriza o fluxo luminoso em resposta à disponibilidade da luz natural no interior dos ambientes (EVANS<sup>59</sup>, 1997 apud BOSH, 2000). As venezianas das fachadas externas também são controladas automaticamente pelo mesmo sistema, mas podem ainda ser ajustadas pelos usuários através de comandos no interior dos escritórios. A soma destas estratégias caracteriza o *Commerzbank* como um dos mais completos projetos luminotécnicos integrando iluminação natural e artificial.

<sup>58</sup> *Architectural Review*. p. 38.

<sup>59</sup> Evans, B. (1997). *Banking on Ventilation*. *Architectural Review*, July.

### 2.2.8.3. Harmony Library - Fort Collins, Colorado

Autoria do projeto de arquitetura: *Davis Partnership P.C., Architects*;

Autoria do projeto luminotécnico: Steve Ternoey (*LightForms*);

Localização: Front Range Community College - Fort Collins, Colorado, EUA;

Data do projeto: Abril de 1998.

O projeto de iluminação natural da biblioteca faz parte de um projeto integrado que busca promover a alta qualidade ambiental com baixo custo de operação e manutenção. A escolha da orientação e volumetria do edifício deu início ao processo de projeto. O volume principal estreito e alongado como uma espinha dorsal tira proveito da iluminação natural. As aberturas estão voltadas para norte e sul, o que facilita a proteção contra a insolação direta (fig. 2.56).

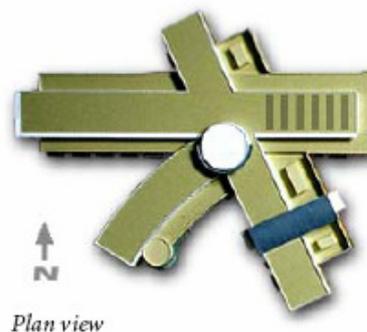


Figura 2.56 - *Harmony Library* - O edifício. Esquerda: Fachada do edifício. Direita: Planta de cobertura evidencia o volume principal orientado para norte e sul. (fonte: Daylight Dividends <<http://www.lrc.rpi.edu/programs/daylighting/pdf/HarmonyLibraryCaseStudy.pdf>>. Acesso em 24/11/2007).

A iluminação natural penetra profundamente no interior do ambiente graças às aberturas contínuas tipo lanternim localizadas na parte superior ao longo do bloco. Tais aberturas receberam vidro pintado em cor neutra (com 22% de transmissão luminosa) e são protegidas da radiação solar direta por uma espécie de beiral (Fig. 2.57).



Figura 2.57 - *Harmony Library* - Aberturas superiores. Iluminação natural que chega às estantes é difusa. As estantes foram dispostas perpendicularmente às aberturas para evitar a formação de sombras. (fonte: Daylight Dividends <<http://www.lrc.rpi.edu/programs/daylighting/pdf/HarmonyLibraryCaseStudy.pdf>>. Acesso em 24/11/2007).

Ainda no mesmo bloco, as aberturas inferiores também foram tratadas com vidro pintado em cor neutra (com 17% de transmissão luminosa) ou incolor, dependendo da orientação, e protegidas por cortinas cilíndricas perfuradas e operadas manualmente. Na parte superior uma proteção externa inclinada concebida com o mesmo material das cortinas permite alguma passagem de feixes de luz natural que, no entanto, não chegam a causar incômodo visual aos usuários (Fig. 2.58).



Figura 2.58 - *Harmony Library* - Aberturas inferiores. Protegidas por cortina perfurada e protetor externo. A foto refere-se a janelas da fachada sul que receberam vidro incolor ao invés do vidro pintado. (fonte: Daylight Dividends <<http://www.lrc.rpi.edu/programs/daylighting/pdf/HarmonyLibraryCaseStudy.pdf>>. Acesso em 24/11/2007).

Internamente, paredes e teto foram pintados de branco para propiciar a inter-reflexão da luz. A soma de todos esses esforços resulta em uma iluminação natural uniforme e livre de ofuscamento.

A iluminação artificial foi criteriosamente planejada para suplementar a luz natural (Fig. 2.59 e 2.60). Luminárias foram alinhadas com as aberturas superiores e são desligadas em função da quantidade de luz natural presente no ambiente. A iluminação geral é feita por luminárias lineares para luz direta e indireta que utilizam duas lâmpadas fluorescentes tubulares com grelha antiofuscante que bloqueia a visão das lâmpadas na parte inferior. Outro conjunto de luminárias para luz indireta, que também contribuem para a iluminação geral foi posicionado na parte mais baixa da cobertura e não são desligadas em função da iluminação natural.

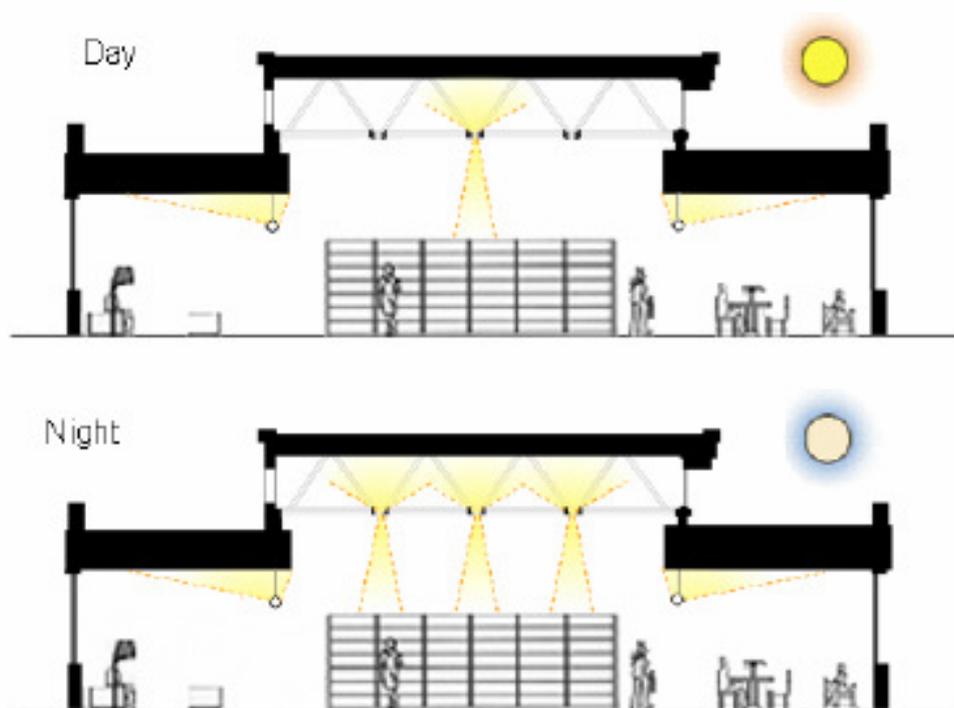


Figura 2.59 - *Harmony Library* - Estratégia de integração dos sistemas de iluminação natural e artificial. Acima, o uso do espaço durante o dia tira proveito da iluminação natural mantendo parte das luminárias apagadas. Abaixo, durante o uso noturno, todo o sistema artificial está ligado. (fonte: Daylight Dividends <<http://www.lrc.rpi.edu/programs/daylighting/pdf/HarmonyLibraryCaseStudy.pdf>>. Acesso em 24/11/2007).



Figura 2.60 - *Harmony Library* - Resultado da integração entre luz natural e artificial. Esquerda: Iluminação diurna. Direita: Iluminação noturna (dir.). (fonte: Daylight Dividends <<http://www.lrc.rpi.edu/programs/daylighting/pdf/HarmonyLibraryCaseStudy.pdf>>. Acesso em 24/11/2007).

A iluminação geral fornece baixo nível de iluminância que é suplementado por luminárias de mesa para iluminação de tarefa. Estas luminárias de acionamento individual são operadas por um temporizador que desliga cada luminária após duas horas de uso, para evitar que o usuário a esqueça acesa. Nas cabines de estudo a iluminação de tarefa é feita por lâmpadas embutidas no próprio mobiliário. Este sistema tem acionamento manual simples de liga/ desliga operado pelo usuário (Fig. 2.61).



Figura 2.61 - *Harmony Library* - Iluminação de tarefa suplementa a iluminação geral. À esquerda as luminárias de mesa operadas por temporizador, e à direita as cabines de estudo acionadas por interruptor manual simples. (fonte: Daylight Dividends <<http://www.lrc.rpi.edu/programs/daylighting/pdf/HarmonyLibraryCaseStudy.pdf>>. Acesso em 24/11/2007).

O sistema de controle da iluminação artificial possui dois dispositivos principais: um sistema automático de acionamento e um módulo operador de cenas que interligado aos sensores e temporizadores é acionado manualmente a partir de uma escala de horários, para ativar cenas pré-programadas referentes à rotina de funcionamento da biblioteca. Fotossensores instalados sobre a cobertura e voltados para norte acionam a iluminação geral de acordo com a disponibilidade da luz natural.

Após a apreciação dos projetos aqui expostos para exemplificar os conceitos do projeto luminotécnico integrado, destacamos alguns aspectos comuns a estes projetos:

- Planejamento da volumetria visando maior aproveitamento da luz natural;
- Orientação solar adequada;
- Criação de elementos para captação da luz natural para o interior da edificação (átrios e jardins internos);
- Escolha das cores das superfícies internas para proporcionar a inter-reflexão da luz;
- Aproveitamento das vistas para o exterior;
- Elementos de proteção e controle da luz direta internos e externo;
- Uso de elementos de redistribuição da luz natural interna para o fundo das salas;
- Uso de elementos nas aberturas para tornar a luz natural incidente mais difusa;
- Observação às recomendações para níveis de iluminância adequados;
- Iluminação geral a partir da luz natural e áreas de trabalho com iluminação artificial;
- Sistemas de controle automáticos em resposta à luz natural;
- Posicionamento das luminárias em função das zonas luminosas vinculando seu acionamento à disponibilidade de luz natural;
- Controles para iluminação de áreas de trabalho e elementos de proteção solar ao alcance do usuário;
- Uso de temporizadores, fotossensores e outros equipamentos para dar maior flexibilidade e praticidade ao sistema de controle da iluminação artificial.

### 3. Metodologia

Após a revisão bibliográfica apoiada na literatura sobre iluminação natural e iluminação artificial, foram pesquisados os métodos para projeto de luz natural, luz artificial, os métodos para integração de sistemas de iluminação natural e artificial, bem como programas de computador para cálculo e avaliação de projetos luminotécnicos. Também foram pesquisadas as questões que envolvem o projeto luminotécnico integrado de luz natural e artificial e exemplos de projetos luminotécnicos para demonstrar como se os conceitos estudados se desenvolvem na prática.

A metodologia adotada neste trabalho seguiu a seguinte ordem de procedimentos:

1. Investigação da formação do profissional luminotécnico através de uma breve pesquisa que levantou as disciplinas dos cursos de especialização existentes no país, num dado momento, no intuito de conhecer o teor dos temas abordados na formação dos profissionais especialistas;
2. Investigação do processo projetual de escritórios de luminotecnica em nosso país, implementada por entrevistas via telefone a um grupo de arquitetos pré-selecionado;
3. Síntese das etapas anteriores através da formulação de um guia para projetos luminotécnicos.

#### 3.1. Investigação sobre a formação dos luminotécnicos

Para uma melhor compreensão do conhecimento detido pelos profissionais luminotécnicos, foi feita uma breve investigação das disciplinas dos cursos de pós-graduação *lato sensu* em iluminação oferecidos por universidades e instituições particulares brasileiras num determinado período. Foram levantados oito cursos cujas grades curriculares estavam disponíveis na Internet. As conclusões sobre

esta pesquisa serão apresentadas junto aos resultados de outras pesquisas no capítulo seguinte, 4. Resultados e discussão.

## 3.2. Entrevistas aos arquitetos luminotécnicos

Como forma de avaliar a atual organização de trabalho de arquitetos envolvidos em projetos luminotécnicos em nosso país, aplicou-se uma pesquisa aos afiliados da AsBAI - Associação Brasileira de Arquitetos de Iluminação<sup>60</sup>, nas categorias sócios fundadores<sup>61</sup> e membros profissionais<sup>62</sup>. Tais categorias representam em si uma seleção de profissionais com comprovada experiência e formação profissional, que em função de sua relevância e "representatividade social dentro da situação considerada", foram adotados como uma "amostra intencional", seguindo critérios qualitativos de representatividade (THIOLLENT, 1996).

A pesquisa teve o objetivo de coletar maiores informações e elementos que pudessem apontar carências e lacunas no processo de projeto luminotécnico, investigando junto aos profissionais quais são os métodos e procedimentos empregados em seus projetos luminotécnicos, além de sugestões de estratégias para a integração da luz natural e artificial.

