

**ANÁLISE DO DESEMPENHO LUMINOSO DE SISTEMAS  
DE ILUMINAÇÃO ZENITAL EM FUNÇÃO DA  
DISTRIBUIÇÃO DE ILUMINÂNCIAS**

**RICARDO CARVALHO CABUS**

**Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil  
da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para a  
obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil**

**Área de Concentração: Construção Civil**

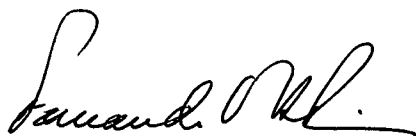
**Orientador: Prof. Dr. Fernando Oscar Ruttkay Pereira**

**Florianópolis**

**1997**

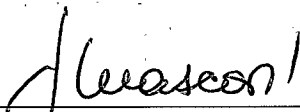
## FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação defendida e aprovada em 07 de Agosto de 1997, pela Comissão Examinadora.



---

Prof. Dr. Fernando Oscar Ruttkay Pereira (Orientador – Moderador – UFSC)



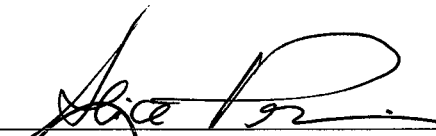
---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Lucia Elvira Raffo de Mascaro (UFRGS)



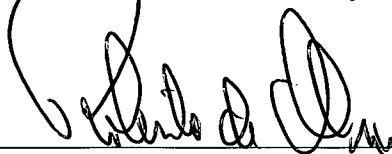
---

Prof. Dr. Vicente de Paula Nicolau (UFSC)



---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Alice Theresinha Cybis Pereira (UFSC)



---

Prof. Dr. Roberto de Oliveira (Coordenador do CPGEC)

*Ao meu pai, que de  
maneira lúdica me ensinou  
o caminho dos números*

*À minha mãe, que me  
revelou, pelo seu exemplo,  
o deleite da leitura*

# AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Fernando Pereira, que orientou este trabalho com competência, segurança e compreensão, indispensáveis para a qualidade alcançada.

À Universidade Federal de Alagoas (UFAL), em particular ao Departamento de Construção Civil e Transportes (CCT), pela minha liberação do trabalho durante o período do mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos, que possibilitou o desenvolvimento desta dissertação.

À Comissão Examinadora, pelas contribuições ao aprimoramento da Dissertação.

Ao Prof. Leonardo Bittencourt, pelo permanente incentivo.

Aos colegas de mestrado, pelo apoio e pela agradável companhia durante todo o curso.

À Valéria e às minhas filhas Larissa, Taísa e Beatriz, fontes inesgotáveis de amor e carinho, pela compreensão por uma ausência tão prolongada.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>xvii</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>xix</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS.....</b>	<b>xx</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xxii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xxiii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Formulação do Problema.....	2
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo Geral.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 Hipóteses.....	4
1.4 Premissas Básicas e Limitações do Trabalho.....	4
1.5 Estrutura do Trabalho.....	4
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>7</b>
2.1 Luz Natural.....	8
2.1.1 Histórico.....	8
2.2 Por Que Usar a Iluminação Natural ?.....	10
2.2.1 Qualidade da Luz.....	11
2.2.2 Variabilidade.....	11
2.2.3 Elemento de Projeto.....	12
2.2.4 Comunicação Visual com o Meio Externo.....	14
2.2.5 Eficácia Luminosa da Luz Natural.....	14
2.2.6 Conservação de energia.....	15
2.3 Sistemas de Iluminação Natural.....	17

2.4 Iluminação Zenital .....	17
2.4.1 Classificação das Aberturas Zenitais .....	18
2.4.2 Características da Iluminação Zenital .....	21
2.5 Ferramentas de Avaliação do Desempenho da Luz Natural .....	23
2.5.1 Modelos Físicos em Escala .....	24
2.5.2 Ferramentas Simplificadas .....	26
2.5.3 Códigos Computacionais .....	27
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>30</b>
3.1 Escolha do Método de Levantamento dos Valores de Iluminância nos Ambientes .....	31
3.1.1 Escolha do Sistema de Simulação .....	32
3.2 Definição do modelo .....	33
3.2.1 Padrões de Ambiente .....	33
3.2.2 Modelos de Ambiente .....	34
3.2.3 Conjuntos de Refletividades .....	37
3.2.4 Parâmetros do Modelo .....	37
3.3 Coleta dos Valores de Iluminância .....	38
3.4 Processamento e Análise dos Dados .....	38
3.4.1 Método Gráfico .....	39
3.4.2 Método Analítico .....	41
3.4.3 Correlação entre o Método Gráfico e o Método Analítico .....	45
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>46</b>
4.1 Método Gráfico .....	47
4.1.1 Dados Básicos .....	48
4.1.2 Resultados Gráficos .....	53
4.1.3 Análise Comparativa do Mapeamento .....	82
4.1.4 Áreas por Região de Iluminância (em percentual) .....	85
4.2 Método Analítico .....	90
4.2.1 Dados Básicos .....	90
4.2.2 Avaliação de Desempenho .....	95
4.3 Correlação Entre o Método Gráfico e o Método Analítico .....	111
4.3.1 Apresentação dos Resultados .....	111
4.3.2 Análise dos Gráficos c.v. x Área $\beta$ .....	116
4.3.3 Coeficiente de Correlação Entre o c.v. e a Área $\beta$ .....	117
4.3.4 Classificação do Coeficiente de Variação .....	118
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>120</b>
5.1 Conclusões .....	121
5.2 Sugestões Para Trabalhos Futuros .....	122

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....124**

**ANEXO A – Planilhas de Dados – Geral.....131**

Anexo A.1. Planilha de Dados Padrão A – REF 1 .....	133
Anexo A.2. Planilha de Dados Padrão A – REF 0 .....	134
Anexo A.3. Planilha de Dados Padrão B – REF 1 .....	135
Anexo A.4. Planilha de Dados Padrão B – REF 0 .....	136
Anexo A.5. Planilha de Dados Padrão C – REF 1 .....	137
Anexo A.6. Planilha de Dados Padrão C – REF 0 .....	138
Anexo A.7. Planilha de Dados Padrão D – REF 1 .....	139
Anexo A.8. Planilha de Dados Padrão D – REF 0 .....	140

**ANEXO B - Planilhas de Dados - Ordem Crescente de c.v.....141**

Anexo B.1. Planilha de Dados Padrão A - Ordem Crescente de c.v.....	143
Anexo B.2. Planilha de Dados Padrão B - Ordem Crescente de c.v.....	144
Anexo B.3. Planilha de Dados Padrão C - Ordem Crescente de c.v.....	145
Anexo B.4. Planilha de Dados Padrão D - Ordem Crescente de c.v.....	146

**ANEXO C - Planilhas de Dados - Ordem Crescente de Perímetro ....147**

Anexo C.1. Planilha de Dados Padrão A - Ordem Crescente de Perímetro .....	149
Anexo C.2. Planilha de Dados Padrão B - Ordem Crescente de Perímetro .....	150
Anexo C.3. Planilha de Dados Padrão C - Ordem Crescente de Perímetro .....	151
Anexo C.4. Planilha de Dados Padrão D - Ordem Crescente de Perímetro .....	152

**GLOSSÁRIO.....153**

**APÊNDICE I - Planilhas Para Cálculo da Distribuição de  
Aberturas ..... Ap-1**

Modo de Utilização das Planilhas .....	Ap-2
Apêndice I.1 - Planilha Para Cálculo da Distribuição de Aberturas - Modelos Básicos .....	Ap-4
Apêndice I.2 - Planilha Para Cálculo da Distribuição de Aberturas - Modelos Especiais com 4 Aberturas .....	Ap-5
Apêndice I.3 - Planilha para Cálculo da Distribuição de Aberturas - Aberturas Zenitais Contínuas em Linha .....	Ap-6

Apêndice I.4 - Planilha para Cálculo da Distribuição de Aberturas - Aberturas Zenitais Contínuas em Coluna .....	Ap-7
<b>APÊNDICE II - Marcas Registradas.....</b>	<b>Ap-8</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO .....</b>	<b>Rem-1</b>



# LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2-1 – Desenho esquemático do Larkin Building. Exemplo de uso da iluminação natural como elemento definidor do projeto.....	13
FIGURA 2-2 – Mesa de estudos. Exemplo do uso da iluminação natural para acentuar detalhes do projeto. ....	13
FIGURA 2-3 – Janelas amplas permitindo uma grande comunicação visual com o meio externo.....	14
FIGURA 2-4 – Panteon, Roma. ....	18
FIGURA 2-5 – Royal Opera Arcade, Londres. ....	18
FIGURA 2-6 – Exemplo de Clarabóia. ....	19
FIGURA 2-7 – Exemplo de Monitor. ....	19
FIGURA 2-8 – Exemplo de abertura dente-de-serra. ....	20
FIGURA 2-9 – Exemplo de teto transparente. ....	20
FIGURA 2-10 – Exemplo de domo. ....	21
FIGURA 2-11 – Exemplo de lanternim. Vista interna. ....	21
FIGURA 2-12 – Exemplo de lanternim. Vista externa. ....	21
FIGURA 2-13 – Igreja projetada por Alvar Aalto, na foto à esquerda (a) o modelo em escala seccionado, na foto à direita (b) a igreja construída. ....	25
FIGURA 2-14 – Secção de uma edificação com abertura zenital. ....	26
FIGURA 2-15 – Transferidor. ....	26
FIGURA 2-16 – Diagrama de pontos para céu encoberto. ....	27
FIGURA 2-17 – Usando o diagrama de pontos para estimar a componente difusa. ....	27
FIGURA 2-18 – Tela do Programa Lumen Micro®. ....	29
FIGURA 3-1 – Padrões de Ambientes. ....	34
FIGURA 3-2 – Exemplo de distribuição das aberturas zenitais para o Modelo 23. ....	35
FIGURA 3-3 – Geometria dos Modelos de Aberturas Zenitais. ....	36
FIGURA 4-1 – Nomenclatura adotada na titulação do mapeamento. ....	53
FIGURA 4-2 – Mapa A11R1. ....	54
FIGURA 4-3 – Mapa A11R0. ....	54
FIGURA 4-4 – Mapa A12R1. ....	54

FIGURA 4-5 – Mapa A12R0 .....	54
FIGURA 4-6 – Mapa A13R1 .....	54
FIGURA 4-7 – Mapa A13R0 .....	54
FIGURA 4-8 – Mapa A14R1 .....	55
FIGURA 4-9 – Mapa A14R0 .....	55
FIGURA 4-10 – Mapa A19R1 .....	55
FIGURA 4-11 – Mapa A19R0 .....	55
FIGURA 4-12 – Mapa A22R1 .....	55
FIGURA 4-13 – Mapa A22R0 .....	55
FIGURA 4-14 – Mapa A22WR1 .....	56
FIGURA 4-15 – Mapa A22WR0 .....	56
FIGURA 4-16 – Mapa A22YR1 .....	56
FIGURA 4-17 – Mapa A22YR0 .....	56
FIGURA 4-18 – Mapa A22ZR1 .....	56
FIGURA 4-19 – Mapa A22ZR0 .....	56
FIGURA 4-20 – Mapa A23R1 .....	57
FIGURA 4-21 – Mapa A23R0 .....	57
FIGURA 4-22 – Mapa A24R1 .....	57
FIGURA 4-23 – Mapa A24R0 .....	57
FIGURA 4-24 – Mapa A29R1 .....	57
FIGURA 4-25 – Mapa A29R0 .....	57
FIGURA 4-26 – Mapa A33R1 .....	58
FIGURA 4-27 – Mapa A33R0 .....	58
FIGURA 4-28 – Mapa A34R1 .....	58
FIGURA 4-29 – Mapa A34R0 .....	58
FIGURA 4-30 – Mapa A39R1 .....	58
FIGURA 4-31 – Mapa A39R0 .....	58
FIGURA 4-32 – Mapa A44R1 .....	59
FIGURA 4-33 – Mapa A44R0 .....	59
FIGURA 4-34 – Mapa A49R1 .....	59
FIGURA 4-35 – Mapa A49R0 .....	59
FIGURA 4-36 – Mapa B11R1 .....	60
FIGURA 4-37 – Mapa B11R0 .....	60

