

MARIA DAS GRAÇAS VELHO DO AMARAL

# ILUMINAÇÃO NATURAL: REVISÃO DA LEGISLAÇÃO CONSTRUTIVA DE FLORIANÓPOLIS

Dissertação apresentada como requisito parcial  
à obtenção do Grau de Mestre.

Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil,  
Centro Tecnológico,

Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Prof. Fernando Oscar Ruttkay

Pereira, PhD

FLORIANÓPOLIS

1999

MARIA DAS GRAÇAS VELHO DO AMARAL

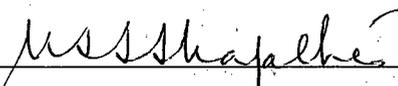
# ILUMINAÇÃO NATURAL: REVISÃO DA LEGISLAÇÃO CONSTRUTIVA DE FLORIANÓPOLIS

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, pela Comissão formada pelos professores:



---

Prof. Fernando Oscar Ruttkay Pereira, PhD  
Departamento de Arquitetura e Urbanismo, UFSC  
Orientador



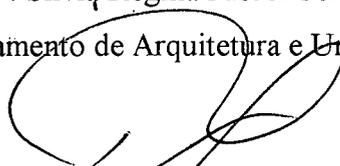
---

Prof<sup>a</sup>. Maria Amalia Amarante de Almeida Magalhães, Dra.  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UFRJ



---

Prof<sup>a</sup>. Sílvia Regina Morel Corrêa, Dr. Arq.  
Departamento de Arquitetura e Urbanismo, UFSC



---

Prof. Roberto Lamberts, PhD  
Departamento de Engenharia Civil, UFSC

## DEDICATÓRIA

Ao meu filho Rene.

Ao meu companheiro Lincoln.

Aos meus pais e à toda minha família.

À memória de meu sobrinho Salen Amaral Ferreira.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com a colaboração e incentivo das seguintes pessoas e entidades, às quais sinceramente agradeço:

Prof. Fernando Oscar Ruttkay Pereira, PhD, pela orientação segura e motivadora em todas as fases deste trabalho.

Laboratório de Energia Solar - LABSOLAR, do Departamento de Engenharia Mecânica, pelo fornecimento dos dados de radiação solar, imprescindíveis para esta pesquisa.

Laboratório de Conforto Ambiental- LABCON do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEE do Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Meios Porosos e Transferência de Calor – LMPT do Departamento de Engenharia Mecânica, pela disponibilização de equipamentos e de material bibliográfico necessários à pesquisa.

Prof<sup>a</sup>. Maria Amalia Amarante de Almeida Magalhães, Prof<sup>a</sup>. Sílvia Regina Morel Corrêa e Prof. Roberto Lamberts, pela participação na banca examinadora.

Escritório Técnico da Universidade Federal de Santa Catarina – ETUSC, onde exerço atividades profissionais, pela licença para desenvolver esta pesquisa.

Maria das Neves Fialho Velho, minha mãe, pelo carinho, apoio e incentivo em todos os momentos.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABELAS .....	ix
LISTA DE EQUAÇÕES .....	xi
LISTA DE VARIÁVEIS .....	xii
LISTA DE SIGLAS .....	xiv
RESUMO .....	xv
ABSTRACT .....	xvi
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 A COLOCAÇÃO DO PROBLEMA .....	2
1.2 OBJETIVOS .....	3
1.2.1 Objetivo Geral .....	3
1.2.2 Objetivos Específicos .....	3
1.3 HIPÓTESES .....	3
1.4 JUSTIFICATIVA .....	4
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	6
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	7
2.1 INTRODUÇÃO .....	8
2.2 LEGISLAÇÃO CONSTRUTIVA .....	8
2.2.1 Normalizações Existentes .....	8
2.2.2 A Iluminação Natural nas Legislações Construtivas .....	9
2.3 ILUMINAÇÃO NATURAL NO AMBIENTE CONSTRUÍDO .....	10
2.3.1 A Luz Natural .....	10
2.3.1.1 Variabilidade da Luz Natural .....	11
2.3.1.2 Componentes da Luz Natural .....	11
2.3.2 Iluminação Natural: Escalar x Planar .....	12
2.3.3 Conforto Ambiental .....	13
2.3.4 Conservação de Energia .....	14
2.3.5 Iluminação Artificial Suplementar .....	15
2.4 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO NATURAL .....	15
2.4.1 Iluminação Natural como Parâmetro de Projeto .....	15
2.4.2 Aberturas Laterais .....	16
2.4.3 Profundidade do Ambiente .....	18
2.5 VARIÁVEIS CONSIDERADAS .....	20

2.5.1	Clima .....	20
2.5.2	Fontes de Luz .....	20
2.5.3	Radiação Solar .....	21
2.5.4	Componentes da Radiação Solar .....	23
2.6	DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL .....	23
2.6.1	Modelos de Céu .....	24
2.6.1.1	Céu Uniforme .....	24
2.6.1.2	Céu Encoberto .....	24
2.6.1.3	Céu Claro .....	25
2.6.1.4	Céu Intermediário ou Parcialmente Encoberto .....	25
2.6.2	Determinação das Condições de Céu .....	26
2.6.3	Classificação do Céu .....	30
2.6.3.1	Índice de Limpidez do Céu ( $\epsilon$ ) .....	32
2.6.3.2	Índice de Brilho do Céu ( $\Delta$ ) .....	32
2.7	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE ILUMINÂNCIAS EM INTERIORES .....	33
2.7.1	Métodos Matemáticos Simplificados .....	33
2.7.1.1	Método do Fluxo Total - Método dos Lúmens .....	33
2.7.1.2	Método do Fluxo Dividido - Daylight Factor e CIN .....	34
2.7.2	Métodos Gráficos Simplificados .....	35
2.7.2.1	Diagrama de Pontos .....	35
2.7.2.2	Diagrama de Contribuição Relativa de Luz (DCRL) .....	36
2.7.3	Modelos em Escala Reduzida .....	38
2.7.4	Programas Computacionais .....	38
3	METODOLOGIA .....	40
3.1	INTRODUÇÃO .....	41
3.2	CARACTERIZAÇÃO DO TIPO DE CÉU .....	41
3.2.1	Índice de Limpidez do Céu ( $\epsilon$ ) .....	41
3.2.2	Índice de Brilho do Céu ( $\Delta$ ) .....	42
3.2.3	Geometria Solar .....	43
3.2.4	Radiação Solar .....	45
3.3	ESCOLHA DO MÉTODO DE PREDIÇÃO DE ILUMINÂNCIAS .....	47
3.4	MODELOS DE AMBIENTES INTERNOS .....	49
3.4.1	Definição dos Modelos de Estudo .....	49
3.4.2	Parâmetros de Teste .....	51
3.4.3	Parâmetros de Desempenho para Análise dos Modelos .....	52

3.4.4	Parâmetros de Entrada para Simulação Computacional dos Modelos.....	53
3.4.5	Coleta de Dados.....	54
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	55
4.1	INTRODUÇÃO.....	56
4.2	CARACTERIZAÇÃO DO TIPO DE CÉU.....	56
4.2.1	Análise dos Dados de Radiação Solar.....	56
4.2.2	Índice de Limpidez do Céu ( $\epsilon$ ).....	61
4.2.3	Índice de Brilho do Céu ( $\Delta$ ).....	65
4.3	ANÁLISE DOS MODELOS.....	67
4.3.1	Definição dos Níveis de Iluminância de Projeto.....	67
4.3.2	Desempenho dos Modelos quanto à Distribuição de Iluminância.....	68
4.3.2.1	Condição de Céu Intermediário.....	68
4.3.2.2	Condição de Céu Encoberto.....	79
4.3.3	Desempenho dos Modelos quanto à Penetração de Luz Natural.....	91
4.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	92
5	CONCLUSÕES.....	94
5.1	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	95
5.2	LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	97
	GLOSSÁRIO.....	98
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
	ANEXO 1 – Código de Obras e Edificações de Florianópolis.....	108
	ANEXO 2 – Geometria Solar.....	114

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Lei do co-seno.....	22
Figura 2.2	Posição do Sol no zênite e no horizonte.....	22
Figura 2.3	Condição de céu claro com forte turvação.....	27
Figura 2.4	Condição de céu claro com o ar limpo.....	27
Figura 2.5	Condição de céu encoberto por 3/10 a 4/10 de nuvens tipo cúmulo.....	28
Figura 2.6	Condição de céu encoberto por nuvens tipo estrato.....	28
Figura 2.7	Diagrama de Trajetória Solar Aparente para a latitude de 27° 32' S.....	36
Figura 2.8	Diagrama usado para construção de máscara de obstrução.....	37
Figura 2.9	Diagrama de Contribuição Relativa de Luz (DCRL), céu claro e $\gamma_S=30^\circ$ .....	37
Figura 3.1	Geometria solar.....	43
Figura 3.2	Tela do programa LUMEN MICRO versão 7.....	48
Figura 3.3	Planta baixa esquemática dos modelos de estudo para simulação.....	50
Figura 3.4	Corte transversal esquemático dos modelos de estudo para simulação.....	51
Figura 3.5	Limitação da profundidade em uma sala com iluminação lateral.....	51
Figura 4.1	Gráficos com curvas isolux para o Modelo A1 (sala comercial sem obstrução), sob condição de céu intermediário.....	70
Figura 4.2	Gráficos com curvas isolux para o Modelo A2 (sala comercial com obstrução), sob condição de céu intermediário.....	71
Figura 4.3	Gráficos com curvas isolux para o Modelo B1 (sala residencial sem obstrução), sob condição de céu intermediário.....	72
Figura 4.4	Gráficos com curvas isolux para o Modelo B2 (sala residencial com obstrução), sob condição de céu intermediário.....	73
Figura 4.5	Gráficos com curvas isolux para o Modelo C1 (dormitório sem obstrução), sob condição de céu intermediário.....	74
Figura 4.6	Gráficos com curvas isolux para o Modelo C2 (dormitório com obstrução), condição de céu intermediário.....	75
Figura 4.7	Gráficos com curvas isolux para o Modelo D1 (cozinha/copa sem obstrução), sob condição de céu intermediário.....	76
Figura 4.8	Gráficos com curvas isolux para o Modelo D2 (cozinha/copa com obstrução), sob condição de céu intermediário.....	77

Figura 4.9	Gráficos com curvas isolux para o Modelo A1 (sala comercial sem obstrução), sob condição de céu encoberto.....	81
Figura 4.10	Gráficos com curvas isolux para o Modelo A2 (sala comercial com obstrução), sob condição de céu encoberto.....	82
Figura 4.11	Gráficos com curvas isolux para o Modelo B1 (sala residencial sem obstrução), sob condição de céu encoberto.....	83
Figura 4.12	Gráficos com curvas isolux para o Modelo B2 (sala residencial com obstrução), sob condição de céu encoberto.....	84
Figura 4.13	Gráficos com curvas isolux para o Modelo C1 (dormitório sem obstrução), sob condição de céu encoberto.....	85
Figura 4.14	Gráficos com curvas isolux para o Modelo C2 (dormitório com obstrução), sob condição de céu encoberto.....	86
Figura 4.15	Gráficos com curvas isolux para o Modelo D1 (cozinha/copa sem obstrução), sob condição de céu encoberto.....	87
Figura 4.16	Gráficos com curvas isolux para o Modelo D2 (cozinha/copa com obstrução), sob condição de céu encoberto.....	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Variações do índice $\epsilon$ de acordo com as diferentes categorias de céu.....	42
Tabela 3.2	Variações do índice $\Delta$ de acordo com as diferentes categorias de céu encoberto.....	43
Tabela 3.3	Mês e respectivo valor numérico (i).....	45
Tabela 3.4	Dimensões dos modelos de estudo para simulação computacional.....	49
Tabela 3.5	Dimensões das aberturas dos modelos de estudo para simulação computacional.....	50
Tabela 4.1	Valores de radiação solar global horizontal ( $I_{GH}$ ), em $W/m^2$ , para julho de 1994.....	57
Tabela 4.2	Valores de radiação solar direta normal ( $I_{DN}$ ), em $W/m^2$ , para julho de 1994.....	58
Tabela 4.3	Valores de radiação solar direta horizontal ( $I_{DH}$ ), em $W/m^2$ , para julho de 1994.....	59
Tabela 4.4	Valores de radiação solar difusa horizontal ( $I_{dH}$ ), em $W/m^2$ , para julho de 1994.....	60
Tabela 4.5	Valores do Índice de Limpidez do Céu ( $\epsilon$ ), para julho de 1994.....	61
Tabela 4.6	Valores proporcionais do Índice de Limpidez do Céu ( $\epsilon$ ), de julho a dezembro de 1994.....	62

Tabela 4.7	Valores proporcionais do Índice de Limpidez do Céu ( $\epsilon$ ), de janeiro a dezembro de 1995.....	62
Tabela 4.8	Valores proporcionais do Índice de Limpidez do Céu ( $\epsilon$ ), de janeiro a dezembro de 1996.....	63
Tabela 4.9	Valores proporcionais do Índice de Limpidez do Céu ( $\epsilon$ ), de janeiro a julho de 1997.....	63
Tabela 4.10	Valores proporcionais do Índice de Limpidez do Céu ( $\epsilon$ ), de 1994 a 1997.....	63
Tabela 4.11	Valores proporcionais do Índice $\Delta$ em relação ao Índice $\epsilon$ , 1994.....	65
Tabela 4.12	Valores proporcionais do Índice $\Delta$ em relação ao Índice $\epsilon$ , 1995.....	65
Tabela 4.13	Valores proporcionais do Índice $\Delta$ em relação ao Índice $\epsilon$ , 1996.....	65
Tabela 4.14	Valores proporcionais do Índice $\Delta$ em relação ao Índice $\epsilon$ , 1997.....	66
Tabela 4.15	Valores proporcionais do Índice $\Delta$ em relação ao Índice $\epsilon$ , de 1994 a 1997.....	66
Tabela 4.16	Valores de iluminância mínimas ( $E^-$ ), médias ( $E_m$ ) e máximas ( $E^+$ ) para cada modelo.....	67
Tabela 4.17	Intervalos de níveis de iluminância para cada modelo.....	67
Tabela 4.18	Razão da área total para cada intervalo de iluminância para o Modelo A1 (sala comercial sem obstrução) e Modelo A2 (sala comercial com obstrução), sob céu intermediário.....	68
Tabela 4.19	Razão da área total para cada intervalo de iluminância para o Modelo B1 (sala residencial sem obstrução) e Modelo B2 (sala residencial com obstrução), sob céu intermediário.....	69
Tabela 4.20	Razão da área total para cada intervalo de iluminância para o Modelo C1 (dormitório sem obstrução) e Modelo C2 (dormitório com obstrução), sob céu intermediário.....	69
Tabela 4.21	Razão da área total para cada intervalo de iluminância para o Modelo D1 (cozinha/copa sem obstrução) e Modelo D2 (cozinha/copa com obstrução), sob céu intermediário.....	69
Tabela 4.22	Valores médios da razão de área total de cada intervalo de iluminância para cada modelo, condição de céu intermediário.....	78
Tabela 4.23	Razão da área total para cada intervalo de iluminância para o Modelo A1 (sala comercial sem obstrução) e Modelo A2 (sala comercial com obstrução), sob céu encoberto.....	79
Tabela 4.24	Razão da área total para cada intervalo de iluminância para o Modelo B1 (sala residencial sem obstrução) e Modelo B2 (sala residencial com obstrução), sob céu encoberto.....	79

Tabela 4.25 Razão da área total para cada intervalo de iluminância para o Modelo C1 (dormitório sem obstrução) e Modelo C2 (dormitório com obstrução), sob céu encoberto.....	80
Tabela 4.26 Razão da área total para cada intervalo de iluminância para o Modelo D1 (cozinha/copa sem obstrução) e Modelo D2 (cozinha/copa com obstrução), sob céu encoberto.....	80
Tabela 4.27 Valores médios da razão de área total de cada intervalo de iluminância para cada modelo, condição de céu encoberto.....	89
Tabela 4.28 Cálculo da limitação da profundidade do ambiente para cada modelo.....	91
Tabela 4.29 Correção da limitação da profundidade do ambiente para cada modelo.....	91

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2. 1.....	22
Equação 2. 2.....	34
Equação 2. 3.....	34
Equação 2. 4.....	34
Equação 3. 1.....	41
Equação 3. 2.....	42
Equação 3. 3.....	43
Equação 3. 4.....	44
Equação 3. 5.....	44
Equação 3. 6.....	44
Equação 3. 7.....	45
Equação 3. 8.....	45
Equação 3. 9.....	46
Equação 3.10.....	46
Equação 3.11.....	46
Equação 3.12.....	52
Equação 3.13.....	52

## LISTA DE VARIÁVEIS

$\beta$	$\Rightarrow$	inclinação da superfície .....	graus
$\Delta$	$\Rightarrow$	Índice de Brilho do Céu	
$\delta_s$	$\Rightarrow$	declinação solar .....	graus
$\varepsilon$	$\Rightarrow$	Índice de Limpidez do Céu	
$\gamma_s$	$\Rightarrow$	altura solar .....	radianos/graus
$\varphi$	$\Rightarrow$	latitude geográfica .....	graus
$\lambda$	$\Rightarrow$	longitude geográfica do grau .....	graus
$\lambda_p$	$\Rightarrow$	longitude do meridiano padrão do local .....	graus
$\theta_z$	$\Rightarrow$	ângulo zenital .....	graus
$\rho$	$\Rightarrow$	refletância	
$\tau$	$\Rightarrow$	transmitância	
$A_j$	$\Rightarrow$	área da janela .....	m <sup>2</sup>
$A_p$	$\Rightarrow$	área do compartimento .....	m <sup>2</sup>
CIN	$\Rightarrow$	Contribuição de Iluminação Natural .....	%
D	$\Rightarrow$	número do dia do mês	
$D_f$	$\Rightarrow$	<i>Daylight factor</i> ou Fator de Luz do Dia .....	%
$E^-$	$\Rightarrow$	limite inferior para intervalo de iluminância .....	%
$E^+$	$\Rightarrow$	limite superior para intervalo de iluminância .....	%
$E_{exc}$	$\Rightarrow$	iluminância excessiva .....	lux
$E_E$	$\Rightarrow$	iluminância em um ponto externo livre de obstruções .....	lux
$E_{ins}$	$\Rightarrow$	iluminância insuficiente .....	lux
$E_m$	$\Rightarrow$	iluminância média recomendada .....	lux
$E_p$	$\Rightarrow$	iluminância em um ponto interno .....	lux
$E_{suf}$	$\Rightarrow$	iluminância suficiente .....	lux
H	$\Rightarrow$	altura (pé-direito) do compartimento .....	m
h	$\Rightarrow$	hora legal do lugar	
$h_j$	$\Rightarrow$	altura da janela .....	m

$h_p$	$\Rightarrow$	altura do peitoril .....	m
$h_s$	$\Rightarrow$	hora solar verdadeira	
$h_t$	$\Rightarrow$	altura do piso ao topo da janela .....	m
$h_v$	$\Rightarrow$	altura da verga .....	m
$I_{CS}$	$\Rightarrow$	Constante Solar .....	W/m <sup>2</sup>
$I_o$	$\Rightarrow$	radiação solar extraterrestre .....	W/m <sup>2</sup>
$I_{GH}$	$\Rightarrow$	radiação solar global horizontal .....	W/m <sup>2</sup>
$I_{DN}$	$\Rightarrow$	radiação solar direta normal .....	W/m <sup>2</sup>
$I_{dH}$	$\Rightarrow$	radiação solar difusa horizontal .....	W/m <sup>2</sup>
$I_{DH}$	$\Rightarrow$	radiação solar direta horizontal .....	W/m <sup>2</sup>
$i$	$\Rightarrow$	valor numérico do mês	
$J$	$\Rightarrow$	dia Juliano	
$k$	$\Rightarrow$	constante com valor = 1,041	
$k_c$	$\Rightarrow$	fator de correção devido à estrutura da esquadria	
$k_m$	$\Rightarrow$	fator de correção devido à manutenção do envidraçado	
$l$	$\Rightarrow$	largura do compartimento .....	m
$l_j$	$\Rightarrow$	largura da janela .....	m
$M$	$\Rightarrow$	número do mês	
$m_o$	$\Rightarrow$	massa de ar óptica relativa	
$P$	$\Rightarrow$	profundidade do compartimento corrigida .....	m
$p$	$\Rightarrow$	profundidade do compartimento calculada .....	m
$p_{máx}$	$\Rightarrow$	profundidade máxima permitida .....	m
$R_m$	$\Rightarrow$	refletância média ponderada	
$x_h$	$\Rightarrow$	equação horária	

## LISTA DE SIGLAS

- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas
- BSRN *Base Line Surface Radiation Network*
- CIBSE *The Chartered Institution of Building Services Engineers*
- CIE *Comission Internationale de l'Eclairage*
- GMT *Greenwich Meridian Time*
- IBAM Instituto Brasileiro de Administração Municipal
- IESNA *Illuminating Engineering Society of North America*
- NBS *National Bureau of Standards*

## RESUMO

Esta dissertação tem como escopo a investigação de parâmetros para o dimensionamento de aberturas laterais que levem em consideração o aproveitamento da luz natural, dentro de uma perspectiva de melhor apropriação e conservação dos recursos naturais disponíveis e que possam ser incluídos na legislação construtiva do Município de Florianópolis/SC.

Para garantir a qualidade do ambiente construído e do seu entorno, é necessária a revisão e a formulação de critérios de desempenho baseados nas exigências de conforto visual e de economia de energia elétrica para iluminação, face à disponibilidade geo-climática existente. Estes critérios deverão constar na legislação construtiva dos municípios, que é o instrumento básico que permite controlar e fiscalizar o espaço construído, e que servirão de parâmetros tanto ao projetista quanto ao técnico do órgão municipal responsável pela avaliação dos projetos.

Com o objetivo de avaliar, através da simulação computacional, os dispositivos que regulamentam a admissão de luz natural no Código de Obras e Edificações de Florianópolis/SC, foram, inicialmente, estabelecidas as condições de céu que ocorrem com mais frequência na localidade e sua extensão. Para tanto, partiu-se para a determinação do Índice de Limpeza do Céu ( $\epsilon$ ) e, posteriormente, para a obtenção do índice de brilho do céu ( $\Delta$ ). Para estas análises foram utilizados os dados de radiação solar medidos no campus da Universidade Federal de Santa Catarina.

Conhecendo os tipos de céu com maior ocorrência na localidade, e após a definição dos modelos de estudo para simulação, com base nos artigos da legislação local, partiu-se para a verificação do desempenho dos modelos quanto à distribuição de iluminâncias internas. Para a análise de outros parâmetros de dimensionamento (geometria espacial e refletância das superfícies internas) que consideram a luz natural e que não constam na legislação construtiva local, foi testado o desempenho dos modelos de estudo quanto à penetração de luz natural em seus interiores.

# ABSTRACT

The aim of this work is to investigate the parameters for the dimensioning of lateral openings, taking into consideration the benefits of natural light, visualizing a better appropriation and conservation of available natural resources that may be included in constructive legislation of Florianópolis, Santa Catarina, Brazil.

In order to assure the quality of the constructed area as well as of its surrounding, a revision and formulation of performance criteria is necessary based on needs of visual comfort and the economic use of electric energy for lighting, considering the real geo climatic availability.

These criteria should be adopted by the cities constructive building legislation, which is the basic instrument that allows the control and supervision of the built area that will provide parameters both to the planner and technician of the responsible municipal board for the project evaluation.

To appraise through computer simulation the devices which settle entrance of natural light in the Building Code of Florianópolis was initially established the prevailing conditions of the sky, that is, sky types that happen with more frequency in the place and your extension. So, it was determinate the sky clearness index ( $\epsilon$ ) and subsequently for the sky brightness index ( $\Delta$ ) solar radiation data, measured at the Campus of the Federal University of Santa Catarina, were used por the analysis.

Having in mind the sky types that prevail locally and after a definition of study models for simulation based on the local legislation it was done a verification of models perform as for the distribution of internal illuminances. For the analysis of other dimensioning parameters (spatial geometry and reflectance of interior surfaces) which consider natural light, and do not appear in local legislation it was tested the study models having in mind the penetration of natural light in their interior.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 A COLOCAÇÃO DO PROBLEMA

A luz natural, através da história, pode ser considerada como a principal forma de iluminação, uma vez que grande parte das atividades humanas eram condicionadas ao período diurno. Com o advento da energia elétrica, no século passado, a iluminação natural deu lugar à iluminação artificial, e por suas características de uniformidade, previsibilidade, possibilidade de controle e constância, foi rapidamente incorporada pela sociedade.

Em consequência da crise energética dos anos 70, a iluminação natural em edificações voltou a ser considerada como uma forma importante e eficiente de economia de energia. Como resultado desta crise, passou-se a questionar os projetos arquitetônicos que priorizam o uso de meios mecânicos e artificiais - que demandam alto consumo de energia - para suprir as necessidades de iluminação e condicionamento do ambiente, não se preocupando com a adequação da arquitetura ao meio ambiente. Acrescente-se que a utilização da luz artificial, como única forma de iluminação, resulta em aumento de custo na produção do edifício, além do impacto psicológico e biológico que causa nos usuários pela privação da luz natural e pela falta de comunicação visual com o exterior.

Já se verifica a preocupação, nos dias atuais, de se produzir edificações que levem em consideração o aproveitamento da luz difundida na abóbada celeste, disponível em grande parte do tempo em todas as regiões do país.

Para garantir a qualidade do ambiente construído e do seu entorno, é necessária a revisão e a formulação de critérios de desempenho baseados nas exigências de conforto visual e de economia de energia elétrica para iluminação, face à disponibilidade geo-climática existente. Estes critérios deverão constar na legislação construtiva dos municípios, que é o instrumento básico que permite controlar e fiscalizar o espaço construído, e que servirão de parâmetros tanto ao projetista quanto ao técnico do órgão municipal responsável pela avaliação dos projetos.

No entanto as relações mais utilizadas nas legislações construtivas são apenas a relação entre a área da janela e a área do piso ( $1/6$ ,  $1/8$ ) no dimensionamento de aberturas laterais e a relação entre a profundidade de penetração da luz natural e a altura do ambiente ( $2,5*H$ ,  $3*H$ ). Estas relações institucionalizadas nos Códigos de Obras brasileiros são baseadas em suposições simplificadas, e não consideram as questões relativas ao conforto

ambiental e de conservação de energia, uma vez que não consideram as componentes básicas da luz natural que atingem o interior do ambiente e nem a relação do edifício com o entorno.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Como objetivo geral, pretende-se investigar parâmetros para o dimensionamento de aberturas laterais em edificações, que levem em consideração o aproveitamento da luz natural no interior do ambiente construído.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- ⊕ Caracterizar o tipo de céu para Florianópolis, a partir da avaliação de dados de radiação solar;
- ⊕ Verificar as recomendações atuais exigidas pela legislação construtiva de Florianópolis, a partir de outros parâmetros que influenciam os níveis de iluminação internos, como a profundidade do ambiente considerando sua geometria, isto é, a largura do ambiente, a altura do piso ao topo da janela e a refletância das superfícies internas.

## 1.3 HIPÓTESES

- ⊕ É possível, através do controle das variáveis de projeto - área e localização das aberturas, profundidade e altura do ambiente e a refletância das superfícies internas - garantir as condições adequadas de iluminação natural;
- ⊕ Simulação computacional é uma ferramenta adequada para avaliações paramétricas;
- ⊕ Os parâmetros utilizados pelo Código de Obras de Florianópolis não são satisfatórios, por si só, para garantir os níveis adequados de iluminação natural no interior do ambiente.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

Entre os inúmeros fatores que influenciam o desempenho de um ambiente, no que diz respeito às questões de conforto ambiental, encontra-se a distribuição, no tempo e no espaço, dos níveis internos de iluminação natural. As aberturas, tendo como função principal a admissão de luz natural no interior do ambiente, constituem-se num dos principais elementos de projeto que podem contribuir para a produção de um espaço construído de qualidade.

Em ambientes projetados para permanência prolongada deve-se garantir o recebimento de quantidade de luz natural suficiente e adequado contato visual com o exterior, o que pode ser obtido por meio de aberturas no envoltório do edifício. Estas aberturas podem ser classificadas, de acordo com sua localização, em laterais ou zenitais.

As aberturas zenitais contribuem muito pouco para o contato visual entre interior e exterior e, segundo a *European Commission* (1994), se comparadas com as aberturas laterais, coletam mais luz e calor no verão que no inverno, normalmente o oposto do que é desejado. Enquanto que as aberturas laterais proporcionam maiores níveis de iluminância próximas às mesmas, mas com rápido decréscimo destes níveis em direção ao interior do ambiente.

Além de aberturas laterais e zenitais, a iluminação natural de edifícios conta com outras formas de admissão de luz natural para dentro dos ambientes. Estas dependem do redirecionamento da luz do sol, por meios ativos ou passivos com o uso de espelhos, prateleiras de luz, venezianas ou lentes.

Este trabalho se restringirá ao estudo da admissão da luz natural em ambientes construídos por aberturas laterais, uma vez que o uso deste tipo de abertura é o mais generalizado nas edificações.

As iluminâncias obtidas no interior dos ambientes dependem da disponibilidade de luz natural no exterior, bem como da orientação das janelas, da transmitância do vidro, da presença de obstruções externas e das refletâncias das superfícies internas. Para tanto, será feita a análise dos dispositivos que regulamentam a admissão de luz natural nas edificações, contidos no Código de Obras e Edificações de Florianópolis/SC (Florianópolis, 1996) (ver Anexo 1), a fim de se verificar se esta legislação garante os níveis adequados de iluminação natural recomendados pela NBR5413 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1991).

Este Código de Obras, proposto em 1974 em forma de lei, recomenda, como parâmetro para o dimensionamento de aberturas em planos verticais da edificação, a relação entre a área da janela e a área do piso; e para prover o interior com luz natural, a relação entre o pé-direito e a profundidade máxima da peça.

Com o objetivo de avaliar estas recomendações, se partirá da avaliação das condições de céu que, pela frequência encontrada, determinará qual o modelo de céu padrão para Florianópolis, se modelo de céu encoberto, intermediário ou claro.

Devido à extrema variabilidade das condições de luminosidade exterior, pretende-se analisar os dados de radiação solar de no mínimo três anos, a fim de gerar uma estimativa confiável.

Para calcular a iluminação natural no interior de um edifício é necessário conhecer tanto a quantidade de luz proveniente de todo o céu para as diversas localidades do país e para diversas épocas do ano, quanto a forma como a luz é distribuída pela abóbada celeste, que varia com as diferentes condições climáticas e as posições do sol ao longo do dia.

Atualmente, existem diversos métodos para se verificar a quantidade de luz existente em planos verticais, horizontais e inclinados de um ambiente interno, além da presença de ofuscamento, contraste, distribuição de luz. Estes variam de gráficos para aplicação manual até programas computacionais complexos.

Acredita-se que a utilização de programa computacional permitirá obter dados precisos para avaliação dos níveis de iluminação natural internos, propiciando uma análise rigorosa dos dispositivos que regulamentam o ingresso de luz, presentes no Código de Obras e Edificações de Florianópolis, além de permitir a análise de outros parâmetros de dimensionamento que consideram a luz natural e que possam ser incluídos nesta legislação.

A aplicação deste trabalho limita-se, somente, ao Município de Florianópolis, pois os dados de radiação solar analisados foram medidos pela estação meteorológica<sup>1</sup> do Labsolar no campus da Universidade Federal de Santa Catarina, nesta cidade.

---

<sup>1</sup> Integrada à rede internacional de medições BSRN (*Base Line Surface Radiation Network*).

## 1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho discute a validade dos parâmetros utilizados nos dispositivos de dimensionamento de aberturas para provimento de luz natural dentro do ambiente construído, exigidos pela legislação construtiva de Florianópolis/SC.

No primeiro capítulo, INTRODUÇÃO, é situada a problemática e a justificativa, e onde são colocados os objetivos a serem alcançados, as hipóteses de trabalho consideradas.

O segundo capítulo, REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, além de verificar as legislações construtivas existentes, aborda a inserção da iluminação natural no projeto arquitetônico, e as vantagens de sua utilização para a geração de um ambiente construído com qualidade. Após, são definidas as variáveis físicas consideradas no estudo, os métodos de determinação da disponibilidade de luz natural e a classificação do céu. São discutidos os métodos de introdução e de avaliação de luz natural no interior dos edifícios.

No terceiro capítulo, METODOLOGIA, são descritas as etapas para obtenção do modelo de céu padrão para a localidade, com base em dados de radiação solar; as etapas para análise do desempenho dos modelos, baseados no Código de Obras e Edificação de Florianópolis/SC; e a forma de verificação de outros parâmetros que não constam nesta legislação construtiva.

No quarto capítulo, ANÁLISE DOS RESULTADOS, são demonstrados todos os cálculos necessários, como também são apresentados e discutidos os resultados obtidos. Com o intuito de demonstrar o desempenho dos ambientes quanto à distribuição de iluminâncias, é feita a sua apresentação em forma gráfica.

No quinto e último capítulo, CONCLUSÕES, são apresentadas as conclusões, como também são formuladas recomendações para incluir e/ou modificar os dispositivos constantes no Código de Obras e Edificações de Florianópolis/SC.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 2.1 INTRODUÇÃO

A revisão bibliográfica possibilitou a divisão da área maior de interesse, Iluminação Natural, em tópicos específicos, como Legislação Construtiva, Iluminação Natural no Ambiente Construído, Sistemas de Iluminação Natural, Variáveis Consideradas, Disponibilidade de Luz Natural, e Métodos de Avaliação Existentes.

## 2.2 LEGISLAÇÃO CONSTRUTIVA

### 2.2.1 Normalizações Existentes

Verifica-se na literatura pertinente que existem poucas normas publicadas para projeto de iluminação natural, enquanto que existe boa concordância em critérios de iluminância para diferentes tipos de tarefas em códigos ou normas que atendem à iluminação artificial.

No Brasil, a única referência disponível é a norma NBR5413 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1991) que estabelece os valores de iluminâncias médias mínimas para iluminação artificial em interiores em função do tipo de tarefa visual.

A norma alemã DIN5034 – Parte 4 (*Deutsches Institut für Normung*, 1994), descreve um método simplificado de determinação de tamanhos de janelas para ambientes residenciais com janela em apenas uma parede. Esta norma assume que as janelas sejam verticais e no centro da parede, fornece tabelas com larguras mínimas de janelas para um *daylight factor* médio de 0,9%, exige que, para garantir uma visão satisfatória do exterior, a largura da janela seja, no mínimo, 55% da largura do ambiente. Como critério de projeto, assume a condição de céu encoberto, variando a altura da janela, a profundidade da sala e a distância das obstruções.

Outros países também possuem normalização específica para a iluminação natural, como a Argentina e a Inglaterra. Segundo Alucci, Assis e Scarazzato (1997) praticamente toda documentação técnica ou normativa produzida na área de iluminação natural leva em conta a orientação formulada pela CIE, a partir de sua publicação CIE16 (E-3.2) de 1970, que analisa os métodos de cálculo adotados por 14 países e comenta suas limitações e vantagens.

## 2.2.2 A Iluminação Natural nas Legislações Construtivas

Para Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975) foi somente nas últimas décadas que a relação entre a iluminação natural e o projeto de um edifício passou a ser expressa em termos quantitativos e lógicos. A necessidade de se obter iluminação natural no edifício regula os pés-direitos, a profundidade das salas, a disposição do espaço de circulação, a necessidade de fontes de iluminação interior e conseqüentemente, a eficiência da utilização da área disponível.

O uso da luz natural, segundo Robbins (1986) pode afetar o arranjo funcional do espaço, o conforto visual e térmico dos ocupantes, a estrutura, o uso de energia na edificação, bem como o tipo e o uso de iluminação elétrica e de sistemas de controle associados. De fato, se a luz natural for considerada uma fonte viável de iluminação na edificação, seu uso pode ter ramificações em todos os aspectos do processo de projeto, do planejamento urbano ao projeto de arquitetura de interiores, da pré-avaliação e elaboração do programa de necessidades até a especificação técnica, dos detalhes do projeto executivo à construção, e, conforme acrescenta Scarazzato (1995), passa também pelo uso da obra acabada e da avaliação pós-ocupação.