Imaginou-se para isso aplicar a técnica da entrevista, que segundo Reis e Lay (1995) têm como característica a não obrigatoriedade de representatividade, número mínimo de amostras ou análise estatística das informações. No entanto, por sua grande flexibilidade, as entrevistas, assim como os questionários e formulários, são técnicas de coleta de dados bastante úteis para a obtenção de informações acerca do que o entrevistado "...sabe, crê ou espera, sente ou deseja, pretende fazer, faz ou fez, bem como a respeito de suas explicações ou razões

---

<sup>60</sup> A AsBAI foi constituída em 2000 por um grupo de arquitetos e profissionais atuantes em iluminação para arquitetura e urbanismo, com o propósito de destacar a importância do projeto de iluminação e sua contribuição para o conforto ambiental, caracterizar a atividade, qualificar o profissional através do estabelecimento de critérios e diretrizes comuns, e promover a colaboração de seus membros com a indústria brasileira de luminárias, lâmpadas e reatores, afim de aprimorar o produto nacional.

<sup>61</sup> Membros profissionais e associados que participaram da ata de constituição da AsBAI.

<sup>62</sup> Arquitetos ou engenheiros com pós-graduação em arquitetura ou iluminação, que apresentem comprovada experiência de dez anos de atividades ou o mínimo de 50 projetos de relevância como autor titular, ou três trabalhos acadêmicos na categoria de Mestre, ou um como Doutor.

para quaisquer das coisas precedentes.” (SELLTIZ<sup>63</sup>, apud GIL, 1995) Sendo assim, este parece ser um instrumento perfeitamente adequado para o objetivo de nossa pesquisa.

Uma técnica intermediária entre a entrevista e o questionário usada para a medida comportamental através de relatos verbais, a entrevista conduzida por telefone, foi escolhida por questões práticas, por sua maior facilidade uma vez que os arquitetos e escritórios a serem entrevistados estavam espalhados em diversas cidades do país.

Dentre todas as técnicas de interrogação, a entrevista é a de maior flexibilidade. Optou-se pelo uso da entrevista parcialmente estruturada, que é normalmente norteada por uma lista de pontos de interesse que o entrevistador vai explorando ao longo de seu curso (GIL, 1995). Sendo assim, algumas perguntas foram previamente formuladas no intuito de dar maior agilidade à entrevista e para que todos os tópicos da investigação fossem contemplados, evitando-se a necessidade de novos contatos por falta de uma ou outra informação.

Dos 16 profissionais listados em tais categorias, identificou-se um total de 15 escritórios visto que dois arquitetos eram sócios entre si. Dois dos arquitetos da lista da AsBAI não puderam responder à entrevista, e o primeiro entrevistado não é afiliado da AsBAI, mas é atuante na área de projetos de iluminação. Sua entrevista contribuiu como um teste para as demais, mas seu depoimento foi incluído na pesquisa. Deste modo, tivemos 14 entrevistas válidas que foram conduzidas diretamente pela pesquisadora.

Foram feitas cinco perguntas a cada entrevistado, todas versando sobre o processo de projeto luminotécnico. Para maior isenção dos resultados, evitou-se indicar opções de respostas aos entrevistados, mas algumas vezes isto se tornou inevitável para garantir a compreensão da pergunta por parte dos respondentes.

A primeira pergunta procurou identificar a área de atuação de cada escritório a fim de se ter uma noção da porcentagem de escritórios que desenvolvem projetos de iluminação natural, artificial, ou ambas, além de outros serviços relacionados, tais como automação predial e eficiência energética. A pergunta seguinte focou nos métodos para projeto luminotécnico conhecidos e utilizados durante o processo.

---

<sup>63</sup> SELLTIZ, C. at al. **Métodos de pesquisa nas relações sociais**. São Paulo: Herder, 1967.

A terceira pergunta foi elaborada no intuito de identificar o uso de métodos de integração da iluminação natural e artificial, e na seqüência, a quarta pergunta questionou sobre outras ferramentas utilizadas durante o processo de projeto luminotécnico. Finalizando, a quinta pergunta buscava conhecer os parâmetros numéricos utilizados: níveis de iluminância e/ ou luminância para ambientes internos.

O formulário utilizado durante as entrevistas com as perguntas elaboradas encontra-se no apêndice A.

### 3.2.1. Análise das entrevistas

Uma vez que a técnica da entrevista não requer análise estatística dos resultados, adotou-se a análise de conteúdo<sup>64</sup> (AC) clássica para pesquisa qualitativa com texto para a avaliação dos dados coletados. A pesquisa qualitativa é uma técnica utilizada em pesquisa social que tem como características a "compreensão como princípio do conhecimento" e a "construção da realidade" (FLICK; STEINKE<sup>65</sup>, apud GÜNTHER, 2006), uma espécie de interpretação de determinada situação a partir da coleta e análise de dados.

A condução e análise das entrevistas seguiram uma seqüência usual de eventos, referida por Gilbert e Mulkey<sup>66</sup> (apud FREEBODY, 2003), que tem início na preparação das perguntas sobre o objeto de estudo, seguindo para a entrevista propriamente dita, a busca de similaridades entre as respostas obtidas, que devem ser então agrupadas e depois acuradas. "E finalmente, o analista constrói uma versão idealizada e generalizada dos relatos dos participantes e apresenta esta versão como a conclusão construída pela análise." (FREEBODY, 2003, trad. livre).

---

<sup>64</sup> A análise de conteúdo é descrita como um método de análise de texto que pode levar a descrições numéricas de características do texto, dando considerável atenção aos "tipos", "qualidades", e "distinções" no texto, fazendo uma ponte entre o formalismo da análise estatística e a análise qualitativa (BAUER; GASKELL, 2002). No caso desta pesquisa, a transcrição das entrevistas pode ser considerada como um tipo de texto o qual iremos analisar.

<sup>65</sup> FLICK; STEINKE, *Qualitative Forschung: Ein Handbuck* (pp.13-29). Reinbek, Alemanha: Rowohlt, 2000.

<sup>66</sup> GILBERT; MULKEY, *Opening pandora's box : a sociological analysis of scientists' discourse*. Cambridge, 1984.

A codificação e a posterior classificação dos dados colhidos numa investigação são os meios utilizados pela AC para se chegar a um resultado final que será a interpretação desse material a partir de um referencial de codificação. O referencial de codificação é construído com base nos objetivos da pesquisa: "...um conjunto de questões (códigos) com o qual o codificador trata os materiais, e do qual o codificador consegue respostas, dentro de um conjunto predefinido de alternativas (valores de codificação)..." (BAUER; GASKELL, 2002).

O referencial de codificação pode ser também entendido com um sistema de categorias. Os códigos devem ser criados baseados em teorias ou idéias pré-formuladas a respeito do objeto de estudo da pesquisa, e devem ser também independentes entre si. Assim, os códigos serão atribuídos às unidades de análise (artigos, parágrafos, frases ou palavras) do texto. Cada código apresenta uma escala de valores para a qual serão atribuídos números, por uma questão estatística. As escalas podem ser dos tipos: categorial, quando os números apenas distinguem um valor de outro; ordinal ou proporcional, quando os números fazem relação de ordem entre os valores (BAUER; GASKELL, 2002) e com isso tornam-se instrumentos de comparação dentro de cada código.

Seguindo o processo citado por Gilbert e Mulkay, após o término das entrevistas, as respostas obtidas para cada uma das cinco perguntas pré-elaboradas foram transcritas para a verificação da similaridade entre elas. Aquelas que continham um significado comum foram agrupadas e organizadas por ordem de freqüência com que foram detectadas. Cada uma das perguntas foi considerada como um código e suas respectivas respostas como valores de uma escala proporcional na construção do referencial de codificação desta pesquisa. (Ver Codificação dos dados coletados nas entrevistas a arquitetos, no Apêndice B).

Como todos os processos de análise científica, a AC também obedece a questões qualitativas tais como coerência<sup>67</sup>, transparência<sup>68</sup>, fidedignidade<sup>69</sup> e validação<sup>70</sup> (BAUER; GASKELL, 2002).

---

<sup>67</sup> A coerência em um referencial de codificação pode ser observada quando há um princípio organizador, e, portanto todos os códigos partem de um único princípio (BAUER; GASKELL, 2002).

<sup>68</sup> A transparência é atendida quando o referencial de codificação é apresentado no trabalho científico tal qual foi criado, para que outros pesquisadores entendam o processo que lhe deu origem. Um documento que apresente a listagem de todos os códigos, e a definição de cada um deles, a  
(A nota continua na próxima página).

Para garantir maior fidedignidade à análise, as informações coletadas foram observadas pela pesquisadora em dois momentos distintos, como sugerido por Bauer e Gaskell (2002). A segunda interpretação dos dados mostrou-se muito importante para a criação de um princípio organizador que gerou o referencial de codificação.

Observou-se que todas as respostas de todos os entrevistados para cada uma das perguntas poderiam ser dispostas em uma escala de categorias. Para uma avaliação estatística simples, cada resposta diferente correspondeu a uma categoria, e cada categoria recebeu um valor numérico referente à frequência com que apareceram nas respostas dos entrevistados. Em seguida as escalas categoriais foram organizadas em tabelas segundo uma ordem de prevalência e a cada uma delas foi associado um valor percentual referente à sua ocorrência dentro do total de respostas.

A conclusão sobre os resultados obtidos nas entrevistas será apresentada mais à frente no item 4.2. Resultados das entrevistas aos arquitetos luminotécnicos.

### **3.3. Elaboração de um guia para projetos luminotécnicos**

A partir da revisão bibliográfica e da investigação sobre o processo de projetos dos luminotécnicos, procedeu-se à elaboração de um guia para a elaboração de projetos luminotécnicos, que sistematiza alguns dos métodos existentes mais conhecidos na literatura científica, conduzindo o projetista a um percurso projetual que integra luz natural e luz artificial. Baseado em alguns trabalhos dos autores pesquisados, como Lam (1977), Robbins (1986), Moore

---

freqüência, ou seja, o número total de códigos, e ainda um comentário sobre a fidedignidade do codificador (BAUER; GASKELL, 2002).

<sup>69</sup> Entende-se por fidedignidade a concordância entre intérpretes. No caso desta pesquisa, todo o processo, desde a criação das perguntas para as entrevistas até a análise dos dados coletados, foi desempenhado por uma única pessoa, no caso, a pesquisadora. Deste modo, nos interessa a fidedignidade intra-pessoal, que pode ser confirmada com uma segunda interpretação após um intervalo de tempo, para a confirmação da consistência e estabilidade da interpretação (BAUER; GASKELL, 2002).

<sup>70</sup> Validação ou validade diz respeito à representatividade do resultado em relação ao texto ou seu contexto. "Muitas vezes a coerência interna é suficiente para mostrar credibilidade" (BAUER; GASKELL, 2002).

(1993), e Bell e Burt (1995), que sugeriram seqüências de etapas para projetos luminotécnicos, um guia para projetos parece ser um instrumento mais adequado ao nosso propósito.

Concebido em forma de fluxograma, o guia sugere uma trajetória de etapas a serem cumpridas como forma de organizar o processo projetual e indicar alguns métodos adequados para cada fase de projeto. O guia proposto será apresentado mais detalhadamente no ítem 4.3. Apresentação do guia para projetos luminotécnicos.

### **3.3.1. O uso do guia para projetos luminotécnicos**

O guia para projetos luminotécnicos deverá ser utilizado da forma mais conveniente para o usuário. Tem a intenção de ser flexível o suficiente para que possa se adaptar às diversas situações de projetos que possam surgir para o arquiteto. Desta forma, procurou-se mencionar o maior número possível de métodos e ferramentas aplicáveis a cada fase de projeto.

## 4. Resultados e discussão

São relatados aqui os resultados alcançados a partir da metodologia desenvolvida. Cada um dos procedimentos metodológicos adotados, com exceção da revisão bibliográfica, deu origem a uma investigação ou estudo cujos resultados são apresentados a seguir.

### 4.1. Resultados da investigação sobre a formação profissional

A partir do registro dos oito cursos de especialização em iluminação encontrados pela Internet<sup>71</sup> a primeira observação que pôde ser feita foi de que as expressões "projeto de iluminação" e "projeto luminotécnico" referem-se na maioria das vezes à iluminação artificial, que é o foco da maior parte das disciplinas ministradas. Observou-se que metade desses cursos abrange o estudo da luz natural em suas disciplinas e apenas dois tratam da integração das fontes de luz natural e artificial. Cinco dos cursos oferecem alguma disciplina relativa a conforto ambiental ou sustentabilidade, enquanto apenas três tratam da eficiência energética, e somente dois apresentam disciplinas sobre controle da luz natural em sua grade curricular.

A tabela a seguir apresenta um panorama de alguns temas focados nas disciplinas ministradas nesses cursos. Os números entre parênteses após o conteúdo das disciplinas referem-se às instituições listadas em nota de rodapé:

---

<sup>71</sup> Os cursos pesquisados são: (1) Engenharia de Iluminação - 2007, Universidade Castelo Branco; (2) Projetos de Iluminação - 2007, Universidade Estácio de Sá; (3) Iluminação e Design de Interiores - 2007, Centro de Pós-graduação e Pesquisa Oswaldo Cruz e IPOG - Instituto de Pós-graduação de Goiás; (4) Iluminação - 2006, Incursos - Instituto Nacional de Cursos e IPOG - Instituto de Pós-graduação de Goiás; (5) Projetos Luminotécnicos - Lighting Design - 2006, Incursos - Instituto Nacional de Cursos; (6) Architectural Lighting Design - 2007, Templuz e Unic-Sul - Universidade Cruzeiro do Sul - SP; (7) Lighting Design - 2003, UNOPAR - Centro Politécnico; (8) Iluminação - 2007, Universidade Veiga de Almeida.