FIGURA 4-38 – Mapa B12R1 .....	60
FIGURA 4-39 – Mapa B12R0 .....	60
FIGURA 4-40 – Mapa B13R1 .....	60
FIGURA 4-41 – Mapa B13R0 .....	60
FIGURA 4-42 – Mapa B14R1 .....	60
FIGURA 4-43 – Mapa B14R0 .....	60
FIGURA 4-44 – Mapa B19R1 .....	61
FIGURA 4-45 – Mapa B19R0 .....	61
FIGURA 4-46 – Mapa B21R1 .....	61
FIGURA 4-47 – Mapa B21R0 .....	61
FIGURA 4-48 – Mapa B22R1 .....	61
FIGURA 4-49 – Mapa B22R0 .....	61
FIGURA 4-50 – Mapa B22WR1 .....	61
FIGURA 4-51 – Mapa B22WR0 .....	61
FIGURA 4-52 – Mapa B22XR1 .....	62
FIGURA 4-53 – Mapa B22XR0 .....	62
FIGURA 4-54 – Mapa B22YR1 .....	62
FIGURA 4-55 – Mapa B22YR0 .....	62
FIGURA 4-56 – Mapa B22ZR1 .....	62
FIGURA 4-57 – Mapa B22ZR0 .....	62
FIGURA 4-58 – Mapa B23R1 .....	62
FIGURA 4-59 – Mapa B23R0 .....	62
FIGURA 4-60 – Mapa B24R1 .....	63
FIGURA 4-61 – Mapa B24R0 .....	63
FIGURA 4-62 – Mapa B29R1 .....	63
FIGURA 4-63 – Mapa B29R0 .....	63
FIGURA 4-64 – Mapa B31R1 .....	63
FIGURA 4-65 – Mapa B31R0 .....	63
FIGURA 4-66 – Mapa B32R1 .....	63
FIGURA 4-67 – Mapa B32R0 .....	63
FIGURA 4-68 – Mapa B33R1 .....	64
FIGURA 4-69 – Mapa B33R0 .....	64
FIGURA 4-70 – Mapa B34R1 .....	64

FIGURA 4-71 – Mapa B34R0 .....	64
FIGURA 4-72 – Mapa B39R1 .....	64
FIGURA 4-73 – Mapa B39R0 .....	64
FIGURA 4-74 – Mapa B41R1 .....	64
FIGURA 4-75 – Mapa B41R0 .....	64
FIGURA 4-76 – Mapa B42R1 .....	65
FIGURA 4-77 – Mapa B42R0 .....	65
FIGURA 4-78 – Mapa B43R1 .....	65
FIGURA 4-79 – Mapa B43R0 .....	65
FIGURA 4-80 – Mapa B44R1 .....	65
FIGURA 4-81 – Mapa B44R0 .....	65
FIGURA 4-82 – Mapa B49R1 .....	65
FIGURA 4-83 – Mapa B49R0 .....	65
FIGURA 4-84 – Mapa B91R1 .....	66
FIGURA 4-85 – Mapa B91R0 .....	66
FIGURA 4-86 – Mapa B92R1 .....	66
FIGURA 4-87 – Mapa B92R0 .....	66
FIGURA 4-88 – Mapa B93R1 .....	66
FIGURA 4-89 – Mapa B93R0 .....	66
FIGURA 4-90 – Mapa B94R1 .....	66
FIGURA 4-91 – Mapa B94R0 .....	66
FIGURA 4-92 – Mapa C11R1 .....	67
FIGURA 4-93 – Mapa C11R0 .....	67
FIGURA 4-94 – Mapa C12R1 .....	67
FIGURA 4-95 – Mapa C12R0 .....	67
FIGURA 4-96 – Mapa C13R1 .....	67
FIGURA 4-97 – Mapa C13R0 .....	67
FIGURA 4-98 – Mapa C14R1 .....	67
FIGURA 4-99 – Mapa C14R0 .....	67
FIGURA 4-100 – Mapa C19R1 .....	67
FIGURA 4-101 – Mapa C19R0 .....	67
FIGURA 4-102 – Mapa C21R1 .....	68
FIGURA 4-103 – Mapa C21R0 .....	68

FIGURA 4-104 – Mapa C22R1 .....	68
FIGURA 4-105 – Mapa C22R0 .....	68
FIGURA 4-106 – Mapa C22WR1 .....	68
FIGURA 4-107 – Mapa C22WR0 .....	68
FIGURA 4-108 – Mapa C22XR1 .....	68
FIGURA 4-109 – Mapa C22XR0 .....	68
FIGURA 4-110 – Mapa C22YR1 .....	68
FIGURA 4-111 – Mapa C22YR0 .....	68
FIGURA 4-112 – Mapa C22ZR1 .....	69
FIGURA 4-113 – Mapa C22ZR0 .....	69
FIGURA 4-114 – Mapa C23R1 .....	69
FIGURA 4-115 – Mapa C23R0 .....	69
FIGURA 4-116 – Mapa C24R1 .....	69
FIGURA 4-117 – Mapa C24R0 .....	69
FIGURA 4-118 – Mapa C29R1 .....	69
FIGURA 4-119 – Mapa C29R0 .....	69
FIGURA 4-120 – Mapa C31R1 .....	69
FIGURA 4-121 – Mapa C31R0 .....	69
FIGURA 4-122 – Mapa C32R1 .....	70
FIGURA 4-123 – Mapa C32R0 .....	70
FIGURA 4-124 – Mapa C33R1 .....	70
FIGURA 4-125 – Mapa C33R0 .....	70
FIGURA 4-126 – Mapa C34R1 .....	70
FIGURA 4-127 – Mapa C34R0 .....	70
FIGURA 4-128 – Mapa C39R1 .....	70
FIGURA 4-129 – Mapa C39R0 .....	70
FIGURA 4-130 – Mapa C41R1 .....	70
FIGURA 4-131 – Mapa C41R0 .....	70
FIGURA 4-132 – Mapa C42R1 .....	71
FIGURA 4-133 – Mapa C42R0 .....	71
FIGURA 4-134 – Mapa C43R1 .....	71
FIGURA 4-135 – Mapa C43R0 .....	71
FIGURA 4-136 – Mapa C44R1 .....	71

FIGURA 4-137 – Mapa C44R0 .....	71
FIGURA 4-138 – Mapa C49R1 .....	71
FIGURA 4-139 – Mapa C49R0 .....	71
FIGURA 4-140 – Mapa C91R1 .....	71
FIGURA 4-141 – Mapa C91R0 .....	71
FIGURA 4-142 – Mapa C92R1 .....	72
FIGURA 4-143 – Mapa C92R0 .....	72
FIGURA 4-144 – Mapa C93R1 .....	72
FIGURA 4-145 – Mapa C93R0 .....	72
FIGURA 4-146 – Mapa C94R1 .....	72
FIGURA 4-147 – Mapa C94R0 .....	72
FIGURA 4-148 – Mapa D11R1 .....	73
FIGURA 4-149 – Mapa D11R0 .....	73
FIGURA 4-150 – Mapa D12R1 .....	73
FIGURA 4-151 – Mapa D12R0 .....	73
FIGURA 4-152 – Mapa D13R1 .....	73
FIGURA 4-153 – Mapa D13R0 .....	73
FIGURA 4-154 – Mapa D14R1 .....	74
FIGURA 4-155 – Mapa D14R0 .....	74
FIGURA 4-156 – Mapa D19R1 .....	74
FIGURA 4-157 – Mapa D19R0 .....	74
FIGURA 4-158 – Mapa D21R1 .....	74
FIGURA 4-159 – Mapa D21R0 .....	74
FIGURA 4-160 – Mapa D22R1 .....	75
FIGURA 4-161 – Mapa D22R0 .....	75
FIGURA 4-162 – Mapa D22XR1 .....	75
FIGURA 4-163 – Mapa D22XR0 .....	75
FIGURA 4-164 – Mapa D22YR1 .....	75
FIGURA 4-165 – Mapa D22YR0 .....	75
FIGURA 4-166 – Mapa D22ZR1 .....	76
FIGURA 4-167 – Mapa D22ZR0 .....	76
FIGURA 4-168 – Mapa D23R1 .....	76
FIGURA 4-169 – Mapa D23R0 .....	76

FIGURA 4-170 – Mapa D24R1 .....	76
FIGURA 4-171 – Mapa D24R0 .....	76
FIGURA 4-172 – Mapa D29R1 .....	77
FIGURA 4-173 – Mapa D29R0 .....	77
FIGURA 4-174 – Mapa D31R1 .....	77
FIGURA 4-175 – Mapa D31R0 .....	77
FIGURA 4-176 – Mapa D32R1 .....	77
FIGURA 4-177 – Mapa D32R0 .....	77
FIGURA 4-178 – Mapa D33R1 .....	78
FIGURA 4-179 – Mapa D33R0 .....	78
FIGURA 4-180 – Mapa D34R1 .....	78
FIGURA 4-181 – Mapa D34R0 .....	78
FIGURA 4-182 – Mapa D39R1 .....	78
FIGURA 4-183 – Mapa D39R0 .....	78
FIGURA 4-184 – Mapa D41R1 .....	79
FIGURA 4-185 – Mapa D41R0 .....	79
FIGURA 4-186 – Mapa D42R1 .....	79
FIGURA 4-187 – Mapa D42R0 .....	79
FIGURA 4-188 – Mapa D43R1 .....	79
FIGURA 4-189 – Mapa D43R0 .....	79
FIGURA 4-190 – Mapa D44R1 .....	80
FIGURA 4-191 – Mapa D44R0 .....	80
FIGURA 4-192 – Mapa D49R1 .....	80
FIGURA 4-193 – Mapa D49R0 .....	80
FIGURA 4-194 – Mapa D91R1 .....	80
FIGURA 4-195 – Mapa D91R0 .....	80
FIGURA 4-196 – Mapa D92R1 .....	81
FIGURA 4-197 – Mapa D92R0 .....	81
FIGURA 4-198 – Mapa D93R1 .....	81
FIGURA 4-199 – Mapa D93R0 .....	81
FIGURA 4-200 – Mapa D94R1 .....	81
FIGURA 4-201 – Mapa D94R0 .....	81

FIGURA 4-202 – Coeficiente de Variação por Modelos Básicos – Padrão A – REF 1 .....	97
FIGURA 4-203 – Coeficiente de Variação por Modelos Básicos – Padrão A – REF 0 .....	97
FIGURA 4-204 – Coeficiente de Variação por Modelos Básicos – Padrão B – REF 1 .....	98
FIGURA 4-205 – Coeficiente de Variação por Modelos Básicos – Padrão B – REF 0 .....	98
FIGURA 4-206 – Coeficiente de Variação por Modelos Básicos – Padrão C – REF 1 .....	99
FIGURA 4-207 – Coeficiente de Variação por Modelos Básicos – Padrão C – REF 0 .....	99
FIGURA 4-208 – Coeficiente de Variação por Modelos Básicos – Padrão D – REF 1 .....	100
FIGURA 4-209 – Coeficiente de Variação por Modelos Básicos – Padrão D – REF 0 .....	100
FIGURA 4-210 – c.v. para Aberturas Zenitais Contínuas em linha – REF 1 .....	103
FIGURA 4-211 – c.v. para Aberturas Zenitais Contínuas em linha – REF 0 .....	103
FIGURA 4-212 – c.v. para Aberturas Zenitais Contínuas em coluna – REF 1 .....	104
FIGURA 4-213 – c.v. para Aberturas Zenitais Contínuas em coluna – REF 0 .....	104
FIGURA 4-214 – Gráfico da evolução do c.v. em função do perímetro para REF 1 ..	106
FIGURA 4-215 – Gráfico da evolução do c.v. em função do perímetro para REF 0 ..	107
FIGURA 4-216 – Gráfico da evolução do c.v. em função do número de aberturas para REF 1 .....	109
FIGURA 4-217 – Gráfico da evolução do c.v. em função do número de aberturas para REF 0 .....	110
FIGURA 4-218 – Relação entre o c.v. e a Área $\beta$ , REF 1 .....	116
FIGURA 4-219 – Relação entre o c.v. e a Área $\beta$ , REF 0 .....	116
FIGURA 4-220 – Relação entre o c.v. e a Área $\beta$ , REF 1 + REF 0 .....	116