Para Valadares (1995), nas sociedades contemporâneas, duas das etapas mais importantes na produção formal dos edifícios são o projeto e a sua aprovação, ou seja, se este atende as exigências colocadas na lei municipal. Para assegurar um ambiente construído com qualidade para os usuários, no que diz respeito a seu espaço físico, esta avaliação deve ser fundamentada em premissas que levem em consideração o aproveitamento da luz natural no interior do ambiente construído.

Segundo este mesmo autor, para o dimensionamento das janelas, tanto o projetista como o técnico do órgão municipal responsável pela avaliação do projeto baseiam-se em relações institucionalizadas nos códigos de obra, que orientam a produção formal do ambiente construído. No caso das cidades brasileiras é usual realizar o dimensionamento das janelas pela proporção entre a área de janela e a área do piso, conforme o uso dado ao espaço.

Segundo o Instituto Brasileiro de Administração Municipal (1996) o Código de Obras é o instrumento regulamentador dos aspectos relativos à estrutura, função e forma das construções nas zonas urbanas e rurais do Município, e o limite de aplicação de suas disposições é bem demarcado: a construção. Quanto às questões de ventilação e iluminação dos compartimentos de uma edificação, por exemplo, o Código aborda requisitos mínimos, os

quais os vãos de iluminação e ventilação (janelas e portas externas) devem atender. O Código de Obras, apesar de regulamentar as construções, não é por si só um instrumento suficiente para garantir os bons resultados finais de uma edificação. Por isso, deve-se estar atento para o que determinam os outros instrumentos urbanísticos legais, como a Lei de Parcelamento do Solo Urbano, a Lei de Uso e Ocupação do Solo, o Código de Posturas, o Plano Diretor do Município.

A criação de normas, que digam respeito à utilização da luz natural em ambientes, deve ser baseada em metodologias de fácil incorporação ao processo de projeto habitual do arquiteto, devem levar em conta as condições do céu encontrado na localidade, bem como a interferência de obstruções internas e externas ao ambiente.

## 2.3 ILUMINAÇÃO NATURAL NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

A relevância da iluminação natural como um dos principais condicionantes do projeto arquitetônico, através da história, em qualquer país ou clima, segundo Pereira (1995) tem sido lembrada e documentada por diversos autores.

### 2.3.1 A Luz Natural

A luz natural, conforme Robbins (1986), é dita uma luz de espectro total. A qualidade da luz natural como uma fonte iluminante é uma razão importante para seu uso em uma edificação. Sendo a combinação da luz do céu e da luz do sol, a luz natural é uma das formas de iluminação que mais, aproximadamente, se adapta à resposta visual humana.

Segundo este mesmo autor, porque a qualidade da luz natural é boa para a visão, se diz que a luz natural fornece um bom ambiente visual. A iluminação natural é tanto arte quanto ciência, ou seja, é tanto um elemento de projeto quanto um sistema ambiental. Como elemento de projeto, ela pode salientar aspectos estéticos e qualitativos de uma construção e deve ser parte integrante da filosofia do projeto. Como um sistema ambiental, ela deve estar sujeita ao mesmo grau de análise rigorosa que qualquer sistema ambiental recebe e, como tal, seus atributos de desempenho devem ser descritos quantitativamente - iluminação, energia e

economia - bem como suas características físicas e sua interação com outros sistemas ambientais - iluminação artificial, estrutura, aquecimento e refrigeração.

De acordo com Pereira (1995), a evolução da humanidade tem sido feita predominantemente à luz do dia e do sol. Estando o olho humano melhor adaptado à luz natural do que com sistemas artificiais, pode-se dizer que a garantia de um nível mínimo de iluminação natural interna propiciará melhores condições de trabalho e de produtividade dos usuários, possibilitando maior conservação de energia.

### **2.3.1.1 Variabilidade da Luz Natural**

Para Lynes (1968), a variabilidade da luz natural não é, necessariamente, uma desvantagem, já que sob certas circunstâncias, uma iluminação variável pode ajudar a concentração, enquanto medida do grau de atenção. Ela significa, no entanto, que predições de luz natural não podem objetivar um alto grau de precisão e que os critérios de projeto devem inevitavelmente ser baseados em um tratamento estatístico de dados meteorológicos.

Devido a esta variabilidade, a CIE definiu o chamado Fator de Luz do Dia (*Daylight factor = Df*) que permite determinar a iluminância em um ponto de referência, em função da iluminância exterior que se tem no mesmo momento. Esta relação é assumida como constante para cada ponto; a variável é a iluminação exterior, pela qual a iluminação interior muda continuamente. Este fator se expressa em porcentagem:  $Df = E_p / E_{ext} \times 100$  (Girardin, 1994)

Cabe salientar que esta relação é válida somente para condição de céu totalmente uniforme ou, pelo menos, com distribuição de luminância uniforme em relação ao azimute (modelo isotrópico).

### **2.3.1.2 Componentes da Luz Natural**

A luz natural que incide no ambiente construído é composta pela luz direta do sol, luz difundida na atmosfera (abóbada celeste) e luz refletida no entorno. Para Pereira (1995), o problema no projeto de iluminação natural está em estimar a quantidade e a qualidade desta luz gerada por todas estas fontes.

A luz natural que incide sobre um ponto em um plano de referência no interior de um compartimento é composta por três parcelas: componente do céu (CC), que é a fração da luz natural que chega diretamente do céu e atinge o ponto de referência; componente refletida

externa (CRE), que é a fração da luz natural que incide sobre o ponto de referência depois de ter se refletido em superfícies externas ao ambiente; e a componente refletida interna (CRI), que é a fração da luz natural que atinge o ponto de referência depois de ter se refletido e inter-refletido nas superfícies internas do ambiente.

A proporção do céu vista através de uma janela de um ponto de referência é um fator determinante no cálculo da luz natural em interiores, e é a distribuição de luminância deste trecho do céu que fornece a componente direta da luz do céu. (Ruck, 1989)

### 2.3.2 Iluminação Natural: Escalar x Planar

Para Lynes (1968), ao se julgar o quão brilhante um ambiente parece ser, as pessoas são influenciadas tanto pela aparência das superfícies verticais quanto pelas horizontais. De fato, em ambientes dedicados ao contato social e à recreação, o tradicional plano de trabalho horizontal tem pouco significado. Um melhor critério para avaliar a adequabilidade subjetiva da iluminação em tal caso é a iluminação escalar ao nível do olho. Em alguns casos, a iluminação horizontal é enganosa. Ela tende a exagerar a eficácia da iluminação superior e oculta o importante efeito de pisos ou planos de trabalho de cor clara na impressão geral que a iluminação interior cria. Esta distinção entre iluminação planar horizontal e escalar é particularmente importante no fundo de ambientes iluminados lateralmente onde a luz proveniente do céu atinge superfícies horizontais muito obliquamente. Aqui um medidor de luz que registre a iluminação em planos horizontais pode muito bem sugerir que a luz seja insuficiente, mesmo que a iluminação escalar, indicando uma impressão geral, seja adequada.

Uma iluminância adequada, segundo Szokolay (1980) não significa, necessariamente, boa iluminação. A qualidade ou adequabilidade da iluminação também deve ser considerada, incluindo a distribuição de luminâncias, ausência de ofuscamento, direcionalidade - é necessário um alto valor escalar para revelar forma e textura, definição de cores e efeitos psicológicos e estéticos. A iluminação pode reforçar o caráter arquitetural de um espaço, mas pode também destruí-lo. O contraste é um fenômeno subjetivo e pode ser experimentado como uma consequência de dois efeitos diferentes: contraste e saturação. Se um contraste excessivo (superior a 10:1) ocorrer no campo de visão, a eficiência visual pode ser diminuída. Os efeitos de saturação são causados quando a luminância média no campo de visão é superior a 25.000 cd/m<sup>2</sup>. Neste caso, mesmo sem contraste, o ofuscamento irá ocorrer.

Cabe salientar que, tanto as normas nacionais como as estrangeiras pertinentes à quantificação da iluminância no interior dos ambientes, consideram apenas a iluminação planar, uma vez que a iluminação é medida sobre um plano horizontal com altura correspondente ao plano de desenvolvimento de tarefas visuais dos ocupantes.

### **2.3.3 Conforto Ambiental**

No nosso clima, a admissão de luz diurna pela envolvente do edifício é acompanhada de calor radiante que, provavelmente, pode ser excessivo. Assim, a função de filtro da envolvente torna-se bastante importante. Para se obter conforto no ambiente, deve-se tentar excluir o calor radiante ao mesmo tempo que se favorece a entrada de luz; de outra forma as condições térmicas restringirão a quantidade de luz que pode ser admitida.

Segundo o Instituto Brasileiro de Administração Municipal (1996), o conforto ambiental abrange, além da avaliação das condições ambientais internas de uma edificação resultantes do projeto construtivo, o conceito de impacto desta construção ao meio ambiente externo. A qualidade ambiental das edificações e de seu entorno é a resultante de um conjunto de escolhas realizadas pelo projetista, face à disponibilidade geo-climática existente para seu projeto e as orientações e restrições dispostas no Código de Obras do Município. Para que uma edificação responda positivamente às questões mínimas de conforto ambiental, basta que ela seja projetada de forma adequada às condições climáticas existentes e às necessidades do usuário, respeitando o conjunto de regulamentações em vigor, e oferecendo um nível de conforto satisfatório em termos térmicos, luminosos, acústicos e de qualidade do ar interior. Com técnicas apropriadas e informações condizentes, é possível informar e tornar responsáveis todos aqueles envolvidos neste processo: legisladores, projetistas, construtores e usuários. Cabe ressaltar que nesta dissertação vamos nos restringir somente aos aspectos da legislação municipal relativos à iluminação natural.

### 2.3.4 Conservação de Energia

Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975) salientam que a luz natural nem sempre está disponível durante todo o período de trabalho e de utilização humana de luz para desenvolvimento de tarefas visuais, seja por apresentar condições de céu com nebulosidade insuficiente para promover uma boa iluminação interna dos ambientes - dias nublados, chuvosos, atmosfera com alta concentração de poluentes que turvam a abóbada celeste - seja por estar presente em apenas parte do dia, não cobrindo os períodos noturnos e, em alguns casos, os primeiros horários da manhã no inverno. Existem ainda tarefas que exigem níveis de iluminação especiais e uniformes para seu desenvolvimento, por vezes não proporcionados apenas pela utilização de luz natural, exigindo o uso de iluminação complementar. Há, então, que se lançar mão de sistemas de iluminação artificial, mas se deve conceber estes sistemas de forma integrada e apropriada à utilização da luz natural, de forma a complementar de maneira adequada os níveis de iluminação existentes.

De acordo com Robbins (1986), um melhor aproveitamento da luz natural pode reduzir sensivelmente o dimensionamento e sobrecarga do sistema de iluminação durante o período do dia, podendo ainda reduzir o dimensionamento dos sistemas de refrigeração artificial para os meses quentes e a demanda nos horários de pico. Em um sistema de iluminação natural corretamente projetado, que incorpore conservação de energia como critério de projeto, a luz elétrica seria desligada ou diminuída sempre que a quantidade suficiente de luz natural estiver presente para fornecer iluminação de tarefa ou de fundo.

Segundo Johnson et al. apud Ruck (1989), tem sido demonstrado que a utilização da luz natural para reduzir as necessidades de iluminação elétrica é uma estratégia efetiva de conservação de energia em projetos das envoltentes do edifício uma vez que resulta em redução dos efeitos térmicos pelo estabelecimento do balanço energético.

Para Tregenza (1993), a maior parte dos locais de trabalho internos, por todo o mundo, são iluminados, simultaneamente, com luz natural e elétrica. Poucos edifícios são destituídos de janelas e, na prática, a luz do céu pode constituir uma alta proporção de fluxo luminoso em um ambiente durante as horas normais de trabalho, mesmo que a iluminação elétrica seja projetada para fornecer ampla iluminância na tarefa.

### 2.3.5 Iluminação Artificial Suplementar

Para garantir a qualidade do ambiente a iluminação artificial deve ser usada como suplemento de luz natural. Esta técnica de se integrar a iluminação artificial com a natural foi, segundo a ABILUX (1992), desenvolvida na Inglaterra no *Building Research Station* e se baseia tanto nas considerações subjetivas da aparência local como na previsão da iluminância.

O princípio básico da iluminação suplementar baseia-se na garantia de iluminância necessária e exigida pela função em questão, na totalidade do ambiente e na relação de luminância entre os locais iluminados natural ou artificialmente. Atendendo a estes requisitos esta técnica possibilitará um nível constante de iluminância, luz necessária para aumentar a luminosidade aparente do local até um nível tal que assegure que não haja áreas escuras no ambiente, sem grande consumo de energia elétrica e uma luminância adequada que contrabalance o desconforto causado pelo céu visível através da janela.

## 2.4 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO NATURAL

### 2.4.1 Iluminação Natural como Parâmetro de Projeto

Para Robbins (1986), a iluminação natural é basicamente utilizada para realçar o caráter formal e estético do ambiente construído e configura-se desta maneira em um elemento de projeto que precisa ser parte integrante da filosofia do mesmo. Portanto, o conceito de iluminação natural envolve a otimização de todos os componentes internos e externos de uma edificação que podem ser beneficiados pelo uso da luz natural como a área, o volume, a forma, os materiais, as aberturas, os fechamentos, os objetos, as pessoas, as plantas e etc. Os conceitos de iluminação natural podem ser agrupados nas seguintes categorias:

- \* Iluminação lateral
- \* Iluminação zenital
- \* Iluminação indireta
- \* Iluminação utilizando a luz direta do sol
- \* Iluminação através de átrios, pátios, reentrâncias, etc.
- \* Combinações diversas.

Para que estes conceitos funcionem como um sistema ambiental deve-se considerar o comportamento radiante dos materiais. Durante as primeiras etapas do projeto, e considerando os aspectos de configuração geral do edifício (local, programa de necessidades e exigências dos clientes e usuários), o projetista deve estabelecer os conceitos de iluminação natural necessários para fornecer uma quantidade de luz razoável nos espaços, garantindo um bom desempenho visual e contraste suficiente para proporcionar conforto visual.

Ainda segundo este autor, o projeto de áreas do edifício iluminadas naturalmente é baseado em relações geométricas entre o ambiente e o tamanho, a forma e a localização das várias aberturas que fornecem iluminação natural ao ambiente. A compreensão da relação proporcional entre o espaço e a abertura permite ao projetista manipulá-la, a fim de modificar a penetração, a distribuição, a quantidade e a qualidade de luz natural no espaço. No processo de planejamento de iluminação natural, a relação geométrica entre o espaço e cada abertura deve ser estabelecida antes do impacto do meio transparente (envidraçados), do controle solar, dos móveis e dos equipamentos internos e de outras características variáveis que podem ser consideradas.

Tradicionalmente, a iluminação lateral é a estratégia de iluminação natural mais amplamente utilizada, e neste contexto, existe uma quantidade de métodos convencionais de introdução de luz natural no interior dos edifícios.

## **2.4.2 Aberturas Laterais**

Das variáveis levantadas neste trabalho, as aberturas nos envoltórios das edificações são componentes que proporcionam a ligação entre os ambientes externos e internos; e, permitem intercâmbio não apenas luminoso, mas também térmico, acústico, de fluxo de ar e visão. O projeto adequado deste componente tem grande influência no desempenho global das edificações.

Vários autores, segundo a CIBSE (1987) têm realizado estudos sobre o tamanho de janela aceitável, dentre estes Ne'eman, Keighley, Ludlow. Estes estudos mostram que a classificação da visão depende do que é visto no exterior e reflete a importância da locação vertical da janela na parede e sua relação com a linha do horizonte. Sugerem que, para uma dada área de janela, a dimensão vertical ótima da janela é cerca de 1 a 2 m. Ludlow afirma que a forma e o tamanho ótimos da janela são afetados pela natureza da cena externa. Sugere,

ainda, que visões panorâmicas distantes exigem aberturas largas (proporção de altura pela largura de 1:2,4), enquanto aberturas estreitas devem ser usadas para visões de perto com uma linha do horizonte elevada (proporção de altura pela largura de 1:1,4).

O desempenho da janela, segundo Ruck (1989), depende tanto das propriedades óticas quanto das propriedades térmicas do material transparente às radiações visíveis (vidro). Estas propriedades controlam as transferências de luz e calor para dentro dos edifícios. O tamanho e a localização das aberturas e as características de transmitância do vidro são os principais fatores que influenciam os níveis de iluminância interna. Outras variáveis que influenciam a determinação da iluminância da luz do céu em interiores das edificações incluem a disponibilidade de luz natural, as condições de céu, a latitude, a orientação da janela, as obstruções externas, a geometria e as refletâncias dos espaços internos e a localização da tarefa. Além disso, a economia de energia de iluminação pelo uso da luz natural é influenciada pela disponibilidade da luz do céu e do sistema de controle de iluminação utilizado.

Para Ruck (1989), as janelas desempenham uma variedade de funções como componentes do envoltório do edifício, enquanto o projeto deste depende da estratégia de controle ambiental utilizada. Além de satisfazer as necessidades humanas, psicológicas e biológicas, as aberturas proporcionam luz natural e calor para o interior.

Pereira (1995) classifica as aberturas de acordo com a função, o tamanho, a forma, a posição, a orientação e os controles que a ela são incorporados.

- \* Quanto à função, as aberturas são utilizadas para iluminação natural, ventilação natural, iluminação natural e visão, captação de calor solar (aquecimento), distribuição de calor e para diferentes combinações destas funções.
- \* Quanto ao tamanho, em termos absolutos, a abertura pode ser pequena ( $\leq 0,5\text{m}^2$ ), média ( $0,5 - 2,0\text{m}^2$ ) ou grande ( $\geq 2,0\text{m}^2$ ). Proporcional à área interna, a janela pode ser: muito baixa ( $\leq 1\%$ ); baixa (1 - 4%); média (4 - 10%); alta (10 - 25%) e muito alta ( $\geq 25\%$ ).
- \* Quanto à forma, a janela é horizontal se a razão entre a altura e a largura for de 1:2; vertical se a razão for de 2:1; e intermediária se a razão estiver entre 1:2 e 2:1.
- \* Quanto à posição da janela em relação à altura, esta pode ser alta, intermediária ou baixa; e com relação à largura, a janela pode ser central, lateral ou de canto.
- \* Quanto à orientação, a abertura pode estar voltada para o Norte, para Leste ou Oeste, e para o Sul.

\* Quanto a seus controles, estes podem ser fixos ou móveis (manual ou automaticamente).

A janela como um componente de passagem de luz lateral na edificação apresenta alto nível de iluminação junto a mesma, mas com rápido decréscimo na direção ao interior. Segundo Pereira (1995) as dimensões mais usuais são de 1,2 a 1,8m de altura e 0,8 a 2,5m de largura. Os fechamentos transparentes ou translúcidos são os mais variados (vidro, policarbonato, vidro prismático, isolamento translúcido, etc.), podendo ser simples, duplos ou até triplos. Geralmente são móveis para permitir ventilação e podem incorporar dispositivos de controle de radiação solar e/ou ofuscamento.

### 2.4.3 Profundidade do Ambiente

A profundidade de penetração da luz natural é limitada em interiores iluminados lateralmente, onde os níveis de iluminância diminuem rapidamente com o aumento da distância da parede onde está a janela em direção ao fundo do recinto.

Segundo Robbins (1986), a distribuição da iluminância, dentro do conceito de iluminação lateral, é a combinação da penetração e do espalhamento da luz natural na sala a partir da abertura. A penetração é definida como a distância, dentro da sala, em que níveis de iluminância de luz natural pré-determinados alcançam sobre um plano de trabalho. Esta distância é, usualmente, medida perpendicularmente ao plano da abertura. O espalhamento é a distância ao longo da qual um nível predeterminado de iluminância se estende paralelo ao plano da abertura ao longo do plano de trabalho.

Para limitar a profundidade da peça em interiores iluminados unilateralmente, existem vários procedimentos práticos ou empíricos baseados em suposições simplificadas sobre os conceitos de iluminação natural. A mais comum destas é que a luz natural penetra, cerca de 2,5 vezes a altura da abertura ( $2,5 \cdot h$ ) em um recinto de uma única janela (IESNA apud Robbins, 1986).

Para Robbins (1986), o estabelecimento de relações básicas proporcionais tem sido sempre uma importante parte do processo de projeto de sistemas de iluminação natural. No caso da regulamentação destas relações, por exemplo  $2,5 \cdot h$ , várias questões precisam ser respondidas antes da norma poder ser aplicada:

- \* Em que condições de céu é aplicada: claro, intermediário ou encoberto?
- \* Que suposições são feitas sobre a largura da abertura?
- \* Que tipo de iluminação natural é fornecida ao ponto: iluminação ao nível da tarefa, iluminação de fundo, ou representa a máxima penetração da luz natural?
- \* Quais são as características do material do envidraçado?
- \* Quais são as refletâncias das superfícies internas?
- \* A abertura é obstruída por outros edifícios ou vegetação?
- \* Há luz direta (luz do sol) penetrando na abertura considerada?

Já para Ruck (1989), o procedimento empírico, desenvolvido há muitos anos, indica que a penetração útil raramente excede a duas ou três vezes a altura da janela. Usando esta regra, a penetração em uma zona limita o perímetro em 4 a 6 m de profundidade em, por exemplo, um escritório com 3 m de pé-direito e condições médias de luz natural. A distância para que a luz natural mantenha-se efetiva depende da forma da janela e das refletâncias das superfícies da sala. A penetração máxima é favorecida por janelas altas e superfícies claras.

Para verificar se um interior é muito profundo em relação à altura do topo da janela até o piso, isto é, se é satisfatoriamente iluminado com luz natural, a CIBSE (*The Chartered Institution of Building Services Engineers*, 1987) apresenta uma condição (ver Equação 3.12, p. 53), que relaciona as dimensões do ambiente com janela em apenas uma parede com a refletância média das superfícies internas da metade do ambiente mais afastada da janela.

O Código de Obras e Edificações de Florianópolis (Florianópolis, 1996), em seu artigo 248 estabelece que a profundidade máxima do compartimento não poderá exceder a duas vezes e meia o valor da altura (pé-direito) desse mesmo compartimento.

## 2.5 VARIÁVEIS CONSIDERADAS

### 2.5.1 Clima

O clima é entendido como o conjunto de fenômenos meteorológicos que definem a atmosfera de um lugar determinado. É a condição média do tempo em uma região, baseada em medições sistemáticas de, pelo menos, trinta anos. Pode ser dividido em três escalas indissociáveis: macroclima, mesoclima e microclima.

As variáveis do macroclima são quantificadas em estações meteorológicas, e podem descrever as características gerais de uma região em termos de insolação, nebulosidade, temperatura, ventos, umidade e precipitações.

O conhecimento destas variáveis é fundamental para o projeto de edificações mais adequadas ao conforto dos seus ocupantes e mais eficientes em termos de consumo de energia.

### 2.5.2 Fontes de Luz

Para o projeto de iluminação natural de uma edificação, é necessário avaliar as fontes de radiação luminosa que chegam de forma direta e indireta. Estas podem ser caracterizadas, de acordo com Moore (1991), da seguinte maneira: fontes de luz diretas (sol e abóbada celeste); fontes de luz indiretas (difusores refletivos ou translúcidos que foram originalmente iluminados por outras fontes primárias ou secundárias, dentro e fora da edificação).

O sol é uma fonte de luz primária, de grande intensidade, pontual e dinâmica, e apenas a metade de sua energia radiante recebida pela superfície da terra é visível. Sendo a principal fonte de luz diurna fornece tanto iluminação direta como difusa através da abóbada celeste, tornando-a mais ou menos clara. Como a abóbada celeste tem uma área visível maior e de, relativamente, pouca luminância, constitui-se em uma fonte de luz mais adequada para a iluminação natural. Para esta autora o entorno também se comporta como uma fonte de luz, uma vez que a luz refletida pelo terreno ou proveniente de outras superfícies exteriores ao edifício pode alcançar o interior do ambiente. A luz refletida pelo entorno pode representar mais da metade da luz recebida por janelas localizadas em locais sombreados.

A posição do Sol na abóbada celeste pode ser definida através dos ângulos de altitude solar ( $\gamma$ ) e de azimute solar ( $\alpha$ ), ângulos que variam de acordo com a hora do dia e período do ano. De todos os elementos climáticos, a radiação solar é o de comportamento mais conhecido, bastando plotar a altitude e o azimute do sol em uma carta solar para saber onde está o sol em determinado período do ano. O diagrama solar pode ser encontrado em vários sistemas de projeção: estereográfico, equidistante, ortográfico e gnomônico.

### 2.5.3 Radiação Solar

O efeito da nebulosidade, segundo Mascaró (1983), em um céu completamente encoberto pode formar uma importante barreira à penetração da radiação solar, pois, dependendo da quantidade, da espessura e do tipo de nuvens, a proporção de radiação solar que se reflete pode oscilar entre 44 e 50% quando as nuvens são cirros e entre 55 e 80% quando são estrato-cúmulos. A latitude exerce um controle muito importante sobre a insolação porque a situação geográfica de uma região determina a duração do dia e também a distância que os raios oblíquos do sol tem que percorrer através da atmosfera.

A radiação solar é a principal fonte de energia para o planeta. Tanto como fonte de calor quanto como fonte de luz, o Sol é um elemento de extrema importância no estudo da eficiência energética na arquitetura. É possível tirar partido ou evitar a luz e o calor solar em uma edificação, e o critério mais sábio para definir o que fazer é ter como premissas básicas o conforto térmico e visual dos ocupantes e a economia de energia.

No movimento de translação, a Terra percorre sua trajetória elíptica em um plano inclinado de  $23^{\circ}27'$  em relação ao plano do equador. É este ângulo que define a posição dos trópicos e isto faz com os dois hemisférios terrestres recebam quantidades distintas de radiação solar ao longo do ano, caracterizando as estações pelos solstícios de verão e de inverno e pelos equinócios de primavera e de outono. É devido a esta elipticidade da órbita da terra, de acordo com Tregenza (1993), que a radiação solar incidente sobre a atmosfera, isto é, a radiação solar extraterrestre, varia durante o ano.

De acordo com Koenigsberger et al. (1973), a quantidade de radiação solar que chega à superfície terrestre depende basicamente de três fatores: a lei do co-seno, a dissipação atmosférica e a duração da luz do dia.

A lei do co-seno estabelece que a intensidade de radiação incidente em uma superfície inclinada é igual à razão entre a intensidade normal e o co-seno do ângulo de incidência, como é demonstrado na Equação 2.1 e na Figura 2.1.

$$\cos \beta = \frac{B}{C}$$

Equação 2.1

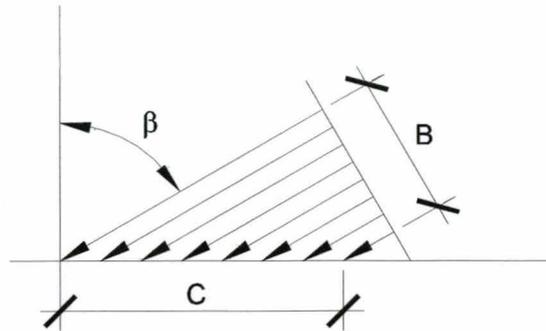


Figura 2.1 Lei do co-seno.

Quanto menor a altitude solar, mais longo é o trajeto da radiação através da atmosfera e, em consequência, menos radiação chega à superfície terrestre, como pode-se ver na Figura 2.2. Esse fenômeno é conhecido como dissipação atmosférica, ou seja, a absorção da radiação solar pelo ozônio, vapores e partículas contidas na atmosfera. É devido a isto que o sol do poente é avermelhado, pois apenas a luz nesta frequência de onda consegue atravessar a camada atmosférica.

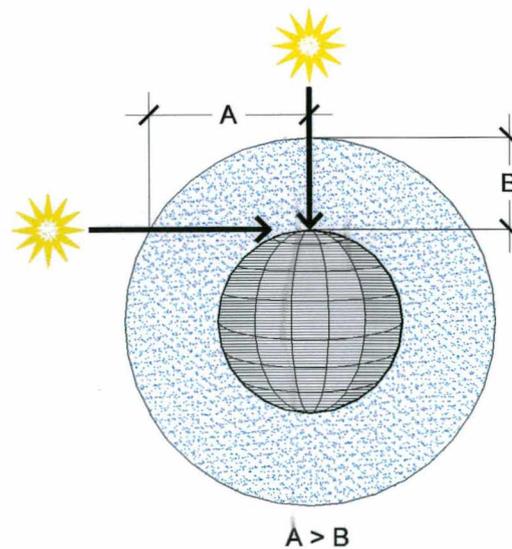


Figura 2.2 Posição do Sol no zênite e no horizonte.

## 2.5.4 Componentes da Radiação Solar

A radiação solar extraterrestre incidente no topo da atmosfera, segundo Tregenza (1993), varia durante o ano devido à elíptica da órbita da terra. Considerando uma distância média entre a terra e o sol de  $19,5 \times 10^6$  km, seu valor, definido pela Constante Solar, é de  $1353 \text{ W/m}^2$ .

A radiação solar global pode ser dividida em direta e difusa. Isto acontece porque, após sua penetração na atmosfera, a radiação começa a sofrer interferências no seu trajeto em direção à superfície terrestre.

A parcela que atinge diretamente a terra é chamada radiação direta e sua intensidade depende do ângulo de altura solar e do ângulo de incidência dos raios solares em relação à superfície receptora.

A outra parcela da radiação global incidente na atmosfera sofre um espalhamento e tem sua direção alterada. É a parcela difusa, que é tanto maior, proporcionalmente, quanto mais nublado for o céu. Nestes casos, a parcela direta da radiação solar se reduz bastante e todas as fachadas de um edifício tenderão a receber a mesma quantidade de radiação difusa.

## 2.6 DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL

Para Pereira, (1997) ao se tratar da disponibilidade de luz natural no Brasil, verifica-se que existe uma deficiência muito grande no que diz respeito a dados climáticos aplicados ao projeto do ambiente construído, e uma das formas mais diretas de estimativa de dados de luz natural é o uso da eficácia luminosa do fluxo radiante (energia solar). O problema é que a maioria das estações meteorológicas nem sequer medem a radiação global horizontal. As distribuições normalizadas, expressas na forma de equações, são disponíveis apenas para condições de céu bem características - céu encoberto e céu claro, não existindo ainda nenhuma distribuição normalizada para céus mais reais como os parcialmente encobertos.

## 2.6.1 Modelos de Céu

### 2.6.1.1 Céu Uniforme

Caracteriza-se por apresentar luminância uniforme e constante, correspondendo a um céu coberto por densas nuvens brancas, com a atmosfera saturada de partículas e onde o sol não é visível. A luminância em qualquer porção do céu é igual para qualquer orientação e altura solar. Segundo Pereira (1995), foi a primeira condição de céu a ser simulada tanto por métodos matemáticos como por céu artificial, a maioria das pesquisas pioneiras de iluminação natural assumiam esta condição da abóbada celeste. Porém, é raramente encontrado em condições naturais.

### 2.6.1.2 Céu Encoberto

A distribuição normalizada para esta condição de céu, com base na formulação matemática originalmente proposta por Moon e Spencer em 1942, foi adotada pela CIE, em 1955 (Moore, 1991), e, posteriormente melhorada por Aydinli e Kittler. Na fórmula de Moon e Spencer a luminância do céu é assumida como sendo simétrica em torno do zênite e sofre alteração à medida que se eleva a partir da linha do horizonte. Segundo Lynes (1968), na prática este padrão é afetado pelo fator de reflexão do solo e varia ao longo do ano.

Littlefair apud Pereira (1992), sugere que o céu encoberto pode ser assumido como uma associação de duas partes: um céu claro bem acima e camadas opacas e espessas de nuvens abaixo.

Este tipo de céu resulta da reflexão/refração da luz direta do sol, todos os comprimentos de onda, em grandes partículas de água em suspensão na atmosfera. O resultado é uma abóbada cinza-claro, com a porção zenital apresentando uma luminância três vezes maior que a porção próxima à linha do horizonte. A altura solar afeta a luminância destes céus, e em qualquer latitude um céu encoberto pode ser duas vezes mais brilhante no verão do que no inverno.

### 2.6.1.3 Céu Claro

Para Moore (1991) e Tregenza apud Pereira (1995), numa condição de céu claro, isto é, inexistência de nuvens e baixa nebulosidade, as reduzidas dimensões das partículas de água fazem que apenas os comprimentos de onda da porção azul do espectro emirjam em direção à superfície da terra, conferindo esta cor ao céu. O céu apresenta sua porção mais escura a 90° do sol e sua parte mais brilhante ao redor do mesmo, além deste efeito, tende a ser mais brilhante nas regiões próximas à linha do horizonte, devido à maior espessura da massa de ar que a luz tem de atravessar. Segundo Moore (1991), a fórmula proposta por Kittler, em 1965, foi adotada pela CIE em 1973.

O céu claro padrão da CIE (Commission Internationale de l'Eclairage, 1996) é representado por uma condição de céu sem nuvem, onde a luminância do céu depende tanto do ângulo de altura solar quanto da posição do sol. Nesta condição de céu a distribuição de luz é estável, variando apenas com a mudança da posição do sol na abóbada celeste.

Recentemente Perez tem usado algumas suposições básicas em um sofisticado modelo de céu, denominado *all weather* que abrange não somente céus claros mas todos os casos existentes, por um conjunto de parâmetros derivados de uma base de dados experimentais de 16 000 valores de luminância medidas em Berkeley, CA, entre junho de 1985 e dezembro de 1986. Estes parâmetros são calculados usando o ângulo zenital e o índice de brilho do céu ( $\Delta$ ), ao contrário do céu claro padrão da CIE que sugere uma validade geral independente do ângulo de zênite solar e do brilho do céu. (Kittler et al. 1997).

### 2.6.1.4 Céu Intermediário ou Parcialmente Encoberto

No passado, estudos de iluminação natural eram desenvolvidos assumindo condições estáticas: céu claro (sem nuvens) e céu encoberto escuro (excluindo o sol); ou ainda, de porcentagens relativas destes. Tais padrões de céu raramente, ou nunca, existem, e são de pouca utilidade para análises reais diárias de consumo de energia em edificações. Uma aproximação real requer uma análise de luz natural que considere as condições dinâmicas do céu. (Architectural Record, 1991)

Na condição de céu intermediário, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnica (1997), a luminância de um dado elemento será definida para uma dada posição do sol sob uma condição climática intermediária que ocorre entre os céus padronizados

totalmente claro e totalmente encoberto. A luminância do ponto depende da altura solar, da mesma forma que para o céu claro padrão CIE, e o sol e sua auréola não são considerados.

De acordo com Scarazzato (1995), a IESNA apresenta uma equação para distribuição de luminância similar à do céu claro mas com as constantes modificadas para medições de céu parcialmente encoberto (intermediário).

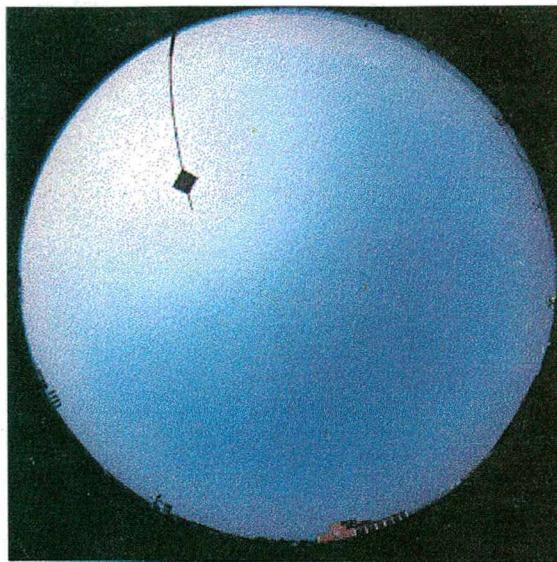
## 2.6.2 Determinação das Condições de Céu

Existem diversos métodos para avaliar as condições do céu encontrado em determinado lugar, isto é, se céu claro, céu intermediário (parcialmente encoberto) ou céu encoberto.

Szokolay (1980) afirma que, devido à extrema variabilidade das condições de iluminação exteriores, uma base de dados para a análise de projetos pode ser estabelecida apenas por métodos estatísticos; e que, medições contínuas ou horárias da iluminação exterior de um céu desobstruído permitiriam a construção de um gráfico com curvas para a variação horária da luz, por exemplo, para apenas um dia típico de cada mês.