TABELA 4.1 - DISCIPLINAS MINISTRADAS NOS CURSOS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ILUMINAÇÃO NO BRASIL

Disciplinas que versam sobre:	Nº de cursos	(%)
Conforto ambiental	03	37,5%
Sustentabilidade	02	25%
Eficiência energética	03	37,5%
Luz natural	04	50%
Luz artificial	08	100%
Integração luz natural e luz artificial	02	25%
Sistemas de controle para luz natural	02	25%
Sistemas de controle para luz artificial	04	50%

Com relação ao conteúdo do conhecimento passado na formação do profissional luminotécnico, podemos concluir que a iluminação natural não é priorizada na maioria dos cursos e tampouco a integração da iluminação natural e artificial. Tal fato pode ser observado não só pela baixa oferta de disciplinas que abordam o tema diretamente, como das disciplinas que tratam dos sistemas de controle para luz natural e artificial e da eficiência energética, assuntos diretamente relacionados à integração dos sistemas de iluminação natural e artificial.

## 4.2. Resultados das entrevistas aos arquitetos

### luminotécnicos

Após a construção do referencial de codificação e análise das respostas obtidas, pudemos chegar a algumas conclusões acerca do processo projetual dos 14 escritórios entrevistados.

Em relação à **área de atuação**, constatou-se que dos 14 escritórios entrevistados 71,42% fazem somente projetos de iluminação artificial, enquanto os outros, apenas 28,58% produzem tanto projetos de iluminação artificial quanto natural. Alguns entrevistados argumentam que são chamados em etapas bastante

avançadas dos projetos de arquitetura, quando a maioria das decisões que afetam diretamente o desempenho da iluminação natural já foi tomada.

Sobre os **métodos utilizados** pudemos verificar que 50% dos escritórios usa **métodos manuais** seja para luz natural ou artificial, e cerca de 85% faz uso de **programas computacionais** em suas rotinas de trabalho. Alguns escritórios usam tanto métodos manuais quanto programas de simulação.

A pesquisa revelou uma preferência pelo programa Lumen Micro, que é usado por 10 dos 14 escritórios, mais de 70% dos entrevistados. Os outros programas citados foram AGI, Relux, DIALux, todos com cerca de 20% de adesão, além de Calculux, Lightscape e ECOTECT, estes últimos mencionados apenas uma vez, o que representa pouco mais de 7% dos escritórios.

Os **métodos manuais** utilizados foram divididos em duas subcategorias, conforme atendiam ao estudo da luz natural ou artificial. **Para a iluminação artificial**, o Método dos Lumens ou Método do Fluxo Luminoso é utilizado por 5 dos 14 escritórios, pouco mais de 35% do total.

**Para o cálculo de iluminâncias pontuais**, vários métodos podem ser utilizados, normalmente conhecidos como Métodos Ponto-a-Ponto. Estes métodos foram citados por 4 dos 14 entrevistados, pouco mais de 28% do total.

Quando questionados sobre **métodos para iluminação natural**, a metade dos escritórios que atuam nessa área respondeu que usa a carta solar — 2 dos 14 entrevistados. O Diagrama de Waldram é usado por apenas um dos escritórios e outro entrevistado relatou o uso do Diagrama Morfológico<sup>73</sup>.

Sobre os **métodos e ferramentas para a integração da luz natural e artificial**, nenhum dos escritórios mencionou qualquer método científico conhecido. Entretanto, a pesquisadora identificou durante a condução das entrevistas, o uso do princípio do Método IASPI<sup>74</sup> por quatro dos arquitetos, o que corresponde a apenas 28,5% do total de entrevistados. Em seus depoimentos disseram distribuir os comandos das luminárias de maneira que possam ser acionadas separadamente aquelas mais próximas às aberturas, para que possam ser desligadas durante o

---

<sup>73</sup> AMORIM, 2007. Adaptado do *Morphological Box*, de BAKER; FANCHIOTTI; STEEMERS, K. **Daylighting in Architecture: A European Reference Book**. Londres: James & James, 1993.

<sup>74</sup> Iluminação Artificial Suplementar Permanente em Interiores (MOORE, 1993).

período em que a luz natural for suficiente. O curioso é que nenhum deles atua em projetos de iluminação natural, conforme mencionado anteriormente.

**Outras estratégias** que visam à integração da luz natural ao projeto de iluminação artificial foram relatadas. Aproximadamente 43% dos arquitetos costumam sugerir e especificar o uso de sensores para automação da iluminação artificial em alguns projetos, mas segundo suas experiências, a maioria dos clientes não se mostra disposta a instalar tais mecanismos devido ao alto custo de aquisição. Um dos arquitetos ainda relatou sugerir a seus clientes o uso de mecanismos de controle da luz solar direta, tais como "persianas e películas"<sup>75</sup> em algumas aberturas. A observação das diferenças entre temperaturas de cor da luz natural e das lâmpadas também foi citada por dois arquitetos como estratégia usada para a integração entre ambas as fontes, no intuito de que o contraste entre temperaturas de cor da iluminação artificial interna e da luz natural externa seja minimizado, para se evitar a sensação de artificialidade ao ambiente.

Na questão relacionada a **outras ferramentas utilizadas durante o processo de projeto**, detectou-se que os instrumentos citados, em sua expressiva maioria, referem-se apenas a projetos de iluminação artificial. Dados da fotometria das luminárias foram lembrados por mais de 70% dos entrevistados. Modelagem 3D e renderização de imagens foram mencionadas por cerca de 35% dos respondentes. Com pouco mais de 14% das respostas, ficaram empatados, desenhos à mão livre de vistas com a inserção dos fachos propostos pela iluminação artificial, protótipos de luminárias, e o uso de instrumentos de medição (luxímetro e fotômetro). Visualização da luminária acesa, pesquisa de imagens de projetos executados, e teste das luminárias especificadas no local de instalação também foram recursos referidos, cada ferramenta por 1 profissional dos 14 entrevistados, um índice de 7% do total. Tais ferramentas mencionadas sugerem uma busca do arquiteto pela análise visual de suas escolhas, apesar da grande confiança em dados gráficos e tabelados comumente encontrados nas informações sobre a fotometria das luminárias fornecidas pelos fabricantes. Neste sentido, as curvas de distribuição luminosa (isolux ou isocandelas) podem ser consideradas

---

<sup>75</sup> Palavras usadas pelo entrevistado.

também instrumentos visuais de consulta, uma vez que criam a noção da volumetria do fecho da luminária.

A pesquisa também fez uma constatação importante a respeito da falta de credibilidade da norma brasileira por parte dos arquitetos. Cerca de 80% dos entrevistados se valem das recomendações da IESNA que atingiu o maior índice. Em segundo lugar vem a NBR 5413 da ABNT. Muitos destes arquitetos foram categóricos ao afirmar suas preferências pelo padrão americano sob a justificativa de que a norma brasileira foi uma adaptação da outra.

Para concluir, dentre as informações obtidas nas entrevistas, podemos destacar a baixa produção de projetos para iluminação natural, a desinformação dos arquitetos sobre métodos para a integração da luz natural e artificial, a preferência pelo uso de rotinas computacionais, e a busca por análises através da percepção visual. Desta maneira, fica reforçada a utilidade de um guia para estes projetistas.

### 4.3. Apresentação do guia para projetos luminotécnicos

Idealizado com uma ferramenta de referência e de uso prático na elaboração de projetos luminotécnicos, o guia proposto baseou-se nos trabalhos de outros autores (LAM, 1977, ROBBINS, 1986, MOORE, 1993, BELL; BURT, 1995, LANL, 2002) que apontaram séries de procedimentos para projetos de iluminação natural.

A forma de apresentação do guia foi inspirada em algumas considerações feitas sobre dois manuais práticos analisados: *Tips for Daylighting*<sup>76</sup> e *Daylighting Guide for Canadian Commercial Buildings*<sup>77</sup>. Após uma análise da estrutura gráfica e textual desses guias, foram selecionadas algumas características que pudessem ser adaptadas ao guia para projetos luminotécnicos proposto por este trabalho:

- Processo de projeto dividido em partes;

---

<sup>76</sup> Pesquisa fundada pelo *California Institute for Energy Efficiency* (CIEE), da Universidade da Califórnia. <<http://windows.lbl.gov/daylighting/designguide/designguide.html>> acesso em 21/01/2007.

<sup>77</sup> Trabalho preparado pelo *Enermodal Engineering Limited of Kitchener, Ontario* por interesse do *Public Works and Government Services Canada*. <<http://www.enermodal.com/Canadian/pdf/DaylightingGuideforCanadianBuildingsFinal6.pdf>> acesso em 21/01/2007.

- Conteúdo estruturado em etapas explicadas passo-a-passo;
- Conteúdo sucinto, conceitos básicos não abordados;
- Conteúdo específico para determinada realidade;
- Dicas e conselhos em forma de "rules-of-thumb" (regras gerais);
- Sugestão de ferramentas e recursos;
- Escala de tempo estimado para cada etapa.

O guia sugere a divisão do projeto luminotécnico em cinco fases de projeto de acordo com a seguinte ordem:

#### **4.3.1. Fases do projeto luminotécnico**

1. Fase de análise pré-projeto - a primeira fase do processo projetual é caracterizada pela fundamentação conceitual do projeto em função das condicionantes da arquitetura, do clima, do usuário, dos materiais, das tarefas e funcionamento da edificação, da disponibilidade técnica e financeira, do entorno, dentre outros aspectos. Nesta fase serão definidos os objetivos do projeto luminotécnico;
2. Fase de estudo preliminar - a segunda fase é quando o arquiteto lança a volumetria do projeto arquitetônico (no caso de arquitetura nova) e quando faz as primeiras análises da edificação em relação à incidência da luz natural direta;
3. Fase de anteprojeto - esta fase caracteriza-se pelo emprego de métodos e/ou programas de computador que produzem resultados sobre a quantificação da luz natural e artificial no âmbito do interior da edificação. Nesta fase o profissional poderá avaliar se a iluminação natural atende ou não aos objetivos propostos na fase de pré-projeto, podendo seguir a uma fase intermediária de revisão do projeto;
4. Fase de revisão de projeto - quando a iluminação natural não atender aos objetivos quantitativos de projeto, sugere-se a revisão das soluções propostas em etapas anteriores;

5. Fase de integração entre os sistemas de iluminação natural e artificial - a última fase recomendada aponta o emprego de métodos de integração dos sistemas natural e artificial até a escolha dos sistemas de controle da iluminação artificial. Em nossa visão é considerada uma fase importante quando se estabelecem as relações do uso da luz natural e o consumo da energia elétrica.

### **4.3.2. Procedimentos do projeto luminotécnico**

Um projeto luminotécnico pode ser desenvolvido juntamente com o projeto de arquitetura de uma edificação nova ou poderá ser aplicado a uma arquitetura pré-existente durante uma reforma ou *retrofit*. Instalações novas e *retrofits* definem diferentes abordagens. Numa instalação nova as escolhas relativas aos sistemas de iluminação natural e artificial podem ser baseadas em considerações econômica, ergonômicas e técnicas. Ao contrário, numa instalação pré-existente, as escolhas serão limitadas pelas restrições da edificação e pela disponibilidade de luz natural (IESNA, 2000).

Os procedimentos das fases de projeto aqui relacionadas são explicados a seguir.

#### **4.3.2.1. Levantamento de dados**

Em visita ao terreno, uma bússola será usada para garantir a precisão na orientação geográfica. Deve-se lembrar a declinação magnética entre o norte da bússola e o norte verdadeiro utilizado nas cartas solares.

Coletar dados de latitude, longitude e meridiano padrão (o mais próximo de 15º ou de algum de seus múltiplos) da localidade em questão. Esses dados servem para alimentar programas de simulação e para a escolha do correto diagrama da carta solar.

Dados de nebulosidade e também de insolação podem ser encontrados nas Normais Climatológicas quando houver ausência de dados medidos em estações EMIN - Estações de Medição da Iluminação Natural.

O mascaramento do entorno (máscara de sombra do entorno) é o procedimento utilizado para determinar a influência de edificações e outros obstáculos existentes no terreno e entorno sobre a disponibilidade da luz natural no ponto onde se deseja construir uma edificação ou a partir de aberturas de uma edificação existente que se pretende analisar. Descreve-se a seguir um roteiro de elaboração do mascaramento<sup>78</sup>:

1. Levantar por meio de desenhos, fotografias, plantas e cortes, as edificações, vegetação e outros elementos existentes no entorno imediato e visível do ponto onde se pretende implantar o projeto;
2. Marcar sobre a planta de situação do terreno o ponto de implantação do projeto e os elementos existentes em seu entorno imediato;
3. Transpor para a carta solar da latitude do lugar os ângulos verticais e horizontais referentes aos elementos existentes;
4. Identificar e registrar a amplitude e direção da paisagem esteticamente significativa, que se pretende preservar como vistas para o exterior do projeto a ser construído.