# LISTA DE TABELAS

TABELA 2-1 – Eficácia luminosa da luz natural e lâmpadas elétricas (lm/W) .....	15
TABELA 3-1 – Dimensões dos Padrões de Ambientes de Estudo .....	34
TABELA 3-2 – Conjuntos de Refletividades .....	37
TABELA 3-3 – Classificação de Iluminâncias por Região de Mapeamento .....	40
TABELA 4-1 – Iluminâncias Limite para o Padrão A (lx).....	49
TABELA 4-2 – Iluminâncias Limite para o Padrão B (lx).....	50
TABELA 4-3 – Iluminâncias Limite para o Padrão C (lx).....	51
TABELA 4-4 – Iluminâncias Limite para o Padrão D (lx).....	52
TABELA 4-5 – Áreas percentuais por Região de Iluminância para o Padrão A.....	86
TABELA 4-6 – Áreas percentuais por Região de Iluminância para o Padrão B.....	87
TABELA 4-7 – Áreas percentuais por Região de Iluminância para o Padrão C.....	88
TABELA 4-8 – Áreas percentuais por Região de Iluminância para o Padrão D .....	89
TABELA 4-9 – Resultados estatísticos – Padrão A.....	91
TABELA 4-10 – Resultados estatísticos – Padrão B .....	92
TABELA 4-11 – Resultados estatísticos – Padrão C .....	93
TABELA 4-12 – Resultados estatísticos – Padrão D .....	94
TABELA 4-13 – Coeficiente de Variação por Modelos Básicos – Padrão A .....	97
TABELA 4-14 – Coeficiente de Variação por Modelos Básicos – Padrão B.....	98
TABELA 4-15 – Coeficiente de Variação por Modelos Básicos – Padrão C.....	99
TABELA 4-16 – Coeficiente de Variação por Modelos Básicos – Padrão D .....	100
TABELA 4-17 – Coeficiente de Variação (c.v.) para Modelos com Número de Aberturas e Perímetros (P) idênticos.....	101
TABELA 4-18 – c.v. para Aberturas Zenitais Contínuas em linha.....	103
TABELA 4-19 – c.v. para Aberturas Zenitais Contínuas em coluna.....	104
TABELA 4-20 – Coeficiente de correlação linear (r) entre o c.v. e o perímetro (P) ..	107
TABELA 4-21 – Coeficiente de correlação linear (r) entre o c.v. e o número de aberturas.....	110
TABELA 4-22 – Valores de c.v. e Área $\beta$ para o Padrão A.....	112
TABELA 4-23 – Valores de c.v. e Área $\beta$ para o Padrão B.....	113

TABELA 4-24 – Valores de c.v. e Área $\beta$ para o Padrão C .....	114
TABELA 4-25 – Valores de c.v. e Área $\beta$ para o Padrão D.....	115
TABELA 4-26 – Coeficientes de correlação linear (r) entre o c.v. e a Área $\beta$ .....	117
TABELA 4-27 – Classificação do coeficiente de variação (c.v.) .....	118

# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ADELINE</b>	Advanced Daylighting and Electric Lighting Integrated New Environment
<b>Amp</b>	Amplitude da iluminância no ambiente
<b>ASHRAE</b>	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
<b>c.v.</b>	Coefficiente de variação
<b>CADDET</b>	Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies. (Holanda)
<b>cel.</b>	Célula de planilha de cálculo
<b>CIBSE</b>	The Chartered Institution of Building Services Engineers. (Inglaterra)
<b>Coef.</b>	Coefficiente
<b>COL</b>	Número de aberturas em colunas
<b>Fig.</b>	Figura
<b>IES</b>	Illuminating Engineering Society
<b>LIN</b>	Número de aberturas em linha
<b>MOD</b>	Modelo
<b>num.</b>	Número
<b>PAD</b>	Padrão
<b>Tab.</b>	Tabela
<b>Unid</b>	Unidade

# LISTA DE SÍMBOLOS

$\alpha$	Índice que representa iluminância excessiva
$\beta$	Índice que representa iluminância suficiente
$\chi$	Índice que representa iluminância insuficiente
$\delta$	Diferença entre $E_{\min}$ e $E$ . Um valor negativo significa que há pontos com iluminância abaixo de $E$ , lx
$\delta_+$	Diferença entre $E_{\max}$ e $E$ . Um valor negativo significa que há pontos com iluminância acima de $E$ , lx
$\rho$	Refletividade da superfície
$A$	Número total de aberturas por modelos
$A_\alpha$	Área da Região $\alpha$ , %
$A_\beta$	Área da Região $\beta$ , %
$A_\chi$	Área da Região $\chi$ , %
$c$	Dimensão do comprimento do ambiente, m
$C$	Número de Aberturas no sentido do comprimento do Ambiente
$E$	Iluminância equivalente a $0,7 \times E_m$ . Representa o limite inferior do mapeamento de iluminâncias, lx
$E_+$	Iluminância equivalente a $1,3 \times E_m$ . Representa o limite superior do mapeamento de iluminâncias, lx
$E_m$	Iluminância média no plano de trabalho, lx
$E_{\max}$	Iluminância máxima observada no plano de trabalho, lx
$E_{\min}$	Iluminância mínima observada no plano de trabalho, lx
$h$	Dimensão do pé-direito do ambiente, m
$K$	Letra correspondente ao Padrão – A, B, C ou D

<b><i>l</i></b>	Dimensão da largura do ambiente, m
<b>L</b>	Número de Aberturas no sentido da largura do Ambiente
<b>lx</b>	Lux, unidade de iluminância
<b><i>m</i></b>	Número de colunas de aberturas zenitais
<b>m</b>	Metro
<b><i>n</i></b>	Número de linhas de aberturas zenitais
<b>nm</b>	Nanômetro, unidade de comprimento de onda
<b>P</b>	Perímetro das aberturas, m
<b>R</b>	Amplitude
<b>r</b>	Coefficiente de correlação linear
<b>R<sub>α</sub></b>	Região α
<b>R<sub>β</sub></b>	Região β
<b>R<sub>χ</sub></b>	Região χ
<b>s</b>	Variância
<b>s<sup>2</sup></b>	Desvio padrão

## RESUMO

A partir do uso de simulações computacionais, através do programa Lumen Micro®, este trabalho analisa a distribuição de iluminâncias em um conjunto de ambientes com sistemas zenitais variados. A análise comparativa, baseada em conceitos estatísticos, entre os resultados obtidos gera uma série de tabelas e gráficos, que relacionam a distribuição de iluminâncias com a refletividade das superfícies internas, a forma do recinto, o perímetro e a quantidade de aberturas.

Simultaneamente, é feito o mapeamento dos ambientes em função da distribuição da iluminâncias, com vistas à delimitação de áreas onde haja iluminância suficiente, em excesso ou em falta.

Neste sentido, deseja-se contribuir para um maior conhecimento do comportamento de sistemas zenitais de iluminação natural, bem como informar aos projetistas sobre a forma mais eficiente de distribuir as aberturas com vistas a um melhor resultado tanto luminoso, quanto financeiro.

# ABSTRACT

This research aims to analyse the illuminance distribution in toplighting aperture systems. Using Lumen Micro® V. 6.0 to evaluate illuminance level in workplane, the study examines a set of typologies of toplighting systems, comparing illuminance distribution performance against internal surface reflectance, room shape, perimeter and number of apertures, using a statistical method. Simultaneously, a graphic method is used to indicate areas with sufficient, excessive or insufficient illuminance.

Therefore, this work aims to contribute to a better knowledge of toplighting systems accomplishment, as well as to instruct designers about the more efficient way to distribute apertures in order to get better luminous and cost/benefit results.

# 1. INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema.....	2
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo Geral.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 Hipóteses.....	4
1.4 Premissas Básicas e Limitações do Trabalho.....	4
1.5 Estrutura do Trabalho.....	4



Neste capítulo é desenvolvida uma apresentação geral do tema proposto. Inicia-se com a formulação do problema, segue-se relacionando os objetivos geral e específicos, além das hipóteses de trabalho. São apresentadas as premissas básicas e as limitações do trabalho, encerrando com a estruturação geral da dissertação.

## **1.1 Formulação do Problema**

Diversas são as razões que levam um projetista a utilizar a luz natural em seu projeto, dentre elas a qualidade da luz, a comunicação visual com o meio externo, a conservação dos recursos naturais, a redução do consumo de energia e benefícios psicológicos e fisiológicos.

Dentre suas principais características destaca-se a variabilidade. Preocupação para uns, qualidade para a maioria dos estudiosos da iluminação, a variação, quer diária, quer sazonal, propicia um ambiente dinâmico.

Pode-se classificar, sinteticamente, os sistemas de iluminação diurna em lateral e zenital. A escolha do sistema adequado deve levar em conta a forma e a disposição dos ambientes que compõem o edifício, o tipo de tarefa visual a ser executada, bem como condições de ordem econômica e tecnológica, assim como aspectos relativos ao clima local.

A iluminação lateral é mais adequada às regiões próximas às janelas, porém como a iluminância produzida reduz-se à medida que se afasta da fonte, este sistema provoca uma distribuição de iluminâncias inadequada na maioria dos casos.

Por sua vez, a iluminação zenital fornece, em geral, uma maior uniformidade na distribuição da luz sobre o campo de trabalho, quando comparada a sistemas laterais com mesma área de abertura. Além disto, sua capacidade em captar a radiação luminosa, quer do sol, quer da abóbada celeste é outro aspecto a ser ressaltado. No entanto, não fornece uma visão do entorno, necessidade básica na grande maioria dos ambientes. Somado a essa questão, outro problema dos sistemas zenitais é a limitação do seu uso a edificações de um pavimento ou ambientes de cobertura.

Não obstante uma das principais características dos sistemas de iluminação zenital seja a boa distribuição da luz pelo ambiente, não se tem um maior aprofundamento do estudo do seu comportamento, quanto à variação nas dimensões do ambiente, distribuição das aberturas ou refletividade das superfícies internas.

A correta definição dos referidos parâmetros pode contribuir para um melhor desempenho luminoso de sistemas de iluminação zenital, tendo como balizamento uma iluminação bem distribuída, evitando-se regiões excessivamente iluminadas, evidenciando ganho desnecessário de calor, bem como regiões com iluminação insuficiente, necessitando do incremento de iluminação durante o dia através de outros sistemas, quer artificial, quer natural.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Analisar o desempenho luminoso de ambientes iluminados de forma zenital, em função da distribuição de iluminâncias.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Desenvolver um método gráfico, baseado em uma interface visual, para análise da distribuição de iluminâncias em ambientes;
- Desenvolver um método analítico, baseado em conceitos estatísticos, para análise da distribuição de iluminâncias em ambientes;
- Relacionar o desempenho luminoso com o perímetro das aberturas;
- Relacionar o desempenho luminoso com a quantidade de aberturas;
- Analisar a influência da refletividade das superfícies internas na distribuição de iluminâncias no ambiente;
- Analisar a influência das dimensões do recinto na distribuição de iluminâncias no ambiente;
- Analisar a influência da distribuição das aberturas zenitais na distribuição de iluminâncias do ambiente.

### 1.3 Hipóteses

- A distribuição de iluminâncias é função do (i) número de aberturas, (ii) refletividade das superfícies internas, (iii) perímetro das aberturas e (iv) distribuição das aberturas;
- O uso do mapeamento de iluminâncias proporciona uma avaliação prática e eficaz das condições de iluminação em um ambiente;
- É possível definir parâmetros simplificados para analisar a distribuição de iluminâncias em ambientes.

### 1.4 Premissas Básicas e Limitações do Trabalho

Nesse trabalho toda a análise de distribuição de iluminâncias nos ambientes parte do pressuposto que a transmissão da luz natural entre o meio externo e o meio interno, bem como a reflexão da energia luminosa nas superfícies internas – paredes, piso e teto – ocorrem de modo perfeitamente difuso.

Conseqüentemente, não havendo direção preferencial da radiação luminosa incidente no plano de trabalho, ficam prejudicados os estudos da influência na distribuição de iluminâncias (i) das obstruções externas, (ii) do tipo de céu, (iii) da insolação direta e, por conseguinte, (iv) da latitude, (v) do dia do ano e (vi) da hora do dia.

Essa afirmativa, por outro lado, não influencia significativamente os objetivos geral e específicos deste trabalho, que se baseiam na variação dos dados de iluminância, não importando, dessa forma, os seus valores absolutos.

Nesse sentido, esta dissertação adota valores fixos para os parâmetros anteriores, referenciando-os a uma situação geometricamente simétrica: região equatorial, equinócio, meio-dia – horário solar, sem obstruções externas ou internas.

### 1.5 Estrutura do Trabalho

Neste primeiro capítulo é desenvolvida uma apresentação geral do tema proposto, com a justificativa e a formulação do problema. Segue-se relacionando os objetivos geral e específicos, além das hipóteses de trabalho. São apresentadas as premissas básicas e as limitações do trabalho, encerrando com a estruturação geral da dissertação.

No segundo capítulo, é apresentada uma revisão bibliográfica, onde são destacados os benefícios da luz natural, suas características e sua relação com a economia de energia. São relacionados sistemas de iluminação natural, com destaque particular para os sistemas zenitais. O capítulo também inclui um estudo comparativo de ferramentas de avaliação da iluminação natural.