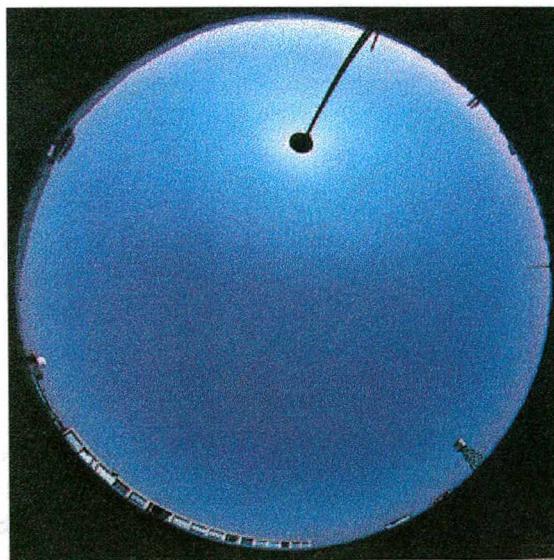
Para Valko (1980), só medidas sistemáticas precisas podem conduzir a uma solução mais geral. Para este propósito desenvolveu um sistema móvel equipado com diferentes dispositivos controlados por computador, que medem a radiação solar e que foi colocado em operação durante 1974. Simultaneamente com as medições, realizadas em vários lugares da Suíça, da França e da Alemanha, foram tiradas fotografias da abóbada do céu.

Este autor afirma que, até mesmo uma atmosfera livre de nuvens pode atenuar, consideravelmente, os fluxos de radiação. A extinção e a absorção da radiação por partículas de pó, neblina e vapor de água são os principais responsáveis por esta atenuação. Então a gama de variações de intensidade sob as condições de céu claro depende primeiro das variações de turvação do ar e da precipitação pluviométrica. A variação de turvação do ar pode ser verificada a partir das figuras abaixo, onde a Figura 2.4, condição de céu claro com ar limpo, mostra uma área de céu azul maior e mais escura que a Figura 2.3, condição de céu claro com forte turvação.



**Figura 2.3** Condição de céu claro com forte turvação.

Fonte: Valko (1980)

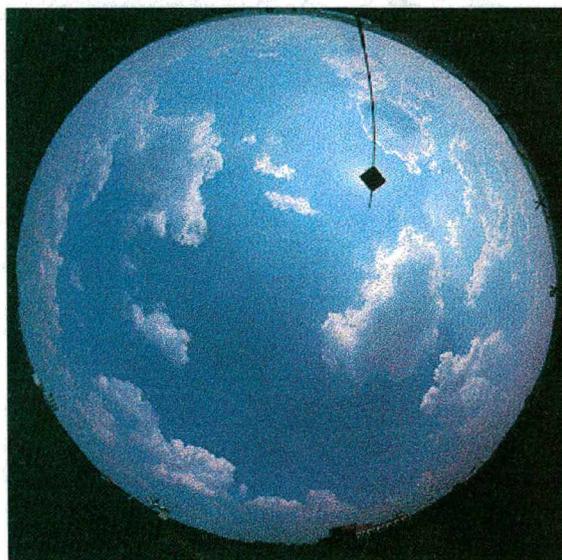


**Figura 2.4** Condição de céu claro com o ar limpo.

Fonte: Valko (1980)

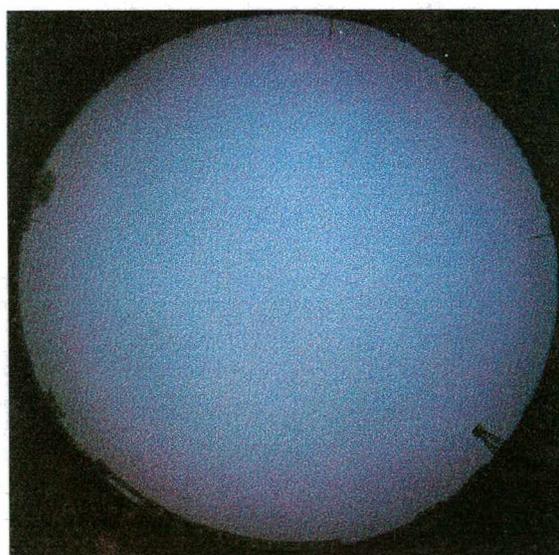
Para Valko (1980), nas condições de céu encoberto a regularidade dos padrões de radiação difusa é perturbada pela distribuição irregular de brilho da estrutura e do tipo de nuvens. A Figura 2.5 mostra um céu coberto por 3/10 a 4/10 de nuvens do tipo cúmulo, onde o autor faz notar que as zonas em torno do sol estão, marcadamente, clareadas por uma cobertura de pré condensação entre as formações de nuvens individuais. Já, por outro lado,

nuvem tipo estratiforme é densa bastante para obscurecer os raios diretos do sol muito mais que os cirros, e os padrões de radiação difusa já não se concentram ao redor do sol, mas no zênite. Para o céu completamente nublado a fotografia da Figura 2.6 mostra o efeito de uma camada de estratos acima, com névoa abaixo, próximo ao modelo de céu encoberto da CIE.



**Figura 2.5** Condição de céu encoberto por 3/10 a 4/10 de nuvens tipo cúmulo.

Fonte: Valko (1980)



**Figura 2.6** Condição de céu encoberto por nuvens tipo estrato.

Fonte: Valko (1980)

Para demonstrar que a luz natural é altamente variável, o *Thermal Analysis Group* da *National Bureau of Standards* (NBS) apresenta uma série de 10 fotografias, tiradas no dia 28 de janeiro de 1991, das 8:00h às 17:00h, em *Gaithersburg, Maryland*. Acreditam que as fotografias podem ser instrutivas para observadores de estações meteorológicas que não têm a instrumentação necessária para medir a nebulosidade, mas onde as condições são informadas estimativamente pelo observador em uma escala de 1 a 10 - 1 está claro, 5, densas nuvens ou neblina, 7, mais nublado, e 10, nublado. (*Architectural Record*, ago/1991)

Gary Gillette e Tamami Kusuda, pesquisadores da NBS, para desenvolver um programa de simulação de energia em edificações, tal como DOE-2, BLAST e NBSWHF, assumiram o céu como fonte de luz, cujo brilho varia com o tempo. Neste programa, primeiro se estabelece o brilho de um céu perfeitamente claro e um céu extremamente encoberto, para horas específicas do dia; e, a partir da introdução de um número chamado *cloud ratio*, que é a proporção da radiação solar difusa para a radiação solar global horizontal, é encontrada a porcentagem de céu obstruída por nuvens. (*Architectural Record*, ago/1991)

Para Scarazzato (1995), no Brasil não existem informações confiáveis, isto é, medições e registros sistematizados, sobre a disponibilidade de luz natural, nem sobre as características de luminosidade e nebulosidade predominantes numa dada localidade. Portanto, propõe a adoção do programa de computador DLN, que utiliza o conceito de Dia Luminoso Típico de Projeto, para a predição da disponibilidade de luz natural em planos horizontais, para condições de céu claro, intermediário e encoberto, baseado no modelo preditivo recomendado pela IESNA.

O método utilizado no Brasil, segundo Scarazzato (1995), para determinar o tipo de céu encontrado em uma localidade, para um determinado período, baseia-se no modelo que estima a cobertura de nuvens com base em observação visual. Em valores percentuais, numa escala de 0 a 10, onde o zero significa inexistência de nuvens, e o dez é um céu totalmente encoberto, a convenção adotada é a seguinte: céu claro = de 0 a 3 pontos (de 0 a 39%), céu intermediário = de 4 a 7 pontos (de 40 a 79%) e céu encoberto = de 8 a 10 pontos (de 80 a 100%).

Já para Mascaró (1996), a nebulosidade indica o nível de transparência da abóbada celeste, e é representada pela parcela de céu obstruída por nuvens, medida em oitavos. Para a condição de céu claro e céu encoberto a nebulosidade corresponde a valores inferiores a 2/8, e superiores a 6/8, respectivamente.

Segundo Pereira (1995), dados e técnicas precisos para estimar as condições de disponibilidade de luz natural são importantes para a avaliação do desempenho final de um projeto em termos de conforto visual e consumo de energia.

O que se utiliza normalmente no Brasil são as normais climatológicas (valores médios de horas de sol) publicadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia, ou estimativas feitas a partir dos valores de nebulosidade do Ano Climático de Referência. A medição da radiação solar instantânea ( $W/m^2$ ), já separando a radiação em suas parcelas direta e difusa, poderia evitar toda a imprecisão de trabalhar com os dados de nebulosidade que são registrados de forma visual (sem instrumentos), ficando à mercê da sensibilidade do olho de quem faz a observação.

### 2.6.3 Classificação do Céu

Para a análise da influência da luz natural em ambientes internos por meio de seu ingresso através de aberturas, é fundamental conhecer o tipo de distribuição de luminâncias, isto é, o tipo de céu encontrado na localidade em estudo.

Segundo Kittler, Perez e Darula (1997), vários pesquisadores, como M. Perraudeau, N. Igawa, H. Nakamura e Y. Koga, têm proposto e usado diferentes sistemas de classificação do céu, cada um comparando céus reais com céus claros ideais ou céus padrão CIE, ou usando proporção, erro relativo ou coeficientes de correlação para especificar categorias de céu. Para estes autores a conexão mais natural entre a distribuição e o nível de luminância do céu e a iluminância horizontal resultante foi esquecida devido a dificuldades e suposições teóricas, e o vínculo entre a luminância do céu e a solar é raramente levada em conta ou especificada.

No artigo apresentado na *Iesna Annual Conference* em 1996 e publicado no *Journal of IES*, 1997, Kittler, Perez e Darula (1997), afirmam que casos de céu real são influenciados por várias circunstâncias, tais como mudança da posição do sol, turvamento e teor de poluição da atmosfera, tipos de nuvens e cobertura, bem como a distribuição de nuvens na abóbada celeste que causa várias interações de luz do sol e luz do céu. Assim, a distribuição de luminância do céu e seus níveis globais resultam das características de difusão, penetração e transparência da luz do sol e das propriedades de reflexão das partículas atmosféricas e das nuvens que afetam a redistribuição do fluxo extraterrestre que alcança a camada externa da atmosfera.

A classificação do céu, de acordo com estes autores não deve somente determinar os tipos de céu, mas também a extensão e a frequência de ocorrência de níveis de iluminância em uma localização em particular. Apresenta um método de classificação do céu baseado no uso de um sistema de proporção de iluminâncias parciais  $P_v/E_v$ ,  $G_v/E_v$ ,  $D_v/E_v$ , onde  $P_v$ ,  $G_v$ ,  $D_v$  e  $E_v$  são, respectivamente, a iluminância direta ( $P_v$ ), global ( $G_v$ ), difusa ( $D_v$ ) e extraterrestre no plano horizontal ( $E_v$ ), e que resultou na obtenção de duas categorias distintas de céu: céus homogêneos e céus não homogêneos.

\* Os *céus homogêneos* são céus claros a turvos, nebulosos e encobertos com, aproximadamente, a mesma densidade atmosférica e transparência em todas as direções, portanto possuem um padrão de céu típico de distribuição espacial uniforme. Nesta categoria foram identificados os seguintes tipos de céu:

- ✓ *Céu encoberto escuro*, céu com padrão bastante regular, concêntrico e simétrico. Está, geralmente, associado a nebulosidade de multicamadas escuras de estratos e qualquer brilho do sol é excluído e a iluminância é muito baixa ( $D_v/E_v < 0.25$ ). A luminância do céu decai gradualmente do zênite para o horizonte na proporção aproximada de 1:0.2 a 1:0.5. Este tipo de céu pode ser representado pelo Céu Encoberto Padrão da CIE.
- ✓ *Céu encoberto uniforme*, céu com distribuição de luminâncias quase constante e muito uniforme. Frequentemente a iluminância difusa está, aproximadamente, dentro da taxa de  $[0.1 < D_v/E_v < 0.3]$ . A ocorrência deste tipo de céu é bastante provável em terrenos cobertos de neve.
- ✓ *Céu encoberto brilhante sem influência do sol*, céu com luz solar excluída e com padrão regular concêntrico causando elevados níveis de iluminância ( $D_v/E_v > 0.25$ ). A luminância do céu decai na proporção de 1:0.4 a 1:0.75 do zênite para o horizonte.
- ✓ *Céu encoberto brilhante com influência do sol*, céu com o efeito da coroa solar possuindo um padrão simétrico ao meridiano solar. Isto ocorre sob camadas de nuvens dispersas e finas ou nevoeiro quando o sol está completamente sombreado e está relacionado a elevados ou extremos níveis de iluminância difusa ( $D_v/E_v = 0.3$  a  $0.7$ ) em dependência da transparência da camada e da altura do sol.
- ✓ *Céu límpido ou encoberto, brilhante turvo com luz solar filtrada*, neste céu tanto os níveis de luz do sol como de luz do céu são muito altos e equivalentes ou quase iguais. Este tipo de céu é muitas vezes encontrado em regiões industriais poluídas

(fator de turvamento entre 4 e 15) ou sob nebulosidade dispersa, rarefeita e uniformemente distribuída.

✓ *Céu límpido claro*, céu com pequeno conteúdo de poluição (fator de turvamento entre 2 e 4). Sob este tipo de céu, iluminâncias de luz solar distintamente maiores são presentes ( $P_v/E_v$  entre 0.5 e 0.8) enquanto os níveis de luz do céu são relativamente mais baixos ( $D_v/E_v$  é geralmente próximo a 0.15).

\* Os céus *não homogêneos* são céus intermediários (parcialmente encobertos) caracterizados por irregularidades e distribuições desiguais, bem como diferenças aleatórias na luminância medida em um esquema regular de exploração.

### 2.6.3.1 Índice de Limpidez do Céu ( $\epsilon$ )

Para a avaliação da disponibilidade de luz natural utilizando componentes de radiação solar direta e global, Perez apud Pereira (1992) apresenta um modelo matemático baseado em dados empíricos, denominado Índice de Limpidez do Céu ( $\epsilon$ ). Este índice apresenta a transição de uma condição de céu completamente encoberto para um céu claro com baixo turvamento. (ver Equação 3.1, p. 41)

### 2.6.3.2 Índice de Brilho do Céu ( $\Delta$ )

Segundo Perez, citado por Pereira (1992), este índice é o parâmetro que exprime a opacidade/espessura das nuvens, e dá uma estimativa da fração da radiação absorvida pelas nuvens. (ver Equação 3.2, p. 42)

Para Kittler, Perez e Darula (1997) estes conceitos não estão relacionados ao céu claro padrão da CIE ou às definições de brilho da CIE e tanto  $\epsilon$  quanto  $\Delta$  são definidos em termos de radiação. Há uma inconsistência entre o método de radiação de classificação do céu e seu propósito para pré determinar modelos de luminância do céu que pode introduzir erros significando problemas de diferentes eficácias luminosas para luz do sol e para luz do céu. Por um lado este conceito tem a vantagem de ter conexões com base de dados de radiação global, direta e difusa disponível em estações meteorológicas sem a necessidade de dados de luminância que são muito raramente medidos. Quando apenas dados de radiação solar são disponíveis, as grandezas fotométricas podem ser simplesmente estimadas usando o modelo de eficácia luminosa.

## 2.7 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE ILUMINÂNCIAS EM INTERIORES

Existem vários métodos de predição de iluminâncias de luz natural no interior dos edifícios, variando de simples fórmulas empíricas até complexos programas de computação.

Para estimar a distribuição da iluminação natural em interiores, conta-se com os seguintes métodos, quais sejam: métodos simplificados (métodos matemáticos e métodos gráficos), simulação com modelos em escala reduzida e modelagem matemática através de simulação computacional, sendo que todos estes métodos apresentam vantagens e desvantagens.

### 2.7.1 Métodos Matemáticos Simplificados

De acordo com Moore (1991), dois métodos básicos são disponíveis para o cálculo manual da iluminância da luz natural em interiores: o método do fluxo total ou método dos lumens adotado pela IESNA, e o método do fluxo dividido ou *daylight factor*, recomendado pela CIE.

Segundo Baker et al. (1993), a grande vantagem dos métodos simplificados é que permitem ao projetista, nas primeiras fases do projeto, fazer uma avaliação rápida e aproximada da iluminação natural.

lúmen

#### 2.7.1.1 Método do Fluxo Total - Método dos Lumens

De acordo com Szokolay (1980), o método dos lumens, ou método do fluxo total, baseia-se no cálculo do fluxo total de luz incidente na janela, em lumens, e é corrigido pelos fatores de manutenção, pelo tipo de vidro, pela esquadria e por outras obstruções. Este método foi derivado de estudos experimentais, para condições de céu claro e céu encoberto. Para determinar o valor médio de iluminação em um ponto, usa o coeficiente de utilização que depende das proporções geométricas do ambiente, da refletância das superfícies internas e da posição do ponto em relação à janela.

### 2.7.1.2 Método do Fluxo Dividido - Daylight Factor e CIN

Este método, conforme Pereira et al. (1996a), baseia-se na consideração dos vários caminhos através dos quais a luz natural pode alcançar um ponto no interior de uma edificação. A divisão do fluxo luminoso resulta em três componentes que representam os três caminhos básicos do trajeto da luz natural. A Componente do Céu (CC) é a luz que alcança um ponto interno do ambiente proveniente diretamente do céu; a Componente Refletida Externa (CRE) é a luz que alcança um ponto interno do ambiente após ter refletido em uma superfície externa; e a Componente Refletida Interna (CRI) é a luz que alcança um ponto interno do ambiente somente depois de ter sofrido uma ou mais reflexões nas superfícies internas.

De acordo com Moore (1991), Girardin (1994) e Pereira et al. (1996a), a soma destas três componentes, corrigida pelos fatores relativos à transmissividade do vidro ( $K_T$ ), à manutenção ( $K_M$ ) e ao caixilho ( $K_C$ ), representa o nível de iluminação natural num ponto do ambiente interno.

$$E_p = (CC + CRE + CRI) * K_T * K_M * K_C \quad \text{Equação 2.2}$$

A razão entre a iluminância em um ponto de referência interno  $E_p$ , localizado num plano horizontal, e a iluminância simultânea produzida por toda a abóbada celeste desobstruída num plano externo horizontal  $E_E$ , é denominado *Daylight Factor (Df)*, para condições de céu que não apresentam variação de luminância com relação ao azimute (céu encoberto padrão CIE e céu uniforme). Este fator é assumido como uma constante para todos os pontos de um ambiente;

$$Df = \frac{E_p}{E_E} * 100\% \quad \text{Equação 2.3}$$

e Contribuição de Iluminação Natural (CIN), para condições de céu claro e céu encoberto.

$$CIN = \frac{E_p}{E_E} * 100\% \quad \text{Equação 2.4}$$

## 2.7.2 Métodos Gráficos Simplificados

Uma variedade de métodos gráficos é utilizada para estimar a iluminância de interiores devido a iluminação natural.

Para Moore (1991), estes métodos permitem a estimativa da iluminância de luz natural utilizando gráficos, que é a forma de projeto mais familiar aos projetistas.

São ferramentas adequadas ao cálculo da componente direta da luz natural, segundo Baker et al. (1993), mas apresentam dificuldade no cálculo da componente indireta. Como chegam, somente, a resultados aproximados, podem levar a erros significativos de avaliação, portanto, só devem ser utilizados para análise rápida da iluminância nas fases iniciais do projeto.

De fácil aplicação e com rápida análise do efeito relativo de diversos parâmetros de projeto, estes métodos apresentam as seguintes desvantagens: a análise para um único ponto de cada vez; limitados por suposições teóricas inerentes a processos gráficos simplificados; e limitados também, com relação a estudos paramétricos.

Entre os métodos gráficos pode-se citar o Diagrama de Pontos, o Diagrama de Waldram, os nomogramas, os transferidores, e o Diagrama de Contribuição Relativa de Luz.

### 2.7.2.1 Diagrama de Pontos

Segundo Moore (1991), vários autores como Pleijel e Turner, descreveram diagramas para a estimativa gráfica da componente do céu para condições de céu encoberto. Estes diagramas consistem em um padrão de pontos definidos em função da distribuição da luminância do céu e da correção do co-seno para o ângulo de incidência. Cada diagrama é sobreposto a uma máscara de obstrução mostrando o tamanho angular e a localização da abertura (janela, clarabóia) visível a partir de um dado ponto interno de referência.

São diagramas para a estimativa da componente celeste para condição de céu encoberto padrão CIE, usando projeções eqüidistantes compatíveis com os diagramas de trajetória solar. Para a condição de céu claro padrão CIE, os diagramas fazem a estimativa das componentes do céu e refletida externa.

De acordo com Szokolay (1980), neste método, a abóbada celeste é subdividida em áreas de diferentes tamanhos, que representam uma unidade de igual intensidade luminosa representada por um ponto com uma quantidade definida de fator de luz diurna  $D_f$ .

### 2.7.2.2 Diagrama de Contribuição Relativa de Luz (DCRL)

Segundo Souza (1997), estes diagramas representam a distribuição de luminâncias em céu encoberto e em céu claro para as altitudes solares de  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $75^\circ$  e  $90^\circ$ . São utilizados para calcular níveis de iluminância em um dado ponto situado em plano horizontal no interior do ambiente iluminado naturalmente, juntamente com os procedimentos de cálculo para as componentes refletidas externa e internamente. A somatória dos valores obtidos para as três componentes da luz natural (componente celeste, componente refletida externa e componente refletida interna) multiplicada pelos devidos fatores de correção (vidro, emolduramento e manutenção) irá fornecer a contribuição total de iluminação natural (CIN) relativa a um ponto situado no plano horizontal.

Para se determinar a quantidade de luz incidente em um ponto interno do ambiente através de uma abertura, deve-se utilizar um Diagrama de Trajetória Solar Aparente para a localidade em estudo, como no exemplo da Figura 2.7; Máscaras de Obstrução construídas a partir do diagrama apresentado na Figura 2.8 para cada ponto interno; e um Diagrama de Contribuição Relativa de Luz, para a condição de céu (claro ou encoberto) e altura solar escolhida, conforme Figura 2.9. Ressalta-se que estes diagramas deverão estar na mesma escala e com o mesmo sistema de projeção.

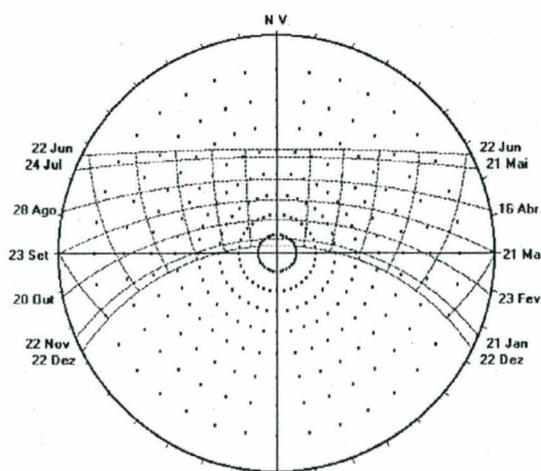


Figura 2.7 Diagrama de Trajetória Solar Aparente para a latitude de  $27^\circ 32' S$ .

Fonte: Pereira et. al. (1996a)

A partir da determinação do ponto interno de referência e da orientação para qual a abertura está voltada, se constrói a Máscara de Obstrução. Marca-se no Diagrama de Contribuição Relativa de Luz, o Norte a partir do azimute encontrado no sentido anti-horário, sobrepõe-se a Máscara de Obstrução, de forma que a abertura fique orientada adequadamente a partir do Norte, procede-se a soma dos valores internos à Máscara de Obstrução, isto é, na parcela de céu desobstruída.

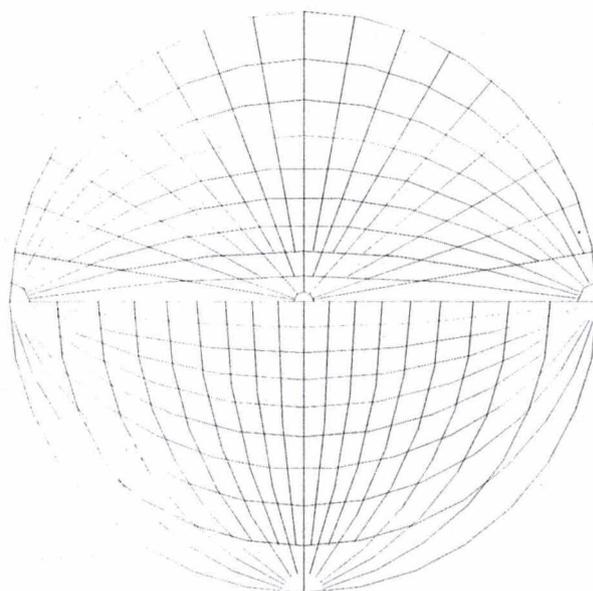


Figura 2.8 Diagrama usado para construção de máscara de obstrução.

Fonte: Moore (1991)

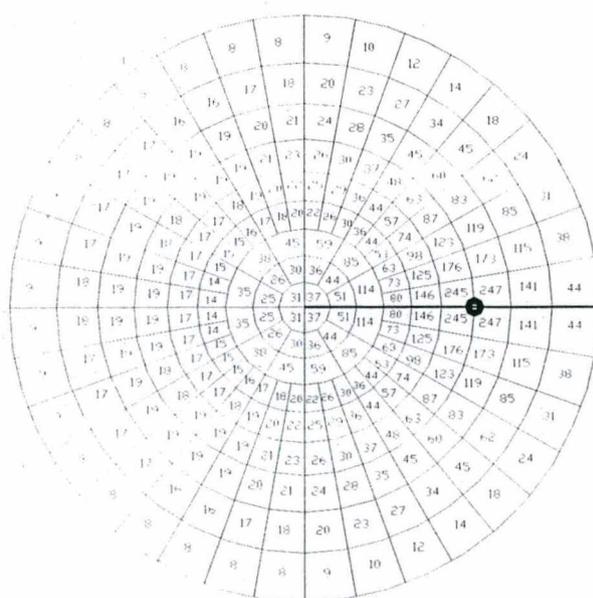


Figura 2.9 Diagrama de Contribuição Relativa de Luz (DCRL), céu claro e  $\gamma_s=30^\circ$ .

Fonte: Pereira et al. (1996a)

### 2.7.3 Modelos em Escala Reduzida

Segundo Pereira (1995), modelos arquitetônicos são ferramentas utilizadas no processo de projeto que os arquitetos têm empregado há muito tempo para explorar e estudar diferentes aspectos do projeto e execução de edificações. Para Kimi et al. apud Pereira (1995), ao contrário de outros modelos físicos nos quais o comportamento do fenômeno físico (transmitância térmica, tensões estruturais, fluxos de ar, etc.) sofre distorções pelo efeito da escala, o modelo para iluminação não requer compensações em função da mesma. Como o comprimento da onda da luz visível é extremamente reduzido em comparação ao tamanho dos modelos em escala, a luz se reflete nas superfícies internas do modelo da mesma forma que no espaço real, e o padrão de distribuição da iluminação interna nos dois é idêntico.

Portanto, de acordo com Pereira (1995), simulações com modelos em escala reduzida são muito eficientes para se determinar níveis de iluminação internos e adequadas para investigação de sistemas de aberturas complexos, mas, além de demandar bastante tempo, são limitadas em relação a estudos paramétricos e necessitam de boa instrumentação fotométrica.

### 2.7.4 Programas Computacionais

Segundo Koenigsberger et al. (1973), existem muitos programas para cálculo de fluxo de calor e para predição de luz natural. Cartas solares e projetos de mecanismo de sombreamento têm sido computadorizados. Constituem-se em ferramentas de verificação, usados para análise prévia. Após uma solução ter sido postulada, seu desempenho será predito pelo computador.

Usando o computador é possível fazer complicados cálculos de iluminação natural de ambientes, em lugar de usar aproximações simplificadas em que o método manual é baseado, de acordo com a CIBSE (*The Chartered Institution of Building Services Engineers*, 1987). Deve-se notar, entretanto, que muitos programas comercialmente disponíveis usam somente fórmulas simplificadas e não são mais precisos que técnicas manuais. Alguns fazem aproximações inaceitáveis que são mascaradas pela precisão aparente dos resultados de um computador. É essencial, quando adquirir programas comerciais, verificar o método de cálculo usado. Cálculos computacionais de luz natural são temas de consideráveis pesquisas.

A vantagem de se utilizar simulações em computador, segundo Pereira (1995), é a possibilidade de realizar extensas avaliações paramétricas de forma rápida e flexível, podendo desenvolver simultaneamente avaliações térmicas e conectar-se a programas de modelagem de consumo de energia em edificações. Para Cabus (1997), a simulação computacional, baseada no processo de modelagem abstrata de um ambiente real, utiliza equações matemáticas para simular fenômenos físicos a partir de banco de dados com informações sobre as condições geo-climáticas de uma dada localidade. No entanto, para estes autores, este método apresenta desvantagens como: limitações geradas por suposições teóricas usualmente assumidas em algoritmos de problemas complexos, necessidade de equipamento computacional adequado e os dados obtidos serem virtuais.

Para Svendenius e Pertola citados por Cabus (1997), a maioria dos programas existentes no mercado são fáceis de manusear mas são desenvolvidos para máquinas com tecnologia ultrapassada, não processam ambientes com geometria complexa, e não analisam a iluminação natural nem o fluxo de energia. Estes autores traçaram as seguintes diretrizes para o desenvolvimento de novos programas: calcular tanto a iluminação artificial quanto a natural; analisar o fluxo de energia da edificação; possuir algoritmos que produzam resultados com erros pequenos e com tempo reduzido de processamento; processar ambientes com geometria complexa, bem como móveis e outros objetos; permitir o uso de qualquer tipo de luminária existente no mercado; calcular a iluminância em qualquer direção, a luminância em todas as superfícies, o fator de contrastes em direção e superfície definidas pelo usuário, o fator de redução de contraste, o índice de ofuscamento em qualquer direção ou posição e o desempenho visual ou desempenho visual relativo; ter integração com programas CAD; produzir relatórios de saída amigáveis aos usuários.

Para a avaliação dos níveis de iluminação internos neste trabalho, optou-se pela utilização de programa computacional (ver item 3.3 Escolha do Método de Predição de Iluminâncias, p. 47).

### 3 METODOLOGIA

## 3.1 INTRODUÇÃO

A metodologia utilizada nesta pesquisa para alcançar o objetivo proposto é desdobrada em:

- ☀ Análise dos dados de radiação solar, para obtenção do modelo de céu padrão para Florianópolis;
- ☀ Análise dos modelos de ambientes internos, baseados nos dispositivos constantes no Código de Obras de Florianópolis, através da simulação computacional, para verificar o desempenho do ambiente quanto à distribuição de iluminância;
- ☀ Análise de outros parâmetros de projeto, que consideram o aproveitamento da luz natural em interiores, como a profundidade dos ambientes e a refletância das superfícies internas.

## 3.2 CARACTERIZAÇÃO DO TIPO DE CÉU

### 3.2.1 Índice de Limpidez do Céu ( $\epsilon$ )

Com o intuito de caracterizar o tipo de céu mais freqüente na localidade em estudo, optou-se pela utilização do Índice de Limpidez do Céu ( $\epsilon$ ) proposto por Perez apud Pereira (1992), uma vez que, ao contrário da eficácia luminosa que utiliza dados de iluminância que são raramente medidos, este tem a vantagem de poder utilizar bases de dados de radiação solar disponíveis em estações meteorológicas.

$$\epsilon = \frac{[(I_{dH} + I_{DN})/I_{dH} + k(\pi/2 - \gamma_S)^3]}{[1 + k(\pi/2 - \gamma_S)^3]}$$

Equação 3.1

onde

$I_{dH}$  é a radiação difusa horizontal ( $W/m^2$ )

$I_{DN}$  é a radiação direta normal ( $W/m^2$ )

$K$  é uma constante com valor = 1,041

$\gamma_S$  é a altura solar (radianos)

A tabela abaixo apresenta a variação do Índice de Limpeza do Céu ( $\epsilon$ ) para diferentes categorias de condições de céu.

**Tabela 3.1** Variações do índice  $\epsilon$  de acordo com as diferentes categorias de céu.

Categorias de condições média de céu	$\epsilon$	
	Limite Inferior	Limite Superior
Encoberto	1,00	1,25
Intermediário	> 1,25	< 6,00
Claro	$\geq 6,00$	----

### 3.2.2 Índice de Brilho do Céu ( $\Delta$ )

Como a primeira abordagem deste estudo apontou para a condição de céu encoberto como a mais freqüente, pois a maioria dos dados de  $\epsilon$  situaram-se entre 1,00 e 1,25, tornou-se necessário definir quais tipos de céu encoberto são os mais freqüentes.

Foi utilizado, portanto, o Índice de Brilho do Céu ( $\Delta$ ), parâmetro que, segundo Perez apud Pereira (1992), exprime a opacidade e espessura das nuvens e dá uma estimativa da fração da radiação absorvida por elas.

$$\Delta = \frac{m_0 \cdot I_{dH}}{I_0}$$

**Equação 3.2**

onde

$I_{dH}$  é a radiação difusa horizontal ( $W/m^2$ );

$I_0$  é a radiação extraterrestre ( $W/m^2$ );

$m_0$  é a massa de ar óptica relativa.

Kittler et al. (1997), apresenta a variação deste índice ( $\Delta$ ) para diferentes categorias de condições de céu encoberto, conforme a tabela abaixo:

**Tabela 3.2** Variações do índice  $\Delta$  de acordo com as diferentes categorias de céu encoberto.

Categorias de céu encoberto	$\Delta$
encoberto escuro	<0,25
encoberto brilhante sem influência do sol	0,25 – 0,30
encoberto brilhante com influência do sol	>0,30

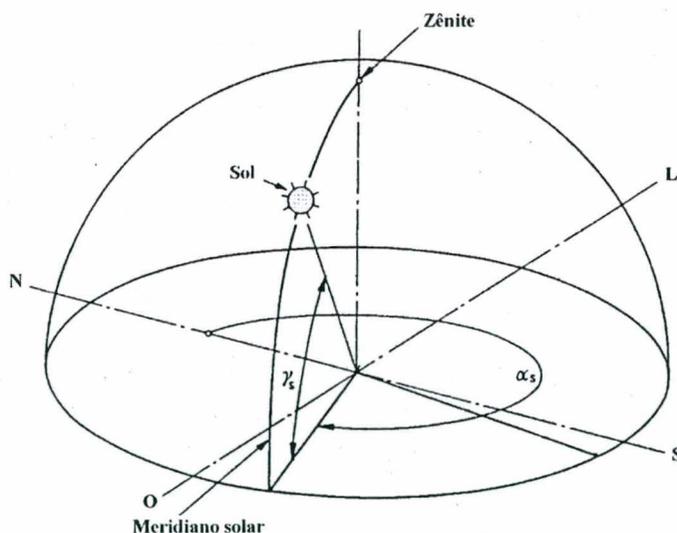
Segundo Tregenza (1993), a massa de ar óptica, para locais próximos ao nível do mar e ângulos de altura solar superiores a  $10^\circ$ , pode ser determinada por:

$$m_o = \frac{1}{(\text{sen } \gamma_s)}$$

Equação 3.3

### 3.2.3 Geometria Solar

Em todo cálculo que envolve radiação ou iluminância em um plano, de acordo com Kittler apud Pereira (1992), é necessário, baseado no sistema geodético<sup>1</sup>, estabelecer as coordenadas do sol (ângulos de altura solar e azimute solar) para um dado momento (dia do ano e hora do tempo solar) e lugar (latitude e longitude geográficas).

**Figura 3.1** Geometria solar

Fonte: Pereira (1996b)

<sup>1</sup> Este sistema mede ângulos azimutais a partir do norte no sentido dos ponteiros do relógio de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ .

Neste estudo, para a obtenção do índice  $\varepsilon$ , é necessário calcular somente o ângulo de altura solar, para isso, foram adotados os seguintes procedimentos:

### Cálculo do Ângulo de Altura Solar

**Equação 3.4**

onde

- $\gamma_S$  é o ângulo de altura solar, em graus;
- $\varphi$  é a latitude geográfica do local<sup>2</sup>, em graus;
- $\delta_S$  é a declinação solar, em graus;
- $h_S$  é a hora solar verdadeira.

### Cálculo da Declinação Solar

**Equação 3.5**

$$\delta_S = 23.45^\circ * \text{sen}(29.7^\circ * M + 0.98^\circ * D - 109^\circ)$$

onde

- M é o número do mês do ano, variando de 1 a 12;
- D é o número do dia do mês, variando de 1 a 31, de 1 a 30 e de 1 a 28.