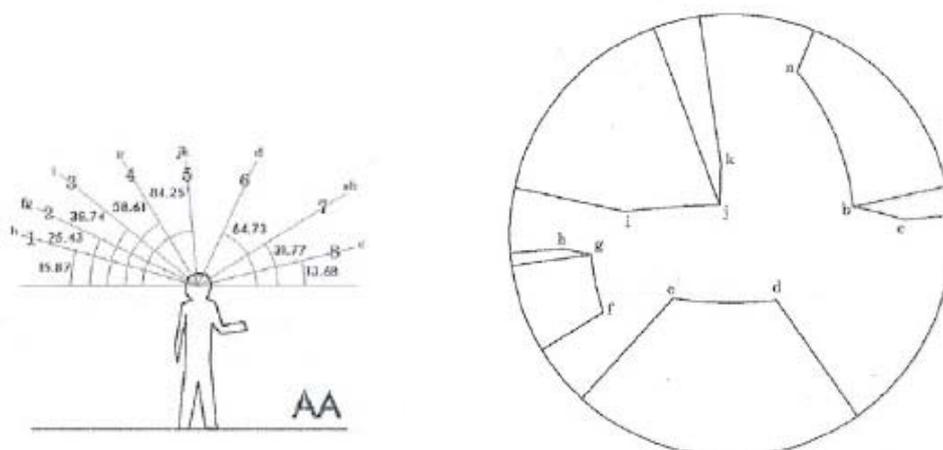


Figura 4.1 - Máscara de sombra do entorno a partir da visão de um observador. (fonte: apostila prof. Paulo Marcos Paiva de Oliveira adaptada pela prof.<sup>a</sup> Rosana Stockler C. Clímaco).

<sup>78</sup> Roteiro adaptado de apostila de aula preparada pelo prof. Paulo Marcos Paiva de Oliveira (UnB) e adaptado pela prof.<sup>a</sup> Rosana Stockler C. Clímaco (UnB).

A máscara de sombra do entorno configura as partes obstruída e visível da abóbada celeste e poderá ser utilizada para analisar a contribuição da iluminação natural através do método da CIN descrito anteriormente.

O programa DLN pode ser considerado como um banco de dados. Ele fornece dados preditivos de disponibilidade da luz natural que serão utilizados como dados de entrada nas análises do comportamento da iluminação natural realizadas posteriormente em programas de simulação do ambiente construído. Através do DLN pode-se chegar ao Dia Luminoso Típico (DLT) para determinada localidade e para cada mês do ano. Assim obtêm-se uma análise mais detalhada da disponibilidade de luz natural ao longo do ano inteiro (SCARAZZATO, 2004).

#### **4.3.2.2. Definição dos objetivos de projeto**

Um projeto de iluminação que visa à integração entre os sistemas de iluminação natural e artificial terá como objetivo primordial o uso prioritário da luz natural com o objetivo de reduzir o consumo de energia pela iluminação elétrica. O sistema de iluminação natural deve ser planejado para atender às necessidades dos usuários na maior parte do tempo de uso do edifício, enquanto o sistema de iluminação artificial será projetado para suplementar a iluminação natural em primeiro lugar, e secundariamente para substituí-la.

Projetos específicos podem ter como objetivo a não uniformidade de iluminâncias, contrastes acentuados de luminâncias ou mesmo a não utilização da luz natural, a exemplo de ambientes para a exposição de objetos artísticos ou históricos. A intenção do projetista deve ser definida nesta etapa como objetivo de projeto.

A partir desse ideal, o arquiteto luminotécnico precisará de alguns parâmetros que utilizará como referência para o desenvolvimento do projeto. Tais parâmetros, que podem ser entendidos como objetivos secundários, referem-se a aspectos quantitativos e qualitativos de iluminação.

Quantidade e qualidade são aspectos complementares no projeto de iluminação, que deve ser entendido como um acordo entre eficiência visual,

conforto visual e satisfação estética (HOPKINSON; PETHERBRIDGE; LONGMORE, 1975).

Dentre os aspectos quantitativos devem ser observados os níveis adequados de iluminância, contrastes de luminâncias, e uniformidade de iluminâncias (IEA, 2000). Para a definição de valores de iluminância a serem atingidos em projeto a ABNT (1992, p. 1) disponibiliza a NBR 5413 - Iluminância de interiores, que "estabelece os valores de iluminâncias médias mínimas em serviço para iluminação artificial" para diversos tipos de estabelecimentos, considerando iluminação natural e/ou artificial. Os outros dois parâmetros, contrastes de luminâncias, e uniformidade de iluminâncias são descritos no item 2.1.3. Análise do desempenho da iluminação.

Além destes aspectos qualitativos da iluminação, já citados anteriormente, devem ser considerados: ausência de ofuscamento, direcionalidade da luz para modelagem de objetos, tonalidade aparente da luz, reprodução de cores, vistas para o exterior e aparência interna dos ambientes são aspectos qualitativos da iluminação que também se encontram descritos no item 2.1.3. Análise do desempenho da iluminação.

Outros aspectos qualitativos também poderão ser observados pelo arquiteto nesta etapa. A avaliação da aparência interna dos ambientes pode ser feita ainda em projeto através de programas de simulação. A maioria destes programas é capaz de gerar imagens fotorrealísticas que poderão ser usadas na comparação entre diferentes soluções de projeto.

#### **4.3.2.3. Estudo de tipologia da arquitetura**

Esta etapa só deverá ser cumprida no caso de projetos arquitetônicos novos. É a última etapa da fase de pré-projeto no guia de projeto luminotécnico e, portanto, ainda é considerada uma etapa de fundamentação, anterior ao lançamento das primeiras soluções de projeto. São indicados para esta etapa dois métodos tipológicos: o Diagrama Morfológico (AMORIM, 2007, p. 57) que sintetiza os

"...parâmetros fundamentais para projeto arquitetônico relacionados à luz natural..." contribuindo na "...formação e desenvolvimento do senso crítico dos projetistas e na construção de repertório arquitetônico de referência...", e a consulta a modelos arquitetônicos precedentes (LAM, 1977, BAKER; FANCHIOTTI; STEEMERS, 1993).

#### **4.3.2.4. Implantação da edificação no terreno**

Mais uma vez esta etapa é de uso exclusivo em projetos arquitetônicos novos. Pertence à fase de estudo preliminar, quando serão lançadas as primeiras soluções de projeto. Para a implantação da edificação no terreno, recomenda-se o uso da Carta Solar (ou diagrama solar) (BITTENCOURT, 2004), seguido pela Máscara de Sombra (BITTENCOURT, 2004), e a confecção de modelos em escala reduzida (BAKER; FANCHIOTTI; STEEMERS, 1993, MOORE, 1993, BELL; BURT, 1995). Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975) recomendam o uso do relógio de sol de Pleijel como equipamento complementar para se obter maior confiabilidade na orientação da maquete em relação ao sol.

O programa de simulação ECOTECH também poderá ser uma ferramenta útil nesta fase, pois oferece como dados de saída diferentes análises do percurso solar interna e externamente.

#### **4.3.2.5. Pré-lançamento das aberturas**

Ainda relacionada a novo projeto arquitetônico, nesta etapa pretende-se apenas definir a forma e o posicionamento das aberturas laterais ou zenitais no ambiente. Quanto às aberturas laterais, um ambiente pode ter uma única janela ou duas janelas opostas ou dispostas em paredes adjacentes. As janelas podem estar centralizadas ou podem ocupar toda a extensão da parede externa, podem ser altas ou baixas. Da mesma forma as aberturas zenitais poderão estar dispostas de diferentes maneiras em relação ao plano de trabalho (Ver item 2.1.1. Sistemas para iluminação natural).

Os códigos de obras e edificações vigentes em todo o território nacional estabelecem parâmetros relacionados à área das aberturas externas para a admissão de luz e ventilação natural. Diferentes em cada estado, os códigos devem refletir as necessidades específicas do clima de cada região. Mas apesar de sua autoridade legislativa, os parâmetros estabelecidos por esses códigos devem ser analisados criteriosamente pela equipe de projeto. Buson (1998) questionou e comprovou a inadequação dos valores estabelecidos como área mínima de aberturas externas em projetos residenciais pelo CEDF - Código de Edificações do Distrito Federal, por não atenderem às recomendações da ABNT.

Uma expressão matemática do CIBSE formula a relação entre profundidade do ambiente e largura da janela (BELL; BURT, 1995):

$$\frac{P}{L} + \frac{P}{H_J} < \frac{2}{(1 - R_M)} \quad (\text{E.29})$$

onde: P - profundidade do ambiente;

L - largura da janela;

H<sub>J</sub> - altura da verga da janela;

R<sub>M</sub> - refletância média do fundo do ambiente.

Esta etapa está relacionada às estratégias de admissão da luz natural no interior de um ambiente. O Diagrama Morfológico será mais uma vez útil para a compreensão das implicações de tais decisões para a distribuição da luz natural no interior do ambiente.

#### **4.3.2.6. Análise e controle da luz natural direta**

Esta etapa deve ser observada tanto para nova arquitetura ou arquitetura existente. É a primeira análise da luz natural no interior do ambiente. Modelos em escala reduzidas são eficientes, mas tudo dependerá da escala utilizada para que a maquete não fique muito pequena, e dos instrumentos auxiliares para a visualização dos efeitos da luz pelo observador.

O programa ECOTECT com o qual se pode fazer um estudo bastante minucioso do comportamento da luz solar direta interna e externamente também

pode ser usado em mais esta etapa do processo de projeto luminotécnico. Com ele se produz imagens do percurso solar sobre a fachada e no interior dos ambientes e análises com máscaras de sombra.

A Carta Solar pode ser usada novamente com o objetivo de avaliar a geometria da insolação em função das aberturas lançadas ou existentes, sejam elas laterais ou zenitais.

Após a análise da distribuição da luz natural proporcionada pelas aberturas, poderá se detectar a necessidade da implementação de elementos de controle e/ou distribuição da luz natural direta. A Máscara de Sombra representa de forma gráfica os obstáculos que impedem a visão da abóbada celeste por um observador localizado em um ponto qualquer interno ou externo às edificações. Quando superposta à Carta Solar, a Máscara de Sombra do ambiente projetado mostrará as partes visíveis da abóbada celeste a partir do ponto de referência. Da mesma forma, pode-se utilizá-la para orientar no projeto de protetores solares a fim de bloquear a luz natural direta em datas e horários indesejáveis (BITTENCOURT, 2004).

Para a situação oposta, quando se desejar redirecionar a luz natural direta no ambiente, poderá ser utilizado o modelo conceitual *Source-path-target* idealizado por Moore (1993). De fácil assimilação e rápida aplicação, o modelo conceitual permite visualizar os efeitos dos fatores relacionados à distribuição da luz solar direta, mas só deve ser utilizado quando a fonte for pontual (luz solar direta) e os elementos de controle forem especulares (Ver item 2.2.6.2. *Source-path-target*).

#### **4.3.2.7. Estimativa da iluminação natural**

No início da fase de anteprojeto, esta etapa prevê o uso de métodos de cálculo, como são os métodos da Contribuição de Iluminação Natural, CIN (Ver item 2.2.2.3. Método do Fator de Luz Natural e a Contribuição de Iluminação Natural) e o Método dos Lumens (Ver item 2.2.2.4. Método dos Lumens para iluminação natural), programas de simulação computacional para a estimativa da iluminação natural interna (Ver item 2.2.4. Programas computacionais) e simulação

experimental com modelos em escala reduzida (Ver item 2.2.6.1. Modelos em escala reduzida).

A análise do desempenho da iluminação natural implica em uma verificação dos níveis de iluminância em alguns pontos de referência internos a fim de se obter uma medida representativa do ambiente como um todo. Atualmente há condições de se proceder a uma investigação da disponibilidade da luz natural para todos os meses do ano (Ver item 2.1.5. Disponibilidade de luz natural).

#### **4.3.2.8. Revisão do projeto**

Após a análise das iluminâncias internas obtidas por meio dos métodos mistos ou das simulações na etapa precedente, deve-se fazer uma breve avaliação do cumprimento ou não dos objetivos estabelecidos para o projeto luminotécnico. Os resultados de iluminâncias internas devem ser confrontados com a iluminância de projeto.

A iluminação natural deve ser trabalhada de modo a atender aos níveis de iluminância adequados para cada tarefa, durante o maior tempo possível, dentro da jornada de uso do ambiente. Mas o resultado almejado deve servir também a propósitos de controle de ofuscamentos, contrastes de luminâncias, distribuição de iluminâncias, visão para o exterior, dentre outros aspectos relacionados nos itens 2.1.3. Análise do desempenho da iluminação e 2.2.7. Eficiência energética e o programa brasileiro de Etiquetagem de Edificações.

Todos estes atributos que compõem os objetivos do projeto luminotécnico ganharão maior ou menor destaque de acordo com uma avaliação subjetiva da equipe de projeto. É bastante provável que alguns desses aspectos sejam priorizados em detrimento de outros. Sendo assim, é possível dizer que a quantidade de luz natural alcançada e verificada através dos métodos sugeridos nesta etapa, é uma variante e que deverá ser julgada em função das condicionantes de projeto.