O capítulo seguinte descreve os procedimentos metodológicos empregados na execução da presente pesquisa. Inicia esclarecendo a escolha do método de levantamento de valores de iluminância nos ambientes e expondo o modelo que servirá de base para a coleta de dados. Prossegue com a descrição de dois métodos de processamento e análise dos dados, o Método Gráfico e o Método Analítico e conclui com a apresentação de um processo de correlação entre o Método Gráfico e o Método Analítico.

O quarto capítulo apresenta e discute os resultados coletados. Na primeira parte, esses resultados são analisados por intermédio do Método Gráfico, utilizando-se um mapeamento de iluminâncias no plano de trabalho. Na segunda parte, os valores coletados são estudados pelo Método Analítico, baseado em conceitos estatísticos, de forma a se avaliar o desempenho luminoso em função da distribuição de iluminâncias. Na última parte, é feita uma comparação entre os Métodos Gráfico e Analítico, com vistas a se encontrar uma correlação entre ambos, além de se propor uma classificação qualitativa para seus parâmetros.

No quinto e último capítulo são apresentadas as conclusões encontradas neste trabalho, acrescidas de sugestões para trabalhos futuros, correlatos com os temas expostos nessa dissertação.

A seguir, são relacionadas as Referências Bibliográficas e demais materiais de referência.

O Anexo A é composto por 8 tabelas contendo (i) dados referentes a definição do modelo proposto para esse trabalho, (ii) valores coletados, (iii) dados processados para uso pelo Método Gráfico e (iv) dados processados para uso pelo Método Analítico.

Nos Anexos B e C são apresentadas tabelas resumidas, baseadas no Anexo A, onde os valores são indexados com vistas a uma melhor compreensão das análises desenvolvidas.

Segue um Glossário com palavras e expressões cujo sentido nesse trabalho carece de uma maior precisão, além de termos específicos de outras especialidades.

No Apêndice I, são fornecidos os códigos-fonte de planilhas para o cálculo da distribuição proporcional de aberturas zenitais em ambientes retangulares, enquanto no Apêndice II estão relacionadas as Marcas Registradas citadas na dissertação.

A dissertação finaliza com um Índice Remissivo, indicando a localização de determinados assuntos e autores, no sentido de facilitar a sua procura dentro do texto.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Luz Natural .....	8
2.1.1 Histórico .....	8
2.2 Por Que Usar a Iluminação Natural ? .....	10
2.2.1 Qualidade da Luz .....	11
2.2.2 Variabilidade .....	11
2.2.3 Elemento de Projeto .....	12
2.2.4 Comunicação Visual com o Meio Externo .....	14
2.2.5 Eficácia Luminosa da Luz Natural .....	14
2.2.6 Conservação de energia .....	15
2.3 Sistemas de Iluminação Natural .....	17
2.4 Iluminação Zenital .....	17
2.4.1 Classificação das Aberturas Zenitais .....	18
2.4.2 Características da Iluminação Zenital .....	21
2.5 Ferramentas de Avaliação do Desempenho da Luz Natural .....	23
2.5.1 Modelos Físicos em Escala .....	24
2.5.2 Ferramentas Simplificadas .....	26
2.5.3 Códigos Computacionais .....	27

Neste capítulo é apresentada uma revisão de literatura sobre a iluminação natural. Inicialmente são levantados os aspectos da evolução histórica do uso da luz natural em edificações. Em seguida, é analisado o porquê da utilização da iluminação natural. São destacados os aspectos da qualidade da luz, a variabilidade, seu uso como elemento de projeto, a comunicação com o meio externo, a eficácia luminosa e a relação com a conservação de energia. Também são abordados os sistemas e, em particular, os critérios de projetos de iluminação natural<sup>1</sup>, com destaque para a iluminação zenital. O capítulo finaliza com um estudo comparativo de ferramentas de avaliação do desempenho da iluminação natural.

## 2.1 Luz Natural

A luz natural, ou qualquer outra fonte de luz, de acordo com ROBBINS (1986), é uma manifestação visual de energia, percebida pelo olho humano na faixa de radiação eletromagnética com comprimentos de onda entre 380 e 760 nm, aproximadamente. Segundo CINTRA DO PRADO (1962) e MASCARÓ (1983), a luz natural é aquela proveniente do sol, seja em forma direta, através dos raios solares, ou indireta de forma difusa em função da refração e reflexão dos raios na atmosfera com ou sem nuvens, ou de forma refletida através da vegetação, dos edifícios ou outros objetos existentes na superfície da terra.

### 2.1.1 Histórico

O uso da luz natural em edificações como fonte de iluminação acompanha a história da Arquitetura. Sua presença tem sido considerada, de acordo com MOORE (1991), sinônimo de limpeza, pureza e sabedoria. IES DAYLIGHTING COMMITTEE (1979), por sua vez, afirma que a iluminação natural historicamente sempre foi uma poderosa força na definição de formas arquitetônicas.

ALLEN (1990) observa que durante milênios a humanidade desenvolveu-se tendo o sol como principal fonte de luz. Desse modo, as atividades tinham seus horários

---

<sup>1</sup> Livre tradução de *daylighting concepts* definido em ROBBINS (1986).

adequados à disponibilidade da luz, entre o nascer e o pôr do sol. Apesar de a luz artificial já estar presente desde épocas primitivas, através do fogo, sua intensidade luminosa era insuficiente para atender a tarefas que exigiam uma boa iluminação.

Nesse mesmo tempo, a necessidade de construção de edificações que produzissem ambientes protegidos contra intempéries e a inexistência de uma alternativa eficiente de luz artificial fizeram com que os arquitetos desenvolvessem técnicas para colocar a luz natural, de maneira eficiente, dentro das construções. Esse processo evoluiu diferentemente em diversas regiões do planeta, em função das suas características climáticas e culturais

Foi nesse período, que se estendeu até o advento da Revolução Industrial, que houve um grande desenvolvimento de uma Arquitetura interagindo com o meio ambiente. O projetista era obrigado a conhecer a fundo o clima onde projetava, com vistas ao desenvolvimento de estratégias que considerassem seus efeitos positivos e negativos. Cabia, então, ao envoltório as funções de servir como elemento regulador das condições ambientais como admissão de luz e insolação, renovação do ar, ganho e perda de calor.

Com a Revolução Industrial, vieram o desenvolvimento dos materiais de construção civil, sistemas estruturais, técnicas construtivas e o surgimento da luz elétrica. A partir daí, houve a liberação do projetista do vínculo com os elementos naturais. A iluminação dos ambientes não mais estava restrita às regiões próximas às aberturas. Os sistemas mecânicos de aquecimento e refrigeração passavam a substituir a função térmica do envoltório. As lâmpadas incandescentes tomavam o lugar de velas e lamparinas.

Nesse período, por outro lado, surgiram edificações com grandes envidraçamentos, que obtiveram larga aceitação por seu aspecto estético e conceitual. Entretanto, como permitiam uma excessiva penetração de luz e calor, entraram em conflito com o uso então mais generalizado de sistemas de ar condicionado que, para reduzir os custos, necessitavam da redução no tamanho das aberturas.

Com os custos de energia relativamente baixos, o uso da luz artificial desenvolveu-se, sobretudo com a lâmpada fluorescente, que tentava competir em eficácia com a luz natural. Passou-se nesse momento a valorizar o conceito de quantidade em detrimento da qualidade. A indústria da construção civil tinha um grande crescimento,



baseado sobretudo em uma política que não levava em conta a preocupação com as fontes de energia não renováveis. De acordo com SELKOWITZ e GRIFFITH (1986), nessa época entidades como a IES – Illuminating Engineering Society – e a ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers – apresentavam pouco interesse no uso da luz natural, fazendo com que a sua aplicação se restringisse ao interesse artístico por parte de arquitetos, que a utilizavam com objetivos estéticos.

A crise no petróleo, em 1973, veio para reverter a tendência de uso indiscriminado de energia. O aumento nos preços e a política de racionamento trouxeram de volta a necessidade do aproveitamento dos recursos naturais nas edificações. Para as janelas – tidas no primeiro momento como grande vilã nas edificações – surgem pesquisas para o desenvolvimento da tecnologia com vistas a um melhor desempenho térmico e luminoso (ARESTEH, 1995). A evolução na tecnologia de lâmpadas de alto desempenho e o surgimento dos dispositivos de controle informatizados permitem uma melhor utilização da luz artificial conjugada à iluminação natural.

Não obstante todos os avanços no sentido da economia de energia, a perspectiva mais importante do uso da luz natural surgida nas últimas décadas, segundo SELKOWITZ e GRIFFITH (1986), está relacionada ao uso da luz natural como melhoria da qualidade do ambiente iluminado.

## **2.2 Por Que Usar a Iluminação Natural ?**

A decisão por parte do projetista em usar a iluminação natural em edificações deve ser tomada levando-se em conta todas as reais necessidades do projeto, ponderando-as de acordo com sua importância (MOORE, 1986).

Diversas são as razões que podem justificar a utilização da luz natural como fonte de iluminação, tanto em residências, como em edifícios comerciais. LOE e ROWLANDS (1996) enfatizam a relação entre os aspectos objetivos e subjetivos da iluminação, afirmando que a maioria dos projetistas concorda que ambos os aspectos são igualmente importantes. No entanto, talvez devido à falta de evidência experimental para dar suporte aos aspectos subjetivos, o fator objetivo se destaca pela sua associação direta com o cálculo numérico. Contudo eles afirmam que os projetistas devem ver a iluminação de

um ponto de vista holístico, devendo todas as questões serem levadas em conta, cada qual com o seu devido peso.

A seguir serão enumeradas algumas dessas questões.

### **2.2.1 Qualidade da Luz**

A qualidade da luz é um dos mais importantes motivos para se utilizar a luz natural em construções. A luz diurna, provinda do sol ou da abóbada celeste, engloba todo o espectro da radiação luminosa. A evolução do olho humano, durante milhões de anos, ocorreu usando todo esse espectro. Desta forma, a luz natural é a fonte de luz que mais combina com as necessidades visuais dos seres humanos.

Devido a essa qualidade, para uma mesma tarefa é possível, de acordo com ERENKRANTS GROUP (1979) apud ROBBINS (1986), iluminar naturalmente com uma menor quantidade de luz, que através de luz artificial. MCNICHOLL (1995) enfatiza exemplificando que enquanto a iluminância mínima admissível para uma sala de aula iluminada artificialmente é de 300 lux, quando a iluminação é natural consegue-se obter uma boa performance até com 150 lux.

Outro aspecto importante a ressaltar é a capacidade de representar as cores. WILLIAMS (1954) ressalta que a qualidade espectral da luz influencia na aparência das cores. O olho humano ajusta-se às fontes de luz e altera sua percepção da cor em função da composição espectral da radiação luminosa. Sendo assim, a visão das cores dos objetos pode variar em função da fonte de luz. Apesar dos avanços na tecnologia de lâmpadas elétricas, ainda hoje a luz natural é considerada como a que apresenta melhor reprodução das cores.

### **2.2.2 Variabilidade**

A variabilidade é uma das principais características da luz natural. Isto acontece, segundo MASCARO e VIANA (1980), não apenas em quantidade, mas também de forma qualitativa, com a mudança da cor durante o dia.

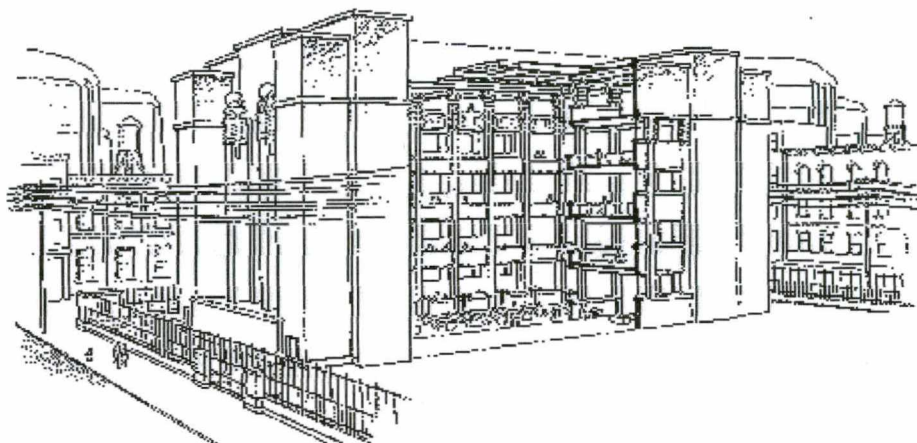
A variação pode acontecer (i) pelas mudanças regulares da trajetória solar, (ii) por mudanças produzidas por fenômenos meteorológicos, como a nebulosidade e (iii) pelo movimento das nuvens e outros aspectos mais fugazes.