### Cálculo da Hora Solar Verdadeira

**Equação 3.6**

$$h_S = \frac{h + (\lambda_P - \lambda)}{15 + x_h}$$

onde

- h é a hora legal do lugar.
- $\lambda_P$  é a longitude do meridiano padrão do local<sup>3</sup>, em graus;
- $\lambda$  é a longitude geográfica do local<sup>4</sup>, em graus;
- $x_h$  é a equação horária.

<sup>2</sup> Valor positivo para o hemisfério norte e valor negativo para o hemisfério sul.

<sup>3</sup> O valor da longitude do meridiano padrão deve ser sempre múltiplo de 15.

<sup>4</sup> Valor positivo para locais a oeste do Meridiano de *Greenwich*.

*Cálculo da Equação Horária*

$$x_n = 0.17 * \text{sen}[(1.93 * J) - 154.4] - 0.129 * \text{sen}[(1.01 * J) - 8.08] \quad \text{Equação 3.7}$$

sendo

$$J = i + D \quad \text{Equação 3.8}$$

onde

J é o dia Juliano;

i é o valor numérico do mês, conforme tabela abaixo.

**Tabela 3.3** Mês e respectivo valor numérico (i).

mês	i	mês	i	mês	i	mês	i
janeiro	0	abril	90	julho	181	outubro	273
fevereiro	31	maio	120	agosto	212	novembro	304
março	59	junho	151	setembro	243	dezembro	334

Como a equação horária faz a correção entre a hora solar e a hora legal, devido às diferenças de duração do dia solar e da órbita elíptica da terra, é necessário alterar em menos 1 hora a equação no período em que estiver em vigor no país o Horário de Verão.

### 3.2.4 Radiação Solar

Os dados de radiação difusa horizontal medidos em estações meteorológicas devem ser corrigidos, previamente, por um fator de correção, devido à obstrução promovida pelo anel que encobre o instrumento ao interceptar a luz direta do sol. Como os dados de radiação direta também foram disponibilizados optou-se, então, em obter a parcela de radiação difusa pela subtração da radiação direta horizontal da radiação global horizontal.

Para obter os valores de radiação difusa horizontal, a partir dos dados de radiação solar – componente direta normal, componente global horizontal, fornecidos pelo laboratório Labsolar da Universidade Federal de Santa Catarina, foram adotados os seguintes procedimentos:

Radiação Solar Direta Horizontal

A radiação direta horizontal foi obtida pela seguinte equação:

$$I_{DH} = I_{DN} * \cos \theta_z \quad \text{Equação 3.9}$$

onde

$I_{DH}$  é a componente direta horizontal da radiação solar, (W/m<sup>2</sup>);

$I_{DN}$  é a componente direta normal da radiação solar, (W/m<sup>2</sup>);

$\theta_z$  é o ângulo zenital, sendo  $\theta_z = 90^\circ - \gamma_s$ ;

$\gamma_s$  é o ângulo de altura solar.

Radiação Solar Difusa Horizontal

A radiação difusa horizontal foi calculada pela subtração da componente de radiação direta horizontal ( $I_{DH}$ ) da componente de radiação global horizontal,

$$I_{dH} = I_{GH} - I_{DH} \quad \text{Equação 3.10}$$

onde

$I_{dH}$  é a componente difusa horizontal da radiação solar, (W/m<sup>2</sup>);

$I_{GH}$  é a componente global horizontal da radiação solar, (W/m<sup>2</sup>);

$I_{DH}$  é a componente direta horizontal da radiação solar, (W/m<sup>2</sup>);

Radiação Extraterrestre

A radiação extraterrestre foi obtida a partir da seguinte equação:

$$I_0 = I_{CS} * \left[ 1 + 0.034 * \cos \left( \frac{2\pi(J-2)}{365} \right) \right] \quad \text{Equação 3.11}$$

onde

$I_0$  é a radiação solar extraterrestre, (W/m<sup>2</sup>);

$I_{CS}$  é a Constante Solar = 1353 W/m<sup>2</sup>;

$J$  é o dia Juliano.

### 3.3 ESCOLHA DO MÉTODO DE PREDIÇÃO DE ILUMINÂNCIAS

A escolha de um dos três métodos de predição para o levantamento dos níveis de iluminâncias em interiores - métodos simplificados, modelos em escala e modelagem matemática por computador, baseou-se nos seguintes critérios: eficiência de cálculo, viabilidade financeira, facilidade de levantamento e processamento dos dados e o tempo de execução.

Os métodos simplificados foram descartados, pois limitam-se à avaliação de um ponto somente por vez, demandando, assim, longo tempo para a execução do cálculo e oferecem apenas resultados aproximados e limitados.

Os modelos em escala também foram descartados, uma vez que exigem rigor na manufatura do modelo; necessitam de muitos sensores para possibilitar a avaliação da distribuição de iluminâncias internas; dependem da inconstância das condições climáticas reais, levando, desta maneira, um tempo considerável para se obter dados confiáveis; ou ainda, para ter um ambiente controlável, estável e reproduzível, requerem o uso de céus artificiais, que são de grandes dimensões, caros e exigem calibração e manutenção apropriada.

A utilização de programas de computador, com algoritmos consolidados e sistema computacional já testado, permite obter dados precisos para avaliação dos níveis de iluminação natural internos, propiciando uma análise rigorosa dos dispositivos que regulamentam o ingresso de luz, presentes no Código de Obras e Edificações de Florianópolis, além de permitir a análise de outros parâmetros de dimensionamento que consideram a luz natural e que possam ser incluídos nesta legislação construtiva. Portanto, esta ferramenta mostrou-se ser uma forma bastante eficiente e rápida para se fazer a determinação dos níveis de iluminação interna nos modelos de estudo.

Dentre os programas computacionais disponíveis para este estudo, optou-se pelo Lúmen Micro versão 7 pois:

- permite o processamento para céus claros, céus intermediários e céus encobertos;
- possui interface com programas CAD;
- permite o desenvolvimento e a análise de projetos, variando de simples *layouts* a projetos mais complexos, como móveis e outros objetos sólidos para obstruir e refletir a luz;
- inclui tanto a componente interna como a componente externa da luz natural;

- permite criar complexos sistemas de iluminação na arquitetura;
- permite incluir vários tipos de luminárias;
- permite criar áreas de diferentes refletâncias em uma superfície da sala;
- permite o cálculo da iluminância horizontal, iluminância vertical, iluminância perpendicular, TV iluminância, excitância, luminância, Desempenho Visual Relativo (RVP), Probabilidade de Conforto Visual (VCP);
- possui saída de dados em relatórios tabulados, em gráficos isolux;
- e apresentação tridimensional renderizada da distribuição de luz, como pode-se ver na Figura 3.2.

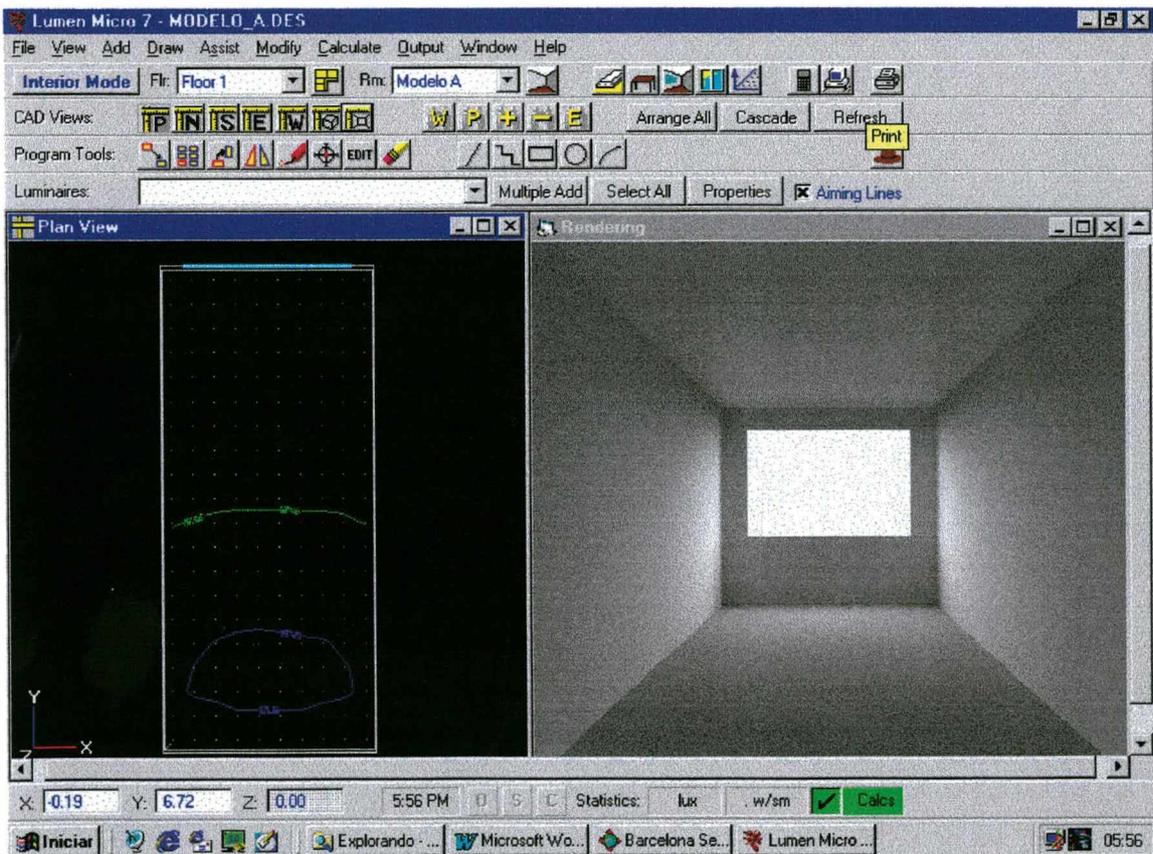


Figura 3.2 Tela do programa LUMEN MICRO versão 7.

Cabe ressaltar que o programa computacional utilizado, *Lumen Micro 7*, considera todas as superfícies completamente difusas, isto é, a luz é refletida igualmente em todas as direções. Entretanto, segundo Pereira (1994a), as superfícies encontradas na prática não são perfeitamente difusas e nem especulares, refletindo luz em várias direções e em diferentes proporções.

## 3.4 MODELOS DE AMBIENTES INTERNOS

### 3.4.1 Definição dos Modelos de Estudo

Esta etapa do trabalho consiste na definição de modelos de estudo para simulação em programa computacional, para testar a validade dos dispositivos presentes no Código de Obras e Edificações de Florianópolis (Florianópolis, 1996) frente às exigências de iluminação natural.

Com base em seus artigos, que apresentam as dimensões mínimas para os diversos tipos de compartimentos na edificação (Art. 233 e Art. 234), que limitam a profundidade do compartimento (Art. 248), e que fornecem a área mínima de janela como uma fração da área do piso (Art. 249), pode-se construir vários modelos. Porém, este estudo limitar-se-á a apenas quatro modelos, por se entender serem representativos e suficientes para testar os diversos parâmetros e avaliar o desempenho do ambiente com base na distribuição de iluminâncias fornecida pela iluminação natural.

A obtenção dos modelos, de forma retangular e com abertura apenas na parede voltada para o Sul, foi baseada nos seguintes critérios: manter as dimensões mínimas exigidas pelo Código de Obras, como a área, a largura e a altura (pé-direito); calcular a profundidade em função destes valores; calcular as aberturas em função da fração de área; e fixar a altura da verga em 0,30m, de acordo com as tabelas abaixo:

**Tabela 3.4** Dimensões dos modelos de estudo para simulação computacional.

modelo	tipo	área mínima $A_p$ (m <sup>2</sup> )	largura mínima $l$ (m)	altura mínima $H$ (m)	profundidade calculada $p$ (m)	$A_j/A_p$
A	sala comercial	18,00	2,80	2,60	6,43	1/6
B	sala residencial	12,00	2,80	2,60	4,29	1/6
C	dormitório	11,00	2,40	2,60	4,58	1/6
D	cozinha e copa	4,00	1,60	2,40	2,50	1/8

Tabela 3.5 Dimensões das aberturas dos modelos de estudo para simulação computacional.

modelo	tipo	área mínima $A_i$ (m <sup>2</sup> )	largura $l_j$ (m)	altura $h_i$ (m)	peitoril $h_p$ (m)	verga $h_v$ (m)
A	sala comercial	3,00	2,14	1,40	0,90	0,30
B	sala residencial	2,00	1,43	1,40	0,90	0,30
C	dormitório	1,83	1,31	1,40	0,90	0,30
D	cozinha e copa	0,50	1,00	0,50	1,60	0,30

Ainda, com base nesta legislação, em seu Art. 247 que define a distância máxima que um vão pode estar afastado do exterior, os modelos serão testados sob duas condições: sem obstrução, designados por A1, B1, C1 e D1; e com obstrução, denominados A2, B2, C2 e D2. Esta obstrução é caracterizada por uma projeção do teto de 2,00m de comprimento ocupando toda a largura do modelo, de acordo com a Figura 3.3 e Figura 3.4.

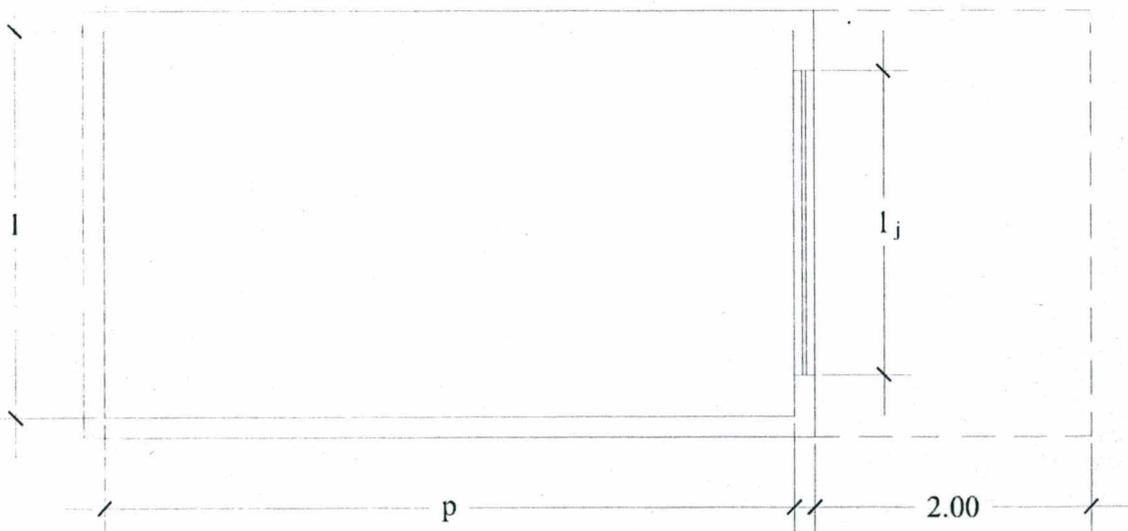


Figura 3.3 Planta baixa esquemática dos modelos de estudo para simulação.

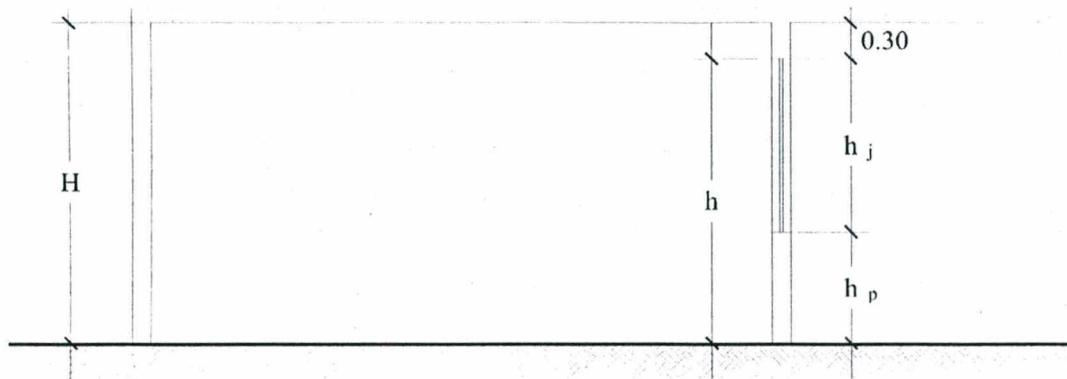


Figura 3.4 Corte transversal esquemático dos modelos de estudo para simulação.

### 3.4.2 Parâmetros de Teste

Os parâmetros utilizados para testar o desempenho dos modelos de estudo são: a relação de área de janela por área de piso, a refletância das superfícies internas e a profundidade de penetração da luz natural no interior dos ambientes.

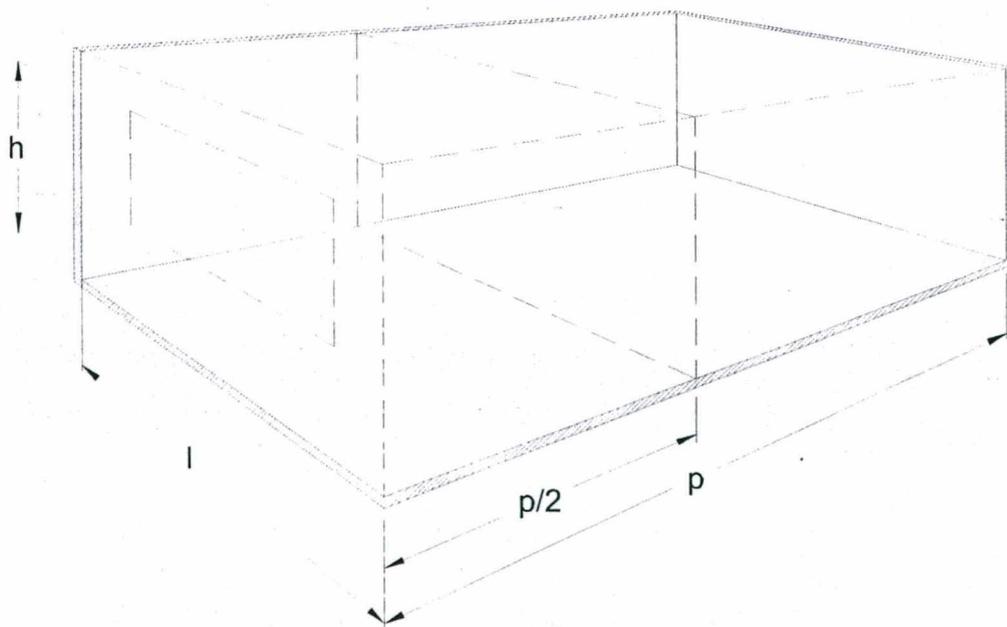


Figura 3.5 Limitação da profundidade em uma sala com iluminação lateral.

Baseado em suposições simplificadas sobre os conceitos de iluminação natural, o Código de Obras e Edificações de Florianópolis apresenta, em seu Artigo 248, um procedimento prático e empírico que limita a profundidade dos compartimentos em 2,5 vezes a altura do ambiente (pé-direito).

Como este parâmetro não leva em consideração a refletância das superfícies internas, cada modelo será submetido à condição apresentada pela *The Chartered Institution of Building Service Engineers* (CIBSE, 1987), para verificar se o ambiente é muito profundo em relação à altura da abertura, de acordo com a Equação 3.12 e demonstrado na Figura 3.5.

$$(p/l + p/h) \leq \frac{2}{(1 - R_m)} \quad \text{Equação 3.12}$$

onde

p é a profundidade da sala, (m)

l é a largura da sala, medida paralela ao plano da abertura, (m)

h é a altura, medida do piso ao topo da janela, (m)

$R_m$  é a refletância média das superfícies da metade da sala mais afastada da janela, ou seja, o fundo da sala (adimensional)

A limitação da profundidade, segundo *Chartered Institution of Building Services Code for Interior Lighting* (Pereira, 1992), pode ser calculada pela Equação 3.13, utilizando os valores de refletâncias mínimas descritos no item 3.4.4 e recomendados por Pereira (1992).

$$P \leq \frac{(2 * l * h)}{(l + h) * (1 - R_m)} \quad \text{Equação 3.13}$$

onde

P é a profundidade máxima para as condições dadas (m)

### 3.4.3 Parâmetros de Desempenho para Análise dos Modelos

Para a avaliação do desempenho dos modelos, deve-se estabelecer qual a proporção da área do ambiente em que a distribuição de iluminâncias no plano de trabalho é insuficiente, suficiente ou excessiva.

Cabus (1997), baseado no critério da NBR-5413 (ABNT, 1991), no qual a iluminância em qualquer ponto do campo de trabalho não seja inferior a 70% do valor de iluminância média recomendada ( $E_m$ ), propõe este valor como o limite inferior, abaixo do qual os níveis de iluminâncias serão considerados insuficientes e um limite superior (por analogia, 130% da  $E_m$ ), acima do qual estes níveis serão considerados excessivos. Resulta daí, a delimitação de três regiões, definidas por curvas isolux, com os seguintes intervalos de níveis de iluminância:

iluminâncias insuficientes –  $E_{ins} < 70\% E_m$

iluminâncias suficientes -  $70\% E_m \leq E_{suf} \leq 130\% E_m$

iluminâncias excessivas –  $E_{exc} > 130\% E_m$

O parâmetro para avaliação do desempenho dos modelos será o espaço que apresenta os níveis de iluminâncias suficientes, isto é, entre o limite inferior ( $E^-$ ) = 70%  $E_m$  e o limite superior ( $E^+$ ) = 130%  $E_m$ ; e este será tão melhor quanto maior for a área que o contiver.

### 3.4.4 Parâmetros de Entrada para Simulação Computacional dos Modelos

Para a análise dos modelos, através da simulação computacional com o *software Lumen Micro 7*, é necessário fornecer alguns dados de entrada para o programa:

Tipo de Céu: O tipo de distribuição de luminâncias utilizado será o obtido através da determinação do Índice de Limpidez do Céu ( $\epsilon$ ), de acordo com o item 3.1.

Localização Geográfica: A localidade objeto deste estudo é Florianópolis com latitude de 27,35°S e longitude 48,34°O.

Entorno: Para a simulação não será considerada a influência de qualquer edificação ou outro obstáculo à iluminação natural além do beiral. O valor do albedo utilizado é de 0,20, sugerido por Hopkinson et al. (1975).

Data e hora: Os modelos serão simulados nas seguintes datas: no solstício de verão, dia 22 de dezembro; no solstício de inverno, dia 21 de junho; no equinócio de outono, dia 21 de

março; e no equinócio de primavera, dia 23 de setembro; e nos seguintes horários: 8:00h, 10:00h, 12:00h, 14:00, 16:00h e 18:00h.

Refletância: Conforme recomendação de Pereira (1994a), foram tomados como padrão os seguintes valores de refletâncias mínimas para as superfícies internas do ambiente:

teto	→	$\rho = 0,70$
paredes	→	$\rho = 0,50$
piso	→	$\rho = 0,20$

Dimensões dos ambientes: As dimensões de cada modelo de estudo estão especificadas na Tabela 3.4.

Janelas: As dimensões das aberturas de cada modelo de estudo estão especificadas na Tabela 3.5. As aberturas, voltadas para o sul, utilizam esquadrias com vidro transparente simples de 4mm de espessura, com coeficiente de transmissão médio ( $\tau$ ) de 0,85 e com os seguintes fatores de correção:

- Fator de correção para perdas por sujeira na superfície iluminante (manutenção) -  $k_M$  de 0,90
- Fator de correção para perdas pelo caixilho da esquadria -  $k_C$  de 0,85

$$\tau = (0,85 * k_M * k_C)$$

$$\tau = 0,65$$

Plano horizontal de referência: A altura do plano horizontal de referência ou plano de trabalho será de 0,75m, de acordo com a norma brasileira NB-5413 (ABNT, 1991).

### 3.4.5 Coleta de Dados

Através da simulação com o *software Lumen Micro 7*, obtém-se os valores de iluminância, em lux, a partir de uma malha horizontal, com pontos espaçados proporcionalmente no ambiente (ver Figura 3.2, p. 48), na mesma altura do plano de trabalho. Simultaneamente, são gerados gráficos com curvas isolux, contendo apenas as curvas com os limites inferior ( $E^-$ ) e superior ( $E^+$ ). Estes gráficos são transferidos para o *software AutoCAD R14*, onde pode-se definir cada uma das regiões de iluminâncias e onde pode-se calcular suas respectivas áreas. Estes valores de área, em  $m^2$ , são convertidos para porcentagem através do *software Excel 97*, a fim de se obter o desempenho de cada modelo quanto à distribuição de iluminância.

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

## 4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados gráficos e numéricos obtidos a partir dos cálculos detalhados no capítulo anterior. Contudo, pela extensão dos resultados numéricos para a caracterização do tipo de céu, torna-se inviável mostrá-los todos aqui. Optou-se, portanto, em apresentar apenas os resultados relativos ao mês de julho de 1994.

Para a análise qualitativa dos resultados do desempenho dos ambientes quanto à distribuição de iluminâncias internas a sua apresentação é feita em forma gráfica.

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DO TIPO DE CÉU

### 4.2.1 Análise dos Dados de Radiação Solar

Para a avaliação da disponibilidade de luz natural em Florianópolis foram analisados os dados de radiação solar, componentes de radiação global horizontal ( $I_{GH}$ ) e de radiação direta normal ( $I_{DN}$ ), medidos pela estação meteorológica do laboratório Labsolar da Universidade Federal de Santa Catarina. Estes em formato de arquivos \*.DAT e medidos em horário GMT, totalizaram 54.072 valores horários, correspondendo ao período de julho de 1994 a julho de 1997.

Depois de estabelecido o horário para a análise - das 6:00h às 18:00h, e descartados os dados defeituosos - entre aqueles em que houve erro de medição (valores não medidos), e/ou em que não havia a componente direta de radiação solar devido ao ângulo de zênite ser superior a 90°, e/ou ainda, em que o valor medido da componente de radiação global foi menor que o valor da componente direta (valor negativo de radiação difusa) - totalizaram 23.621 valores horários.

As tabelas 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 apresentam os valores da radiação solar global horizontal ( $I_{GH}$ ), da radiação solar direta normal ( $I_{DN}$ ), da radiação solar direta horizontal ( $I_{DH}$ ) e da radiação solar difusa horizontal ( $I_{dH}$ ), respectivamente, para o mês de julho de 1994.

Tabela 4.1 Valores de radiação solar global horizontal ( $I_{GH}$ ), em  $W/m^2$ , para julho de 1994.

DIA	6:00	7:00h	8:00h	9:00h	10:00h	11:00h	12:00h	13:00h	14:00h	15:00h	16:00h	17:00h	18:00h
1	1,20	-	21,30	78,97	249,70	244,57	449,80	230,27	225,17	138,97	116,97	16,23	2,53
2	2,00	2,00	4,53	14,30	34,17	64,97	64,27	64,23	78,57	61,03	46,30	21,67	4,07
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27,87	3,83
5	0,93	1,50	3,90	14,27	48,73	98,57	101,77	151,73	126,47	180,03	94,47	34,97	6,27
6	1,90	2,00	3,57	26,27	42,90	89,87	103,63	126,30	191,70	374,27	312,23	135,70	13,67
7	1,73	2,00	24,90	141,73	299,37	190,37	259,00	258,07	93,47	148,30	82,47	14,37	2,90
8	1,93	1,90	16,10	180,43	379,93	521,80	607,17	633,20	597,97	492,67	356,37	171,63	12,20
9	-	-	-	-	394,47	529,90	615,90	665,27	387,10	361,07	261,60	175,77	12,90
10	0,00	0,27	37,03	214,37	394,57	535,50	620,77	644,90	608,07	507,07	357,97	176,63	13,37
11	0,60	1,77	22,17	100,47	158,07	437,97	565,77	630,60	593,13	491,83	345,30	167,67	-
12	0,43	1,03	24,83	128,17	328,50	523,17	606,83	632,83	356,37	403,60	273,33	148,93	14,10
13	1,20	0,83	21,77	193,13	373,80	511,93	608,23	639,43	593,47	469,63	333,53	156,90	15,37
14	0,00	0,60	34,47	177,23	347,27	484,00	572,10	605,33	573,93	478,53	328,27	156,07	15,10
15	0,47	0,80	30,40	177,90	345,83	482,87	564,50	589,43	566,20	472,63	328,53	153,40	15,53
16	0,00	1,07	34,63	189,80	364,07	509,07	594,80	621,20	592,03	491,77	343,57	167,83	15,77
17	0,13	0,50	33,67	188,77	359,13	509,97	595,83	617,67	585,33	487,23	340,27	164,03	16,97
18	0,57	1,07	35,93	189,63	365,43	498,70	586,97	617,17	589,13	487,17	341,33	161,20	18,27
19	0,53	0,43	42,63	167,07	366,00	513,17	596,83	619,97	566,53	397,37	331,83	120,30	18,47
20	-	-	-	-	-	486,40	573,60	617,93	589,60	488,30	310,33	158,27	22,50
21	-	-	-	-	-	-	-	-	598,47	418,63	306,23	147,00	25,73
22	0,00	1,10	29,73	160,70	360,50	489,50	571,47	366,77	52,83	15,20	15,93	11,10	3,27
23	0,00	0,07	7,83	93,87	186,10	465,23	538,40	689,50	646,87	545,93	389,67	186,00	22,33
24	0,00	0,50	24,43	128,03	379,00	556,60	590,23	612,47	650,13	518,67	342,43	184,77	32,43
25	1,70	1,27	32,27	32,20	14,23	59,03	182,20	383,90	415,87	200,17	38,57	16,37	4,23
26	2,00	2,00	14,03	81,83	173,80	374,20	587,63	601,87	601,67	378,27	166,20	80,20	19,67
27	2,00	1,90	27,47	108,83	239,53	486,43	607,63	626,30	593,53	501,53	355,90	180,93	22,97
28	0,47	1,00	36,10	178,93	352,07	517,03	601,80	631,80	611,57	511,83	362,73	185,93	21,90
29	0,77	1,30	44,30	203,13	374,03	514,57	603,17	635,37	601,23	506,13	359,60	182,60	23,87
30	1,70	1,37	15,60	50,87	208,00	348,80	244,10	394,20	535,83	445,60	206,10	95,67	14,67
31	1,67	1,90	36,33	176,67	338,97	477,73	552,13	585,80	556,57	469,37	325,97	160,03	24,20

FONTE: Labsolar - Universidade Federal de Santa Catarina

Tabela 4.2 Valores de radiação solar direta normal ( $I_{DN}$ ), em  $W/m^2$ , para julho de 1994.

DIA	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
1	0,00	-	3,67	0,67	95,80	30,40	215,97	18,03	32,53	2,47	24,70	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	3,10	1,33	1,23	1,87	0,53	2,67	2,00	0,77	0,00	0,00
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,30	2,23	3,23	2,60	2,53	1,87	1,93	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,17	1,47	2,23	2,20	1,93	1,60	1,27	467,67	608,10	300,50	0,00
7	0,00	0,00	20,97	158,07	242,70	8,90	108,03	55,50	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	4,93	401,40	735,43	803,20	839,67	852,27	825,43	794,63	760,10	496,33	0,00
9	-	-	-	-	796,87	844,87	873,10	772,47	51,00	156,97	272,43	427,37	0,00
10	0,00	0,00	139,77	630,50	786,13	850,17	878,03	889,43	886,57	856,70	801,90	544,97	0,40
11	0,00	0,00	1,70	5,63	3,20	329,97	517,13	807,27	847,13	807,03	743,37	473,57	-
12	0,00	0,00	2,63	129,00	395,07	772,30	829,63	846,77	268,23	464,20	331,50	327,00	0,40
13	0,00	0,00	19,83	369,80	700,23	753,60	776,67	797,33	763,40	682,23	660,47	414,77	0,37
14	0,00	0,00	59,10	410,43	614,87	691,87	750,50	789,70	794,37	764,73	673,03	437,80	5,27
15	0,00	0,00	73,87	442,83	619,83	698,00	738,37	754,57	762,87	734,63	660,50	422,97	7,03
16	0,00	0,00	75,27	483,17	670,37	761,00	813,27	828,77	832,53	800,17	724,47	539,90	5,43
17	0,00	0,00	91,80	480,37	639,53	747,17	792,73	806,03	805,07	771,73	697,17	507,50	8,70
18	0,00	0,00	102,87	483,30	657,13	719,10	774,47	797,27	791,03	761,47	687,83	492,83	22,83
19	0,00	0,00	110,83	366,83	646,03	753,27	788,60	790,87	732,93	411,87	439,23	196,73	1,20
20	-	-	-	-	-	594,47	667,50	753,07	768,80	701,13	526,73	376,40	26,53
21	-	-	-	-	-	-	-	-	758,27	554,83	452,33	218,60	17,93
22	0,00	0,00	51,17	314,17	553,43	639,07	648,73	239,37	0,00	0,00	1,17	0,00	0,00
23	0,00	0,00	2,07	0,93	15,50	445,43	409,93	875,83	886,53	857,43	786,33	539,33	3,43
24	0,00	0,00	0,33	31,83	632,77	814,83	532,50	575,00	838,50	699,17	474,83	446,60	75,57
25	0,00	0,00	13,13	0,00	0,13	1,93	16,70	197,77	249,80	6,43	0,00	0,13	0,00
26	0,00	0,00	0,00	2,73	13,17	246,23	455,00	378,27	582,13	230,70	1,30	0,37	0,00
27	0,00	0,00	1,43	25,83	197,73	572,23	730,00	760,60	765,00	744,37	676,13	512,47	64,37
28	0,00	0,00	28,93	233,00	523,47	725,37	764,70	778,77	808,47	772,77	697,10	549,27	67,07
29	0,00	0,00	122,17	468,50	628,53	706,87	743,30	763,67	758,00	719,40	651,60	495,73	47,90
30	0,00	0,00	4,50	0,80	54,97	117,63	6,73	88,90	386,80	451,87	96,80	3,23	0,00
31	0,00	0,00	39,80	275,60	433,63	527,73	531,37	572,93	574,97	566,27	482,47	320,50	22,40

FONTE: Labsolar - Universidade Federal de Santa Catarina

Os valores da radiação solar direta horizontal ( $I_{DH}$ ), foram calculados a partir dos dados de radiação solar direta normal ( $I_{DN}$ ) e do co-seno do ângulo zenital (ver Equação 3.9, p. 46).