Devemos aceitar primeiramente o fato de que nem sempre a luz natural será capaz de atender à necessidade de iluminação de um ambiente sem a complementação do sistema de iluminação artificial, mesmo durante o período em

que há disponibilidade de luz natural. Partindo deste pressuposto, se os resultados dos cálculos e das simulações da iluminação natural confirmarem valores aceitáveis ou próximos àqueles buscados, segue-se para a etapa seguinte "Iluminação artificial I" quando será definido o sistema de iluminação artificial.

Ao contrário, se os resultados forem interpretados como insatisfatórios, seja por insuficiência ou excesso de iluminância, poderão ser tomadas medidas corretivas para que os níveis de iluminância se aproximem daqueles determinados como iluminância de projeto. Tais ajustes poderão ocorrer, segundo sugestão deste guia, de duas maneiras: (1) redimensionamento das aberturas e/ou troca do material escolhido para as áreas envidraçadas, e (2) mudança da estratégia de controle da luz natural direta ou redistribuição da luz para garantir maior uniformidade da iluminação natural no interior do ambiente.

O guia distingue dentre as alternativas aquela que envolverá maior e menor prazo de execução. Se a escolha for feita no sentido de tentar primeiro redimensionar, criar ou fechar aberturas, e/ou trocar o material escolhido para as áreas envidraçadas, o arquiteto deverá retornar à segunda etapa do estudo preliminar "Pré-lançamento de aberturas" e seguir novamente o percurso indicado no guia. Esta alternativa demandará maior tempo de execução do que a segunda.

Se, no entanto, o arquiteto optar pela outra alternativa da mudança da estratégia de controle da luz natural direta ou redistribuição da luz, deve-se retornar à etapa "Análise e controle da luz natural direta" e seguir em frente pelo percurso proposto. Das duas alternativas esta será a única a ser tomada no caso de projeto de *retrofit* onde não houver a possibilidade de abrir ou fechar aberturas existentes.

Uma terceira alternativa é dada ao arquiteto, quando não houver tempo para o cumprimento das sugestões anteriores, e desde que não tenha sido detectado excesso de iluminância no ambiente. Neste caso a equipe de projeto poderá optar por não aprimorar o desempenho da iluminação natural resolvendo o problema com o projeto de iluminação artificial.

#### **4.3.2.9. Iluminação artificial I**

Ao longo das horas do dia em que há disponibilidade de luz natural, cabe à iluminação artificial poder complementar o sistema de iluminação natural, se houver necessidade. Ao mesmo tempo, o sistema de iluminação artificial será o único responsável pela iluminação dos ambientes durante o uso noturno. Nesta etapa é escolhido o conjunto ótico (luminárias e lâmpadas) de acordo com algumas premissas de projeto. A escolha da luminária deve se basear em informações técnicas sobre seu desempenho (Ver item 2.2.3.1. Desempenho de luminárias).

#### **4.3.2.10. Iluminação artificial II**

Após a escolha da luminária a ser utilizada é preciso saber se o equipamento pode ser considerado uma fonte luminosa pontual dentro daquele ambiente onde será instalado. No caso do emprego de métodos matemáticos para a estimativa da iluminação artificial, a escolha do método correto implica diretamente na precisão dos resultados alcançados. Isto porque o Método Pontual só deve ser aplicado para o cálculo de iluminâncias pontuais a partir de uma fonte pontual. Fora desse parâmetro ele deve ser usado com cautela (IESNA, 2000).

Deve-se observar, portanto, a regra conhecida como *five-times-rule* que estipula um índice de erro para o emprego do Método Pontual em função da razão distância da fonte ao ponto/ comprimento da luminária (Ver item 2.2.3.3. Método Pontual).

#### **4.3.2.11. Estimativa da luz artificial para fontes pontuais**

Quando a luminária escolhida puder ser considerada uma fonte pontual então poderá ser calculada a iluminância em qualquer ponto do ambiente considerando-se a influência de uma ou mais luminárias próximas. Para uma distribuição uniforme, o Método dos Lumens também poderá ser aplicado para o cálculo da iluminância média ou do número de luminárias necessárias para se

atingir a iluminância de projeto (Ver item 2.2.3. Métodos para projeto de sistemas de luz artificial).

#### **4.3.2.12. Estimativa da luz artificial para fontes não pontuais**

Conforme apresentado anteriormente, o emprego do Método Pontual para instalação com luminárias não pontuais deve ser feito com cautela por causar uma imprecisão nos resultados. Nestes casos, sugerimos o uso do Método dos Lumens para a estimativa de iluminâncias médias por meio de métodos de cálculo manuais (Ver item 2.2.3.2. Método dos Lumens para iluminação artificial).

#### **4.3.2.13. Integração iluminação natural e artificial**

Antes do início da primeira etapa da fase de integração da iluminação natural e artificial, propomos um questionamento ao projetista sobre a relevância da eficiência energética para cada projeto luminotécnico em particular. Em projetos de grande porte para uso de escritórios a economia de energia terá maior importância do que, talvez, uma residência. Outros critérios, a exemplo do prazo para execução do projeto e custo da hora profissional poderão determinar a escolha de um processo mais rápido para a finalização do projeto.

Os métodos sugeridos nesta etapa auxiliam na decisão sobre o sistema de controle da iluminação artificial a ser adotado. Sistemas de controle da iluminação artificial em resposta à iluminação natural são adequados para maior eficiência do sistema de iluminação e, portanto, proporcionam maior economia de energia.

Os dois métodos sugeridos no guia diferenciam-se pelos tipos de resultados apresentados. O Método IASPI, mais simples e rápido, oferece uma noção geral da distribuição de iluminâncias em ambientes iluminados lateralmente. Sem apresentar valores, ele faz um pré-julgamento da área onde a iluminação natural será capaz de fornecer boa parte dos níveis de iluminância necessários para edifícios não residenciais (MOORE, 1993).

Mais completo e preciso, o método de cálculo do PALN é usado para definir as estratégias de controle do sistema de iluminação artificial integrado à iluminação natural e também pode estimar a quantidade de energia economizada pelo sistema de controle avaliado (AMORIM, 2000). A comparação entre os PALNs de possíveis sistemas de controle da iluminação artificial avaliados já é suficiente para a escolha da alternativa mais econômica.

#### **4.3.2.14. Distribuição das luminárias**

A distribuição das luminárias em conjuntos com acionamento simultâneo faz parte das estratégias de controle da iluminação artificial. Visando uma maior eficiência energética, cada conjunto de luminárias deverá ser acionado de maneira independente dos demais. Isso contribui para que parte das luminárias possa ser apagada em função da disponibilidade de luz natural. Cada conjunto de luminárias deve representar uma zona luminosa. Cada zona terá sua própria estratégia e comando de acionamento. Exemplo: uma zona luminosa adjacente às aberturas recebe maior quantidade de luz natural que as demais. O conjunto de luminárias desta zona será comandado por um sistema automático dimerizado acionado por um fotossensor. As demais luminárias do ambiente serão comandadas por controle manual liga/desliga acionado pelos usuários.

Pode-se planejar ainda uma estratégia para a distribuição das luminárias em comandos diferentes para cada tipo de iluminação: ambiente, tarefa, destaque e emergência. Exemplo: iluminação ambiente controlada por um sistema automático dimerizado acionado por um fotossensor. Iluminação de tarefa local comandada por controle manual liga/desliga acionado pelo usuário.

Para proceder à distribuição das luminárias é importante o entendimento do conceito das zonas luminosas, bem como das estratégias e sistemas de controle da iluminação artificial, tipos de iluminação, contrastes de luminâncias, uniformidade e outros aspectos relativos ao conforto visual (Ver itens 2.1. Projeto luminotécnico integrado: iluminação natural e artificial, e 2.2.5. Métodos para integração da luz natural e artificial).

#### **4.3.2.15. Escolha do sistema de controle da iluminação artificial**

A última etapa sugerida pelo guia é conseqüente à etapa anterior de distribuição das luminárias em comandos de acionamento e controle. O sistema escolhido deve obedecer aos objetivos traçados para o projeto. Esta é a etapa mais importante para um projeto luminotécnico integrado quando será determinada a forma como o sistema de iluminação artificial irá interagir com a luz natural. A economia de energia resultante do uso da iluminação natural em um ambiente depende diretamente do sistema de controle da iluminação artificial (Ver item 2.1.8. Sistemas de controle da iluminação artificial em resposta à luz natural).

#### **4.3.3. Considerações sobre o uso do guia**

O guia para projetos luminotécnicos apresenta um caminho a ser percorrido do início ao fim do projeto luminotécnico. Inspirado em rotinas para projetos luminotécnicos propostas por outros autores este guia baseou-se numa coletânea de informações diversas sobre o projeto de iluminação. E como tema central deste trabalho, o percurso traçado pelo guia pretende conduzir a uma solução projetual de integração dos sistemas de iluminação natural e artificial sugerindo ao longo do caminho alguns métodos adequados para cada tarefa envolvida.

Mas o processo projetual é subjetivo e depende de conhecimentos acumulados ao longo da vida profissional de cada arquiteto. Através da prática profissional cada um desenvolve sua própria metodologia de trabalho. Cada projeto determina circunstâncias específicas (prazos, exigências legais, exigências do cliente, custos), variáveis que refletirão diretamente na rotina de trabalho.

A flexibilidade do guia está na escolha dos métodos. Os métodos aqui sugeridos são adequados às tarefas e etapas às quais estão relacionadas no guia. Mas outros métodos e abordagens da iluminação surgirão, e na arquitetura, assim como em qualquer outra atividade científica e profissional, o arquiteto deve estar sempre atualizado adequando sua atividade a uma nova realidade.

A utilização de programas de simulação é sugerida no guia a partir da fase de anteprojeto, mas alguns programas, a exemplo do ECOTECT, que produzem simulações do percurso solar, poderão ser aplicados desde a implantação da edificação no terreno.

A seguir apresentamos o guia para projetos luminotécnicos proposto neste trabalho.



## 5. Conclusões

Este capítulo apresenta as principais conclusões obtidas através desta pesquisa, as recomendações e limitações ao guia para projetos luminotécnicos proposto e sugestões para pesquisas futuras a partir desta.

Para atingir o objetivo primordial desta pesquisa — reunir e organizar de forma sistematizada o referencial teórico sobre projeto luminotécnico, com especial atenção aos métodos para a análise da iluminação, na forma de um guia para o desenvolvimento de projetos integrando luz natural e artificial — alguns procedimentos metodológicos foram cumpridos para atender aos seguintes objetivos específicos:

- Levantamento e seleção dos métodos existentes para predição e análise da iluminação natural e artificial, dos métodos para a integração entre iluminação natural e artificial, e dos programas computacionais, adequados às condições climatológicas brasileiras;
- Analisar o conceito de projeto integrado de iluminação natural e artificial;
- Identificar possíveis lacunas na formação técnica do arquiteto luminotécnico;
- Identificar o comprometimento com o uso da iluminação natural e sua integração à iluminação artificial através da investigação dos métodos utilizados pelos escritórios de projeto luminotécnico.

Os resultados obtidos nestas etapas levaram a algumas considerações fundamentais que são apresentadas a seguir.

### 5.1. Sobre a formação profissional de arquitetos

#### luminotécnicos

Com a investigação das disciplinas ministradas em oito cursos de especialização em iluminação, observou-se que a iluminação artificial é o foco do conteúdo programático destes cursos. Apenas metade deles aborda o tema

iluminação natural. Disciplinas relativas a conforto ambiental, sustentabilidade, eficiência energética, e controle da luz natural não são comuns nas grades curriculares destes cursos, apesar de já o serem na graduação em arquitetura. Julgamos imprescindível que cursos de pós-graduação ofereçam um entendimento da iluminação de forma integral e orientada à integração da luz natural e artificial para a formação de profissionais cada vez mais capacitados e comprometidos com as questões ambientais. Deve ser de responsabilidade dos coordenadores dos cursos a definição de uma grade curricular que contemple os temas relacionados anteriormente.

## **5.2. Sobre a atuação do arquiteto luminotécnico**

Cerca de 70% dos arquitetos entrevistados desenvolve apenas projetos de iluminação artificial. Na opinião de Souza (2004) isto se deve ao fato de a tecnologia em iluminação natural ser assunto ainda recente no ensino de arquitetura no Brasil. Outra possível razão talvez seja o fato de que os arquitetos luminotécnicos são chamados tardiamente ao processo de projeto, quando a maior parte das decisões que influenciam na admissão da luz natural no interior dos ambientes já foi tomada. Este fato foi relatado por alguns dos arquitetos durante as entrevistas quando justificavam suas atuações restritas aos projetos de iluminação artificial. Ambos os fatores podem explicar, em parte, a situação.

Uma grande parcela dos arquitetos entrevistados relatou sugerir aos seus clientes a instalação de sistemas de controle automático da iluminação artificial com uso de sensores, mas revelam que a maioria deles não está disposta a arcar com o custo ainda alto destes sistemas.