MASCARÓ (1983) e GOULDING et al. (1993) observam que a variabilidade da luz natural dá mais prazer que a monotonia dos ambientes iluminados artificialmente. A quantidade de luz do dia, ao contrário do que se passa com a quantidade de luz artificial, não está sob o controle do projetista. Quando o céu não está completamente encoberto, segundo IESNA (1993a), a distribuição de luminâncias do céu pode variar rapidamente. SCARAZZATO (1995) reforça, por sua vez, que a luz natural é absolutamente inconstante e sofre sensíveis variações diárias e sazonais. De acordo com PILOTTO NETO (1980), essa é uma característica inconveniente pois no decorrer de poucos minutos pode ocorrer uma grande variação na iluminação, apenas com a passagem de nuvens. CADDET (1995) coloca essa questão como um desafio para o projetista. LYNES (1968), por outro lado, frisa que essa característica não é necessariamente uma desvantagem, uma vez que sob certas circunstâncias, a variação na iluminação proporciona uma maior concentração na atividade exercida.

### **2.2.3 Elemento de Projeto**

A iluminação natural pode ser usada como principal elemento em um projeto ou como elemento auxiliar.

Alguns arquitetos como Wright, Le Corbusier, Nervi, Rudolph e Aalto utilizaram de forma muito eficiente a luz natural para valorizar seus projetos, colocando-a, em alguns deles, como elemento definidor do partido do projeto, como pode-se ver no projeto do Larkin Building, em Buffalo, Estados Unidos, do arquiteto F. L. Wright, na Figura 2-1. Contudo, em muitos dos seus trabalhos eles mostram que, para valorizar a luz diurna não há necessidade de colocá-la como elemento central. A luz natural pode ser usada para destacar uma parede, um canto ou mesmo iluminar uma área de estudo, como na Figura 2-2.



Fonte: ROBBINS, 1986.

**FIGURA 2-1 – Desenho esquemático do Larkin Building. Exemplo de uso da iluminação natural como elemento definidor do projeto.**



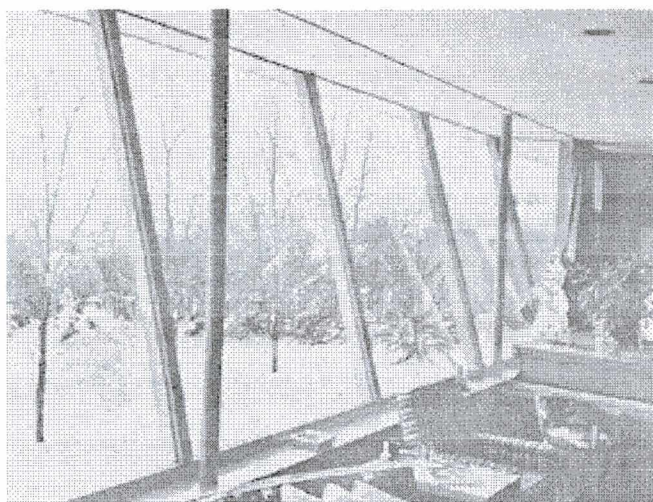
Fonte: ROBBINS, 1986.

**FIGURA 2-2 – Mesa de estudos. Exemplo do uso da iluminação natural para acentuar detalhes do projeto.**

CINTRA DO PRADO (1962) lembra que as soluções para os problemas da iluminação natural são permanentes, pois ficam incorporadas à estrutura do prédio, diferentemente da luz artificial. A partir dessa observação pode-se destacar a importância da iluminação natural durante a definição do projeto.

## 2.2.4 Comunicação Visual com o Meio Externo

Muitos estudos já foram feitos no sentido de pesquisar a importância da visão do meio externo por parte dos ocupantes das edificações. Neles, a grande maioria das pessoas expressaram seus desejos de contato com o mundo exterior. No entanto é importante também observar, caso a caso, a qualidade e a conveniência do uso das aberturas. A sua localização pode representar diferentes enfoques das necessidades de visão do exterior. Enquanto aberturas zenitais permitem uma visão da abóbada celeste, as aberturas laterais permitem observar-se não só parte do céu como o horizonte e a paisagem externa como na Figura 2-3.



Fonte: MASCARÓ (1983)

**FIGURA 2-3** – Janelas amplas permitindo uma grande comunicação visual com o meio externo.

## 2.2.5 Eficácia Luminosa da Luz Natural

Outro aspecto importante da luz natural é a sua eficácia luminosa. Em função da importância da insolação no aquecimento dos ambientes, desenvolveu-se uma concepção equivocada de que a luz solar direta não deveria ser adotada para fins de iluminação natural. Virtualmente, segundo MOORE (1991), toda a energia advinda de cada fonte luminosa é convertida em calor dentro da edificação. A partir da Tabela 2-1, que expõe a eficácia luminosa para diversas fontes de luz natural e artificial, percebe-se que a eficácia, tanto do sol, como da abóbada celeste é significativa quando comparada com as fontes artificiais. Portanto, permite-se concluir que as fontes naturais introduzem menos calor por lúmen dentro das edificações, que as lâmpadas elétricas mais comuns. Nesse sentido,

CABÚS e PEREIRA (1996) enfatizam a importância do correto dimensionamento das aberturas, com vistas a se obter a quantidade de luz necessária, sem ganho extra de calor.

**TABELA 2-1 – Eficácia luminosa da luz natural e lâmpadas elétricas (lm/W)**

FONTE DE LUZ	EFICÁCIA LUMINOSA (lm/W)
Sol (altura = 7,5°)	90
Sol (altura > 25°)	117
Sol (média sugerida)	100
Céu limpo	150
Céu médio	125
Global (sol + céu) média	115
Incandescente (150 W)	16-40
Fluorescente (40W, CWX)	50-80
Vapor de Sódio - alta pressão	40-140

Fonte: HOPKINSON et al. (1975), IES (1981) apud MOORE (1991)

### 2.2.6 Conservação de energia

O uso correto da iluminação natural pode reduzir de maneira significativa o consumo de energia elétrica. ROBBINS (1986) e ENERGY RESEARCH GROUP (1994) afirmam que cerca de 50% da energia consumida em edificações não residenciais é gasta com a iluminação do ambiente interno. GELLER(1991), por sua vez, alerta que a iluminação em excesso é muito comum no Brasil, citando diversos trabalhos de pesquisadores brasileiros: M. Romero (1989), L. Lomardo (1989) e S. Rocha (1990). Diversas são as pesquisas relacionando a iluminação natural à conservação de energia, no Brasil e no mundo. SOUZA (1995) verificou, através de simulações em um edifício modelo, que o aproveitamento da luz natural proporciona uma grande redução no consumo de energia elétrica, que pode chegar a 35% de economia. BOGO (1996), pesquisando o desempenho térmico e o uso da iluminação natural em edificações escolares, concluiu que o aproveitamento da luz natural em salas de aula pode possibilitar uma redução no consumo real de energia elétrica com iluminação em até doze vezes, comparando com a situação da mesma sala sem luz natural. OPDAL e BREKKE (1995) relatam suas pesquisas na Noruega, mostrando também uma economia de energia elétrica significativa com o uso da luz natural.

É importante observar que esse potencial para economia de energia varia, segundo ENERGY RESEARCH GROUP (1994), em função da localização, clima, uso da edificação e forma da mesma.

### **2.2.6.1 Integração Luz Natural - Luz Artificial**

TREGENZA (1993) e GIRARDIN (1994) ressaltam que o uso da luz natural não exclui a necessidade global do emprego da luz artificial, além do que fomentam a necessidade de um sistema integrando a luz artificial à luz natural. CIBSE (1994) por sua vez, observa – enfatizado por SZOKOLAY (1984) – que o uso conjugado da luz artificial e natural pode contribuir, tanto para a economia dos recursos energéticos, quanto para aumentar a satisfação dos usuários.

SELKOWITZ (1984) ressalta que a simples existência de aberturas para a iluminação natural não implica em economia de energia se a iluminação artificial não for controlada através de dispositivos de integração. OPDAL e BREKKE (1995) afirmam que o uso da iluminação natural traz economia de energia, quando integrado ao sistema de iluminação artificial de duas maneiras: (i) pela economia direta com a redução da potência de luz artificial necessária e (ii) pela geração de menor quantidade de calor no ambiente por parte da luz natural, reduzindo assim as necessidades com resfriamento do ambiente.

LYNES e LITTLEFAIR (1990) demonstram duas formas de efetuar essa economia, através de (i) sistemas manuais e (ii) sistemas automáticos com células fotoelétricas.

Pesquisas recentes mostram as potencialidades do uso da inteligência artificial nesse processo de integração. COLEY e CRABB (1997) apresentam um algoritmo, denominado *Algoritmo Genético*, capaz de prever em tempo real os níveis de iluminância natural em um ponto escolhido dentro do ambiente, a partir da medição dos níveis de iluminância externa, no plano vertical. Segundo os autores, o algoritmo tem plenas condições de implementação em microprocessadores, a partir dos quais seriam desenvolvidos os sistemas de controle de luz artificial.

## 2.3 Sistemas de Iluminação Natural

O objetivo de um sistema de iluminação natural, afirma ROBBINS (1986), semelhante a qualquer outro sistema de iluminação, é prover as edificações de uma certa quantidade de luz onde houver necessidade, bem como fomentar um bom desempenho visual, gerando contrastes adequados para se atingir conforto visual.

Um sistema de iluminação natural deve incluir tudo o que for necessário para que a luz natural se comporte como um sistema ambiental, por exemplo, as aberturas, o meio transparente, a proteção solar e a integração com a iluminação artificial.

Um critério de projeto de iluminação natural, por sua vez, de acordo com ROBBINS (1986), tem como objetivo tornar os benefícios da luz natural disponíveis para uma maior área da edificação, assim como para um maior número de pessoas, animais, plantas e objetos dentro ou nos arredores da edificação. Esse processo ocorre através da combinação e localização das aberturas necessárias para prover o ambiente de uma distribuição de luz adequada.

Neste sentido PEREIRA (1995) coloca que esses critérios de projetos têm grande influência no desempenho global das edificações, exigindo um projeto adequado, visto que as aberturas influenciam não só no desempenho luminoso, como também visual, térmico e acústico. ROBBINS (1986) classifica sete critérios de iluminação: lateral, zenital, inclinada, com luz direta do sol, indireta, por espaços de transição (átrios, pátios) e combinações das anteriores.

Todos esses critérios partem do pressuposto de que o projetista deva usar o envelope da construção como um filtro através do qual a luz natural atingirá o espaço interno. Resumindo, o critério de projeto de iluminação natural determina como a luz chega ao ambiente a ser iluminado.

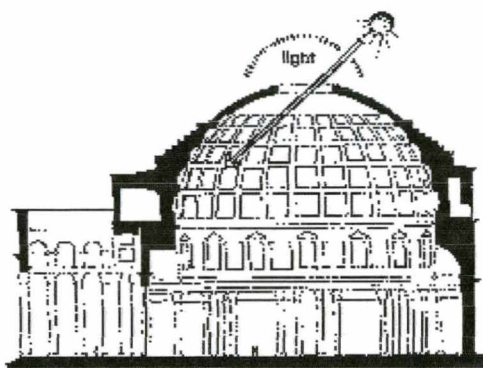
Em seguida, será destacada a iluminação zenital, objeto de estudo do presente trabalho, como critério de projeto de iluminação natural.

## 2.4 Iluminação Zenital

A iluminação zenital, segundo ROBBINS (1986), é aquela onde a luz natural penetra no ambiente através de aberturas situadas no teto, as quais geralmente fazem parte da cobertura da edificação. Essas aberturas podem ser tanto um simples buraco no

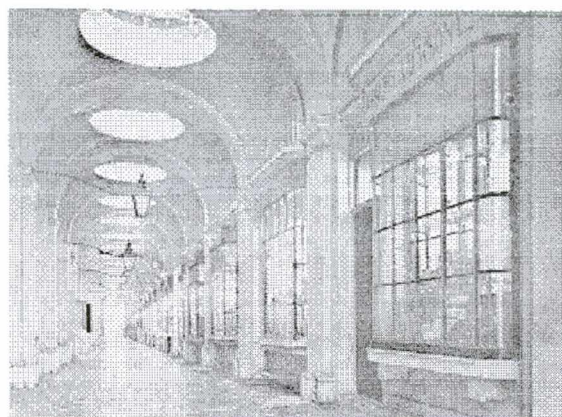


teto como no Panteon em Roma, construído no segundo século da era cristã (Figura 2-4), como domos circulares de vidro no Royal Opera Arcade, em Londres, construído em 1790 (Figura 2-5).