**Tabela 4.3** Valores de radiação solar direta horizontal ( $I_{DH}$ ), em  $W/m^2$ , para julho de 1994.

DIA	6:00	7:00h	8:00h	9:00h	10:00h	11:00h	12:00h	13:00h	14:00h	15:00h	16:00h	17:00h	18:00h
1	-	-	0,62	0,23	47,04	17,86	136,44	11,19	18,04	1,08	6,93	0,00	-
2	-	-	0,00	1,08	0,65	0,72	1,18	0,33	1,48	0,88	0,22	0,00	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	-
5	-	-	0,00	0,11	1,10	1,91	1,65	1,58	1,05	0,86	0,00	0,00	-
6	-	-	0,03	0,52	1,10	1,30	1,23	1,00	0,71	208,73	175,20	29,49	-
7	-	-	3,62	55,68	120,37	5,29	69,05	34,90	0,00	0,12	0,00	0,00	-
8	-	-	0,85	141,76	365,59	478,05	537,97	537,40	466,74	357,44	221,61	50,33	-
9	-	-	-	-	397,11	504,07	560,81	488,44	28,93	70,90	79,92	44,06	-
10	-	-	24,43	223,99	392,80	508,54	565,47	564,03	504,62	388,58	236,72	57,14	-
11	-	-	0,30	2,01	1,60	197,91	333,97	513,47	483,85	367,64	220,86	50,49	-
12	-	-	0,46	46,14	198,55	464,53	537,35	540,28	153,75	212,41	99,14	35,46	-
13	-	-	3,53	132,77	353,03	454,63	504,56	510,38	439,19	313,59	198,83	45,74	-
14	-	-	10,58	147,95	311,02	418,69	489,09	507,18	458,73	353,15	203,99	49,11	-
15	-	-	13,32	160,31	314,62	423,77	482,75	486,29	442,25	340,86	201,57	48,25	-
16	-	-	13,67	175,69	341,52	463,58	533,51	536,00	484,54	373,07	222,63	62,65	-
17	-	-	16,80	175,48	327,05	456,75	521,84	523,19	470,46	361,58	215,75	59,89	-
18	-	-	18,99	177,42	337,37	441,18	511,64	519,43	464,17	358,56	214,38	59,15	-
19	-	-	20,63	135,35	333,04	463,88	522,88	517,22	431,89	194,92	137,88	24,01	-
20	-	-	-	-	-	367,50	444,26	494,42	454,97	333,53	166,55	46,72	-
21	-	-	-	-	-	-	-	-	450,70	265,31	144,07	27,59	-
22	-	-	9,80	117,84	289,08	398,26	435,14	158,42	0,00	0,00	0,38	0,00	-
23	-	-	0,40	0,35	8,13	278,75	276,08	582,05	531,65	414,37	254,16	70,36	-
24	-	-	0,06	12,08	333,66	512,10	360,10	383,74	505,14	339,71	154,62	59,23	-
25	-	-	2,59	0,00	0,07	1,22	11,34	132,55	151,18	3,14	0,00	0,02	-
26	-	-	0,00	1,05	7,01	156,13	310,31	254,63	353,96	113,32	0,43	0,05	-
27	-	-	0,29	10,00	105,85	364,49	500,03	514,24	467,36	367,65	225,16	71,34	-
28	-	-	5,91	90,78	281,71	464,19	526,12	528,87	496,27	383,79	233,89	77,68	-
29	-	-	25,28	183,81	340,08	454,50	513,70	520,95	467,53	359,28	220,27	71,22	-
30	-	-	0,94	0,32	29,91	76,00	4,67	60,92	239,73	226,94	32,97	0,47	-
31	-	0,00	8,37	109,15	236,34	341,48	369,43	393,16	356,86	284,84	164,66	46,96	-

Os valores da radiação solar difusa horizontal ( $I_{dH}$ ), foram calculados a partir dos dados de radiação solar global horizontal ( $I_{GH}$ ) e radiação direta horizontal ( $I_{DH}$ ). (ver Equação 3.10, p. 46).

**Tabela 4.4** Valores de radiação solar difusa horizontal ( $I_{dH}$ ), em  $W/m^2$ , para julho de 1994.

DIA	6:00	7:00h	8:00h	9:00h	10:00h	11:00h	12:00h	13:00h	14:00h	15:00h	16:00h	17:00h	18:00h
1	-	-	20,68	78,74	202,66	226,71	313,36	219,08	207,13	137,89	110,04	16,23	-
2	-	-	4,53	13,22	33,52	64,25	63,09	63,90	77,09	60,15	46,08	21,67	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27,87	-
5	-	-	3,90	14,16	47,63	96,66	100,12	150,15	125,42	179,17	94,47	34,97	-
6	-	-	3,54	25,75	41,80	88,57	102,40	125,30	190,99	165,54	137,03	106,21	-
7	-	-	21,28	86,05	179,00	185,08	189,95	223,17	93,47	148,18	82,47	14,37	-
8	-	-	15,25	38,67	14,34	43,75	69,20	95,80	131,23	135,23	134,76	121,30	-
9	-	-	-	-	-	25,83	55,09	176,83	358,17	290,17	181,68	131,71	-
10	-	-	12,60	-	1,77	26,96	55,30	80,87	103,45	118,49	121,25	119,49	-
11	-	-	21,87	98,46	156,47	240,06	231,80	117,13	109,28	124,19	124,44	117,18	-
12	-	-	24,37	82,03	129,95	58,64	69,48	92,55	202,62	191,19	174,19	113,47	-
13	-	-	18,24	60,36	20,77	57,30	103,67	129,05	154,28	156,04	134,70	111,16	-
14	-	-	23,89	29,28	36,25	65,31	83,01	98,15	115,20	125,38	124,28	106,96	-
15	-	-	17,08	17,59	31,21	59,10	81,75	103,14	123,95	131,77	126,96	105,15	-
16	-	-	20,96	14,11	22,55	45,49	61,29	85,20	107,49	118,70	120,94	105,18	-
17	-	-	16,87	13,29	32,08	53,22	73,99	94,48	114,87	125,65	124,52	104,14	-
18	-	-	16,94	12,21	28,06	57,52	75,33	97,74	124,96	128,61	126,95	102,05	-
19	-	-	22,00	31,72	32,96	49,29	73,95	102,75	134,64	202,45	193,95	96,29	-
20	-	-	-	-	-	118,90	129,34	123,51	134,63	154,77	143,78	111,55	-
21	-	-	-	-	-	-	-	-	147,77	153,32	162,16	119,41	-
22	-	-	19,93	42,86	71,42	91,24	136,33	208,35	52,83	15,20	15,55	11,10	-
23	-	-	7,43	93,52	177,97	186,48	262,32	107,45	115,22	131,56	135,51	115,64	-
24	-	-	24,37	115,95	45,34	44,50	230,13	228,73	144,99	178,96	187,81	125,54	-
25	-	-	29,68	32,20	14,16	57,81	170,86	251,35	264,69	197,03	38,57	16,35	-
26	-	-	14,03	80,78	166,79	218,07	277,32	347,24	247,71	264,95	165,77	80,15	-
27	-	-	27,18	98,83	133,68	121,94	107,60	112,06	126,17	133,88	130,74	109,59	-
28	-	-	30,19	88,15	70,36	52,84	75,68	102,93	115,30	128,04	128,84	108,25	-
29	-	-	19,02	19,32	33,95	60,07	89,47	114,42	133,70	146,85	139,33	111,38	-
30	-	-	14,66	50,55	178,09	272,80	239,43	333,28	296,10	218,66	173,13	95,20	-
31	-	1,90	27,96	67,52	102,63	136,25	182,70	192,64	199,71	184,53	161,31	113,07	-

## 4.2.2 Índice de Limpeza do Céu ( $\epsilon$ )

Os valores do Índice de Limpeza do Céu ( $\epsilon$ ) foram calculados a partir dos dados de radiação solar difusa horizontal ( $I_{dH}$ ), radiação direta normal ( $I_{DN}$ ), e ângulo de altura solar. (ver Equação 3.1, p. 41). A Tabela 4.5 apresenta os valores deste índice para o mês de julho de 1994, na localidade de Florianópolis/SC.

**Tabela 4.5** Valores do Índice de Limpeza do Céu ( $\epsilon$ ), para julho de 1994.

DIA	6:00	7:00h	8:00h	9:00h	10:00h	11:00h	12:00h	13:00h	14:00h	15:00h	16:00h	17:00h	18:00h
1	-	-	1,05	1,00	1,21	1,07	1,40	1,05	1,08	1,01	1,07	1,00	-
2	-	-	1,00	1,08	1,02	1,01	1,02	1,00	1,02	1,01	1,01	1,00	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	-
5	-	-	1,00	1,01	1,02	1,02	1,02	1,01	1,01	1,00	1,00	1,00	-
6	-	-	1,01	1,02	1,02	1,01	1,01	1,01	1,00	2,17	2,40	1,65	-
7	-	-	1,26	1,65	1,61	1,03	1,33	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00	-
8	-	-	1,08	4,65	24,24	10,94	8,14	6,14	4,23	3,45	2,79	1,95	-
9	-	-	-	-	-	18,76	10,36	3,53	1,07	1,23	1,48	1,76	-
10	-	-	3,90	-	-	18,17	10,41	7,40	5,43	4,03	3,11	2,07	-
11	-	-	1,02	1,02	1,01	1,75	2,33	5,02	5,02	3,73	2,91	1,95	-
12	-	-	1,03	1,56	2,39	8,22	8,12	6,36	1,69	2,02	1,61	1,68	-
13	-	-	1,29	3,18	16,47	8,23	5,48	4,63	3,58	2,85	2,58	1,88	-
14	-	-	1,65	5,99	8,81	6,84	6,43	5,75	4,62	3,59	2,75	1,97	-
15	-	-	2,14	9,99	10,17	7,54	6,45	5,34	4,24	3,38	2,69	1,95	-
16	-	-	1,95	13,26	14,77	10,30	9,04	6,79	5,10	3,89	2,95	2,22	-
17	-	-	2,44	13,99	10,27	8,83	7,52	6,10	4,72	3,64	2,83	2,16	-
18	-	-	2,61	15,26	11,93	8,00	7,28	5,90	4,38	3,56	2,78	2,16	-
19	-	-	2,34	5,18	10,18	9,60	7,54	5,64	3,92	1,88	1,74	1,49	-
20	-	-	-	-	-	3,82	4,18	4,70	4,07	2,98	2,21	1,81	-
21	-	-	-	-	-	-	-	-	3,78	2,58	1,92	1,44	-
22	-	-	1,69	3,68	4,67	4,99	3,96	1,70	1,00	1,00	1,03	1,00	-
23	-	-	1,08	1,00	1,04	2,37	1,98	6,01	5,20	3,88	2,94	2,14	-
24	-	-	1,00	1,10	7,68	11,54	2,45	2,55	4,17	2,73	1,85	1,87	-
25	-	-	1,12	1,00	1,00	1,02	1,06	1,49	1,52	1,01	1,00	1,00	-
26	-	-	1,00	1,01	1,04	1,66	2,04	1,68	2,30	1,39	1,00	1,00	-
27	-	-	1,01	1,10	1,72	3,74	5,33	5,26	4,38	3,50	2,76	2,15	-
28	-	-	1,26	1,99	4,63	9,07	7,49	5,78	4,93	3,73	2,85	2,26	-
29	-	-	2,77	10,12	10,08	7,96	6,36	5,24	4,19	3,23	2,60	2,11	-
30	-	-	1,08	1,01	1,15	1,26	1,02	1,17	1,74	1,95	1,19	1,01	-
31	-	1,00	1,39	2,55	3,09	3,31	2,89	2,90	2,63	2,41	2,03	1,71	-

### LEGENDA

 Céu encoberto

 Céu intermediário

 Céu claro

Para caracterizar a distribuição de luminância na abóbada celeste de Florianópolis, o Índice de Limpidez do Céu ( $\epsilon$ ) obtido foi comparado com a Tabela 3.1 (p. 42), que apresenta a variação deste mesmo índice para diferentes categorias de condições de céu.

Os valores do Índice de Limpidez do Céu ( $\epsilon$ ) obtidos foram os seguintes:

**Tabela 4.6** Valores proporcionais do Índice de Limpidez do Céu ( $\epsilon$ ), de julho a dezembro de 1994.

mês	Encoberto	Intermediário	Claro
julho	29,39%	53,41%	17,20%
agosto	43,49%	47,30%	9,21%
setembro	59,82%	35,78%	4,40%
outubro	68,86%	26,84%	4,30%
novembro	55,24%	31,73%	13,03%
dezembro	59,18%	30,71%	10,11%

**Tabela 4.7** Valores proporcionais do Índice de Limpidez do Céu ( $\epsilon$ ), de janeiro a dezembro de 1995.

mês	Encoberto	Intermediário	Claro
janeiro	59,41%	35,97%	4,62%
fevereiro	57,41%	37,64%	4,94%
março	41,88%	46,43%	11,69%
abril	24,17%	54,17%	21,67%
maio	49,29%	36,07%	14,64%
junho	35,27%	45,74%	18,99%
julho	50,72%	36,69%	12,59%
agosto	53,75%	44,74%	1,50%
setembro	54,71%	35,29%	10,00%
outubro	60,23%	25,57%	14,20%
novembro	44,32%	45,14%	10,54%
dezembro	49,66%	36,82%	13,51%

**Tabela 4.8** Valores proporcionais do Índice de Limpidez do Céu ( $\epsilon$ ), de janeiro a dezembro de 1996.

mês	Encoberto	Intermediário	Claro
janeiro	64,22%	27,27%	8,50%
fevereiro	50,29%	38,22%	11,49%
março	57,66%	37,33%	5,01%
abril	48,34%	40,59%	11,07%
maio	27,44%	58,27%	14,29%
junho	48,96%	36,11%	14,93%
julho	45,07%	33,80%	21,13%
agosto	45,45%	41,75%	12,79%
setembro	60,62%	33,14%	6,23%
outubro	58,71%	28,86%	12,44%
novembro	59,74%	32,56%	7,69%
dezembro	62,50%	23,96%	13,54%

**Tabela 4.9** Valores proporcionais do Índice de Limpidez do Céu ( $\epsilon$ ), de janeiro a julho de 1997.

mês	Encoberto	Intermediário	Claro
janeiro	-	-	-
fevereiro	-	-	-
março	73,94%	23,40%	2,66%
abril	33,33%	48,22%	18,45%
maio	51,35%	34,83%	13,81%
junho	63,20%	28,25%	8,55%
julho	35,79%	47,49%	16,72%

**Tabela 4.10** Valores proporcionais do Índice de Limpidez do Céu ( $\epsilon$ ), de 1994 a 1997.

ano	Encoberto	Intermediário	Claro
1994	52,66%	37,63%	9,71%
1995	48,40%	40,02%	11,57%
1996	52,42%	35,99%	11,59%
1997	51,52%	36,44%	12,04%
média	51,25%	37,52%	11,23%

Verifica-se que do total de dados analisados, 51,25% apresentaram o índice  $\varepsilon$  abaixo de 1,25, condição de céu encoberto, 37,52% entre 1,25 e 6, condição de céu intermediário e 11,23% acima de 6, condição de céu claro, de acordo com a Tabela 4.10. Portanto, a condição de céu com maior ocorrência na localidade de estudo é o céu encoberto, seguido do céu intermediário.

Segundo Kittler apud Pereira (1992), as condições de céu encoberto padrão (IESNA, CIE) são bem conhecidas mas raramente ocorrem nas diversas regiões climáticas.

Enarum e Littlefair (1995), compararam várias fórmulas para distribuição de luminâncias para céu encoberto, entre estas, a fórmula para o modelo de céu encoberto padrão CIE. Este modelo forneceu os melhores resultados quando comparado com os dados medidos. Cabe ressaltar, entretanto, que estes resultados se limitam ao sul da Inglaterra e que céus encobertos reais podem variar substancialmente do padrão.

Para Kittler, Perez e Darula (1997) o tipo de céu encoberto padrão CIE, é um céu muito denso, cinzento e escuro, está geralmente associado a nebulosidade de várias camadas de estratos escuros, onde o sol não é distinguido, e a luminância do céu é muito baixa. Estes autores apresentam duas categorias distintas de céu – céus homogêneos e céus não homogêneos. Na categoria de céus homogêneos, identificaram vários tipos de céu encoberto, que variam de um céu encoberto escuro, similar ao modelo da CIE, até um céu encoberto brilhante com elevados níveis de luminância difusa que dependem da transparência das camadas de nuvens e da altura do sol.

Então, pode-se considerar o modelo de céu encoberto padrão CIE, como uma condição extrema, que não representa todos os outros diversos tipos de céu encoberto encontrados na prática, constatação esta que é confirmada pelos registros visuais ocasionais das condições de céu feitos durante o estudo.

A pouca frequência do céu claro pode ser explicada pelo fato que o modelo padrão da CIE é representado por uma condição de céu totalmente sem nuvem - que na prática ocorre muito pouco - onde a luminância do céu depende tanto do ângulo de altura solar quanto da posição do sol. Nesta condição de céu a distribuição de luz é estável, variando apenas com a mudança da posição do sol na abóbada celeste.

Kittler, Perez e Darula (1997), a partir de uma base de dados experimentais, têm usado algumas suposições básicas em um modelo de céu, que abrangem não somente céus claros mas todos os casos existentes. Os parâmetros derivados desta base são calculados

usando o ângulo zenital e o índice de brilho do céu ( $\Delta$ ), ao contrário do céu claro padrão da CIE que sugere uma validade geral independente do ângulo de zênite solar e do brilho do céu.

### 4.2.3 Índice de Brilho do Céu ( $\Delta$ )

Na análise dos dados para a determinação do Índice de Brilho do Céu ( $\Delta$ ), além dos critérios descritos no item anterior, também foram descartados os valores em que o ângulo de altura solar é inferior a  $10^\circ$ .

**Tabela 4.11** Valores proporcionais do Índice  $\Delta$  em relação ao Índice  $\epsilon$ , 1994.

$\epsilon$	$\Delta$			Nº de dados
	$\leq 0,25$	0,25 - 0,3	$> 0,3$	analisados
1 - 1,25	59,35%	10,69%	29,97%	52,66%
1,25 - 6	49,77%	15,07%	35,16%	37,63%
$\geq 6$	100,00%	0,00%	0,00%	9,71%

**Tabela 4.12** Valores proporcionais do Índice  $\Delta$  em relação ao Índice  $\epsilon$ , 1995.

$\epsilon$	$\Delta$			Nº de dados
	$\leq 0,25$	0,25 - 0,3	$> 0,3$	analisados
1 - 1,25	58,76%	9,39%	31,85%	48,40%
1,25 - 6	49,06%	14,78%	36,16%	40,02%
$\geq 6$	100,00%	0,00%	0,00%	11,57%

**Tabela 4.13** Valores proporcionais do Índice  $\Delta$  em relação ao Índice  $\epsilon$ , 1996.

$\epsilon$	$\Delta$			Nº de dados
	$< 0,25$	0,25 - 0,3	$> 0,3$	analisados
1 - 1,25	54,76%	11,49%	33,75%	52,42%
1,25 - 6	46,83%	16,57%	36,60%	35,99%
$\geq 6$	100,00%	0,00%	0,00%	11,59%

**Tabela 4.14** Valores proporcionais do Índice  $\Delta$  em relação ao Índice  $\epsilon$ , 1997.

$\epsilon$	$\Delta$			Nº de dados
	< 0,25	0,25 - 0,3	> 0,3	analisados
1 - 1,25	36,99%	7,61%	55,40%	51,52%
1,25 - 6	54,30%	15,38%	30,32%	36,44%
$\geq 6$	100,00%	0,00%	0,00%	12,04%

**Tabela 4.15** Valores proporcionais do Índice  $\Delta$  em relação ao Índice  $\epsilon$ , de 1994 a 1997.

$\epsilon$	$\Delta$			Nº de dados
	< 0,25	0,25 - 0,30	> 0,30	analisados
1 - 1,25	54,68%	10,14%	35,18%	51,25%
1,25 - 6	49,10%	15,49%	35,41%	37,52%
$\geq 6$	100,00%	0,00%	0,00%	11,23%

Verifica-se, pela Tabela 4.15, que dos 51,25% de dados analisados que apresentaram índice  $\epsilon$  abaixo de 1,25, isto é, condição de céu encoberto, 54,68% apresentaram índice  $\Delta$  inferior a 0,25 (céu encoberto escuro, padrão da CIE); para 35,18% dos dados este índice ficou situado acima de 0,30 (céu encoberto brilhante com influência da posição do sol), e para 10,14% dos dados apresentaram este índice entre 0,25 a 0,30 (céu encoberto brilhante, sem a influência do sol). Portanto, a condição de céu com maior ocorrência na localidade de estudo é o céu encoberto escuro seguido do céu encoberto brilhante com influência da posição do sol.

## 4.3 ANÁLISE DOS MODELOS

### 4.3.1 Definição dos Níveis de Iluminância de Projeto

O parâmetro de avaliação para a análise é o valor de iluminância média ( $E_m$ ) recomendada pela norma brasileira NBR5413 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1991), de acordo com o ambiente e em função do tipo de tarefa visual. A partir deste valor foram calculados os limites do intervalo inferior ( $E_- = 70\% E_m$ ) e superior ( $E_+ = 130\% E_m$ ), como segue:

**Tabela 4.16** Valores de iluminância mínimas ( $E_-$ ), médias ( $E_m$ ) e máximas ( $E_+$ ) para cada modelo.

MODELOS	$E_-$ (lux)	$E_m$ (lux)	$E_+$ (lux)
Modelo A (sala comercial)	525	750	975
Modelo B (sala residencial)	105	150	195
Modelo C (dormitório)	105	150	195
Modelo D (cozinha/copa)	105	150	195

Com base nestes valores foram definidos os três intervalos que apresentam os níveis de iluminância insuficientes, suficientes e excessivas, respectivamente, para os quatro modelos de simulação, conforme quadro abaixo:

**Tabela 4.17** Intervalos de níveis de iluminância para cada modelo.

INTERVALOS DE ILUMINAÇÃO	MODELOS			
	Modelo A	Modelo B	Modelo C	Modelo D
	(lux)	(lux)	(lux)	(lux)
Insuficiente	$E < 525$	$E < 105$	$E < 105$	$E < 105$
Suficiente	$525 \leq E \leq 975$	$105 \leq E \leq 195$	$105 \leq E \leq 195$	$105 \leq E \leq 195$
Excessiva	$E > 975$	$E > 195$	$E > 195$	$E > 195$

### 4.3.2 Desempenho dos Modelos quanto à Distribuição de Iluminância

Para obter o desempenho de cada modelo quanto à distribuição de iluminância, foram gerados gráficos com curvas isolux, através da simulação computacional, para cada data, hora, presença e ausência de obstrução da própria edificação (modelos A2, B2, C2, D2 e A1, B1, C1, D1 respectivamente) e condição de céu determinadas anteriormente, isto é, condição de céu intermediário e condição de céu encoberto. Cabe ressaltar que os modelos não foram testados sob a condição de céu claro, uma vez que este tipo de céu teve pouca ocorrência no período analisado, conforme item 4.2.2.

#### 4.3.2.1 Condição de Céu Intermediário

A partir destes gráficos, para a avaliação quantitativa proporcional dos resultados da simulação sob condição de céu intermediário, os valores de área, em m<sup>2</sup>, foram calculados e convertidos em porcentagem, conforme as Tabelas 4.18 a 4.21:

**Tabela 4.18 Razão da área total para cada intervalo de iluminância para o Modelo A1 (sala comercial sem obstrução) e Modelo A2 (sala comercial com obstrução), sob céu intermediário.**

Data	MODELO A1			MODELO A2		
	Iluminâncias			Iluminâncias		
	Insuficiente	Suficiente	Excessiva	Insuficiente	Suficiente	Excessiva
21/03	60,15%	14,74%	25,11%	75,99%	13,23%	10,78%
22/06	74,69%	11,36%	13,95%	88,91%	8,55%	2,55%
23/09	61,54%	13,21%	25,25%	75,98%	13,81%	10,21%
22/12	43,63%	19,57%	36,80%	63,54%	16,43%	20,04%

**Tabela 4.19 Razão da área total para cada intervalo de iluminância para o Modelo B1 (sala residencial sem obstrução) e Modelo B2 (sala residencial com obstrução), sob céu intermediário.**

Data	MODELO B1			MODELO B2		
	Iluminâncias			Iluminâncias		
	Insuficiente	Suficiente	Excessiva	Insuficiente	Suficiente	Excessiva
21/03	7,53%	4,07%	88,40%	12,86%	15,43%	71,71%
22/06	18,22%	13,83%	67,94%	33,38%	29,29%	37,33%
23/09	13,54%	2,53%	83,93%	16,67%	12,86%	70,47%
22/12	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	8,58%	91,42%

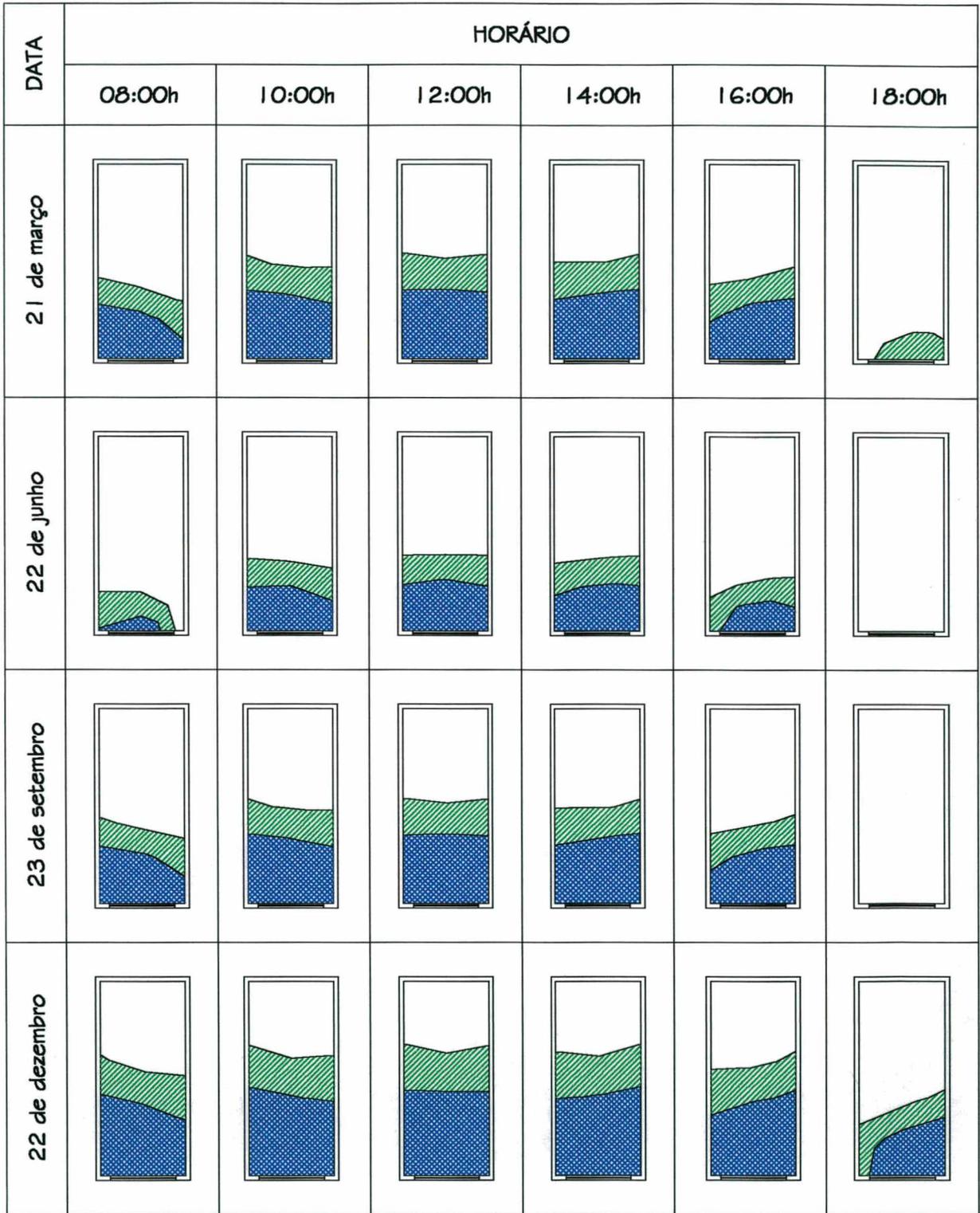
**Tabela 4.20 Razão da área total para cada intervalo de iluminância para o Modelo C1 (dormitório sem obstrução) e Modelo C2 (dormitório com obstrução), sob céu intermediário.**

Data	MODELO C1			MODELO C2		
	Iluminâncias			Iluminâncias		
	Insuficiente	Suficiente	Excessiva	Insuficiente	Suficiente	Excessiva
21/03	7,92%	3,89%	88,18%	12,88%	17,11%	70,02%
22/06	21,71%	11,27%	67,02%	34,32%	31,63%	34,05%
23/09	13,47%	2,67%	83,86%	16,67%	14,73%	68,61%
22/12	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	8,84%	91,16%

**Tabela 4.21 Razão da área total para cada intervalo de iluminância para o Modelo D1 (cozinha/copa sem obstrução) e Modelo D2 (cozinha/copa com obstrução), sob céu intermediário.**

Data	MODELO D1 (sem obstrução)			MODELO D2 (com obstrução)		
	Iluminâncias			Iluminâncias		
	Insuficiente	Suficiente	Excessiva	Insuficiente	Suficiente	Excessiva
21/03	14,88%	4,63%	80,50%	22,44%	32,60%	44,97%
22/06	25,50%	24,96%	49,54%	51,14%	46,51%	2,36%
23/09	16,67%	2,33%	81,00%	17,24%	38,53%	44,23%
22/12	0,00%	3,04%	96,96%	7,03%	13,74%	79,23%

Para a avaliação qualitativa dos resultados da simulação, são apresentados os gráficos de curva isolux para cada modelo, sob a condição de céu intermediário, conforme as Figuras 4.1 a 4.8.

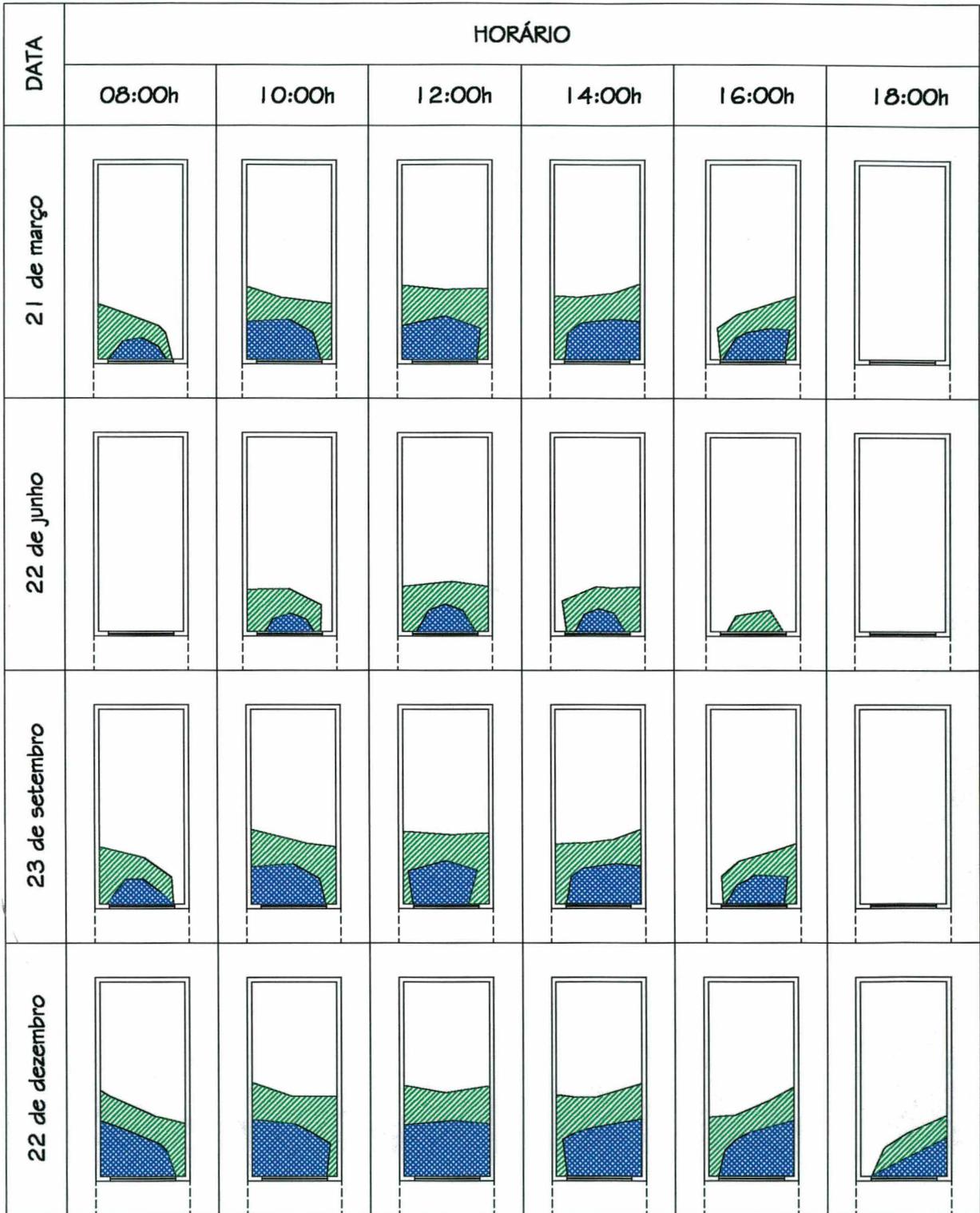


**LEGENDA**

Iluminação Insuficiente
  Iluminação Suficiente
  Iluminação Excessiva

Notas: Dimensões do modelo: largura = 2,80m, profundidade = 6,43m, pé-direito = 2,60m

**Figura 4.1** Gráficos com curvas isolux para o Modelo A1 (sala comercial sem obstrução), sob condição de céu intermediário.

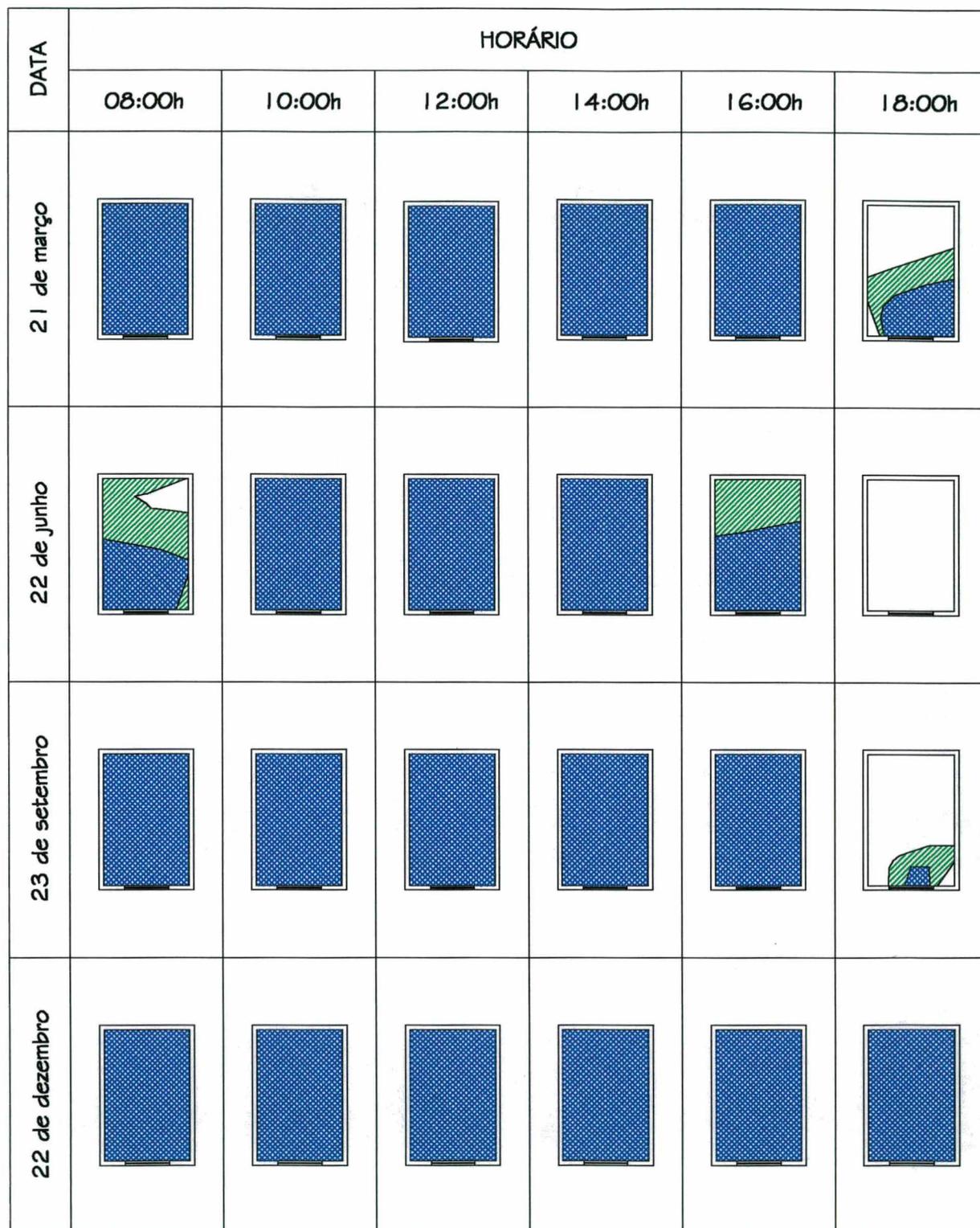


LEGENDA

Iluminação Insuficiente   
 Iluminação Suficiente   
 Iluminação Excessiva

Notas: Dimensões do modelo: largura = 2,80m, profundidade = 6,43m, pé-direito = 2,60m

**Figura 4.2** Gráficos com curvas isolux para o Modelo A2 (sala comercial com obstrução), sob condição de céu intermediário.