Sobre as ferramentas utilizadas observou-se uma grande preferência pelo uso de programas computacionais em suas rotinas de projeto. O Lumen Micro é o programa utilizado por mais de 70% dos escritórios entrevistados. O programa possui como principais atrativos as interfaces Windows e CAD bastante familiar para arquitetos e uma biblioteca com mais de 20000 modelos de luminárias de 70 fabricantes. Em contrapartida, seu modelador 3D não permite a construção de

modelos de geometria complexa e o programa não gera imagens fotorrealísticas. Os modelos devem ser exportados para o programa Lightscape 3.2 que por sua vez não possui modelador interno, mas produz imagens fotorrealísticas de grande qualidade. Infelizmente o Lightscape 3.2 foi descontinuado em 2003; alguns de seus recursos foram incorporados pelo programa Autodesk VIZ da Autodesk.

Talvez pelo fato de não participarem das etapas iniciais do projeto arquitetônico, poucos dos arquitetos entrevistados fizeram menção ao uso das cartas solares, um dos métodos mais disseminados e mais fáceis para a avaliação da insolação na edificação. Utilizada em conjunto com a máscara de sombra, as ferramentas auxiliam quanto ao melhor posicionamento e tamanho das aberturas, e no projeto de elementos de controle da incidência direta do sol.

As entrevistas revelaram ainda um traço comum entre os arquitetos na busca por análises através da percepção visual. Imagina-se então uma boa aceitação para instrumentos que atuam através da visualização de imagens de simulações gráficas das soluções propostas ou de fotos de modelos precedentes. Ferramentas auxiliares para uma análise cognitiva destas imagens têm seu espaço no processo de projeto luminotécnico. Neste sentido, o Diagrama Morfológico adaptado por Amorim (2007) pode ser explorado e complementado para a atribuição de juízo de valor às soluções analisadas através das imagens.

A pesquisa também fez uma constatação importante a respeito da falta de credibilidade da norma brasileira por parte dos arquitetos. Cerca de 80% dos entrevistados se valem das recomendações da IESNA que atingiu o maior índice de respostas. Em segundo lugar está a NBR 5413 da ABNT. Muitos destes arquitetos foram categóricos ao afirmar suas preferências pelo padrão americano sob a justificativa de que a norma brasileira foi uma adaptação da outra.

### **5.3. Sobre o projeto luminotécnico integrado**

Eficiência energética e qualidade ambiental são os principais benefícios alcançados através da integração dos sistemas de iluminação natural e artificial. O planejamento de um projeto luminotécnico integrado tem início na definição

conceitual que tende a reforçar os conceitos da arquitetura do edifício. Devem-se observar as questões referentes ao desempenho e conforto visual, às características das tarefas visuais, dos usuários, ao horário de funcionamento do edifício, à eficiência energética, dentre outros.

O conhecimento a respeito da disponibilidade de luz natural será fundamental para a definição das zonas luminosas no interior do ambientes. As zonas luminosas devem considerar padrões de comportamento da iluminação natural ao longo do ano ao invés da similaridade de iluminâncias.

Visando à maior eficiência energética do sistema de iluminação artificial, seu sistema de controle deve ser automático em função da disponibilidade da luz natural no ambiente. Sistemas de controle da iluminação artificial em resposta à luz natural devem manter a iluminância de projeto durante todo o tempo e em toda a área de trabalho sem causar transtornos ao usuário, sendo preferencialmente imperceptíveis a ele.

A partir da análise dos padrões de comportamento da luz natural nas zonas luminosas serão traçadas as estratégias de controle do sistema de iluminação. Cada zona demandará uma estratégia específica a partir da qual será planejado o sistema de controle mais adequado. O método do Percentual de Aproveitamento da Luz Natural - PALN é bastante adequado para uma análise comparativa entre diferentes estratégias de controle para se definir qual delas é mais eficiente do ponto de vista da economia de energia, mas o método não considera o impacto da carga térmica gerada pelo sistema de iluminação.

Outros aspectos assim como a adaptação dos usuários ao sistema de controle da iluminação artificial, facilidade de manutenção e a relação custo-benefício também devem ser considerados nesta análise.

Uma boa estratégia é controlar a iluminação geral através do sistema automático e disponibilizar controles manuais individualizados para o acionamento das luminárias de tarefa ao alcance de usuários. Esta tática proporcionará mais conforto ao usuário aumentando sua aceitação e responsabilidade com o sistema de controle. Isto evitará a "sabotagem" do sistema refletindo em maior eficiência energética.

A luz natural e as fontes de luz artificial geram um aumento da carga térmica no ambiente que deve ser considerado nas estratégias de projeto. O ganho térmico

provocado por um sistema de iluminação natural bem planejado pode ser menor do que o ganho causado por um sistema de iluminação artificial mesmo considerado eficiente. Esta questão está diretamente relacionada ao conforto térmico dos usuários e à redução do consumo de energia por parte de equipamentos de condicionamento de ar. Quanto menor o aquecimento gerado pelo sistema de iluminação, maior a eficiência energética da edificação como um todo.

Para a correta avaliação do consumo energético deve-se proceder a uma simulação integrada da carga térmica gerada pelos sistemas de iluminação (natural e artificial) e a energia consumida pela iluminação artificial. Alguns programas de simulação do desempenho energético consideram além desses dois fatores as características físicas dos componentes e materiais da edificação, o consumo e desempenho dos sistemas de condicionamento do ar, dentre outros aspectos.

## **5.4. Sobre projetos luminotécnicos integrados**

A primeira consideração a ser feita, diz respeito à dificuldade de encontrar projetos luminotécnicos integrados brasileiros publicados. Identificamos, pois, uma baixa produção de projetos luminotécnicos integrados no país<sup>80</sup>, o que sugere que há um vasto campo de oportunidades de trabalho para arquitetos luminotécnicos e um longo caminho a percorrer em direção à eficiência energética de nossas edificações comerciais.

Através da análise dos projetos luminotécnicos expostos, identifica-se alguns dos aspectos mais importantes para o sucesso da estratégia de integração dos sistemas de iluminação natural e artificial, desde as decisões iniciais de projeto, consideradas as mais influentes, até a definição de equipamentos do sistema de controle da iluminação artificial.

Ainda na fase de estudo preliminar, o planejamento da volumetria deve propiciar o maior aproveitamento possível da luz natural. A orientação solar

---

<sup>80</sup> A busca foi feita através da Internet, em um site específico de arquitetura, o Arcoweb (disponível em <<http://www.arcoweb.com.br>>. Acesso em abr. e nov. de 2007) e num site de buscas, o Google Brasil (disponível em <<http://www.google.com.br>>. Acesso em abr. e nov. de 2007).

adequada deve considerar os efeitos da luz natural direta e difusa sobre a edificação.

Para o maior aproveitamento da iluminação natural pode-se dispor de elementos de captação da luz natural para o interior da edificação tais como átrios e jardins internos. A escolha das cores das superfícies internas aos ambientes também influenciam na reflexão e conseqüente distribuição da luz internamente.

As aberturas externas para a entrada da luz natural também devem atender à necessidade de comunicação com o entorno através das vistas para o exterior. Nestas aberturas devem-se prever elementos de proteção contra a incidência solar direta quando se tratar de fachadas com orientação desfavorável. Alguns destes elementos também poderão funcionar redirecionando a luz natural para o fundo das salas. O uso de películas e vidros diferenciados pode contribuir para tornar a luz natural incidente mais difusa no interior do ambiente.

Sistemas de controle automáticos são recomendados quando se deseja obter máxima eficiência energética na integração entre sistemas de iluminação artificial em resposta à luz natural. Neste caso, os níveis de iluminância adequados para a iluminação ambiente serão mantidos automaticamente através do acionamento, dimerização ou desligamento do sistema de iluminação artificial em função da disponibilidade da luz natural. Para isso as luminárias deverão ser posicionadas relativamente às zonas luminosas.

Uma boa estratégia para a integração também pode ser a utilização da luz natural para a iluminação ambiente e de luminárias para a iluminação de tarefas específicas. Os controles destas luminárias e de elementos de controle da luz natural direta devem estar ao alcance dos usuários para que sejam usados convenientemente. Temporizadores, fotossensores e outros equipamentos auxiliares podem ser utilizados para dar maior flexibilidade e praticidade ao sistema de controle da iluminação artificial.

## 5.5. Sobre as ferramentas de projeto

Para o desenvolvimento de um projeto luminotécnico integrando luz natural e artificial é fundamental o conhecimento prévio da disponibilidade e comportamento da luz natural no interior do edifício. De acordo com uma nova abordagem das métricas dinâmicas do desempenho da iluminação natural esta análise pode ser feita através de programas de simulação da iluminação baseados no Radiance que calculam séries de iluminâncias e luminâncias no interior do edifício para o período de um ano. Deverão ser analisadas as três condições típicas de céu: claro, parcialmente encoberto e encoberto.

Métodos ditos manuais (com uso de gráficos ou aplicação de fórmulas matemáticas) são úteis para análises prévias em ambientes de formas ortogonais simples. Especialmente os métodos para a estimativa da iluminação artificial são mais simples e mais rápidos do que os métodos indicados para iluminação natural. Podem poupar tempo na escolha do tipo de luminárias através da comparação de fotometrias e valores dos fatores de utilização. Entretanto o entendimento das relações de causa e efeito entre as variáveis que compõem tanto os métodos para iluminação natural como artificial torna-se uma vantagem para a compreensão do comportamento da luz no espaço e do *modus operandi* de programas computacionais que serão aplicados ao projeto luminotécnico.

Em relação aos métodos de cálculo para a predição de iluminâncias internas, considerou-se inadequado o uso do método do *Daylight Factor*, DF ou Fator de Luz Natural, FLN para as condições climáticas brasileiras, uma vez que o DF foi desenvolvido para modelos de céus com distribuição de luminâncias constante em relação ao zênite (céus uniformes e encobertos). Para céus claros deve-se aplicar o método adotado pela ABNT da Contribuição de Iluminação Natural, CIN que utiliza o conceito do fator de forma para calcular as três componentes (do céu, refletida interna e refletida externa) através do cômputo das luminâncias da abóbada celeste. Com o uso dos Diagramas de Contribuição Relativa, DCRL desenvolvidos para céus claros e encoberto, a CIN é mais condizente com a realidade brasileira.

Ferramentas computacionais para análise da iluminação natural efetuam cálculos simultâneos para diversos pontos de um ambiente. Na maioria dos casos

esses programas fornecem malhas com valores de iluminâncias e luminâncias com tratamento de cores ou em escala de cinza facilitando a percepção de mudança nos níveis de iluminação. Além disso, produzem outros dados de saída assim como análises de custo, curvas isolux, animação de imagens tridimensionais e as imagens fotorrealísticas que são fundamentais para uma análise qualitativa do ambiente.

Os programas consomem maior tempo de trabalho, em geral, no início do processo quando ocorre a modelagem do ambiente, mas este tempo gasto inicialmente é compensado pela diversidade de análises de que são capazes de desempenhar e ao final do trabalho garantem maior agilidade porque operam inúmeros cálculos de grande complexidade ao mesmo tempo.

Estudos existentes sobre o uso de programas de simulação aplicados à análise do conforto luminoso, em geral, fazem avaliações sobre o desempenho de determinados programas apontando vantagens e limitações de cada ferramenta analisada. A escolha do programa para a rotina de trabalho dos escritórios deve ser feita com base na melhor relação entre as vantagens e limitações do programa, os objetivos do projeto, análises e resultados que se deseja obter.

O uso de modelos em escala reduzida é mais indicado para o estudo da incidência da luz solar direta sobre as fachadas e internamente. A avaliação é feita visualmente e a escala utilizada na representação da edificação terá influência direta sobre a visualização. O tamanho da maquete não influenciará na distribuição da luz, uma vez que os comprimentos de ondas da radiação visível são tão curtos comparados ao tamanho das maquetes que o comportamento da luz será praticamente o mesmo que na situação real. Mas modelos de proporções muito reduzidas talvez necessitem do uso de aparelhos visuais auxiliares para uma apreciação subjetiva da iluminação.

Para estudos com modelos em escala reduzida deve-se considerar que o uso de céus artificial pressupõe que o equipamento seja calibrado anteriormente para maior precisão dos resultados. Quando avaliados ao ar livre sob condições reais de iluminação natural devem ser utilizados equipamentos complementares para a correta orientação geográfica da maquete, assim como o relógio de sol de Pleijel sugerido por Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975).

## 5.6. Recomendações e limitações para uso do guia

A rotina projetual apresentada pelo guia para projetos luminotécnicos parte de parâmetros quantitativos e qualitativos que definirão o bom desempenho do projeto. Aspectos quantitativos tais como iluminância adequada de projeto, contrastes de luminâncias e uniformidade de iluminâncias devem ser buscados tomando-se como referência os valores apresentados no item 2.1.3. Análise do desempenho da iluminação.

O processo projetual é subjetivo e influenciado por experiências profissionais precedentes e circunstâncias específicas de cada projeto (prazos, exigências legais, exigências do cliente, custos). A flexibilidade do guia está na escolha dos métodos. Os métodos aqui sugeridos são adequados às tarefas e etapas às quais estão relacionadas no guia, mas deverão ser escolhidos em função das especificidades de projeto. Outros métodos e abordagens da iluminação poderão ser introduzidos à rotina de projetual, desde que adequados à etapa a ser cumprida.