Fonte : FLETCHER (1975) apud MOORE (1991)

**FIGURA 2-4 – Panteon, Roma.**



Fonte: MASCARÓ (1983)

**FIGURA 2-5 – Royal Opera Arcade, Londres.**

CHICHERCHIO (1978) observa que a decisão pelo uso da iluminação zenital pode ser tomada tanto por aspectos objetivos, quanto subjetivos, em função do efeito que se espera obter. Em muitos casos representa a única solução, em consequência das limitações dos demais conceitos.

#### **2.4.1 Classificação das Aberturas Zenitais**

As aberturas zenitais podem ser classificadas em (i) clarabóia, (ii) monitor, (iii) dente-de-serra, (iv) teto transparente, (v) domo e (vi) lanternim.

- **Clarabóia**

É uma abertura vertical ou inclinada construída no teto. Ela permite uma penetração zenital da luz natural no ambiente, podendo evitar e/ou alterar a direção da radiação solar direta, como pode ser vista na Figura 2-6.

- **Monitor**

Um monitor é uma seção elevada do telhado; consiste de uma cumeeira com aberturas verticais, como na Figura 2-7. Geralmente seu comprimento é semelhante ao do ambiente interno.



Fonte: BAKER et al. (1993)

**FIGURA 2-6 – Exemplo de Clarabóia.**



Fonte: BAKER et al. (1993)

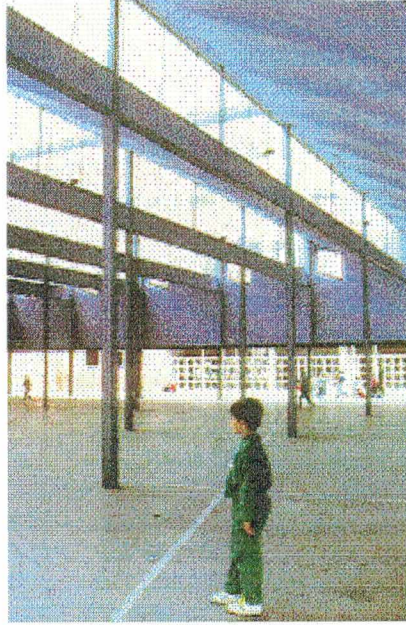
**FIGURA 2-7 – Exemplo de Monitor.**

#### •Dente-de-serra

As aberturas dente-de-serra são formadas por sucessivas aberturas paralelas, verticais ou inclinadas, com cobertura inclinada na orientação oposta. Seu uso é muito comum em fábricas e ambientes com grandes vãos, como é mostrado na Figura 2-8.

As aberturas dente-de-serra, de acordo com CINTRA DO PRADO (1962), são eficientes para iluminar especialmente as partes centrais dos edifícios largos. Quando corretamente projetadas, segundo MASCARÓ e VIANA (1980), essas aberturas fornecerão uma iluminação difusa, evitando aos operários o ofuscamento provocado pela luz solar direta, para regiões subtropicais, quando orientadas para o Sul, exceto no verão.

SOLOVYOV e SPIRIDONOV (1991) observam que aberturas zenitais tipo dente-de-serra podem ser usadas em regiões tanto ensolaradas, quanto com céu encoberto, contudo são especialmente vantajosas quando existe a disponibilidade de luz solar.

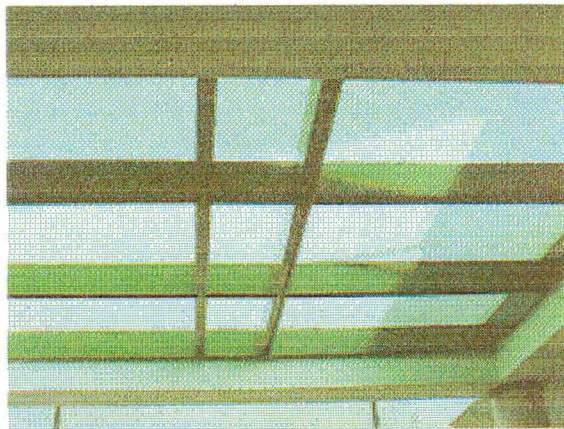


Fonte: BAKER et al. (1993)

**FIGURA 2-8 – Exemplo de abertura dente-de-serra.**

- **Teto transparente**

É definido como uma abertura horizontal construída com material translúcido, separando o meio interior do ambiente externo, como exibido na Figura 2-9.

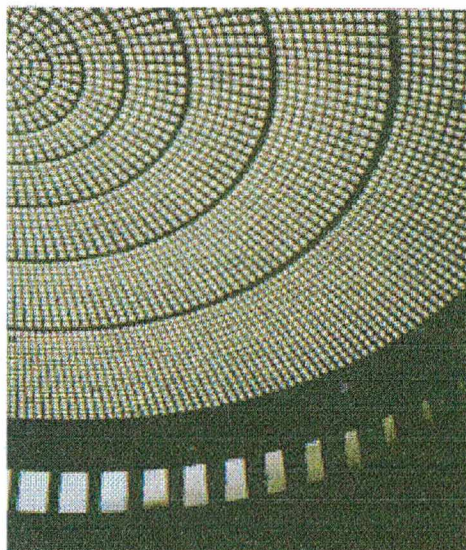


Fonte: BAKER et al. (1993)

**FIGURA 2-9 – Exemplo de teto transparente.**

- **Domo**

Abertura formada por uma superfície hemisférica. Pode ser construída com material opaco com perfurações, como na Figura 2-10, ou ser totalmente de material translúcido.

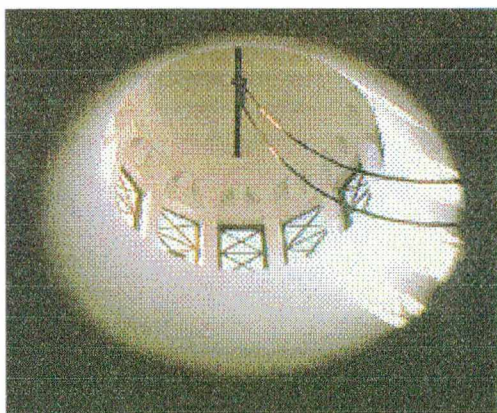


Fonte: BAKER et al. (1993)

**FIGURA 2-10 – Exemplo de domo.**

• **Lanternim**

É uma elevação de parte do telhado, normalmente no ponto mais alto, como visto nas Figuras 2-11 e 2-12, com aberturas verticais para a entrada de luz.



Fonte: BAKER et al. (1993)

**FIGURA 2-11 – Exemplo de lanternim.  
Vista interna.**



Fonte: BAKER et al. (1993)

**FIGURA 2-12 – Exemplo de lanternim.  
Vista externa.**

## 2.4.2 Características da Iluminação Zenital

Dentre as características da iluminação zenital ressaltadas por PUPPO e PUPPO (1972), PRITCHARD (1985), LAM (1986), ROBBINS (1986), MOORE (1991), MOORE (1993) e ENERGY RESEARCH GROUP (1994), uma das principais é a de proporcionar uma iluminação uniforme, além de atingir áreas não iluminadas pelas

aberturas laterais em ambientes profundos, aspecto esse ressaltado também por LYNES (1968).

Por outro lado, AROZTEGUI (198-?) observa que a iluminação zenital pode produzir ambientes excessivamente uniformes, que na opinião de HARPER (1981) reduz ao mínimo o contraste luz/sombra, base para a localização dos objetos e para a perspectiva. Contudo AROZTEGUI (198-?) ressaltava que a iluminação zenital possui qualidades expressivas imprescindíveis para a obtenção de certos efeitos.

Outro aspecto levantado é a possibilidade de uma maior área desobstruída, tanto externamente (entre a abóbada celeste e a abertura), quanto internamente (entre a abertura e o plano de trabalho), o que também é enfatizado por EDMONDS et al. (1996), que ressaltam serem as aberturas zenitais as que iluminam as áreas de trabalho de forma mais natural, isto é, de cima para baixo.

O fato de a luz zenital produzir uma iluminação difusa e uniformemente distribuída foi a justificativa encontrada por ARESTEH et al. (1985) para explicar a grande diferença de desempenho entre aberturas laterais e zenitais, quanto à distribuição de iluminâncias no plano de trabalho. Enquanto para aberturas laterais a diferença entre os valores máximos e mínimos chega a até quatro vezes, para as zenitais essa diferença fica na ordem dos 50%.

O ENERGY RESEARCH GROUP (1994) afirma que uma abertura zenital capta três vezes mais luz da abóbada celeste que uma abertura lateral, uma vez que o céu encoberto geralmente tem mais brilho no zênite que no horizonte. MOORE (1991) por sua vez afirma que para iluminar um plano horizontal as aberturas zenitais têm um melhor desempenho que as laterais, uma vez que o efeito da redução da iluminância pela lei do co-seno, é menor.

ROBBINS (1986) destaca que o conceito de iluminação zenital é geralmente o que apresenta maior facilidade de integração com a iluminação artificial, uma vez que em ambos os casos a luz chega ao plano de trabalho a partir do teto.

GIVONI (1976) lembra que em países de clima quente é comum a compreensão de que a cobertura é o principal elemento de aquecimento de uma edificação, o que é verdadeiro na maioria dos casos, porém pode ser minimizado através de um projeto eficiente, aspecto esse ressaltado também por MASCARÓ e MASCARÓ (1992). Daí, um dos grandes desafios, no projeto de aberturas zenitais, observado por LAM (1986), é

a otimização da relação entre o ganho de luz e de calor, para situações que variam a cada dia e a cada estação. ROGERS (1964) por sua vez, ressalta as dificuldades num projeto de coberturas, devido à necessidade de se levar em conta diversos fatores independentes entre si, como a transferência de calor, a iluminação e até infiltrações de água.

Dentre as desvantagens do uso de aberturas zenitais, o ENERGY RESEARCH GROUP (1994) levanta que, comparadas com janelas verticais, elas coletam mais luz e calor no verão que no inverno, normalmente o inverso do que seria desejado. No entanto, LAM (1986) observa que esse fato não é observado em regiões equatoriais onde a diferença entre as estações é pequena. Em regiões de alta latitude, deve-se adotar sistemas de clarabóia, dente-de-serra ou lanternim, os quais podem ser direcionados para a orientação mais adequada.

O ofuscamento é outro problema que pode ser gerado caso o sistema de abertura seja composto por um envidraçamento transparente. Esse problema reduz-se com o uso de meios de transmissão difusos ou com a obstrução da insolação direta. COURRET et al. (1994) apresentam um conceito de iluminação zenital, denominado *amidólico*, que garante uma proteção total contra a radiação direta do sol, permitindo a penetração da luz difusa da abóbada celeste, através do uso de elementos parabólicos reflexivos, que selecionam a entrada da radiação luminosa no ambiente interno.

Outra limitação acentuada por LAM (1986) e ROBINS (1986) é o seu uso restrito em edificações com vários pavimentos, uma vez que pode apenas iluminar um ou dois andares. Para outras situações tornam-se necessários sistemas de átrios e pátios de iluminação.

## 2.5 Ferramentas de Avaliação do Desempenho da Luz Natural

Os projetistas necessitam de ferramentas que permitam a avaliação do provável desempenho de suas escolhas no projeto. Esse desempenho, no caso da iluminação natural, pode ser classificado, segundo BAKER et al. (1993), em duas categorias: desempenho ambiental e desempenho energético. O primeiro diz respeito à qualidade do ambiente luminoso do ponto de vista das reações humanas e o segundo às necessidades de consumo de energia a fim de tornar o ambiente confortável para os ocupantes.

BAKER et al. (1993) também agrupam as ferramentas de avaliação em 3 grupos:

- modelos físicos em escala

- ferramentas simplificadas
- códigos computacionais

### 2.5.1 Modelos Físicos em Escala

Os modelos físicos em escala, ou maquetes, de acordo com BAKER et al. (1993), são uma ferramenta de projeto muito familiar para os arquitetos. Normalmente usados para visualizar a forma final do projeto, suas fachadas e espaços internos, os modelos físicos em escala permitem uma avaliação eficiente do desempenho luminoso de um ambiente, através da inserção de sensores e da sua exposição a uma fonte de luz, que pode ser tanto um céu artificial, como a própria abóbada celeste.