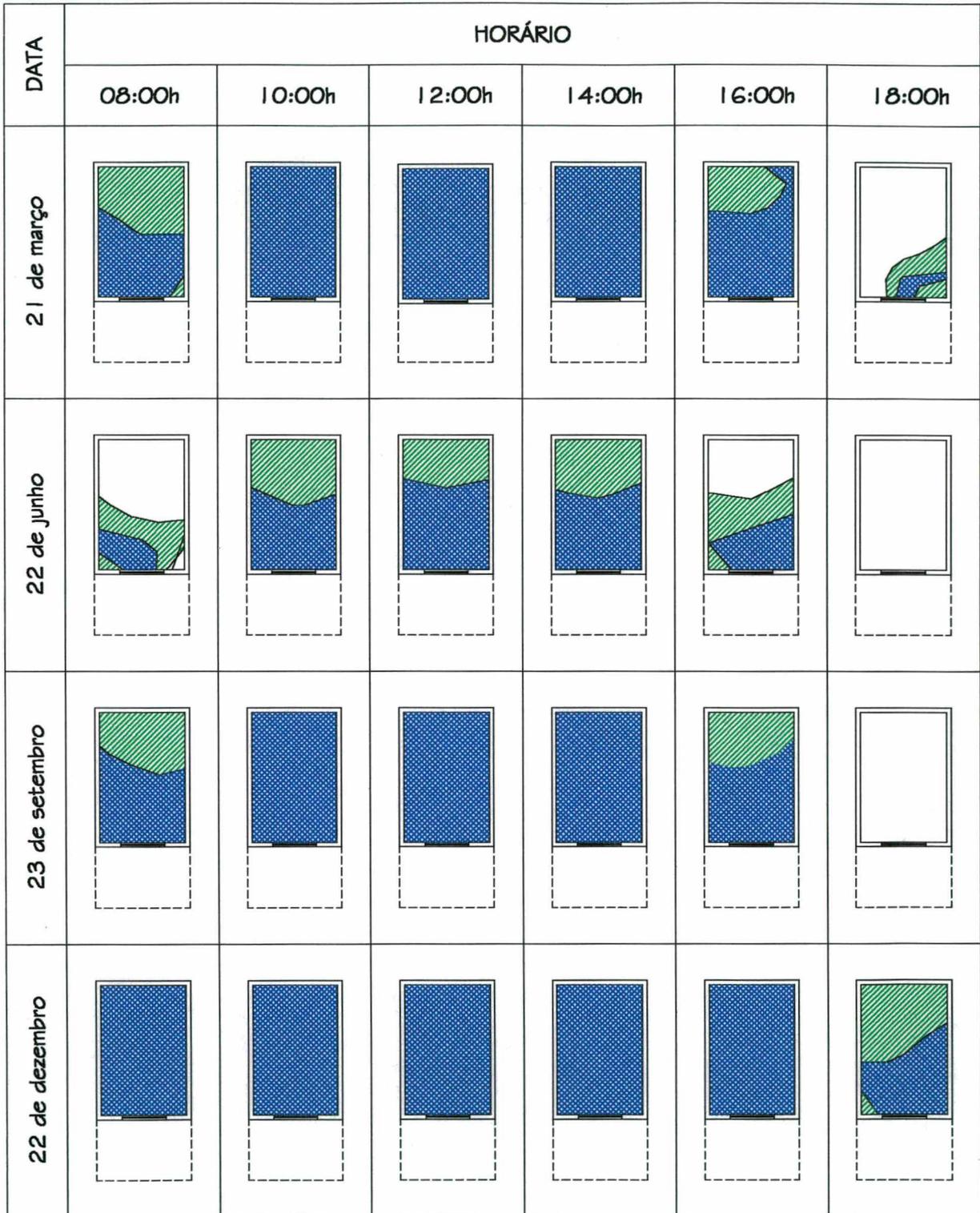


LEGENDA

Iluminação Insuficiente    Iluminação Suficiente    Iluminação Excessiva

Notas: Dimensões do modelo: largura = 2,80m, profundidade = 4,29m, pé-direito = 2,60m

**Figura 4.3** Gráficos com curvas isolux para o Modelo B1 (sala residencial sem obstrução), sob condição de céu intermediário.

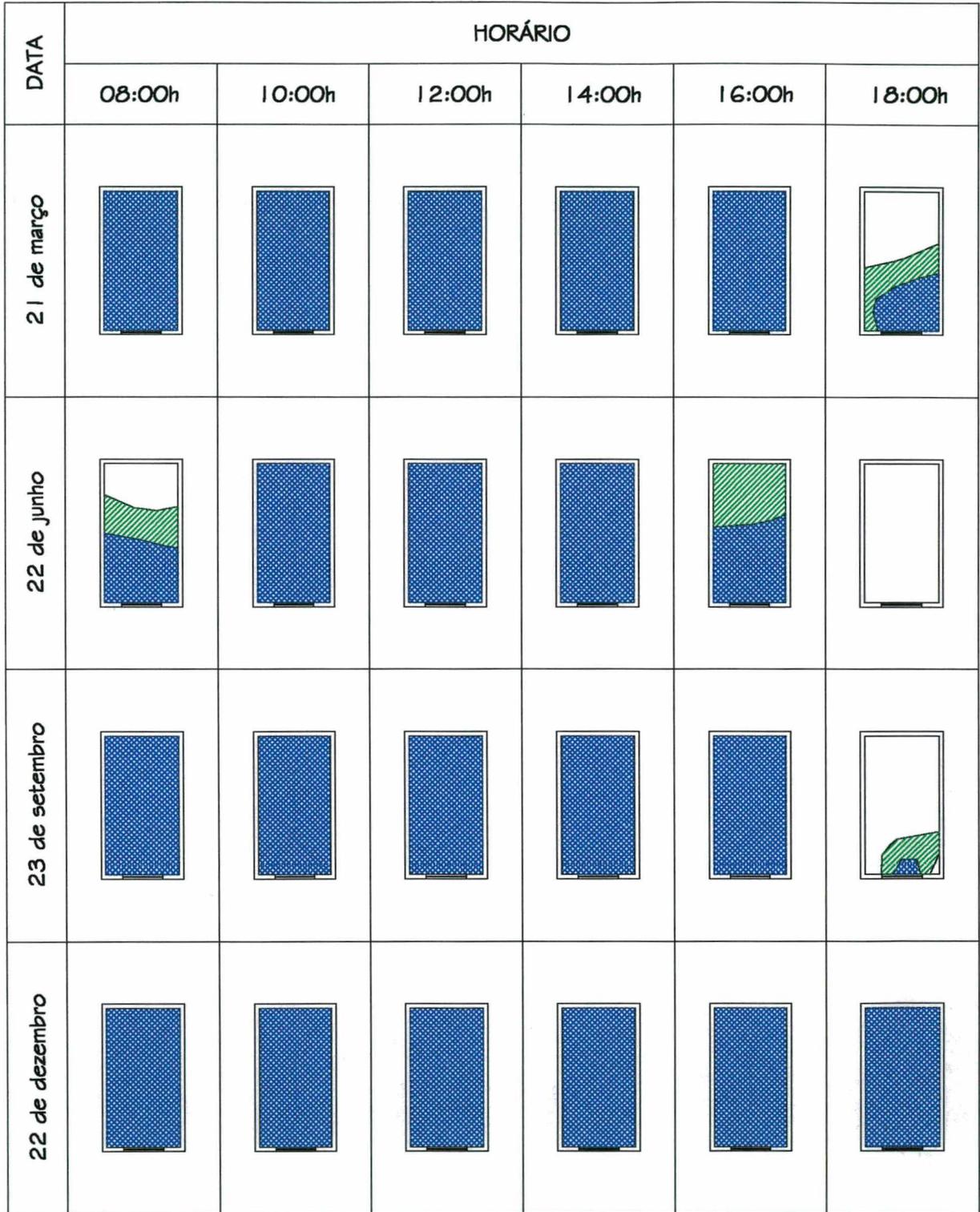


LEGENDA

Iluminação Insuficiente    Iluminação Suficiente    Iluminação Excessiva

Notas: Dimensões do modelo: largura = 2,80m, profundidade = 4,29m, pé-direito = 2,60m

Figura 4.4 Gráficos com curvas isolux para o Modelo B2 (sala residencial com obstrução), sob condição de céu intermediário.

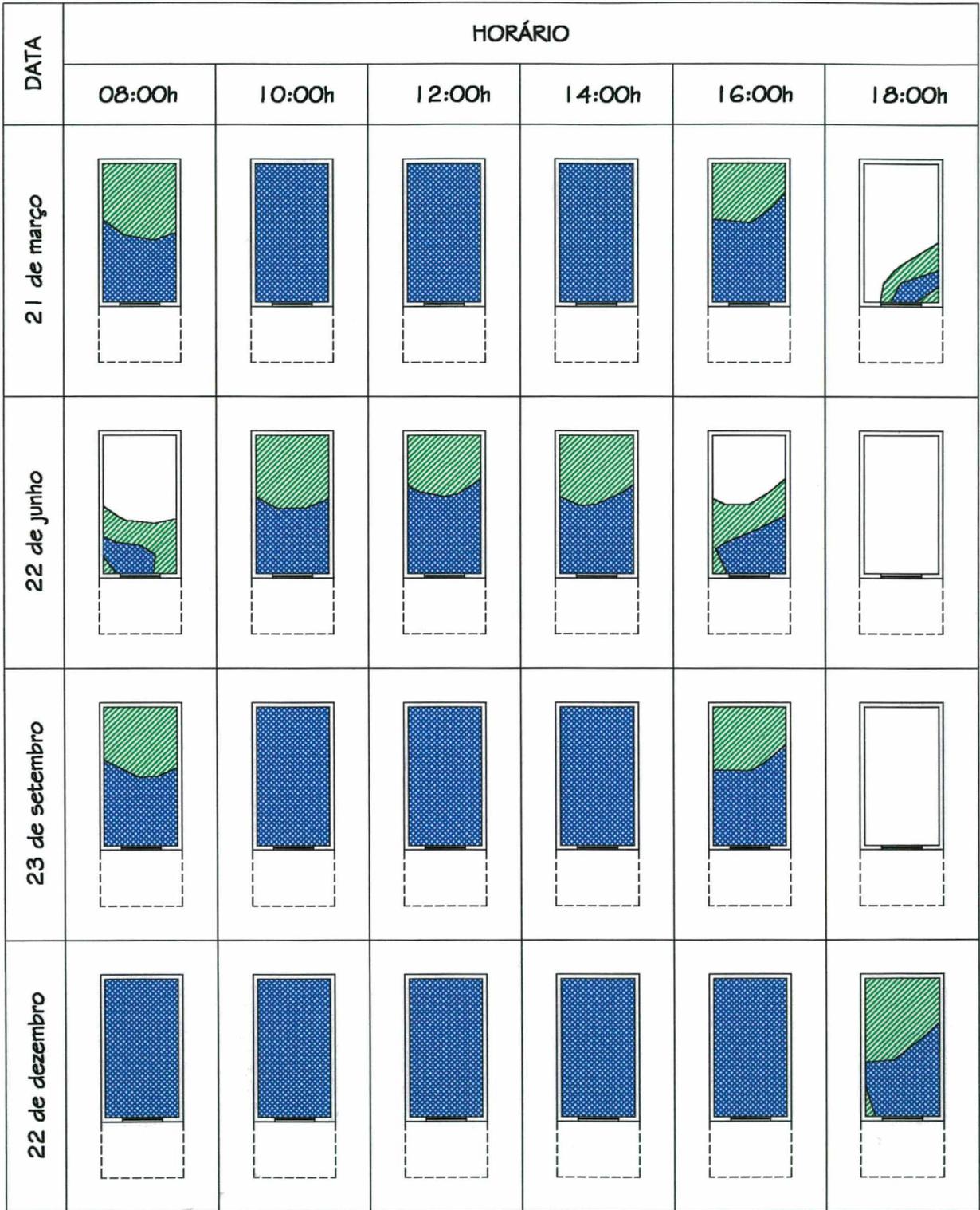


LEGENDA

Iluminação Insuficiente    Iluminação Suficiente    Iluminação Excessiva

Notas: Dimensões do modelo: largura = 2,40m, profundidade = 4,58m, pé-direito = 2,60m

Figura 4.5 Gráficos com curvas isolux para o Modelo C1 (dormitório sem obstrução), sob condição de céu intermediário.

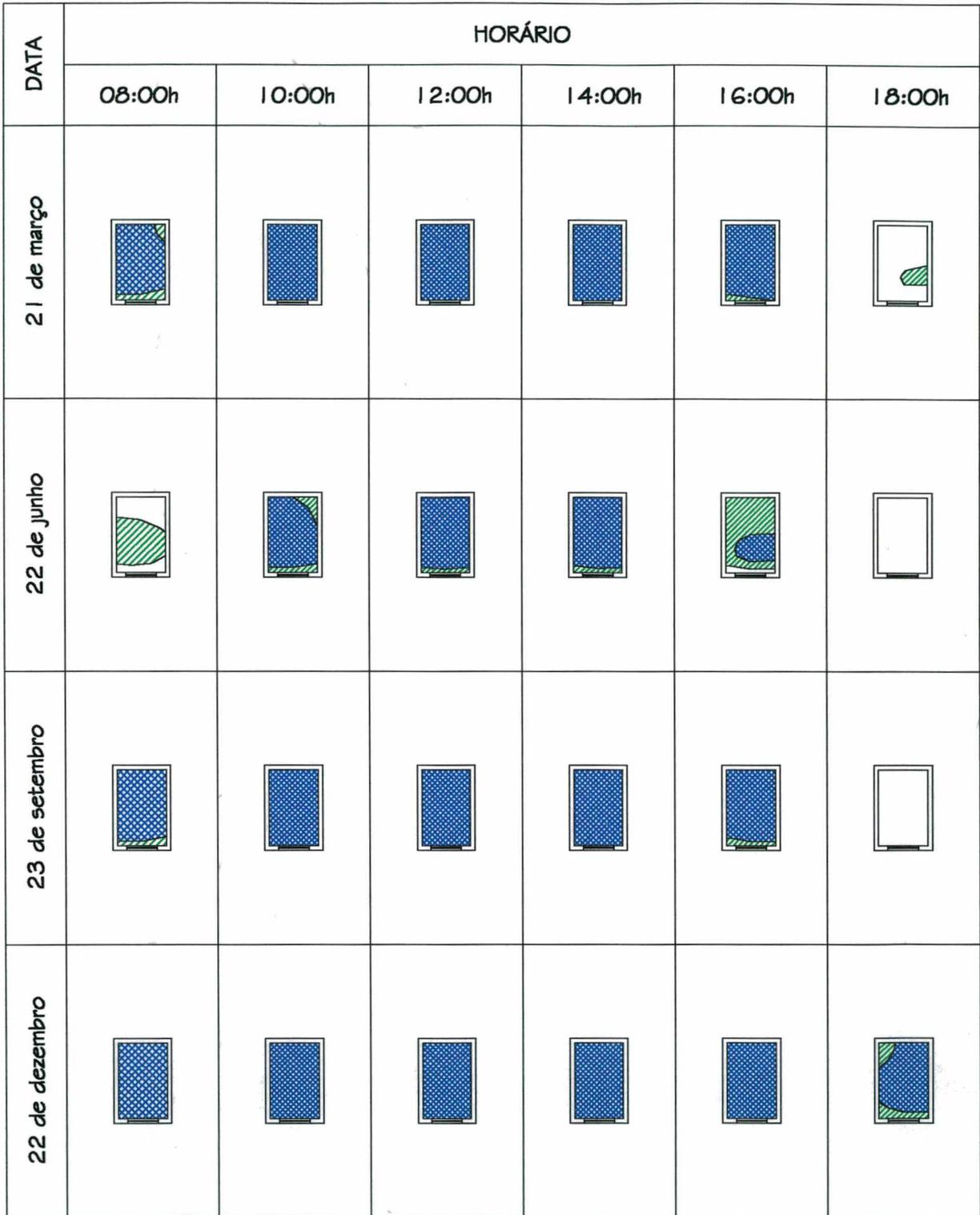


LEGENDA

Iluminação Insuficiente    Iluminação Suficiente    Iluminação Excessiva

Notas: Dimensões do modelo: largura = 2,40m, profundidade = 4,58m, pé-direito = 2,60m

**Figura 4.6** Gráficos com curvas isolux para o Modelo C2 (dormitório com obstrução), condição de céu intermediário.

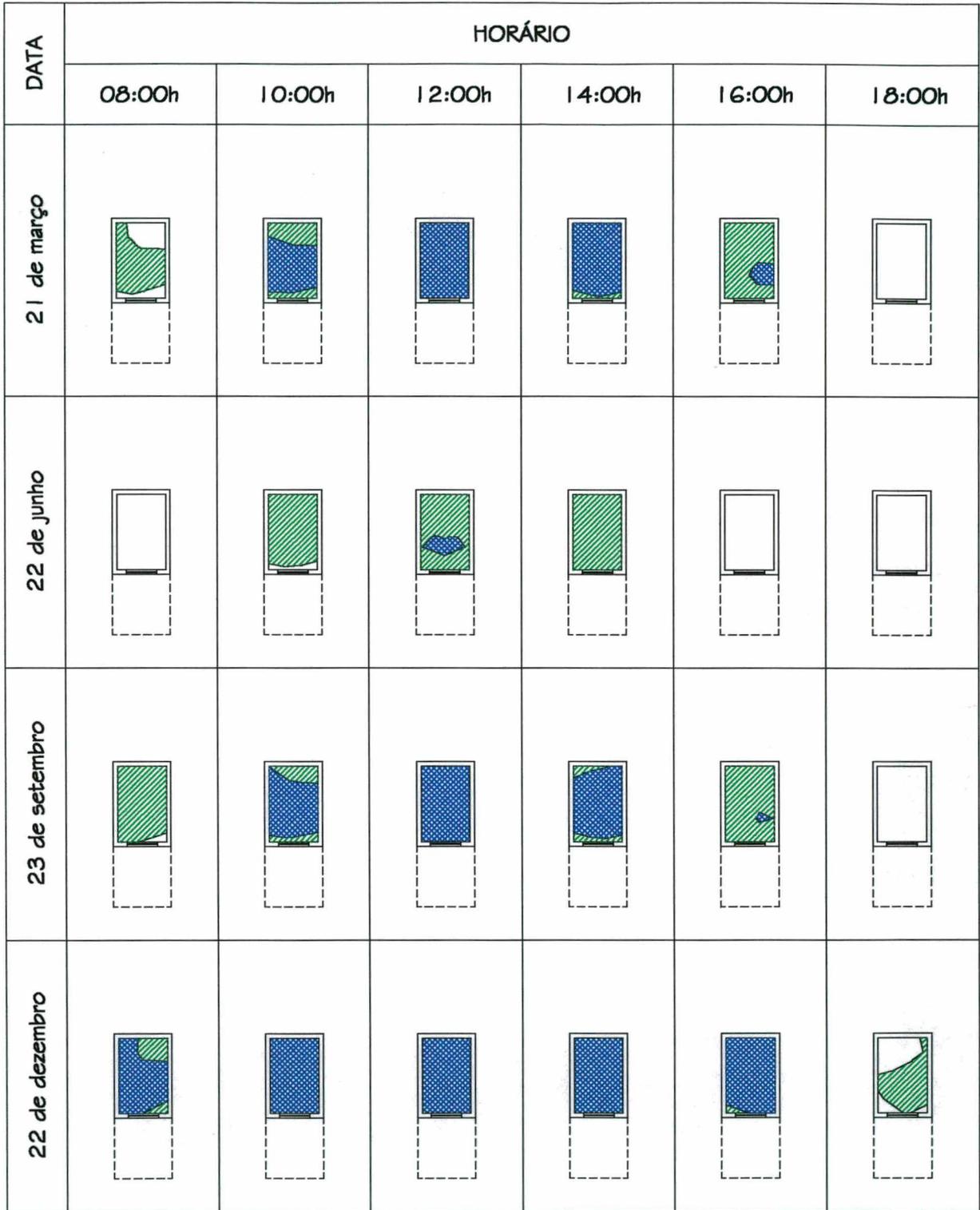


LEGENDA

Iluminação Insuficiente    Iluminação Suficiente    Iluminação Excessiva

Notas: Dimensões do modelo: largura = 1,60m, profundidade = 2,50m, pé-direito = 2,40m

**Figura 4.7** Gráficos com curvas isolux para o Modelo D1 (cozinha/copa sem obstrução), sob condição de céu intermediário.



LEGENDA

Iluminação Insuficiente  
 Iluminação Suficiente  
 Iluminação Excessiva

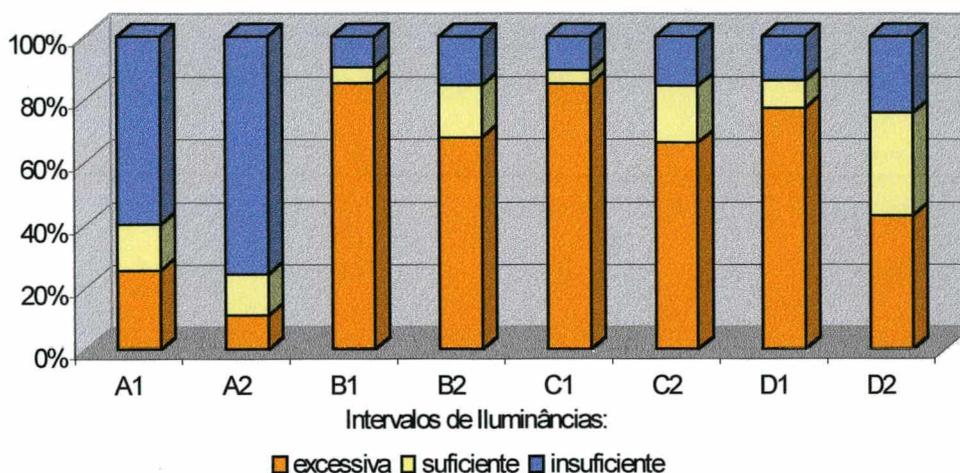
Notas: Dimensões do modelo: largura = 1,60m, profundidade = 2,50m, pé-direito = 2,40m

**Figura 4.8** Gráficos com curvas isolux para o Modelo D2 (cozinha/copa com obstrução), sob condição de céu intermediário.

A tabela e o gráfico abaixo apresentam os valores médios da razão de área total de cada intervalo de iluminância para cada modelo, sob a condição de céu intermediário.

**Tabela 4.22** Valores médios da razão de área total de cada intervalo de iluminância para cada modelo, condição de céu intermediário.

Iluminâncias	Modelos							
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
<b>Insuficiente</b>	60,00%	76,10%	9,82%	15,73%	10,78%	15,97%	14,26%	24,46%
<b>Suficiente</b>	14,72%	13,00%	5,11%	16,54%	4,46%	18,08%	8,74%	32,84%
<b>Excessiva</b>	25,28%	10,90%	85,07%	67,73%	84,76%	65,95%	77,00%	42,70%



**Gráfico 4.1** Valores médios da razão de área total de cada intervalo de iluminância para cada modelo, condição de céu intermediário.

A partir das tabelas e dos gráficos apresentados, percebe-se que:

- para o modelo de sala comercial ( $E_m = 750\text{lux}$ ), sem a obstrução do beiral (Modelo A1) a área com iluminância insuficiente foi de 60,00%; e com a obstrução do beiral (Modelo A2), a área com iluminância insuficiente foi de 76,10%, significando a necessidade de complementação com iluminação artificial.
- para os modelos de compartimentos residenciais ( $E_m = 150\text{lux}$ ), com e sem obstrução do beiral, B1, B2, C1, C2, D1 e D2, a área com iluminância excessiva foi superior, em média, 70,00%, em todo o tempo as demais áreas, significando a necessidade de controle através

de dispositivos de sombreamento. Com exceção dos modelos B2 e C2 que, no solstício de inverno, apresentaram as mesmas proporções de áreas com iluminância excessiva e iluminância insuficiente, e do modelo D2 no qual, no solstício de inverno, a área com iluminância insuficiente foi superior às demais. Cabe ressaltar que neste dia às 18:00h a iluminação natural é, praticamente, inexistente.

#### 4.3.2.2 Condição de Céu Encoberto

A partir destes gráficos, para a avaliação quantitativa proporcional dos resultados da simulação sob condição de céu encoberto, os valores de área, em m<sup>2</sup>, foram calculados e convertidos em porcentagem, conforme as Tabelas 4.23 a 4.26:

**Tabela 4.23 Razão da área total para cada intervalo de iluminância para o Modelo A1 (sala comercial sem obstrução) e Modelo A2 (sala comercial com obstrução), sob céu encoberto.**

Data	MODELO A1			MODELO A2		
	Iluminâncias			Iluminâncias		
	Insuficiente	Suficiente	Excessiva	Insuficiente	Suficiente	Excessiva
21/03	90,19%	6,99%	2,81%	93,01%	5,31%	1,68%
22/06	95,73%	3,74%	0,53%	96,44%	3,56%	0,00%
23/09	90,16%	6,98%	2,86%	94,24%	4,04%	1,72%
22/12	86,96%	9,10%	3,94%	91,54%	6,08%	2,38%

**Tabela 4.24 Razão da área total para cada intervalo de iluminância para o Modelo B1 (sala residencial sem obstrução) e Modelo B2 (sala residencial com obstrução), sob céu encoberto.**

Data	MODELO B1			MODELO B2		
	Iluminâncias			Iluminâncias		
	Insuficiente	Suficiente	Excessiva	Insuficiente	Suficiente	Excessiva
21/03	17,74%	20,58%	61,68%	55,94%	22,24%	21,82%
22/06	41,57%	26,53%	40,24%	73,26%	15,72%	11,01%
23/09	18,83%	21,35%	59,82%	55,89%	22,24%	21,88%
22/12	8,03%	16,11%	75,86%	43,22%	27,99%	28,79%

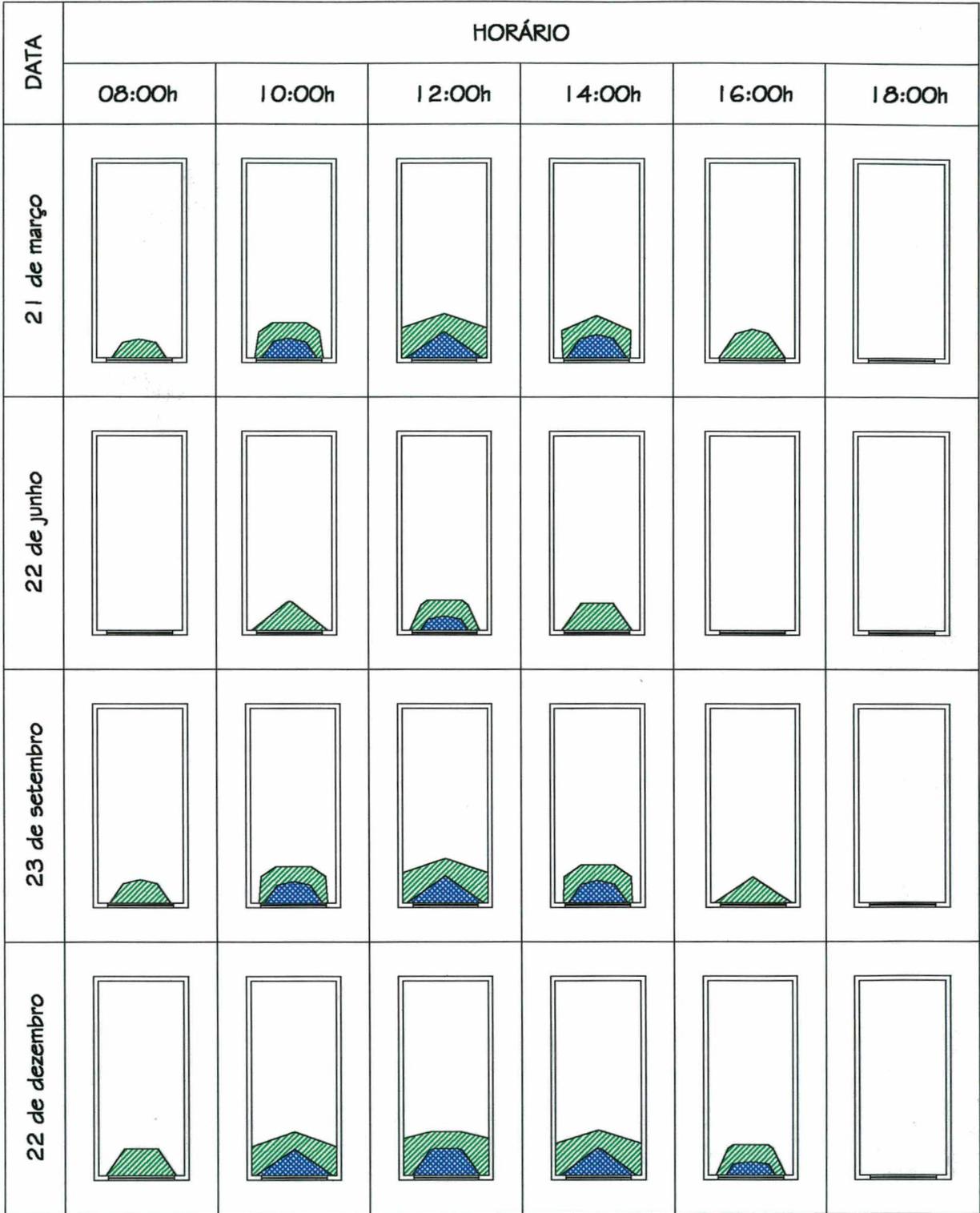
**Tabela 4.25 Razão da área total para cada intervalo de iluminância para o Modelo C1 (dormitório sem obstrução) e Modelo C2 (dormitório com obstrução), sob céu encoberto.**

Data	MODELO C1			MODELO C2		
	Iluminâncias			Iluminâncias		
	Insuficiente	Suficiente	Excessiva	Insuficiente	Suficiente	Excessiva
21/03	19,64%	26,61%	53,74%	34,10%	28,72%	37,16%
22/06	34,72%	26,58%	38,69%	60,45%	17,73%	21,80%
23/09	22,47%	22,52%	54,97%	34,17%	30,70%	35,12%
22/12	8,29%	20,71%	70,98%	23,72%	34,02%	42,25%

**Tabela 4.26 Razão da área total para cada intervalo de iluminância para o Modelo D1 (cozinha/copa sem obstrução) e Modelo D2 (cozinha/copa com obstrução), sob céu encoberto.**

Data	MODELO D1			MODELO D2		
	Iluminâncias			Iluminâncias		
	Insuficiente	Suficiente	Excessiva	Insuficiente	Suficiente	Excessiva
21/03	21,09%	21,21%	57,70%	92,60%	7,40%	0,00%
22/06	39,30%	32,76%	27,93%	100,00%	0,00%	0,00%
23/09	18,61%	22,14%	59,25%	92,85%	7,16%	0,00%
22/12	9,99%	21,34%	68,67%	83,00%	17,00%	0,00%

Para a avaliação qualitativa dos resultados da simulação, são apresentados os gráficos de curva isolux para cada modelo, sob a condição de céu encoberto, conforme as Figuras 4.9 a 4.16.

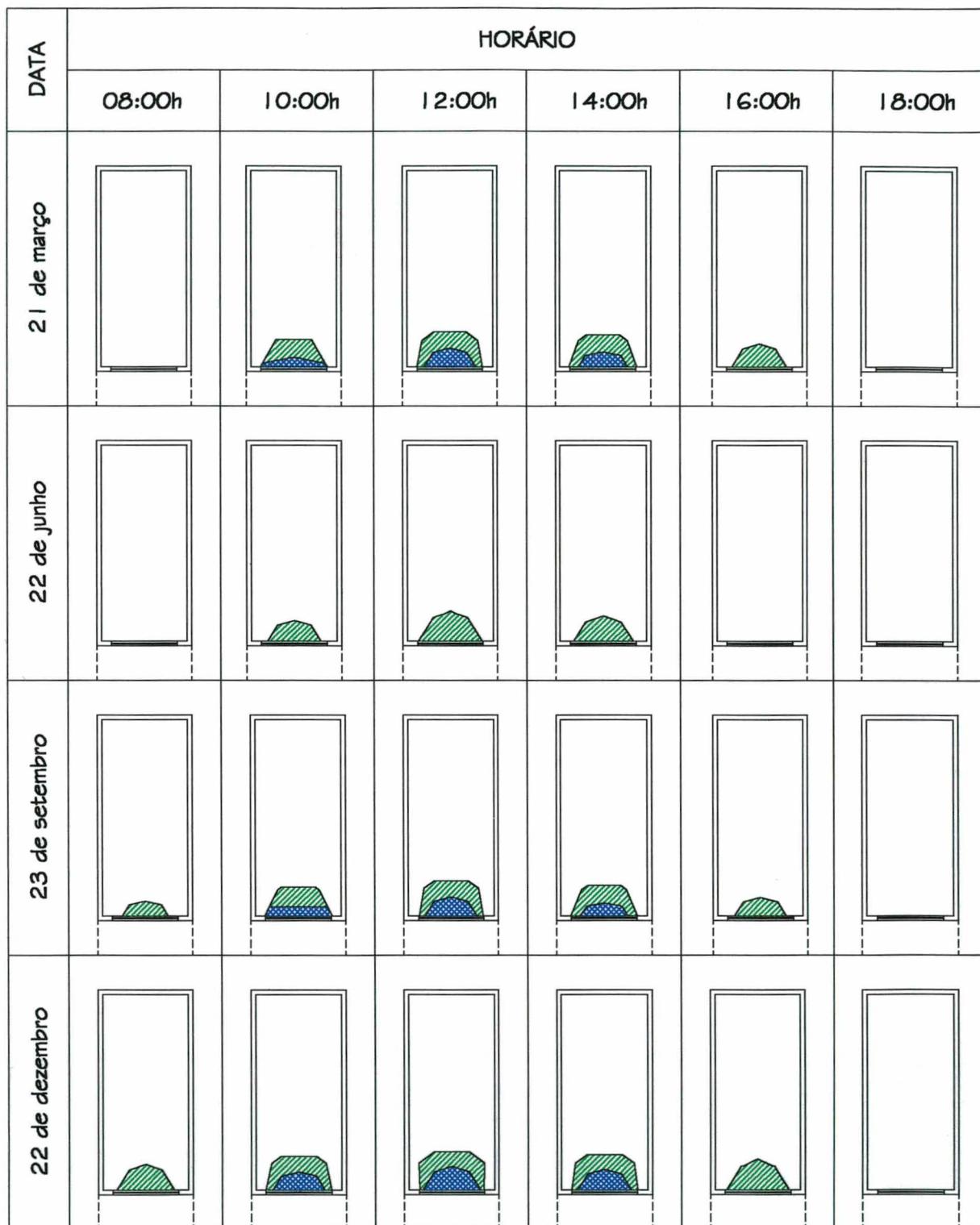


LEGENDA

Iluminação Insuficiente    Iluminação Suficiente    Iluminação Excessiva

Notas: Dimensões do modelo: largura = 2,80m, profundidade = 6,43m, pé-direito = 2,60m

**Figura 4.9** Gráficos com curvas isolux para o Modelo A1 (sala comercial sem obstrução), sob condição de céu encoberto.