O guia parte da distinção entre edificações novas (a serem projetadas) e edifícios existentes que passarão por reforma, mas não deverão sofrer modificações em sua estrutura externa (envoltória) que acarretem em descaracterização de fachadas. Uma terceira categoria poderá surgir se houver a permissão para a modificação de aberturas, retirada ou inclusão de elementos de proteção externos.

Os métodos sugeridos no guia deverão ser pesquisados em profundidade para que nenhum aspecto seja descartado. Outros métodos poderão ser utilizados desde que atendam aos objetivos de cada etapa de projeto. Métodos manuais ou ferramentas computacionais devem ser escolhidos em função da melhor adaptação da equipe de trabalho.

## 5.7. Considerações finais

Após a crise de energia sofrida em 2001, o Brasil se prepara para disciplinar o uso consciente da energia elétrica em edificações. A iniciativa do MME e Eletrobrás de criação do programa Procel EDIFICA, que estabelece a classificação do nível de eficiência energética em edificações comerciais, de serviço e públicas, pretende incentivar a construção de edifícios mais eficientes como já acontece na Europa.

A regulamentação criada por um grupo de pesquisadores do LabEEE considera o consumo da iluminação artificial, do sistema de ar condicionado e o desempenho da envoltória para o cálculo do nível de eficiência. Dois aspectos em especial despertam discussões pertinentes a este trabalho e que julgamos necessárias ao longo do processo de implantação do sistema de etiquetagem. O primeiro diz respeito à escala de pesos atribuída aos elementos da análise citados acima, e o segundo refere-se aos níveis de iluminâncias adotados pela regulamentação.

Como ponto de partida consideramos de fundamental importância o incentivo ao uso de estratégias passivas de controle das condicionantes ambientais. Por este motivo questionamos a distribuição de pesos apresentada na regulamentação para o cálculo do nível de eficiência energética que atribui 40% dos esforços para a eficiência do sistema de condicionamento do ar e apenas 30% tanto para o desempenho térmico da envoltória como para a eficiência e potência instalada do sistema de iluminação. Consideramos, pois, mais interessante, a atribuição de pesos mais significativos aos aspectos relativos à iluminação e envoltória pela possibilidade do uso de estratégias passivas que garantam conforto térmico, luminoso e eficiência energética.

Sobre os níveis de iluminâncias adotados, a regulamentação estabelece que, para efeito de etiquetagem, seja selecionada a iluminância inferior dos três valores apresentados na NBR 5413 da ABNT. Esta recomendação contradiz a própria norma da ABNT que apresenta três valores de iluminância para diferentes ambientes e funções e recomenda prioritariamente a adesão ao valor médio. O valor mais alto deve ser adotado para situações quando a acuidade visual exigida

for crítica, com baixas refletâncias e contrastes, comprometimento da capacidade visual do observador, e diante da exigência de alta produtividade e precisão no cumprimento da tarefa. Ao contrário, o valor mais baixo só deve ser usado quando as refletâncias e contrastes forem relativamente altos, a velocidade ou precisão não são importantes e se a tarefa não for realizada com freqüência.

A contradição nos indica a necessidade de revisão dos atuais conceitos sobre a adequação dos níveis de iluminância, tese corroborada por uma crise de confiança na norma brasileira detectada pelas entrevistas aos arquitetos luminotécnicos.

Com a implantação do sistema de etiquetagem da eficiência energética em edificações, haverá a necessidade da criação de uma legislação própria (brasileira) referente ao consumo energético que deve intensificar o incentivo ao uso das estratégias passivas de controle das condicionantes ambientais, das quais o uso eficiente da luz natural terá papel fundamental. Em consequência se prevê a readaptação dos códigos de obras vigentes a esta nova legislação.

## **5.8. Sugestões para trabalhos futuros**

Um estudo direcionado à aplicação do guia por arquitetos luminotécnicos poderá avaliar sua praticidade e identificar possíveis dificuldades, limitações ou inconveniências. O guia também pode ser transformado em um documento eletrônico com *links* que direcionam o leitor ao texto explicativo da etapa em questão ou às referências para determinado método ou programa computacional.

Uma pesquisa com arquitetos luminotécnicos poderá identificar a disposição destes profissionais para o desenvolvimento de projetos luminotécnicos integrados. Além disso, buscar idéias de como possibilitar o acesso do luminotécnico ao processo de projeto ainda nas etapas iniciais, quando devem ser tomadas as decisões para o melhor aproveitamento da luz natural.

Estudos comprometidos com a conscientização de arquitetos luminotécnicos para as questões ambientais, do uso da luz natural e sua integração com a

iluminação artificial são muito importantes para a construção de uma mentalidade coletiva a favor da sustentabilidade e qualidade ambiental.

## 6. Referências bibliográficas

AGHEMO C.; AZZOLINO C. **Illuminazione naturale**: metodi ed esempi di calcolo. Torino: Celid, 1995

AMORIM, C.N.D. **Illuminazione Naturale, Confort Visivo ed Efficienza Energetica in Edifici Commerciali**: Proposte Tecnologiche e Progettuali in contesto di clima Tropicale. Tese (Doutorado di Ricerca in Tecnologie Energetiche e Ambientali per lo Sviluppo) - Centro Studi Interuniversitario sui Paesi in via di Sviluppo, Università degli Studi di Roma La Sapienza, 2000.

\_\_\_\_\_. Iluminação Natural e Eficiência Energética - Parte I: Estratégias de Projeto para uma Arquitetura Sustentável. **Periódico eletrônico em Arquitetura e Urbanismo Paranoá**, Vol. 4, 2002.

\_\_\_\_\_. Diagrama Morfológico Parte I - Instrumento de análise e projeto ambiental com uso de luz natural. **PARANOÁ - Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, Revista do Programa de Pesquisa e Pós-Graduação da FAU - UnB. Ano 6, n. 3 (agosto 2007) - Brasília: FAU UnB, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5461**: Iluminação. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 5413**: Iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 15215-2**: Iluminação natural - Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro, 2005 a.

\_\_\_\_\_. **NBR 15215-3**: Iluminação natural - Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro, 2005 b.

\_\_\_\_\_. **NBR 15215-4**: Iluminação natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição. Rio de Janeiro, 2005 c.

BAKER, N.; FANCHIOTTI, A; STEEMERS, K. **Daylighting in Architecture: A European Reference Book**. London: James & James, 1993.

BAUER, M.; GASKELL, G. **Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som**. Petrópolis: Vozes, 2002.

BELL, J.; BURT, W. **Designing Buildings for Daylight**. London: BRE/ CIBSE, 1995.

BITTENCOURT, L. **Uso das cartas solares**: diretrizes para arquitetos. 4. ed. revista e ampliada. Maceió: Ed. UFAL, 2004.

BUSON, M. A. **Por que minha janela tem 1 m<sup>2</sup>?** - Análise e verificação dos índices técnicos do Código de Edificações do Distrito Federal relativos à iluminação natural. 1998. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 1998.

CHING, F. D. K. **Arquitectura: forma, espacio y orden.** 8. ed. Naucalpan: GG/ México, 1993.

CHRISTAKOU, E. D. **A simulação computacional da luz natural aplicada ao projeto de arquitetura.** 2004. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2004.

DARULA, S.; KITTLER, R. **CIE General Sky Standard Defining Luminance Distributions.** 2002. Disponível em: <<http://www.esim.ca/2002/documents/Proceedings/other2.pdf>> Acesso em: 23 abr. 2008.

FREEBODY, P. **Qualitative Research in Education: interaction and practice.** London: Sage, 2003.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 1995.

GÜNTHER, H. Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa: esta é a questão? **Série Textos de Psicologia Ambiental**, n. 7. Brasília, DF: UnB, Laboratório de Psicologia Ambiental, 2006.

HOPKINSON, R.; LONGMORE, J.; PETHERBRIDGE, P. **Daylighting.** London: Heinemann, 1975.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA SHC Task 31, / IEA ECBSC ANNEX 29: Daylighting Buildings in the 21st Century. **Application of the CIE test cases to assess the accuracy of lighting computer programs.** 2005. Disponível em: <[http://www.iea-shc.org/publications/downloads/task31-CIE\\_Test\\_Cases.pdf](http://www.iea-shc.org/publications/downloads/task31-CIE_Test_Cases.pdf)>. Acesso em: 26 nov. 2008.

\_\_\_\_\_. Task 21, Subtask A. **Daylight in buildings: a source book on daylighting systems and components.** Lawrence Berkeley National Laboratory, 2000. Disponível em: <<http://www.iea-shc.org/task21/index.html>> Acesso em: 21 jun. 2007.

\_\_\_\_\_. Task 21, Subtask B. **Daylight in buildings: application guide for daylight responsive lighting control.** [S.l.:s.n.], 2001. Disponível em: <<http://www.iea-shc.org/task21/index.html>> Acesso em: 21 jun. 2007.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA - IESNA. **The IESNA Lighting handbook.** 9. ed. New York, 2000.

\_\_\_\_\_. IESNA Lighting Design Software Survey 2002. **LD+A**, [S.l.], vol. 32, n. 7, p. 35-43, jul. 2002.

LAM, W. M. C. **Perception and lighting as formgivers of architecture**. McGraw-Hill, 1977.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2 ed. rev. São Paulo: ProLivros, 2004.

LIMA, T. B. S. **Uso da simulação computacional em projetos de iluminação interna**. 2003. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, 2003.

LIMA, T. B. S.; CHRISTAKOU, E. D. Projeto de Iluminação Natural: Ferramentas para Cálculo e Avaliação. **PARANOÁ - Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, Revista do Programa de Pesquisa e Pós-Graduação da FAU-UnB. Ano 6, n. 3 (agosto 2007) - Brasília: FAU UnB, 2007.

LOS ALAMOS NATIONAL LABORATORY - LANL - Site and Project Planning Group, PM-1, Site Planning and Construction Committee. **Sustainable Design Guide**. Cap. 5 - Lighting, HVAC, and Plumbing, 2002. Disponível em: <[http://www.eere.energy.gov/buildings/highperformance/pdfs/sustainable\\_guide/sustainable\\_guide\\_ch5.pdf](http://www.eere.energy.gov/buildings/highperformance/pdfs/sustainable_guide/sustainable_guide_ch5.pdf)> Acesso em 04 abr. 2008.

MACIEL, A A. **Integração de conceitos bioclimáticos ao projeto arquitetônico**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

MOORE, F. **Environment Control Systems: Heating Cooling Lighting**. New York: McGraw-Hill, Inc., 1993.

MOREIRA, V. de A. **Iluminação e fotometria: teoria e aplicação**. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Edgard Blücher, 1987.

NEW BUILDINGS INSTITUTE, INC - NBI. **Advanced Lighting Guidelines**. 2003. Disponível em: <[http://www.newbuildings.org/downloads/ALG\\_2003.pdf](http://www.newbuildings.org/downloads/ALG_2003.pdf)> Acesso em 05 set. 2008.

POGERE, A. **Estudo de Átrios Como Elementos Condutores de Iluminação Natural**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - PROCEL. **Regulamentação para Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Versão aprovada em fevereiro de 2008 pela Secretaria Técnica do GT - Edificações do CGIEE. Atualização em 19/02/2008. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com/elb/procel>> Acesso em 15 mai. 2008.

PUPO, R. T.; SCARAZZATO, P. S.; DELBIN, S. **Metodologia para Escolha de Programas de Simulação de Iluminação Artificial em Ambientes, através de Análise e Comparação de Softwares**. In: IX Encontro Nacional e V Encontro Latino

Americano de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC. Ouro Preto, MG, Agosto 2007.

REINHART, C.F.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. **Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design**. Institute for Research in Construction, National Research Council Canada. 2006. Disponível em: <<http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/fulltext/nrcc48669/nrcc48669.pdf>> Acesso em 26 set. 2008.

REIS, A. T.; LAY M.C. **As técnicas de APO como instrumento de análise ergonômica do ambiente construído**. Curso ministrado no III Encontro Nacional e I Encontro Americano de Conforto no Ambiente Construído, ANTAC, Gramado, 1995.

ROBBINS, C. L. **Daylighting: Design and Analysis**. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1986.

SCARAZZATO, P. S. **Software DLN: Ferramenta de avaliação da disponibilidade de luz natural para o desenvolvimento de projetos de arquitetura**. Revista Lume Arquitetura, Ano II - nº 10 - Out/ Nov 2004. São Paulo: De Maio, 2004.

SCHMID, A. L. **A idéia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído**. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

SILVA, J.S da. Estratégias para luz natural: sistemas convencionais e brise-soleil como elemento de controle. **PARANOÁ - Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, Revista do Programa de Pesquisa e Pós-Graduação da FAU-UnB. Ano 6, n. 3 (agosto 2007) - Brasília: FAU UnB, 2007.

SOUZA, M. B. **Potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

SOUZA, R. V. G. **Desenvolvimento de modelos matemáticos empíricos para a descrição dos fenômenos de iluminação natural externa e interna**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. 7. ed. São Paulo: Cortez, 1996.

VIANNA, N. e GONÇALVES, J. **Iluminação e arquitetura**, São Paulo: Geros, 2001.