Em iluminação – diferentemente da condução térmica, acústica e ventilação – o uso desses modelos em escala reduzida não provoca, afirmam MOORE (1991) e BAKER et al. (1993), a necessidade de correção nos resultados encontrados. Isso acontece porque os comprimentos de onda da luz visível são significativamente menores que as dimensões do modelo em escala, como consequência, a propagação da luz no ambiente reduzido não é afetada.

Segundo LITTLEFAIR (1989), o uso de modelos em escala é indicado quando:

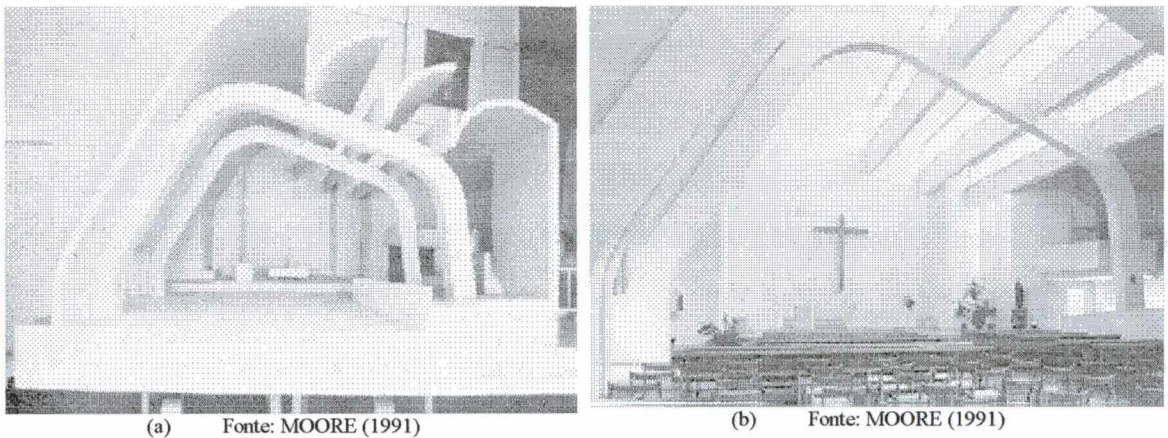
- A edificação tem geometria complexa;
- A admissão da luz no ambiente ocorre de maneira incomum, como através de reflexões e refrações excessivas;
- O impacto visual do interior necessita ser avaliado diretamente;
- Modelos computacionais ou outros métodos de cálculo precisam ser validados.

Através de modelos em escala, é possível avaliar, segundo ROBBINS (1986), tanto o desempenho quantitativo, quanto qualitativo de um sistema de iluminação natural, sendo possível inclusive se obter fotografias e filmagens do ambiente em estudo. MOORE (1991) ressalta a facilidade de se fazer comparações através da mudança de simples componentes do projeto e lembra que as maquetes são um instrumento familiar à grande maioria dos profissionais da área.

Um dos aspectos positivos levantados por BAKER et al. (1993) e SCHILER (1987) é possibilidade de simular configurações e geometrias complexas, impossível nas ferramentas simplificadas e restrita a poucos códigos computacionais. ENERGY

RESEARCH GROUP (1994) observa que, nesses casos deve-se usar modelo em escala real, isso é 1:1, no sentido de minimizar eventuais imprecisões.

MOORE (1991) alerta para o cuidado que deve ser tomado no uso dos modelos para avaliar a luz natural. É fundamental que a exposição ao céu e a geometria das obstruções sejam precisas. O uso de modelos com a retirada do teto ou de uma das paredes, como nas Figura 2-13a e 2-13b, obviamente admite uma entrada indevida de luz e portanto não deve ser adotado. Outra situação levantada por MOORE (1991) é que a admissão de câmara fotográfica ou da própria cabeça do observador traz influência no comportamento da iluminação, devendo seus efeitos serem contemplados.



**FIGURA 2-13 – Igreja projetada por Alvar Aalto, na foto à esquerda (a) o modelo em escala seccionado, na foto à direita (b) a igreja construída.**

Como aspectos negativos, BAKER et al. (1993) salientam o custo da montagem do modelo, a dificuldade de reproduzir fielmente todos as peças necessárias, além de que nem sempre é possível alterar facilmente certos detalhes para otimização do projeto. Também é ressaltado que a integração com a luz artificial torna-se inviável em modelos reduzidos, pois embora a intensidade da luz artificial possa ser simulada, o mesmo não ocorre com a distribuição de luminâncias das luminárias. Esse problema pode ser resolvido com o uso de protótipos em escala real.

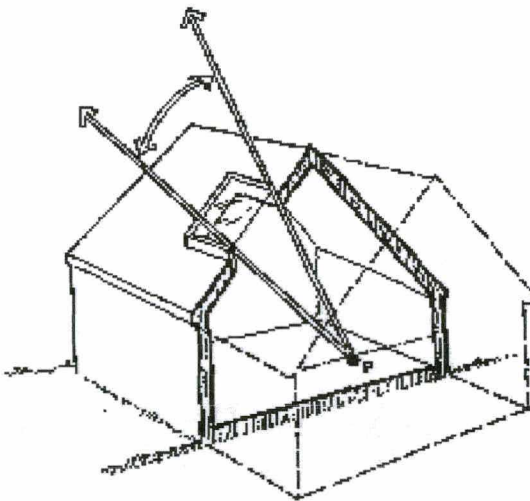
Por sua vez, SVENDENIUS e PERTOLA (1995) enfatizam ainda o problema do tempo de produção das maquetes, bem como da inviabilidade de execução de determinados ambientes em modelo reduzido. MOORE (1993) ainda acrescenta a necessidade do uso de instrumentos de precisão, bem como de céu artificial ou clima adequado para medições a céu aberto.



## 2.5.2 Ferramentas Simplificadas

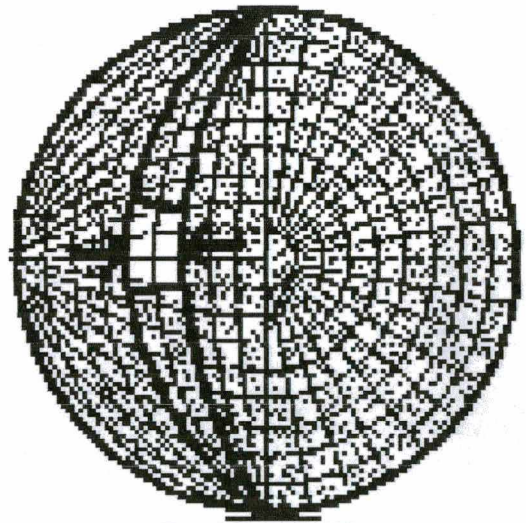
São instrumentos que permitem ao projetista uma avaliação rápida e aproximada do comportamento da iluminação natural em um determinado projeto. Segundo BAKER et al. (1993) essa é a grande vantagem dos métodos simplificados. São ferramentas adequadas ao cálculo da componente direta, porém apresentam alguma dificuldade quanto à componente indireta. Por outro lado, normalmente chegam a resultados aproximados, que para certas situações podem incorrer em um erro significativo de avaliação. No entanto WILKINSON (1992) conclui que sob certas circunstâncias o uso de métodos simplificados é adequado. Tais circunstâncias podem ser uma análise rápida da iluminância na fase de ante-projeto, ou até uma situação onde as hipóteses assumidas são adequadas àquelas estabelecidas pelo método simplificado.

As ferramentas simplificadas podem ser (i) matemáticas como, por exemplo, o método dos lúmens, (ii) gráficas como, por exemplo, o diagrama de pontos (Figura 2-16), diagrama de Waldram ou nomogramas ou (iii) tabulares.



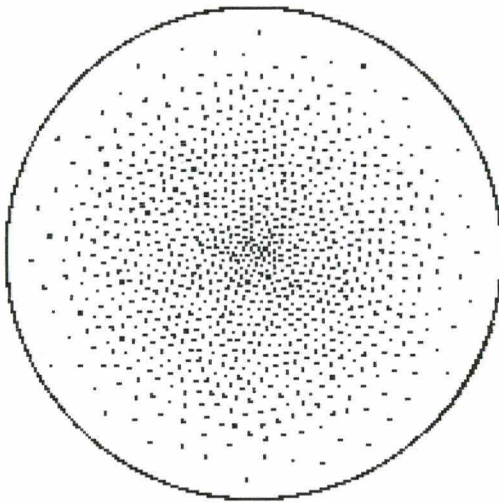
Fonte: MOORE (1991)

**FIGURA 2-14 – Seção de uma edificação com abertura zenital.**



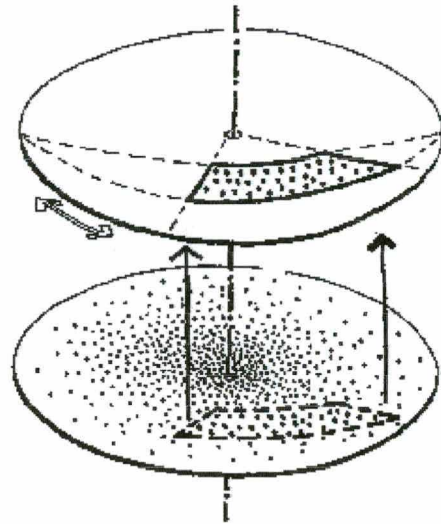
Fonte: MOORE (1991)

**FIGURA 2-15 – Transferidor.**



Fonte: MOORE (1991)

**FIGURA 2-16 – Diagrama de pontos para céu encoberto.**



Fonte: MOORE (1991)

**FIGURA 2-17 – Usando o diagrama de pontos para estimar a componente difusa.**

Em seguida é apresentado um exemplo do uso do diagrama de pontos, para estimar a componente difusa da iluminação natural. Na Figuras 2-14 é mostrada uma edificação com abertura zenital. Inicialmente, desenha-se a máscara de sombra com o auxílio de um transferidor (Figura 2-15). Sequencialmente, na Figura 2-17, é feita a sobreposição da máscara de sombra com o diagrama de pontos. Contando-se o número de pontos disponíveis é possível obter-se a componente difusa multiplicando-se esse valor por 0,1% da iluminância externa no plano horizontal.

### 2.5.3 Códigos Computacionais

Os códigos computacionais são uma ferramenta de avaliação baseada no processo de modelagem abstrata do ambiente real. Utiliza equações matemáticas para simular os fenômenos físicos, além de um banco de dados com informações auxiliares, como dados climáticos.

Os programas de computador desempenham, segundo SVENDENIUS e PERTOLA (1995), um importante papel no sentido de auxiliar os projetistas, sendo ressaltado que um programa que simule com exatidão um ambiente pode economizar dinheiro, tempo e energia profissional. EVANS (1995) observa que o fenômeno de emissão e propagação da radiação luminosa é bem descrito pelo processo de simulação numérica computacional.

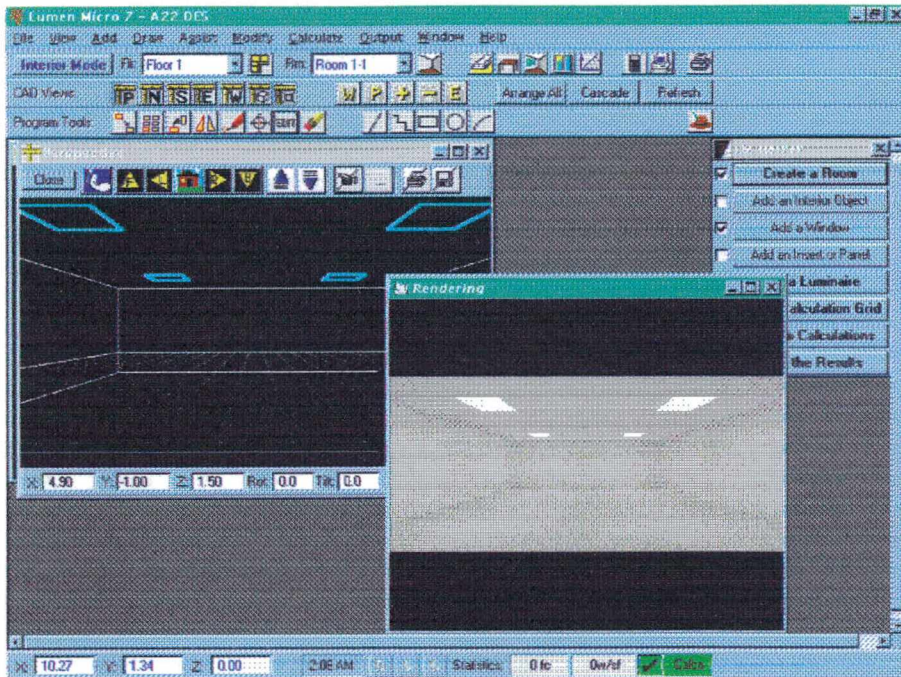
A validação dos programas de computador é uma tarefa importante a ser executada. MARDALJEVIC (1995) fez um estudo criterioso do programa Radiance®, chegando à conclusão de que a iluminância interna de um ambiente pode ser prevista, com alto grau de precisão, através do uso do programa.