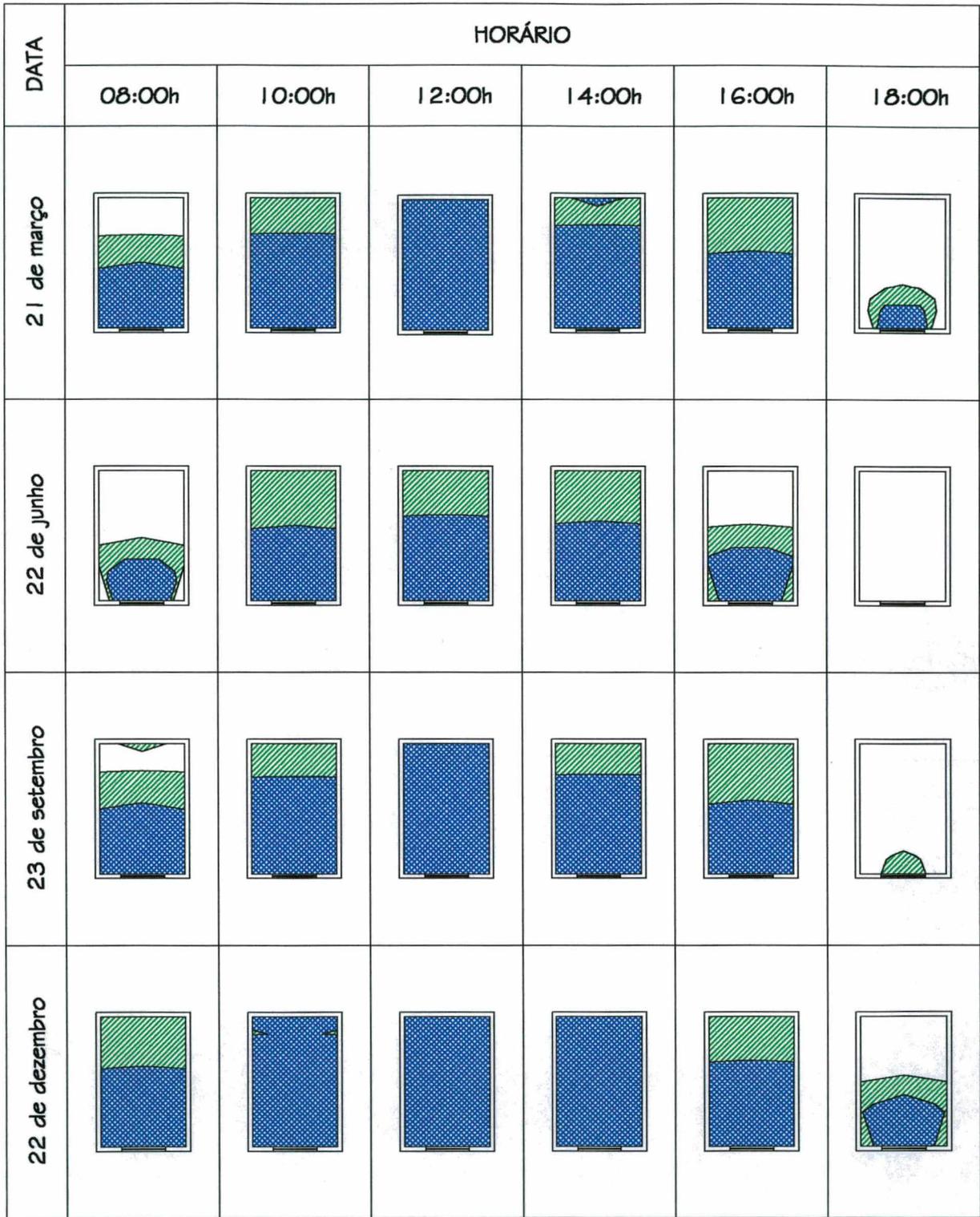


LEGENDA

Iluminação Insuficiente    Iluminação Suficiente    Iluminação Excessiva

Notas: Dimensões do modelo: largura = 2,80m, profundidade = 6,43m, pé-direito = 2,60m

**Figura 4.10** Gráficos com curvas isolux para o Modelo A2 (sala comercial com obstrução), sob condição de céu encoberto.

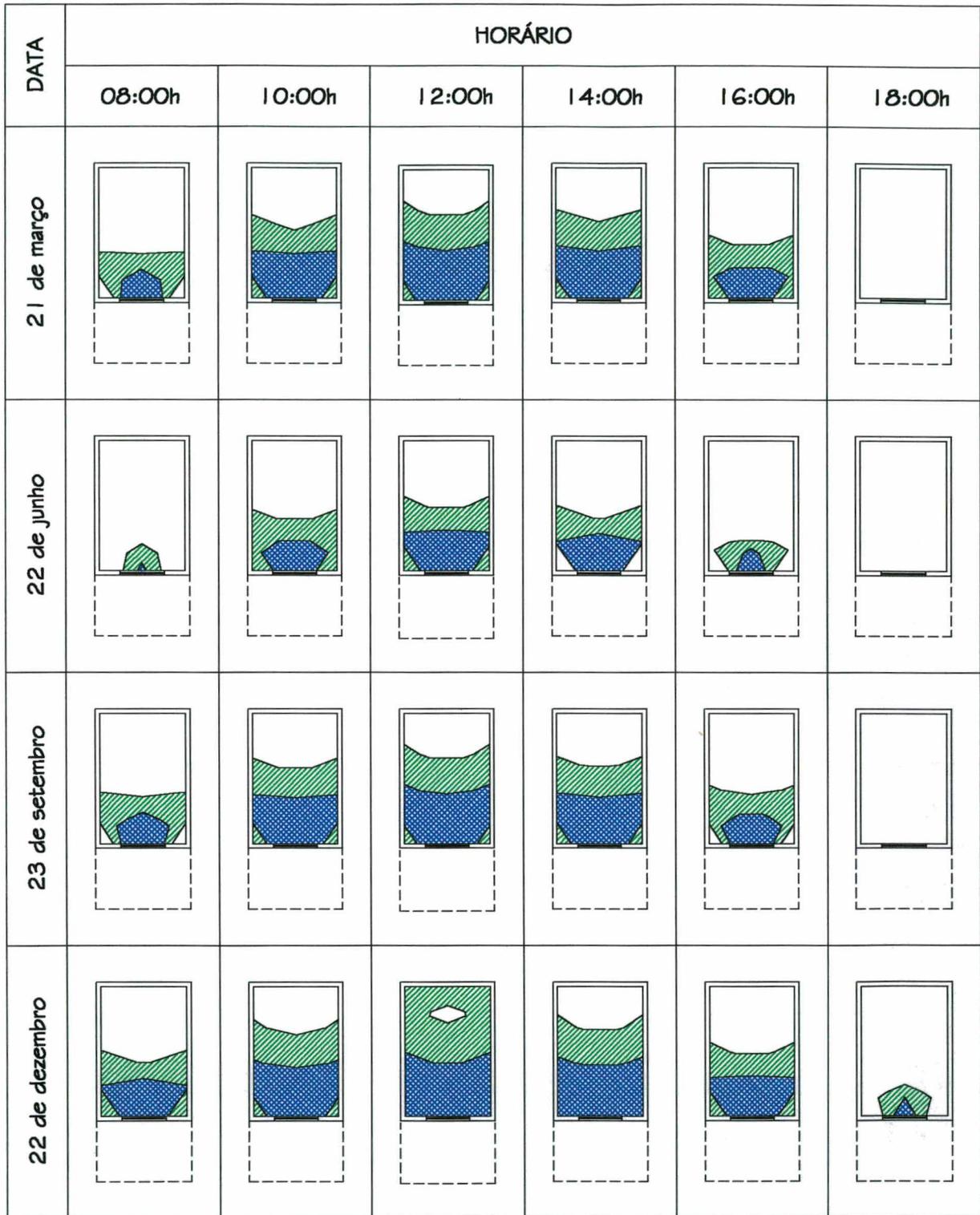


LEGENDA

Iluminação Insuficiente    Iluminação Suficiente    Iluminação Excessiva

Notas: Dimensões do modelo: largura = 2,80m, profundidade = 4,29m, pé-direito = 2,60m

**Figura 4.11** Gráficos com curvas isolux para o Modelo B1 (sala residencial sem obstrução), sob condição de céu encoberto.

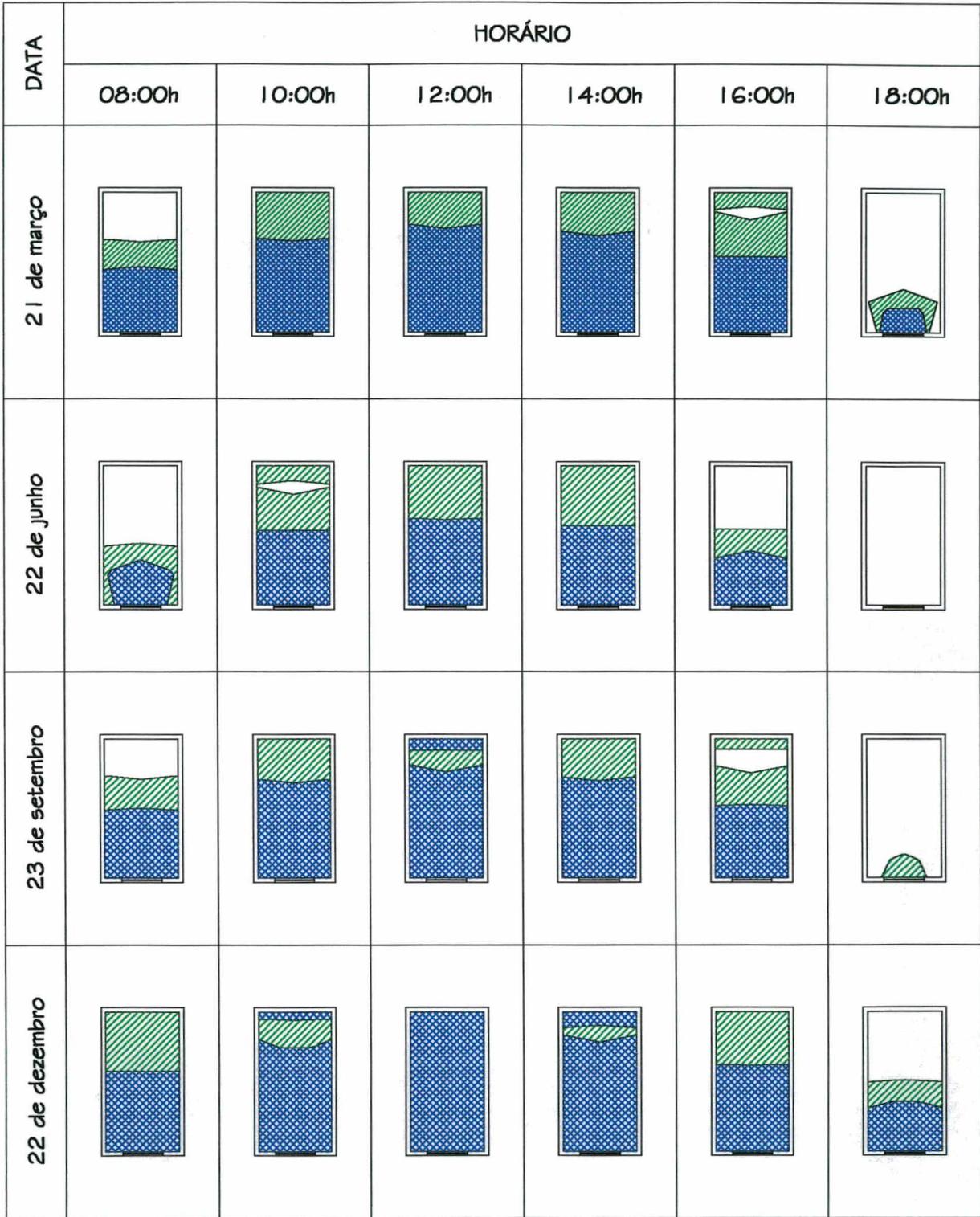


LEGENDA

Iluminação Insuficiente    Iluminação Suficiente    Iluminação Excessiva

Notas: Dimensões do modelo: largura = 2,80m, profundidade = 4,29m, pé-direito = 2,60m

**Figura 4.12** Gráficos com curvas isolux para o Modelo B2 (sala residencial com obstrução), sob condição de céu encoberto.

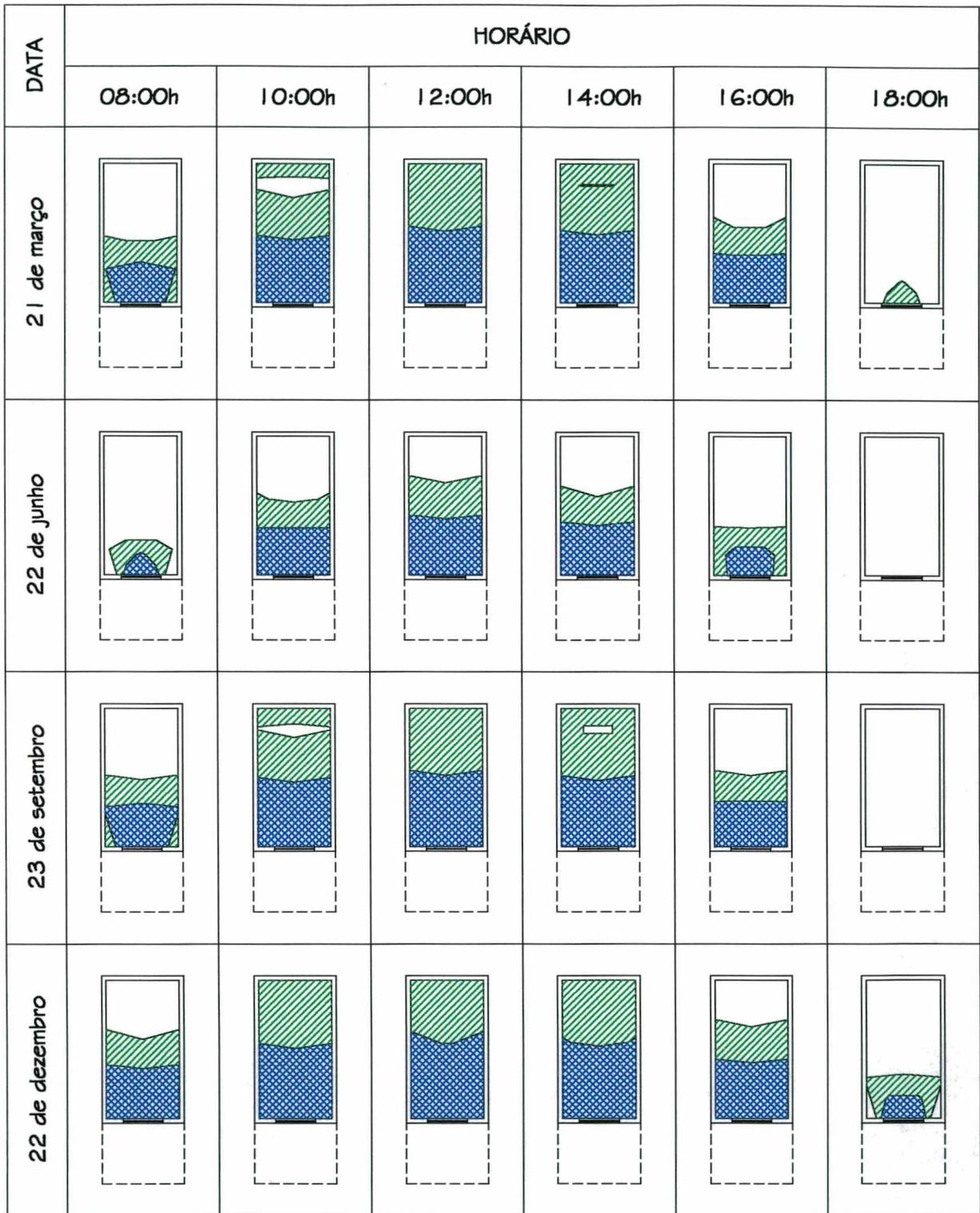


LEGENDA

Iluminação Insuficiente    Iluminação Suficiente    Iluminação Excessiva

Notas: Dimensões do modelo: largura = 2,40m, profundidade = 4,58m, pé-direito = 2,60m

Figura 4.13 Gráficos com curvas isolux para o Modelo C1 (dormitório sem obstrução), sob condição de céu encoberto.

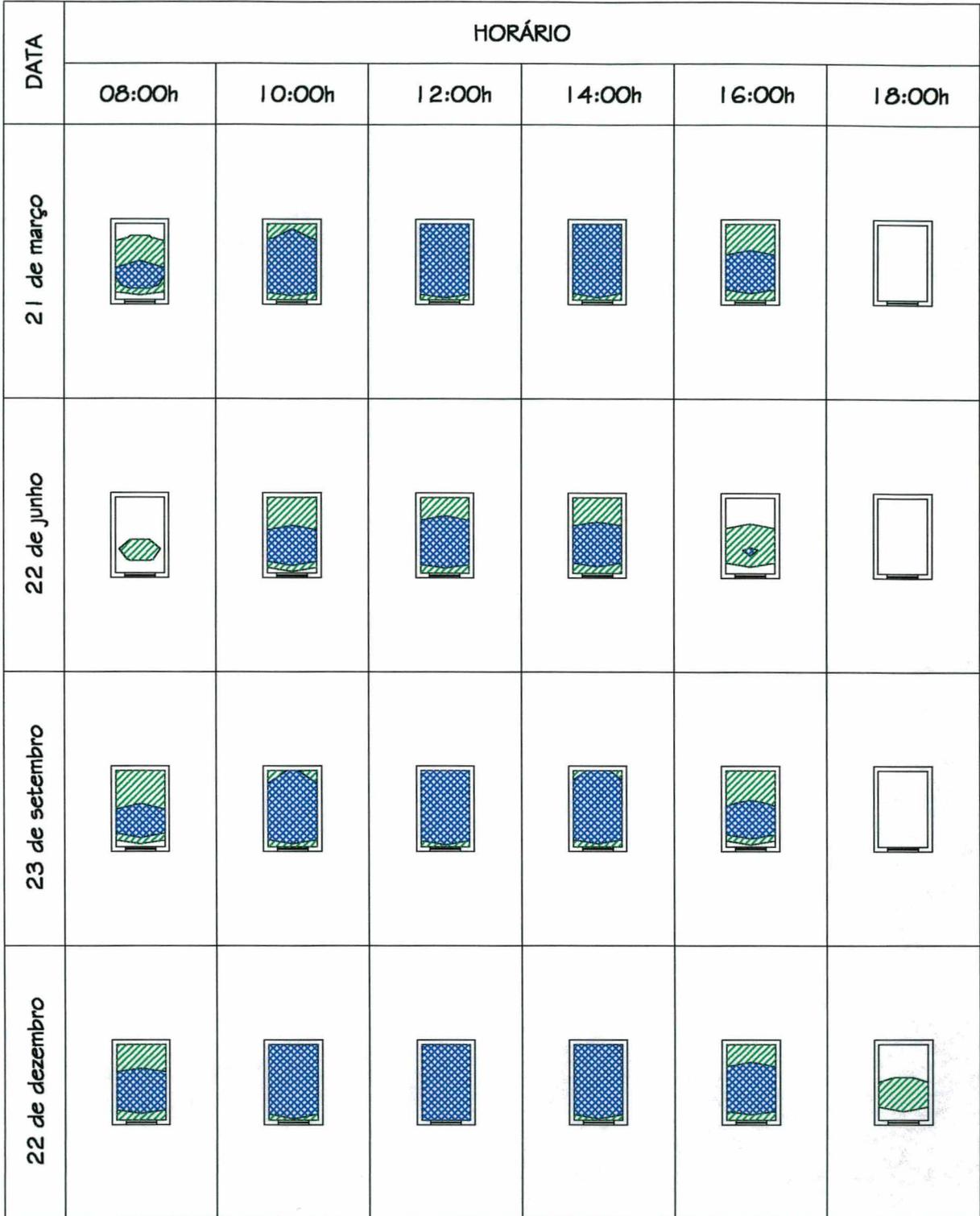


LEGENDA

Iluminação Insuficiente    
 Iluminação Suficiente    
 Iluminação Excessiva

Notas: Dimensões do modelo: largura = 2,40m, profundidade = 4,58m, pé-direito = 2,60m

**Figura 4.14** Gráficos com curvas isolux para o Modelo C2 (dormitório com obstrução), sob condição de céu encoberto.

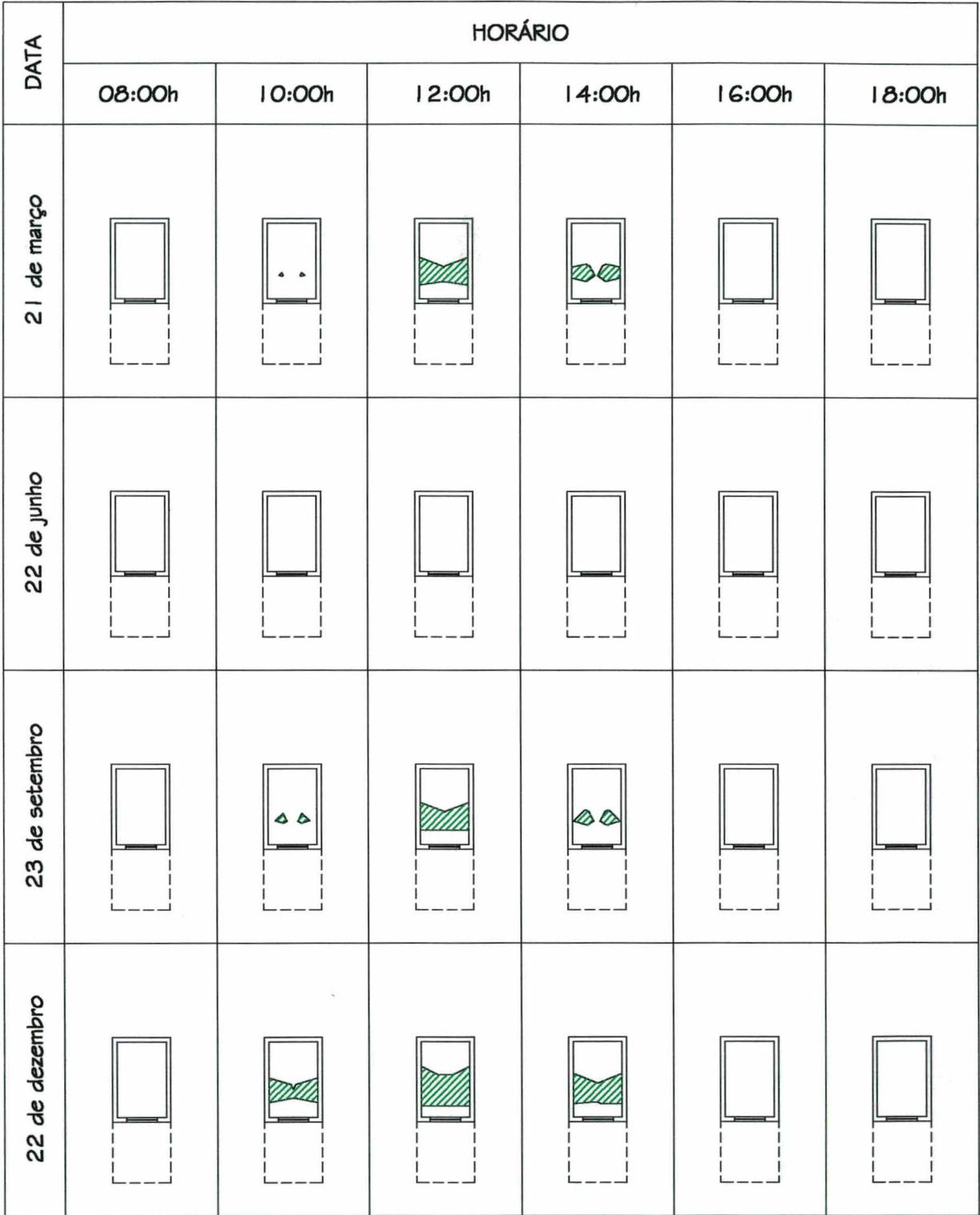


LEGENDA

Iluminação Insuficiente    Iluminação Suficiente    Iluminação Excessiva

Notas: Dimensões do modelo: largura = 1,60m, profundidade = 2,50m, pé-direito = 2,40m

**Figura 4.15** Gráficos com curvas isolux para o Modelo D1 (cozinha/copa sem obstrução), sob condição de céu encoberto.



LEGENDA

Iluminação Insuficiente    Iluminação Suficiente    Iluminação Excessiva

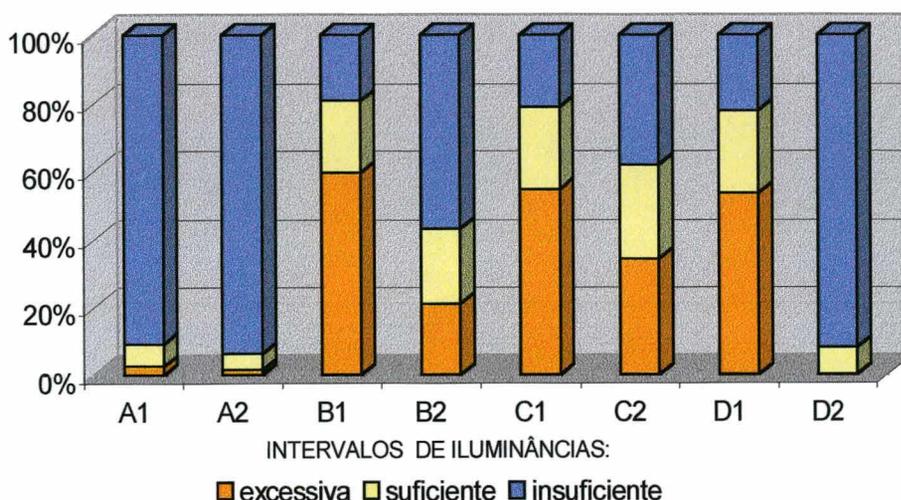
Notas: Dimensões do modelo: largura = 1,60m, profundidade = 2,50m, pé-direito = 2,40m

Figura 4.16 Gráficos com curvas isolux para o Modelo D2 (cozinha/copa com obstrução), sob condição de céu encoberto.

A tabela e o gráfico abaixo, apresentam os valores médios da razão de área total de cada intervalo de iluminância para cada modelo, sob a condição de céu encoberto.

**Tabela 4.27** Valores médios da razão de área total de cada intervalo de iluminância para cada modelo, condição de céu encoberto.

Iluminâncias	Modelos							
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
<b>Insuficiente</b>	90,76%	93,81%	19,46%	57,08%	21,28%	38,12%	22,25%	92,11%
<b>Suficiente</b>	6,70%	4,75%	21,14%	22,05%	24,11%	27,79%	24,36%	7,89%
<b>Excessiva</b>	2,54%	1,44%	59,40%	20,87%	54,61%	34,09%	53,39%	0,00%



**Gráfico 4.2** Valores médios da razão de área total de cada intervalo de iluminância para cada modelo, condição de céu encoberto.

A partir das tabelas e dos gráficos apresentados, percebe-se que:

- para o modelo de sala comercial ( $E_m = 750\text{lux}$ ), sem a obstrução do beiral (Modelo A1) a área com iluminância insuficiente foi de 90,76%; e com a obstrução do beiral (Modelo A2), a área com iluminância insuficiente foi de 93,81% as demais, significando a necessidade de complementação com iluminação artificial.
- para os modelos de compartimentos residenciais ( $E_m = 150\text{lux}$ ), sem obstrução do beiral, B1, C1 e D1, a área com iluminância excessiva foi superior, em média, 50,00%, em todo o tempo as demais áreas, significando a necessidade de controle através de dispositivos de sombreamento. Com exceção do modelo C1, que no solstício de inverno, apresentou as

mesmas proporções de áreas com iluminância excessiva e iluminância insuficiente, e o modelo D1, no solstício de inverno, em que a área com iluminância insuficiente foi superior as demais. Cabe ressaltar que neste dia às 18:00h a iluminação natural é, praticamente, inexistente.

- para os modelos de compartimentos residenciais ( $E_m = 150\text{lux}$ ); com obstrução do beiral, B2 e D2, a área com iluminância insuficiente foi superior em 57,08% e 92,11%, respectivamente, em todo o tempo as demais áreas, significando a necessidade de complementação com iluminação artificial.
- para o modelo residencial C2, ( $E_m = 150\text{lux}$ ), com obstrução do beiral, nos equinócios, a área com iluminância excessiva foi proporcional à área com iluminância insuficiente; no solstício de inverno, a área com iluminância insuficiente foi de 60,45%, necessitando iluminação artificial suplementar; no solstício de verão, a área com iluminância excessiva foi de 42,25%, significando a necessidade de controle através de dispositivos de sombreamento.

### 4.3.3 Desempenho dos Modelos quanto à Penetração de Luz Natural

Para verificar se o ambiente é muito profundo em relação a altura da abertura, isto é, se está satisfatoriamente iluminado por luz natural, cada modelo foi submetido a seguinte condição:  $(p/l + p/h)$  não pode exceder a  $2/(1 - R_m)$ . (ver Equação 3.12, p. 52).

**Tabela 4.28** Cálculo da limitação da profundidade do ambiente para cada modelo.

modelo	profundidade calculada $p_{calc.}$ (m)	largura mínima $l$ (m)	altura mínima $h$ (m)	$R_m$	$(p/l + p/h)$	$2 / (1 - R_m)$
A	6,43	2,80	2,30	0,479	5,09	3,84
B	4,29	2,80	2,30	0,480	3,39	3,85
C	4,58	2,40	2,30	0,481	3,90	3,85
D	2,50	1,60	2,10	0,486	2,75	3,89

Verifica-se que os modelos A e C não atendem a condição proposta, para os valores de refletâncias utilizados, uma vez que a primeira parte da equação excedeu a segunda. A profundidade dos modelos foram corrigidas de acordo com a Equação 3.13, na página 52.

**Tabela 4.29** Correção da limitação da profundidade do ambiente para cada modelo.

modelo	profundidade máxima = $2,5 \cdot H$ $p_{máx.}$ (m)	profundidade calculada $p_{calc.}$ (m)	profundidade corrigida $p_{corrig.}$ (m)
A	6,50	6,43	4,84
B	6,50	4,29	4,86
C	6,50	4,58	4,53
D	6,00	2,50	3,53

Conforme a recomendação da *The Chartered Institution of Building Services Engineers* (1987), o modelo A não deve exceder a 4,84m, isto é, aproximadamente, 25% a menos que a profundidade calculada a partir das dimensões mínimas (6,43m), e da profundidade máxima permitida pela legislação (6,50m). Para o modelo C, a diferença entre a

profundidade corrigida (4,53m), e a profundidade máxima permitida (6,50m) é de, aproximadamente, 30%, e esta é equivalente a profundidade calculada (4,58m).

#### 4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos dados de radiação solar, medidos no Campus da Universidade Federal de Santa Catarina, de julho de 1994 a julho de 1997, pode-se constatar que as condições de céu mais freqüentes na localidade de Florianópolis são o céu encoberto e o céu intermediário (parcialmente encoberto). Cabe ressaltar, no entanto, que o céu encoberto encontrado na localidade varia de um céu encoberto escuro a um céu encoberto brilhante com camadas de nuvens dispersas e finas, com o sol completamente sombreado, apresentando altos níveis de luminância difusa.

Com base na análise do desempenho dos modelos de estudo quanto à distribuição de iluminância interna, observa-se, nas Tabelas 4.22 e 4.27 e nos Gráficos 4.1 e 4.2, que para o modelo A - tipologia comercial, com maior exigência de nível de iluminação pela NBR5413, responsável por 40% do consumo de energia elétrica para iluminação e onde o ocupante para desenvolver suas tarefas passa de 6 a 8 horas diariamente – a área com iluminância insuficiente é de 60,00% da área do ambiente, e com a presença da obstrução, a área com iluminâncias insuficientes sobe para 76,10%. A situação se agrava para condição de céu encoberto, pois, a área com iluminância insuficiente é de 90,76% da área do ambiente, e com a presença da obstrução, a área com iluminâncias insuficientes sobe para 93,61%. Para os demais modelos – tipologia residencial, com menor exigência de nível de iluminação pela NBR5413, em ambas condições de céu (céu encoberto e céu intermediário) e sem obstrução, a área com iluminância excessiva é superior em todo o tempo. Já para a condição de céu encoberto e com presença de obstrução, a situação se inverte, se agravando para o modelo D - com a relação de área de janela por área de piso de 1/8, chegando a 92,11% da área do ambiente com iluminância insuficiente.

Quanto à penetração de luz natural, constata-se, na Tabela 4.29, que os modelos que apresentaram equivalência entre a profundidade calculada e a profundidade corrigida, modelos B e C, tiveram, na simulação computacional, um melhor desempenho quanto à distribuição de iluminâncias, como pode ser visto nos Gráficos 4.1 e 4.2. Já o modelo A, que apresentou uma diferença entre a profundidade máxima permitida e calculada superior a 25%

da profundidade corrigida, os níveis de iluminâncias mantiveram-se insuficientes por todo o período.

Conclui-se, portanto, que para garantir os níveis de iluminação natural efetivos dentro do ambiente, deve-se considerar, além das dimensões e da posição da abertura, as relações entre as dimensões deste ambiente e a refletância (cor) das superfícies internas.

## 5 CONCLUSÕES

## 5.1 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho buscou investigar parâmetros para o dimensionamento de aberturas laterais em edificações, que consideram o aproveitamento da luz natural dentro dos ambientes e que possam ser incluídos na legislação construtiva do Município de Florianópolis/SC.

Para verificar o desempenho dos ambientes, em termos de conforto visual e consumo de energia, foi necessário conhecer, previamente, as condições de céu encontradas na localidade. Para isso, foram aplicados os índices de limpidez do céu ( $\epsilon$ ) e de brilho do céu ( $\Delta$ ), com a utilização de dados de radiação solar, medidos no Campus da Universidade Federal de Santa Catarina, de julho de 1994 a julho de 1997.

Devido à grande variabilidade das condições de céu encontradas, pode-se considerar que em 50% do tempo, aproximadamente, tem-se uma condição de céu que varia de um céu encoberto escuro a um céu encoberto brilhante com altos níveis de luminância difusa, e na outra metade do período, uma predominância do céu intermediário com pouca ocorrência de céu claro.

Portanto, a adoção de um céu padrão para a localidade, que servirá de parâmetro para os dispositivos que regulamentam o ingresso do fluxo luminoso no interior do compartimento, na legislação construtiva, deverá considerar todas as condições de céu encontradas, e não priorizar um ou o outro modelo de céu, pois:

- se adotar o modelo de céu encoberto como o predominante, se estará subestimando os níveis de iluminação no interior do ambiente, pois, se estará subestimando a componente de luz vinda diretamente do céu, levando a se propor janelas muito grandes, que poderão resultar em aporte de calor não desejável e a ocorrência de ofuscamento;
- se adotar o modelo de céu intermediário como o predominante, se estará superestimando os níveis de iluminação que pode levar ao dimensionamento de janelas pequenas, fazendo com que se utilize mais iluminação artificial levando ao consumo desnecessário de energia.

Para testar a validade dos dispositivos presentes no Código de Obras e Edificações de Florianópolis/SC para o dimensionamento de aberturas laterais, foram definidos modelos de estudo para simulação computacional.

Quanto ao desempenho destes modelos considerando a distribuição de iluminâncias, verificou-se que a relação dimensional entre a área de janela por área de piso de 1/6 e 1/8, exigida por esta legislação construtiva, não proporciona os níveis adequados de iluminação

recomendados pela NBR5413, mesmo em situações favoráveis de desobstrução (sem beiral) e de disponibilidade de luz natural (sob condição de céu intermediário).

Quanto ao desempenho dos modelos considerando a penetração da luz natural, constatou-se que a relação entre a altura e profundidade máxima, permitida pelo Código de Obras, não garante uma boa distribuição de luz no interior do ambiente. Pois, esta legislação ao permitir que o compartimento tenha a profundidade máxima equivalente a 2,5 vezes sua altura, independente de suas outras dimensões, não leva em consideração os outros fatores que influenciam o desempenho luminoso dos ambientes, como as refletâncias das superfícies internas.

Desta forma, confirma-se a hipótese de que é possível, através do controle das variáveis de projeto garantir as condições adequadas de iluminação natural. Bem como, a hipótese de que, apenas os dispositivos constantes na legislação deste município, não são suficientes para garantir os níveis de iluminação natural apropriados para o desenvolvimento da tarefa.

A partir destas constatações, recomenda-se que as relações dimensionais apresentadas pelo Código de Obras de Florianópolis sejam revistas. Sugere-se que o parâmetro de limitação de profundidade seja substituído por outro critério que considere a influência da refletâncias das superfícies internas do ambiente, como por exemplo, o adotado pela CIBSE (ver item 3.4.2 – Parâmetros de Teste, p. 51). Porém, a legislação deverá prever que esta limitação de profundidade poderá ser ultrapassada, considerando outros sistemas de iluminação, desde que devidamente comprovado.

Para o provimento de luz natural no interior do ambiente deve-se considerar, além das relações específicas à edificação, as relações volumétricas entre o entorno e o edifício constantes nos outros instrumentos urbanísticos legais (Lei de Parcelamento do Solo Urbano, Lei de Uso e Ocupação do Solo, Código de Posturas, Plano Diretor do Município). Estas leis devem atender às possíveis necessidades de adensamento e verticalização da cidade e garantir o melhor aproveitamento das condições climáticas locais visando o conforto ambiental das edificações.