VIALLI, A. Consultorias lucram com aumento de prédios "verdes". **O Estado de S. Paulo**, 04 jun. 2008. Economia & Negócios. Disponível em: <[http://www.estadao.com.br/estadaodehoje/20080604/not\\_imp183553,0.php](http://www.estadao.com.br/estadaodehoje/20080604/not_imp183553,0.php)> Acesso em 04 jun. 2008.

WINES, J. **Green Architecture**. Köln: Taschen Verlag, 2000.

ZOTTI, G.; WILKIE, A.; PURGATHOFER, W. **A Critical Review of the Preetham Skylight Model**. 2007. Disponível em:

<[http://wscg.zcu.cz/wscg2007/Papers\\_2007/short/E59-full.pdf](http://wscg.zcu.cz/wscg2007/Papers_2007/short/E59-full.pdf)>. Acesso em: 23 abr. 2008.

### **Cenpes II:**

Contato direto via e-mail com o escritório do Sr. Zanettini;

Portal ARCOweb <<http://www.arcoweb.com.br/tecnologia/tecnologia76.asp>>. Acesso em 07/04/2008;

GONÇALVES; DUARTE, 2007 - Portal Nova Técnica <<http://www.nteditorial.com.br/revista/Materias/index.asp?RevistaID1=7&Edicao=35&id=310&TopicoID=462>>. Acesso em 07/04/2008.

### **Commerzbank Headquarters:**

BOSCH, S. **Green Architecture**: Symbolic Sustainability or Deep Green Design? Georgia Tech Research Institute, 2000 <<http://maven.gtri.gatech.edu/sfi/resources/pdf/TR/Symbolic%20sustainability.pdf>> Acesso em 03/04/2008;

CONEYBEARE, M. **Commerzbank Headquarters**. University of Waterloo, School of Architecture, [?] <[http://www.architecture.uwaterloo.ca/faculty\\_projects/terri/366essaysW03/coneybeare-commerzbank.pdf](http://www.architecture.uwaterloo.ca/faculty_projects/terri/366essaysW03/coneybeare-commerzbank.pdf)> Acesso em 03/04/2008;

FOSTER & Partners <<http://www.fosterandpartners.com/Projects/0626/Default.aspx>> Acesso em 03/04/2008;

NOBLE, C. **Commerzbank**: A Sustainable Skyscraper. University of Tennessee [2002?] <[http://web.utk.edu/~archinfo/a489\\_f02/PDF/commerzbank.pdf](http://web.utk.edu/~archinfo/a489_f02/PDF/commerzbank.pdf)> Acesso em 03/04/2008.

### **Harmony Library:**

Daylight Dividends Case Study <<http://www.lrc.rpi.edu/programs/daylighting/pdf/HarmonyLibraryCaseStudy.pdf>>. Acesso em 24/11/2007.

### **Cursos de Pós-graduação:**

**Architectural Lighting Design** - 2007, TEMPLUZ e UNIC-SUL - UNIVERSIDADE CRUZEIRO DO SUL - SP: <[http://www.templuz.com/index\\_800.asp](http://www.templuz.com/index_800.asp)> Acesso em: 16 jun. 2007;

**Engenharia de Iluminação** - 2007, UNIVERSIDADE CASTELO BRANCO: <<http://www.castelobranco.br/posgraduacao>> Acesso em: 16 jun. 2007;

**Iluminação** - 2006, INCURSOS - INSTITUTO NACIONAL DE CURSOS e IPOG - INSTITUTO DE PÓS-GRADUAÇÃO DE GOIÁS: <<http://www.edlumiere.com.br/index.php?strArea=noticias&id=4866&campo=pós%20graduacao&campo2=>>> Acesso em: 16 jun. 2007;

**Iluminação** - 2007, UNIVERSIDADE VEIGA DE ALMEIDA: <[http://www.uva.br/cursos/pos\\_graduacao/escola\\_de\\_design/iluminacao.htm](http://www.uva.br/cursos/pos_graduacao/escola_de_design/iluminacao.htm)> Acesso em: 16 jun. 2007;

**Iluminação e Design de Interiores** - 2007, CENTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA OSWALDO CRUZ e IPOG - INSTITUTO DE PÓS-GRADUAÇÃO DE GOIÁS: <<http://www.listas.unicamp.br/pipermail/dicasdeiluminacao-l/20070416/000007.html>> Acesso em: 16 jun. 2007;

**Lighting Design** - 2003, UNOPAR - Centro Politécnico: <[http://www.unopar.br/portal/exatas\\_lighting.htm](http://www.unopar.br/portal/exatas_lighting.htm)> Acesso em: 16 jun. 2007;

**Projetos de Iluminação** - 2007, UNIVERSIDADE ESTÁCIO DE SÁ: <[http://www.estacio.br/posgraduacao/cursos/arquitetura/pro\\_ilu.asp](http://www.estacio.br/posgraduacao/cursos/arquitetura/pro_ilu.asp)> Acesso em: 16 jun. 2007;

**Projetos Luminotécnicos** - Lighting Design - 2006, INCURSOS - INSTITUTO NACIONAL DE CURSOS: <[http://www.incursos.net/cursos\\_lighting\\_design.php](http://www.incursos.net/cursos_lighting_design.php)> Acesso em: 16 jun. 2007.

#### **Sites na Internet:**

U.S. Department of Energy (DOE) - Building Technologies Program: <<http://www1.eere.energy.gov/buildings>>;

Square One research: < <http://www.squ1.com>>;

Lighting Technologies Inc.: <<http://www.lighting-technologies.com>>;

Relux Informatik AG: < <http://www.relux.biz>>.

## APÊNDICES

## Apêndice A

FORMULÁRIO PARA ENTREVISTA A ARQUITETOS

Nº \_\_\_\_\_

Escritório:		
Nome dos sócios:		
Entrevistado:	Formação:	
Cidade:	Telefone:	
e-mail:	Web site:	
Contato:	Função:	
Data:	Hora de início:	Hora ao final:

1. Qual sua área de atuação ou de seu escritório?			
<input type="checkbox"/>	Iluminação natural	<input type="checkbox"/>	Iluminação artificial
<input type="checkbox"/>	Iluminação natural e artificial	<input type="checkbox"/>	Automação e controle
<input type="checkbox"/>	Eficiência energética	<input type="checkbox"/>	Outras

2. Você utiliza algum método (de cálculo, gráfico, programas de computador ou outro) durante o processo de criação do projeto (ou para apresentação ao cliente)? Quais?			
<input type="checkbox"/>	Sim	Quais? Para todos os tipos de ambientes e tarefas visuais ou apenas para casos específicos?	
<input type="checkbox"/>	Não	Por quê?	

3. Você usa ou imagina algum método ou técnica para integrar luz natural e luz artificial em seus projetos?		

4. Você utiliza outras ferramentas durante o projeto? Quais?		

5. Você segue parâmetros (tais como luminância, iluminância) de alguma norma ou recomendação?		

Comentários:		

## Apêndice B

### Codificação dos dados coletados nas entrevistas a arquitetos

**Amostra:** todos os arquitetos afiliados da AsBAI, nas categorias sócios fundadores e membros profissionais;

**Tamanho da amostra:** 16 arquitetos e/ou escritórios de arquitetura;

Entrevistas realizadas: 14 entrevistados;

**Período de realização:** de setembro a dezembro de 2007.

Observações preliminares:

Dois dos arquitetos da amostra eram sócios do mesmo escritório e, portanto, foram entrevistados uma única vez. Um dos entrevistados se recusou a dar a entrevista alegando falta de tempo por problemas pessoais. O primeiro entrevistado não é afiliado da AsBai, mas é atuante na área de projetos de iluminação em Brasília. Sua entrevista contribuiu como um teste, mas os resultados foram válidos para a pesquisa.

#### Perguntas dirigidas aos entrevistados e respostas coletadas:

1. Qual sua área de atuação ou de seu escritório?

TABELA 1 - ÁREA DE ATUAÇÃO POR ESCRITÓRIO

PROJETOS DESENVOLVIDOS	Freqüência	%
Iluminação artificial	10/14	71,42%
Iluminação natural e artificial	4/14	28,58%

FONTE: Pesquisa de campo

NOTAS: Os valores da segunda coluna correspondem à freqüência pelo número total de respondentes.

Sinal convencional utilizado:

% porcentagem correspondente em relação ao total da amostra.

2. Você utiliza algum método (de cálculo, gráfico, programas de computador ou outro) durante o processo de criação do projeto (ou para apresentação ao cliente)? Quais?

Todos os 14 escritórios responderam **sim**, o que equivale a **100%** do total de escritórios entrevistados. Os métodos citados constam na tabela abaixo:

TABELA 2 - MÉTODOS UTILIZADOS PARA PROJETO DE ILUMINAÇÃO POR ESCRITÓRIO

MÉTODOS	ARTIFICIAL	Freq.	%	NATURAL	Freq.	%
MÉTODOS MANUAIS e OUTRAS FERRAMENTAS (gráficos e de cálculo) 7/14 = 50% dos escritórios	Método dos Lúmens	5/14	35,71%	Carta solar	2/14	14,28%
	Cálculo de iluminâncias pontuais (Métodos Ponto-a-Ponto)	4/14	28,57%	Diagrama Morfológico	1/14	7,14%
				Diagrama de Waldram	1/14	7,14%
PROGRAMAS DE COMPUTADOR (para luz natural e artificial) 12/14 = 85,71% dos escritórios	Lumen Micro				10/14	71,42%
	AGI 32				3/14	21,42%
	Relux				3/14	21,42%
	DiaLux				3/14	21,42%
	Calculux				1/14	7,14%
	Lightscape				1/14	7,14%
	ECOTECH				1/14	7,14%

FONTE: Pesquisa de campo

NOTAS: Os valores da terceira e sexta coluna correspondem à frequência pelo número total de respondentes.

Abreviação e sinal convencional utilizados:

Freq. - frequência;

% - porcentagem correspondente em relação ao total da amostra.

### 3. Você usa ou imagina algum método ou técnica para integrar luz natural e luz artificial em seus projetos?

Nenhum dos respondentes mencionou algum método científico conhecido para a integração da luz natural e artificial, no entanto, a entrevistadora pôde reconhecer o uso do princípio do método IASPI (luminárias distribuídas em comandos separados de acordo com a proximidade das aberturas) por quatro escritórios (28,5% da amostra) através das declarações dadas. Seis entrevistados mencionaram a especificação de sensores para automação do acionamento de luminárias, e outro relatou sugerir o uso de mecanismos de controle da luz solar direta (persianas, películas, etc.).

TABELA 3 - ESTRATÉGIAS PARA A INTEGRAÇÃO DA LUZ NATURAL E ARTIFICIAL NOS PROJETOS POR ESCRITÓRIO

ESTRATÉGIAS PARA A INTEGRAÇÃO DA LUZ NATURAL E ARTIFICIAL	Freqüência	%
Uso de algum método de conhecido para integração (princípios do Método PSALI)	4/14	28,57%
Especificação de sensores para automação da iluminação artificial	6/14	42,85%
Sugestão para o uso de mecanismos de controle da luz solar direta	1/14	7,14%

FONTE: Pesquisa de campo

NOTAS: Os valores da segunda coluna correspondem à freqüência pelo número total de respondentes.

Sinal convencional utilizado:

% porcentagem correspondente em relação ao total da amostra.

#### 4. Você utiliza outras ferramentas durante o projeto? Quais?

Quando questionados sobre outras ferramentas de projeto, além dos métodos, os respondentes mencionaram:

TABELA 4 - FERRAMENTAS UTILIZADAS EM PROJETO POR ESCRITÓRIO

FERRAMENTAS CITADAS	Freq.	%
Dados fotométricos de luminárias	10/14	71,42%
Modelagem 3D ou renderização de imagens	5/14	35,71%
Desenhos à mão livre de vistas com a inserção dos fachos propostos pela iluminação artificial	2/14	14,28%
Protótipos de luminárias	2/14	14,28%
Instrumentos de medição (luxímetro e fotômetro)	2/14	14,28%
Visualização da luminária acesa	1/14	7,14%
Imagens de projetos executados	1/14	7,14%
Teste das luminárias especificadas no local de instalação	1/14	7,14%

FONTE: Pesquisa de campo

NOTAS: Os valores da segunda coluna correspondem à frequência pelo número total de respondentes.

Abreviação e sinal convencional utilizados:

Freq. - frequência;

% - porcentagem correspondente em relação ao total da amostra.

5. Você segue parâmetros (tais como luminância, iluminância) de alguma norma ou recomendação?

Todos os entrevistados afirmaram seguir pelo menos uma norma ou recomendação técnica para níveis de iluminância ou luminância e citaram as seguintes:

TABELA 5 - NORMAS E RECOMENDAÇÕES SEGUIDAS POR ESCRITÓRIO

NORMA OU RECOMENDAÇÃO	Freqüência	%
IESNA	11/14	78,57%
ABNT - NBR 5413	10/14	71,42%
CIE	2/14	14,28%
Outros	2/14	14,28%

FONTE: Pesquisa de campo

NOTAS: Os valores da segunda coluna correspondem à freqüência pelo número total da amostra.

Abreviação e sinal convencional utilizados:

Freq. - freqüência;

% - porcentagem correspondente em relação ao total da amostra.