Cabe ressaltar que a legislação estudada não possui nenhum dispositivo que garanta o acesso a uma parcela do céu desobstruída, a partir do interior do compartimento.

## 5.2 LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho é aplicado somente ao edifício, pois, na simulação dos modelos não se levou em consideração a inserção do mesmo na malha urbana. Como a situação mais crítica, em zonas densificadas da malha urbana, é o provimento de iluminação e ventilação natural aos primeiros pavimentos de uma construção, recomenda-se simular os modelos propostos neste trabalho com a influência do entorno, segundo os dispositivos presentes em todos os instrumentos da legislação municipal, como Lei de Uso e Ocupação do Solo, Parcelamento do Solo, Código do Posturas e Plano Diretor.

A quantidade de luz natural incidente sobre o plano de trabalho depende de diversos fatores, como: a distribuição de luminâncias do céu; a relação entre a área do ambiente e a área da abertura; as dimensões do ambiente (largura, pé-direito e profundidade); a refletância das superfícies internas, bem como a presença de obstruções internas e externas. A variação da forma, da localização e da orientação da abertura em relação à posição do sol também influenciam os níveis de iluminação no plano de referência, entretanto, devido à restrição de tempo não foram analisadas neste trabalho, limitando-se apenas à avaliação da abertura centrada no plano vertical e orientada para o Sul, sendo que a influência direta do Sol não foi considerada.

Como a luz natural pode afetar tanto o conforto visual como o conforto térmico dos ocupantes de um edifício, no caso de haver incidência de raios solares, os projetos de iluminação devem levar em conta o estudo da insolação. Neste estudo optou-se em não abordar a relação entre o ganho de calor e a orientação da fachada.

# GLOSSÁRIO

**ALBEDO**

É o fator de reflexão de uma superfície e se expressa em %.

**CIRRO**

Nuvem constituída de cristais de gelo dispostos em pequenos filamentos brancos ou estreitas faixas da mesma cor e situada a grandes altitudes, 6000 a 12000m.

**CÚMULO**

Nuvem branca, de grande desenvolvimento vertical, de base retilínea e topo arredondado, constituída de elementos que lembram novelos, flocos de algodão ou torres de castelo.

**EFICIÊNCIA LUMINOSA ( $\eta$ )**

É a habilidade de uma fonte luminosa em converter potência em luz, sua unidade no SI é lumen/watt:

$$\eta = \frac{\text{fluxo luminoso}}{\text{potência consumida}} \quad (\text{lm/W})$$

Como a razão de iluminância pela irradiância, a eficiência luminosa estabelece um útil elo entre quantidades de luz natural e radiação solar. Valores de eficiência luminosa para céus claro, parcialmente encoberto e encoberto situam-se, geralmente, na faixa de 90 a 130 lm/W. (RUCK, 1989)

**ESTRATO**

Nuvem que se apresenta como uma camada horizontal; de base bem definida, em altitudes menores que as do alto-estrato, geralmente abaixo de 2500m.

**ESTRATO-CÚMULO**

Nuvem constituída de massas escuras, arredondadas, geralmente dispostas em grupos, linhas ou ondulações, maiores do que as do alto-cúmulo, e situadas a uma altitude mais baixa, geralmente abaixo de 2500m.

**EXTINÇÃO**

Absorção, pela atmosfera terrestre, das radiações luminosas provenientes de um astro, e que não apresenta caráter seletivo segundo os comprimentos de onda.

**FLUXO LUMINOSO ( $\Phi$ )**

É a componente de qualquer fluxo radiante que gera uma resposta visual, sua unidade no SI é lumen (lm).

**ILUMINAÇÃO ESCALAR**

Ou iluminância esférica média, é a iluminância média recebida por uma pequena esfera proveniente de todas as direções, isto é, o fluxo total incidente na esfera dividido pela sua superfície. É designado por  $E_s$  e medido em lux; é a medida da quantidade total de luz, não considerando sua direção. (PEREIRA, 1994a)

$$E_s = \frac{\Phi}{4\pi r^2} \quad (\text{lumen/m}^2 = \text{lux})$$

**ILUMINAÇÃO PLANAR**

As condições de iluminação são usualmente descritas, medidas ou especificadas em termos de iluminância num dado plano, mais freqüentemente num plano de trabalho horizontal - tomada a uma altura entre 0,75 e 0,9m e, em algumas vezes, vertical ou inclinado. (PEREIRA, 1994a)

**ILUMINÂNCIA (E)**

É a medida da quantidade de luz incidente numa superfície por unidade de área, sua unidade no SI é lumen/m<sup>2</sup> ou lux:

$$E = \frac{\Phi_A}{A} \quad (\text{lumen/m}^2 = \text{lux})$$

A iluminância numa superfície também pode ser relacionada com a intensidade da fonte luminosa pela seguinte equação (Lei do Co-seno):

$$E = \frac{I}{d^2} * \cos \theta \quad (\text{lux})$$

### INTENSIDADE LUMINOSA (I)

O fluxo luminoso emitido por uma fonte de luz se propaga em várias direções. A luz que se propaga numa dada direção, dentro de um ângulo sólido unitário, é chamada intensidade luminosa, sua unidade no SI é lumen/steradiano ou candela:

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad (\text{lm/steradiano} = \text{cd})$$

### LUMINÂNCIA (L)

É a medida do brilho de uma superfície, é definida como a intensidade luminosa por unidade de área aparente de uma superfície numa dada direção; sua unidade no SI é candela/m<sup>2</sup>:

$$L = \frac{I_{\beta}}{A'} \quad (\text{cd/m}^2)$$

onde:  $A' = A * \cos\beta$ ,

A é a área real da superfície,

$\beta$  é o ângulo a normal da superfície e a direção de observação,

$I_{\beta}$  é a intensidade luminosa na direção considerada.

Alternativamente, a luminância de uma superfície difusa pode ser calculada por

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

onde  $\rho$  é o fator de reflexão da superfície.

### MODELOS DE CÉU

A distribuição das luminâncias da abóbada celeste varia de acordo com as condições atmosféricas (nuvens, nebulosidade, poluição atmosférica, etc.). As condições de céu mais usualmente empregadas nas técnicas de simulação correntes são: céu uniforme, céu encoberto, céu claro.

## PLANO DE TRABALHO

O plano de trabalho ou de referência é o plano em que as medições e os cálculos de luz natural são feitos. Exceto indicação em contrário, assume-se que o plano de referência seja horizontal a uma altura de 0,75m, conforme a norma brasileira NBR5413 (ABNT, 1991)

## REFLETÂNCIA

É a fração ( $\rho$ ) do fluxo luminoso total incidente ( $\phi_i$ ) numa superfície que é refletida ( $\phi_r$ ), isto é, que retorna ao hemisfério sem penetrar na matéria:

$$\rho = \frac{\phi_r}{\phi_i}$$

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLUCCI, Márcia P.; ASSIS, Eleonora S.; SCARAZZATO, Paulo S. Subsídios para normalização da iluminação natural no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (1997 : Salvador). **Anais do Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**. Salvador : 1997. p. 323-327.
- ARCHITECTURAL RECORD. **Sky research: blue skies aren't always brightness**. New York : McGraw-Hill, ago. 1991.
- AROSZTEGUI, José Miguel. **Prevision del desempeño termico del edificio desde las primeiras decisiones de proyecto**. Cuadernos de Facultad. Serie Acondicionamientos Servicio de Climatología Aplicada a la Arquitectura. Universidad de la República O. del Uruguay. Montevideo, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Illuminâncias de Interiores**, NBR-5413. ABNT. Rio de Janeiro, mai. 1991.
- BAKER, N. et al. **Daylighting in architecture – a European reference book**. Commission of the European Communities, London : James & James Ltd., 1993.
- CABUS, Ricardo Carvalho. **Análise do desempenho luminoso de sistemas de iluminação zenital em função da distribuição de iluminâncias**. Florianópolis, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- COLLINS, J. B. The development of daylighting - a British view. **Lighting Research & Technology**, UK, v. 16, n. 4, 1984.
- COMMISSION INTERNACIONALE DE L'ECLAIRAGE. **Spatial distribution of daylight – CIE standard overcast sky and clear sky**. CIE STANDARD, Vienna, 1996. (Publication CIE S 003.3/E-1996)
- DUTRA, Luciano. **Uma metodologia para a determinação do fator solar desejável em aberturas**. Florianópolis, 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **Daylight in interiors – Part 1: General requirements**. DIN5034-1, Berlin, 1983.

- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **Daylight in interiors – Part 4: Simplified method of determining window sizes in dwellings**. DIN5034-4, Berlin, 1994.
- ENARUM, D.; LITTLEFAIR, P. Luminance models for overcast skies: assessment using measured data. **Lighting Research and Technology**, Great Britain, v. 27, n. 1, p. 53-58, 1995.
- EUROPEAN COMMISSION. **Daylighting in buildings**. A Thermie Programme Action. Energy Research Group. Dublin, 1994.
- FLORIANÓPOLIS. Lei Municipal nº 1246/74. **Código de Obras e Edificações** - Secretaria Municipal de Urbanismo e Serviços Públicos da Prefeitura Municipal de Florianópolis. 2ª edição revista e ampliada. Coordenação Arq. Albertino Ronchi. Florianópolis, 6 ago. 1996. (comentado)
- GIRARDIN, María C. **Iluminación natural: método de cálculo y conceptos fundamentales**. Centro de Estudiantes de Arquitectura, Montevideo, 1994.
- HOPKINSON, R. G.; PETHERBRIDGE P.; LONGMORE J. **Iluminação natural**. Fundação Calouste Gulberkian, Lisboa, 1975.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Manual para elaboração de Códigos de Obras**. IBAM/PROCEL, Rio de Janeiro, nov. 1996. (Versão preliminar).
- KITTLER, R.; PEREZ, R.; DARULA, S. Sky classification respecting energy-efficient lighting, glare and control needs. **Journal of the Illuminating Engineering Society**, p. 57-68, winter 1997.
- KOENIGSBERGER, O. H.; INGERSOLL, T. G.; MAYHEW, A.; SZOKOLAY, S. V. **Manual of tropical housing and building**. Part one: Climate design. Longman Group Limited. London and New York, 1973.
- LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano e PEREIRA, Fernando O. R.. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo : PW, 1997. 192p. il.
- LONDON. Planning Criteria and Design of Buildings. **Sunlight and Daylight**. Department of the Environment Welsh Office. Her Majesty's Stationery Office. London, 1982

- LYNES, J. A. **Principles of natural lighting**. Elsevier Publishing Company Ltd., England, 1968.
- MASCARÓ, Lucia R. de. **Luz, clima e arquitetura**. 3. ed., São Paulo : Nobel, 1983.
- MASCARÓ, Lucia. Influência da forma dos conjuntos arquitetônicos na iluminação natural. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (1997 : Salvador). **Anais do Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**. Salvador, 1997. p. 299-304.
- MASCARÓ, Lucia. **Ambiência urbana**. Porto Alegre : Sagra - D. C. Luzzato, 1996.
- MOON, Parry. **The scientific basis of illuminating engineering**. Electrical engineering texts. 1. ed., New York : McGraw-Hill Book Company, 1936.
- MOORE, Fuller. **Concepts and Practice of Architectural Daylighting**. New York : Van Nostrand Reinhold, 1991.
- PEREIRA, Fernando O. R. **Luminous and thermal performance of window shading and sunlighting reflecting devices**. Sheffield, UK, 1992. Thesis (Doctor of Philosophy) – School of Architectural Studies, University of Sheffield.
- PEREIRA, Fernando O. R. **Apostila do curso de especialização em engenharia de segurança do trabalho**. Centro Tecnológico, UFSC, Florianópolis, 1994 (a).
- PEREIRA, Fernando O. R. **Uma metodologia para indicações de ocupação do ambiente urbano**. Monografia apresentada em concurso para Professor Titular do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, UFSC, Florianópolis, 1994 (b).
- PEREIRA, Fernando O. R. **Iluminação natural no ambiente construído**. Apostila do curso ministrado durante o III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Gramado, 1995.
- PEREIRA, F. O. R.; SOUZA, R. V. G.; AMARAL, M. G. V.; MALTA, L. G. S. **Método de determinação da iluminação natural em ambientes internos**. Projeto Normalização em Conforto Ambiental, UFSC – FINEP, 1996 (a). (texto submetido à aprovação da ABNT)
- PEREIRA, F. O. R.; XAVIER, A. A. P.; MADEIRA, A. Q. **Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural**. Projeto Normalização em Conforto Ambiental, UFSC – FINEP, 1996 (b). (texto submetido à aprovação da ABNT)

- RIVERO, Roberto. **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**. Porto Alegre : Editora da Universidade, 1985. (Tradução de José Miguel Aroztegui)
- ROBBINS, C. L. **Daylighting: design and analysis**. New York : Van Nostrand Reinhold Co., 1986.
- RUCK, Nancy. **Daylight Performance**. In: The dynamic role of the building envelope. pp. 173-210. Australia, 1989.
- SCARAZZATO, Paulo Sergio. **O conceito de dia típico de projeto aplicado à iluminação natural** : dados referenciais para localidades brasileiras. São Paulo, v. 1, 1995. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.
- SOUZA, Roberta V. G. de. **Iluminação natural em edificações: cálculo de iluminâncias internas – desenvolvimento de ferramenta simplificada e sua aplicação à legislação construtiva**. Florianópolis, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- SZOKOLAY, S. D. **Environmental Science Handbook for Architects and Builders**. The Construction Press Ltd., Lancaster, England, 1980.
- THE CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS. **Window design - Applications manual**. CIBSE. London, 1987.
- TREGENZA, P. R. **Daylighting algorithms**. School of Architectural Studies, University of Sheffield, Sheffield, UK, 1993.
- TREGENZA, P. R. Sunlight, skylight and electric light. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (1993 : Florianópolis) **Anais do II Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**. Florianópolis, 1993.
- VALADARES, Victor Mourthé. **Fundamentos da relação entre área de janela e de piso na quantificação da luz natural em interiores**. Trabalho apresentado à disciplina de Iluminação Natural, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, 1995.
- VALKO, Peter. **Some empirical properties of solar radiation and related parameters**. Swiss Meteorological Institute, Zurich, dec. 1980.

ANEXO 1 - Código de Obras e Edificações  
de Florianópolis

O Código de Obras e Edificações do Município de Florianópolis - Lei Municipal nº 1246/74, em seu capítulo VII, que trata da classificação dos compartimentos, determina, que:

## SECCÃO I GENERALIDADES

**Art. 224** Para efeitos da presente lei, um compartimento será sempre considerado pela sua utilização lógica dentro de uma edificação.<sup>1</sup>

Parágrafo único - Essa utilização far-se-á de maneira privativa, pública ou semipública.

**Art. 225** Os compartimentos, em função de sua utilização, classificam-se em:

- a. habitáveis;
- b. não habitáveis.

**Art. 226** Os compartimentos habitáveis são:

- a. dormitório;
- b. salas;
- c. lojas e sobrelojas;
- d. salas destinadas a comércio, negócios e atividades profissionais;
- e. locais de reunião.

**Art. 227** Os compartimentos não habitáveis são:

- a. salas de espera em geral;
- b. cozinhas e copas;
- c. banheiros e sanitários;
- d. circulações em geral;
- e. garagem;
- f. frigoríficos e depósitos para armazenagem;
- g. vestiários de utilização coletiva;
- h. câmaras escuras;
- i. casas de máquinas;
- j. locais para despejo de lixo;
- k. áreas de serviço, cobertas;

---

<sup>1</sup> V. art. 24. Regulamentado pela inst. norm. 06/95.

l. subsolo.

**Art. 228** Os compartimentos de maneira geral obedecerão a limites mínimos de:<sup>2</sup>

- a. área de piso;
- b. altura;
- c. vãos de iluminação e ventilação;
- d. dimensão mínima;
- e. vãos de acesso.

**Art. 229** Os vãos de iluminação e ventilação serão dimensionados para cada tipo de utilização dos compartimentos e suas dimensões, calculadas de acordo com o que estabelece o Capítulo VIII desta lei.<sup>3</sup>

**Art. 230** A dimensão estabelecida como altura de um compartimento deverá ser mantida constante em toda a área do mesmo, sendo admitidos rebaixos ou saliências no teto, que não alterem essa dimensão para menos que o limite mínimo.<sup>4</sup>

---

<sup>2</sup> Dispensado para residências unifamiliares, conf. lei 1682/79.

<sup>3</sup> Dispensado para residências unifamiliares, conf. lei 1682/79.

<sup>4</sup> Dispensado para residências unifamiliares, conf. lei 1682/79.

## SECÇÃO II - COMPARTIMENTOS HABITÁVEIS

**Art. 233** Os compartimentos habitáveis obedecerão às condições seguintes, quanto às dimensões mínimas.<sup>5</sup>

Compartimentos	área (m <sup>2</sup> )	altura (m)	dimensão mín. (m)	larg. vãos de acesso (m)
Dormitórios:				
a. o primeiro ou único	11,00	2,60	2,40	0,80
b. o segundo	9,00	2,60	2,40	0,80
c. os demais	7,00	2,60	2,40	0,70
Salas	12,00	2,60	2,80	0,80
Lojas	25,00	4,50	3,00	1,00
Lojas com sobrelojas	25,00	5,50	3,00	1,00
Salas destinadas a comércio, negócios e atividades profissionais	18,00	2,60	2,80	0,80
Quarto de empregada	4,50	2,40	1,80 <sup>6</sup>	0,80
Locais de reunião	Áreas, alturas e larguras de acesso deverão ser compatíveis com a lotação, calculada segundo as normas desta Lei			

§ 1<sup>o</sup>. - As lojas internas (em galerias) poderão, caso não exista sobreloja, ter a sua altura reduzida para 3,00 m.

§ 2<sup>o</sup>. - Sobreloja é o pavimento<sup>7</sup> situado sobre a loja com acesso exclusivo através desta e sem numeração independente, ocupando até o máximo de metade da área de loja e com altura mínima de 2,20 m.

<sup>5</sup> Dispensado para residências unifamiliares, conf. lei 1682/79.

<sup>6</sup> Conf. errata publicada no DOE nº 10168 em 03.02.75.

<sup>7</sup> Sobreloja não é pavimento mas, entrepiso, conf. art. 3<sup>o</sup>, al. I da lei 3654/91.

### SECÇÃO III - COMPARTIMENTOS NÃO HABITÁVEIS

**Art. 234** Os compartimentos não habitáveis obedecerão às seguintes condições, quanto às dimensões mínimas.<sup>8</sup>

Compartimentos	área (m <sup>2</sup> )	altura (m)	dimensão mín. (m)	larg. vãos de acesso (m)
Cozinhas e copas	4,00	2,40	1,60	0,70
Banheiro	3,00	2,40	1,30	0,60
Lavatório e Instalações sanitárias	1,20	2,40	0,80	0,60
Área de serviço coberta	2,00	2,40	0,80	0,70
Circulações	-	2,40	0,90	0,70
Salas de espera para público	(A)	2,60	(A)	(A)
Garagens	12,00 p/veículo	2,20	2,40	2,40
Vestiário de utilização coletiva	(B)	2,60	(B)	0,80
Casas de máquinas e subsolo	-	2,20	-	0,70

(A) - Compatível com a lotação.

(B) - Compatível com o número de usuários.

O Código de Obras e Edificações do Município de Florianópolis - Lei Municipal nº 1.246/74, em seu CAPÍTULO IX que trata de iluminação e ventilação dos compartimentos, determina, que:

**Art. 242** Todo e qualquer compartimento deverá ter comunicação com o exterior, através de vãos ou dutos pelos quais se fará a iluminação e ventilação, ou só a ventilação dos mesmos.

**Art. 246** O vão que ventila um terraço coberto terá sua largura igual à dimensão deste terraço, adjacente ao prisma de ventilação que com ele se comunica. A largura mínima desse vão será de 1,50m e sua altura não poderá ser inferior a 1,50m.

<sup>8</sup> Dispensado para residências unifamiliares, conf. lei 1682/79.

**Art. 247** Nenhum vão de iluminação e ventilação ou duto de ventilação que se comunique com o exterior, através de terraços cobertos, poderá distar-se mais de 2,00m dos limites da largura estabelecida pelo artigo anterior,

**Art. 248** Nenhum vão será considerado como iluminando e ventilando pontos de compartimentos que dele distem mais de duas vezes e meia o valor da altura desse compartimento, quaisquer que sejam as características dos prismas de iluminação e ventilação ou só de ventilação.

**Art. 249** A soma total das áreas dos vãos de iluminação e ventilação de um compartimento, assim como a seção dos dutos de ventilação, terão seus valores mínimos expressos em fração desse compartimento, conforme tabela seguinte:

Compartimento	Vãos que se comunicam diretamente c/ exterior	Comunicação através dos dutos seção mínima
Habitáveis	1/6	+ <sup>9</sup>
Não habitáveis	1/8	1/6

**Parágrafo único** Nenhum vão destinado a iluminar e ventilar um compartimento poderá ter área inferior a 0,20m<sup>2</sup>, quaisquer que sejam as características dos prismas de iluminação, ou só de ventilação.

<sup>9</sup> Variável, compatível com o volume de ar a renovar ou condicionar.

## ANEXO 2 - Geometria Solar

A seguir são apresentados os resultados obtidos, para o mês de julho, a partir da metodologia utilizada no item 3.2.3 – Geometria Solar.

Para obter o ângulo de altura solar, é necessário calcular, previamente, os valores da declinação solar ( $\delta_s$ ), em graus, da equação horária ( $x_h$ ) e da hora solar verdadeira ( $h_s$ ). Os valores para o mês de julho para a latitude de 27°35'S – Florianópolis/SC, foram os seguintes:

**Tabela A1.1** Valores do ângulo de declinação solar ( $\delta_s$ ), em graus, e da equação horária ( $x_h$ ), para o mês de julho, para a localidade de Florianópolis/SC.

Dia	Declinação Solar ( $\delta_s$ )	Equação Horária ( $x_h$ )	Dia	Declinação Solar ( $\delta_s$ )	Equação Horária ( $x_h$ )
1	23,10	-0,06	16	21,32	-0,10
2	23,03	-0,06	17	21,16	-0,10
3	22,95	-0,07	18	20,98	-0,10
4	22,87	-0,07	19	20,80	-0,10
5	22,77	-0,07	20	20,61	-0,10
6	22,67	-0,07	21	20,41	-0,10
7	22,57	-0,08	22	20,21	-0,11
8	22,46	-0,08	23	20,01	-0,11
9	22,34	-0,08	24	19,80	-0,11
10	22,21	-0,08	25	19,58	-0,11
11	22,08	-0,09	26	19,35	-0,11
12	21,94	-0,09	27	19,12	-0,11
13	21,80	-0,09	28	18,89	-0,11
14	21,65	-0,09	29	18,65	-0,11
15	21,49	-0,10	30	18,40	-0,11
			31	18,15	-0,11

**Tabela A1.2 Valores da hora solar verdadeira, mês de julho, para a localidade de Florianópolis/SC**

<b>Dia</b>	<b>6:00</b>	<b>7:00</b>	<b>8:00</b>	<b>9:00</b>	<b>10:00</b>	<b>11:00</b>	<b>12:00</b>	<b>13:00</b>	<b>14:00</b>	<b>15:00</b>	<b>16:00</b>	<b>17:00</b>	<b>18:00</b>
1	5,70	6,70	7,70	8,70	9,70	10,70	11,70	12,70	13,70	14,70	15,70	16,70	17,70
2	5,70	6,70	7,70	8,70	9,70	10,70	11,70	12,70	13,70	14,70	15,70	16,70	17,70
3	5,70	6,70	7,70	8,70	9,70	10,70	11,70	12,70	13,70	14,70	15,70	16,70	17,70
4	5,70	6,70	7,70	8,70	9,70	10,70	11,70	12,70	13,70	14,70	15,70	16,70	17,70
5	5,69	6,69	7,69	8,69	9,69	10,69	11,69	12,69	13,69	14,69	15,69	16,69	17,69
6	5,69	6,69	7,69	8,69	9,69	10,69	11,69	12,69	13,69	14,69	15,69	16,69	17,69
7	5,69	6,69	7,69	8,69	9,69	10,69	11,69	12,69	13,69	14,69	15,69	16,69	17,69
8	5,68	6,68	7,68	8,68	9,68	10,68	11,68	12,68	13,68	14,68	15,68	16,68	17,68
9	5,68	6,68	7,68	8,68	9,68	10,68	11,68	12,68	13,68	14,68	15,68	16,68	17,68
10	5,68	6,68	7,68	8,68	9,68	10,68	11,68	12,68	13,68	14,68	15,68	16,68	17,68
11	5,68	6,68	7,68	8,68	9,68	10,68	11,68	12,68	13,68	14,68	15,68	16,68	17,68
12	5,67	6,67	7,67	8,67	9,67	10,67	11,67	12,67	13,67	14,67	15,67	16,67	17,67
13	5,67	6,67	7,67	8,67	9,67	10,67	11,67	12,67	13,67	14,67	15,67	16,67	17,67
14	5,67	6,67	7,67	8,67	9,67	10,67	11,67	12,67	13,67	14,67	15,67	16,67	17,67
15	5,67	6,67	7,67	8,67	9,67	10,67	11,67	12,67	13,67	14,67	15,67	16,67	17,67
16	5,67	6,67	7,67	8,67	9,67	10,67	11,67	12,67	13,67	14,67	15,67	16,67	17,67
17	5,66	6,66	7,66	8,66	9,66	10,66	11,66	12,66	13,66	14,66	15,66	16,66	17,66
18	5,66	6,66	7,66	8,66	9,66	10,66	11,66	12,66	13,66	14,66	15,66	16,66	17,66
19	5,66	6,66	7,66	8,66	9,66	10,66	11,66	12,66	13,66	14,66	15,66	16,66	17,66
20	5,66	6,66	7,66	8,66	9,66	10,66	11,66	12,66	13,66	14,66	15,66	16,66	17,66
21	5,66	6,66	7,66	8,66	9,66	10,66	11,66	12,66	13,66	14,66	15,66	16,66	17,66
22	5,66	6,66	7,66	8,66	9,66	10,66	11,66	12,66	13,66	14,66	15,66	16,66	17,66
23	5,66	6,66	7,66	8,66	9,66	10,66	11,66	12,66	13,66	14,66	15,66	16,66	17,66
24	5,66	6,66	7,66	8,66	9,66	10,66	11,66	12,66	13,66	14,66	15,66	16,66	17,66
25	5,66	6,66	7,66	8,66	9,66	10,66	11,66	12,66	13,66	14,66	15,66	16,66	17,66
26	5,66	6,66	7,66	8,66	9,66	10,66	11,66	12,66	13,66	14,66	15,66	16,66	17,66
27	5,66	6,66	7,66	8,66	9,66	10,66	11,66	12,66	13,66	14,66	15,66	16,66	17,66
28	5,66	6,66	7,66	8,66	9,66	10,66	11,66	12,66	13,66	14,66	15,66	16,66	17,66
29	5,66	6,66	7,66	8,66	9,66	10,66	11,66	12,66	13,66	14,66	15,66	16,66	17,66
30	5,66	6,66	7,66	8,66	9,66	10,66	11,66	12,66	13,66	14,66	15,66	16,66	17,66
31	5,66	6,66	7,66	8,66	9,66	10,66	11,66	12,66	13,66	14,66	15,66	16,66	17,66

**Tabela A1.3 Valores do ângulo de altura solar ( $\gamma_S$ ), em graus, mês de julho, para a localidade de Florianópolis/SC.**

Dia	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
1	-14,16	-1,85	9,79	20,38	29,37	35,93	39,11	38,28	33,61	25,94	16,21	5,13	-6,82
2	-14,17	-1,85	9,80	20,40	29,41	35,99	39,18	38,36	33,69	26,02	16,29	5,21	-6,74
3	-14,18	-1,85	9,81	20,43	29,45	36,04	39,25	38,44	33,78	26,11	16,37	5,29	-6,67
4	-14,18	-1,84	9,82	20,46	29,49	36,11	39,34	38,53	33,88	26,20	16,46	5,37	-6,59
5	-14,18	-1,83	9,84	20,49	29,54	36,18	39,42	38,63	33,98	26,30	16,55	5,45	-6,51
6	-14,18	-1,82	9,87	20,53	29,60	36,25	39,52	38,74	34,08	26,40	16,65	5,54	-6,43
7	-14,17	-1,80	9,90	20,58	29,66	36,34	39,62	38,85	34,19	26,51	16,74	5,63	-6,35
8	-14,16	-1,78	9,93	20,63	29,73	36,43	39,73	38,97	34,31	26,62	16,85	5,73	-6,27
9	-14,14	-1,75	9,97	20,68	29,81	36,53	39,84	39,09	34,43	26,73	16,95	5,82	-6,18
10	-14,12	-1,72	10,02	20,74	29,89	36,63	39,96	39,22	34,56	26,85	17,06	5,92	-6,09
11	-14,10	-1,69	10,07	20,81	29,98	36,74	40,09	39,36	34,69	26,97	17,17	6,02	-6,00
12	-14,07	-1,65	10,12	20,88	30,07	36,85	40,23	39,50	34,83	27,10	17,28	6,12	-5,91
13	-14,04	-1,61	10,18	20,96	30,17	36,98	40,37	39,65	34,97	27,23	17,40	6,22	-5,81
14	-14,00	-1,56	10,24	21,04	30,28	37,11	40,52	39,80	35,12	27,37	17,52	6,33	-5,72
15	-13,96	-1,50	10,31	21,13	30,39	37,24	40,67	39,96	35,27	27,50	17,64	6,44	-5,62
16	-13,92	-1,45	10,39	21,22	30,50	37,38	40,83	40,13	35,43	27,64	17,77	6,55	-5,52
17	-13,87	-1,38	10,46	21,32	30,63	37,53	41,00	40,30	35,59	27,79	17,90	6,66	-5,42
18	-13,81	-1,32	10,55	21,43	30,76	37,68	41,17	40,47	35,76	27,94	18,03	6,78	-5,32
19	-13,76	-1,25	10,64	21,54	30,89	37,84	41,35	40,66	35,93	28,09	18,16	6,89	-5,22
20	-13,69	-1,17	10,73	21,65	31,03	38,01	41,53	40,84	36,10	28,25	18,30	7,01	-5,12
21	-13,63	-1,09	10,83	21,77	31,18	38,18	41,72	41,04	36,28	28,41	18,43	7,13	-5,01
22	-13,55	-1,00	10,93	21,90	31,33	38,36	41,92	41,24	36,47	28,57	18,57	7,25	-4,91
23	-13,48	-0,91	11,04	22,03	31,49	38,55	42,13	41,44	36,66	28,73	18,71	7,37	-4,80
24	-13,40	-0,82	11,15	22,17	31,65	38,74	42,34	41,65	36,85	28,90	18,86	7,50	-4,70
25	-13,31	-0,72	11,27	22,31	31,82	38,94	42,55	41,86	37,04	29,07	19,00	7,62	-4,59
26	-13,22	-0,61	11,40	22,46	32,00	39,14	42,77	42,08	37,24	29,24	19,15	7,75	-4,48
27	-13,13	-0,51	11,52	22,61	32,18	39,35	43,00	42,31	37,45	29,42	19,30	7,87	-4,37
28	-13,03	-0,39	11,66	22,77	32,37	39,57	43,23	42,54	37,66	29,60	19,45	8,00	-4,26
29	-12,93	-0,27	11,80	22,93	32,56	39,79	43,47	42,77	37,87	29,78	19,60	8,13	-4,15
30	-12,82	-0,15	11,94	23,10	32,76	40,01	43,72	43,01	38,08	29,96	19,76	8,26	-4,04
31	-12,71	-0,02	12,09	23,27	32,96	40,25	43,97	43,26	38,30	30,15	19,91	8,39	-3,93

Como na fórmula para determinação do Índice de Limpidez do Céu ( $\epsilon$ ), o valor do ângulo de altura solar é em radianos e a expressão  $(\pi/2 - \gamma_s)$  é equivalente ao ângulo zenital ( $\theta_z$ ), também em radianos, este foi calculado e substituído na equação 3.1.

**Tabela A1.4** Valores do ângulo zenital, em radianos, mês de julho, para a localidade de Florianópolis/SC.

Dia	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
1	1,82	1,60	1,40	1,21	1,06	0,94	0,89	0,90	0,98	1,12	1,29	1,48	1,69
2	1,82	1,60	1,40	1,21	1,06	0,94	0,89	0,90	0,98	1,12	1,29	1,48	1,69
3	1,82	1,60	1,40	1,21	1,06	0,94	0,88	0,90	0,98	1,11	1,28	1,48	1,69
4	1,82	1,60	1,40	1,21	1,06	0,94	0,88	0,90	0,98	1,11	1,28	1,48	1,68
5	1,82	1,60	1,40	1,21	1,05	0,94	0,88	0,89	0,98	1,11	1,28	1,47	1,68
6	1,82	1,60	1,40	1,21	1,05	0,94	0,88	0,89	0,97	1,11	1,28	1,47	1,68
7	1,82	1,60	1,40	1,21	1,05	0,93	0,88	0,89	0,97	1,11	1,28	1,47	1,68
8	1,82	1,60	1,40	1,21	1,05	0,93	0,88	0,89	0,97	1,10	1,27	1,47	1,68
9	1,82	1,60	1,40	1,21	1,05	0,93	0,87	0,89	0,97	1,10	1,27	1,47	1,68
10	1,82	1,60	1,40	1,21	1,05	0,93	0,87	0,88	0,97	1,10	1,27	1,47	1,68
11	1,82	1,60	1,39	1,21	1,05	0,93	0,87	0,88	0,96	1,10	1,27	1,46	1,67
12	1,82	1,60	1,39	1,21	1,04	0,93	0,87	0,88	0,96	1,10	1,27	1,46	1,67
13	1,82	1,60	1,39	1,20	1,04	0,92	0,86	0,88	0,96	1,09	1,27	1,46	1,67
14	1,81	1,60	1,39	1,20	1,04	0,92	0,86	0,87	0,96	1,09	1,26	1,46	1,67
15	1,81	1,60	1,39	1,20	1,04	0,92	0,86	0,87	0,95	1,09	1,26	1,46	1,67
16	1,81	1,59	1,39	1,20	1,04	0,92	0,86	0,87	0,95	1,09	1,26	1,45	1,67
17	1,81	1,59	1,39	1,20	1,03	0,91	0,85	0,86	0,95	1,08	1,26	1,45	1,66
18	1,81	1,59	1,39	1,19	1,03	0,91	0,85	0,86	0,94	1,08	1,25	1,45	1,66
19	1,81	1,59	1,38	1,19	1,03	0,91	0,85	0,86	0,94	1,08	1,25	1,45	1,66
20	1,81	1,59	1,38	1,19	1,03	0,90	0,84	0,85	0,94	1,08	1,25	1,45	1,66
21	1,81	1,59	1,38	1,19	1,02	0,90	0,84	0,85	0,93	1,07	1,25	1,44	1,66
22	1,81	1,59	1,38	1,19	1,02	0,90	0,84	0,85	0,93	1,07	1,24	1,44	1,65
23	1,80	1,59	1,38	1,18	1,02	0,89	0,83	0,84	0,93	1,07	1,24	1,44	1,65
24	1,80	1,58	1,37	1,18	1,02	0,89	0,83	0,84	0,92	1,06	1,24	1,44	1,65
25	1,80	1,58	1,37	1,18	1,01	0,89	0,82	0,84	0,92	1,06	1,24	1,44	1,65
26	1,80	1,58	1,37	1,18	1,01	0,88	0,82	0,83	0,92	1,06	1,23	1,43	1,65
27	1,80	1,58	1,37	1,17	1,01	0,88	0,82	0,83	0,91	1,05	1,23	1,43	1,65
28	1,80	1,58	1,36	1,17	1,00	0,88	0,81	0,82	0,91	1,05	1,23	1,43	1,64
29	1,79	1,57	1,36	1,17	1,00	0,87	0,81	0,82	0,91	1,05	1,23	1,43	1,64
30	1,79	1,57	1,36	1,16	1,00	0,87	0,80	0,82	0,90	1,04	1,22	1,42	1,64
31	1,79	1,57	1,36	1,16	0,99	0,87	0,80	0,81	0,90	1,04	1,22	1,42	1,64