Sobre a maioria dos programas existentes no mercado, SVENDENIUS e PERTOLA (1995) levantavam como preocupações que (i) eram fáceis de manusear, porém são desenvolvidos para máquinas com tecnologia atrasada; (ii) calculavam poucos parâmetros de avaliação da iluminação; (iii) não processavam ambientes com geometria complexa e (iv) não analisavam iluminação natural, nem fluxo de energia.

Por conseguinte, eles traçaram diretrizes para o desenvolvimento de novos programas, que devem:

- Ser aptos a calcular tanto a iluminação artificial quanto a natural;
- Analisar o fluxo de energia da edificação;
- Conter algoritmos que produzam resultados com erros pequenos, com um tempo de processamento reduzido;
- Processar ambientes com geometria complexa, bem como com móveis e outros objetos;
- Permitir o uso de qualquer tipo de luminária existente no mercado;
- Calcular a iluminância em qualquer direção, luminância de todas as superfícies, fator de contraste em direção e superfície definidas pelo usuário, fator de redução de contraste, índice de ofuscamento em qualquer direção ou posição e desempenho visual ou desempenho visual relativo;
- Ter integração com programas tipo CAD;
- Produzir relatórios de saída amigáveis aos usuários e leigos.

Dentre os programas analisados, SVENDENIUS e PERTOLA (1995) relevam o Lumen Micro® (na Figura 2-18, exemplo de tela do programa) e o Adeline® – um pacote com 4 programas: Scribe®, Superlite®, Superlink® e Radiance® – como os que têm o potencial de atender às diretrizes propostas. ERHORN et al. (1995), por outro lado, ressaltam a versatilidade e as potencialidades do Adeline®. Já no levantamento executado pela IESNA (1993b), são destacados os seguintes programas com o potencial de executar análises de iluminação natural: LightCad®, Controlite®, Radiance®, Superlite® e Lumen Micro®.



**FIGURA 2-18 – Tela do Programa Lumen Micro®**

MOORE (1991) e BAKER et al.(1993) classificam os programas em função da plataforma necessária para processamento. No entanto, BAKER et al.(1993) afirmam que devido à tecnologia na área de códigos computacionais evoluir rapidamente, essa classificação pode ser alterada com a migração para microcomputadores de códigos computacionais inicialmente desenvolvidos para computadores de grande porte.

## 3. METODOLOGIA

3.1 Escolha do Método de Levantamento dos Valores de Iluminância nos Ambientes.....	31
3.1.1 Escolha do Sistema de Simulação .....	32
3.2 Definição do modelo.....	33
3.2.1 Padrões de Ambiente .....	33
3.2.2 Modelos de Ambiente .....	34
3.2.3 Conjuntos de Refletividades.....	37
3.2.4 Parâmetros do Modelo.....	37
3.3 Coleta dos Valores de Iluminância .....	38
3.4 Processamento e Análise dos Dados .....	38
3.4.1 Método Gráfico .....	39
3.4.2 Método Analítico.....	41
3.4.3 Correlação entre o Método Gráfico e o Método Analítico.....	45

Este capítulo descreve os procedimentos metodológicos empregados na execução da pesquisa. Inicia esclarecendo o motivo da escolha da simulação computacional através do Lumen Micro® V 6.0 como ferramenta para levantamento dos valores de iluminância nos Ambientes<sup>2</sup> estudados. Logo após, apresenta o modelo para as simulações e o processo de coleta dos valores de iluminâncias. Em seguida, descreve dois métodos de processamento e análise dos dados: o Método Gráfico e o Método Analítico, concluindo com a apresentação de um processo de correlação entre o Método Gráfico e o Método Analítico.

### **3.1 Escolha do Método de Levantamento dos Valores de Iluminância nos Ambientes**

A escolha do método de levantamento dos valores de iluminância nos Ambientes leva em conta os seguintes fatores: (i) eficiência de cálculo, (ii) viabilidade financeira, (iii) tempo de execução, (iv) facilidade de levantamento dos dados e (v) facilidade de processamento dos dados.

A partir dessas premissas, são analisados três métodos gerais: as ferramentas simplificadas, os modelos em escala e a simulação computacional.

Baseado nas condições iniciais, excluem-se as ferramentas simplificadas, uma vez que os resultados são normalmente aproximados e limitados, além de exigirem um tempo de execução de cálculo demasiadamente longo.

Os modelos em escala não são utilizados em virtude (i) da não disponibilidade de céu artificial, o que condicionaria a execução da pesquisa às condições climáticas reais do local, criando necessidade de uma quantidade significativa de medições a fim de se conseguir dados estatisticamente confiáveis; (ii) da necessidade de sensores para uma grande quantidade de pontos, a fim de se possibilitar o estudo da distribuição de iluminâncias no Ambiente; (iii) do tempo necessário para execução do modelo.

No que diz respeito à simulação computacional, apesar dos dados gerados por esse método serem virtuais, a utilização de um sistema computacional já testado e que

---

<sup>2</sup> Sempre que a inicial for maiúscula corresponde à definição do glossário.

use algoritmos consolidados permite a obtenção de números significativos. Por outro lado, como o objetivo desse trabalho é comparativo, qualquer distorção que porventura aconteça nos dados será diluída pelo tratamento relativo a que os mesmos estarão sujeitos, uma vez que as coletas dos valores de iluminância para cada Padrão, Modelo e Conjunto de Refletividades serão executadas de forma idêntica e posteriormente comparadas entre si. Outro aspecto a ser ressaltado é a facilidade de obtenção de dados para uma grande variedade de modelos, com rapidez e eficiência.

Torna-se portanto o método computacional a alternativa escolhida.

### **3.1.1 Escolha do Sistema de Simulação**

Dentre os programas existentes, que processam os cálculos para a iluminação natural, tinham-se disponíveis: o Daylight® V3.2, o Superlite® V2.0, o Radiance® V2.3 e o Lumen Micro® V6.0.

O Daylight® V3.2 mostrou-se um programa extremamente limitado à atividade de pesquisa, visto que processa a iluminância apenas para céu encoberto, além de uma série de outras limitações geométricas e de cálculo. O Superlite® V2.0, apesar de mais poderoso que o Daylight® V3.2, apresentou limitações na entrada de dados e não tem algoritmo para céu parcialmente encoberto, que é o desejado para padronização do modelo, bem como não gera a iluminância média do ambiente, segundo BELLIA et al. (1993). O Radiance® V 2.3, muito superior aos demais, apresentou-se como a ferramenta mais poderosa no estudo da iluminação natural, sobretudo pelas facilidades gráficas e algoritmos que combinam a reflexão difusa com a especular, ressaltado por SVENDENIUS e PERTOLA (1995) e MARDALJEVIC (1995). Todavia, foram detectados dois problemas relevantes para esse trabalho: (i) a plataforma necessária – estações de trabalho baseadas em sistema Unix – e (ii) a complexidade do programa, cujas potencialidades suplantam em muito àquelas necessárias para a execução da presente pesquisa. BURGNER (1997) confirma ao ressaltar que essa complexidade torna o programa difícil de ser executado por exigir, além da plataforma já citada, um tempo de cálculo de até 20 horas para situações mais complexas, apesar da precisão de cálculo e qualidade das representações gráficas.

O Lumen Micro V. 6.0® apresentou-se, por conseguinte, como a ferramenta adequada, uma vez que reúne uma série de facilidades significativas, destacando-se, segundo LUMEN MICRO (1993): (i) o processamento para céus claro, encoberto e

sobretudo o parcialmente encoberto, escolhido como padrão; (ii) a interface com CAD, que facilita o trabalho de modelagem gráfica dos resultados; (iii) o cálculo da iluminância no plano horizontal, tanto ponto a ponto, como através de resumos estatísticos necessários e (iv) a saída de dados por relatórios tabulados, gráficos de curvas isolux e apresentação tridimensional da distribuição de luz no ambiente pesquisado.

Por outro lado, o programa também manifesta algumas limitações como (i) o processamento da reflexão apenas em superfícies lambertianas, totalmente difusoras e portanto refletindo a mesma intensidade de radiação em todas as direções, e (ii) não tratar a refletividade da superfície da cobertura, limitando a possibilidade de processamento de protetores solares zenitais.

Contudo, as referidas limitações não inviabilizam a utilização do programa neste trabalho, uma vez que não são utilizados elementos externos de proteção solar e a admissão de luz no ambiente acontece de forma plenamente difusa, reduzindo a importância do cálculo da reflexão especular nas superfícies internas.

## 3.2 Definição do modelo

A partir da definição preliminar de um projeto piloto, executou-se uma série de experiências onde as opções disponíveis pelo programa de simulação foram analisadas com o objetivo de avaliar suas potencialidades e possíveis restrições existentes. Como consequência houve a definição de um modelo para as simulações.

### 3.2.1 Padrões de Ambiente

São definidos quatro Padrões<sup>3</sup> de Ambiente com mesma área superficial e pé-direito, porém variando as dimensões da largura e comprimento, como exposto na Figura 3-1. Os Padrões são denominados por letras maiúsculas (A, B, C e D), conforme Tabela 3-1. Um dos Padrões tem formato quadrangular e os demais são retangulares.

Essa variação tem como objetivo analisar a influência da forma do recinto na distribuição de iluminâncias no Ambiente, sendo para tal definido o *alongamento*, que é o processo de transformação geométrica de um quadrado em retângulo, mantendo-se a mesma área. O processo de *alongamento* é tão maior, quanto maior for a relação  $c:l$  de

---

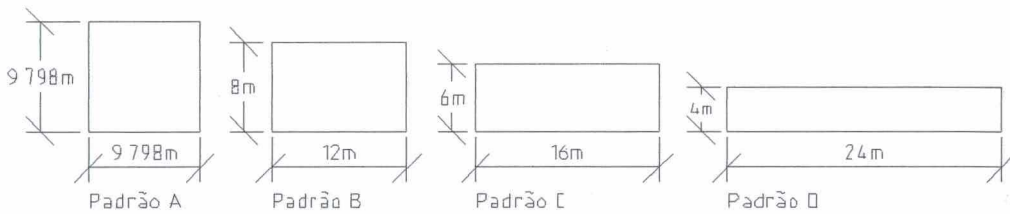
<sup>3</sup> Sempre que a inicial for maiúscula corresponde à definição descrita nessa seção.



cada figura, sendo  $c$  (comprimento) o lado maior e  $l$  (largura) o lado menor do retângulo.

**TABELA 3-1 – Dimensões dos Padrões de Ambientes de Estudo**

Padrão	Largura (m)	Comprimento (m)	$c:l$	Pé-direito (m)	Área (m <sup>2</sup> )
A	9,798	9,798	1,00	3,00	96,00
B	8,000	12,000	1,50	3,00	96,00
C	6,000	16,000	2,67	3,00	96,00
D	4,000	24,000	6,00	3,00	96,00



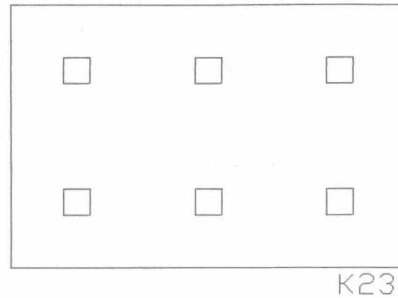
**FIGURA 3-1 – Padrões de Ambientes**

### 3.2.2 Modelos de Ambiente

A definição dos Modelos<sup>4</sup> de Ambiente leva em conta a obtenção de uma avaliação comparativa da distribuição de iluminâncias para diferentes tipologias de aberturas zenitais, mantendo-se a fonte de luz (aberturas zenitais) com a mesma área, estabelecida em 4% da superfície do piso.

A codificação dos Modelos dos Ambientes adota como referência a nomenclatura  $nm$ , sendo  $n$  correspondente ao número de linhas de aberturas zenitais (seqüências de aberturas paralelas ao eixo X) e  $m$  o número de colunas de aberturas zenitais (seqüências de aberturas paralelas ao eixo Y). Para melhor compreensão observar na Figura 3-2 um exemplo da distribuição das aberturas para o Modelo 23.

<sup>4</sup> Sempre que a inicial for maiúscula corresponde à definição descrita nessa seção.



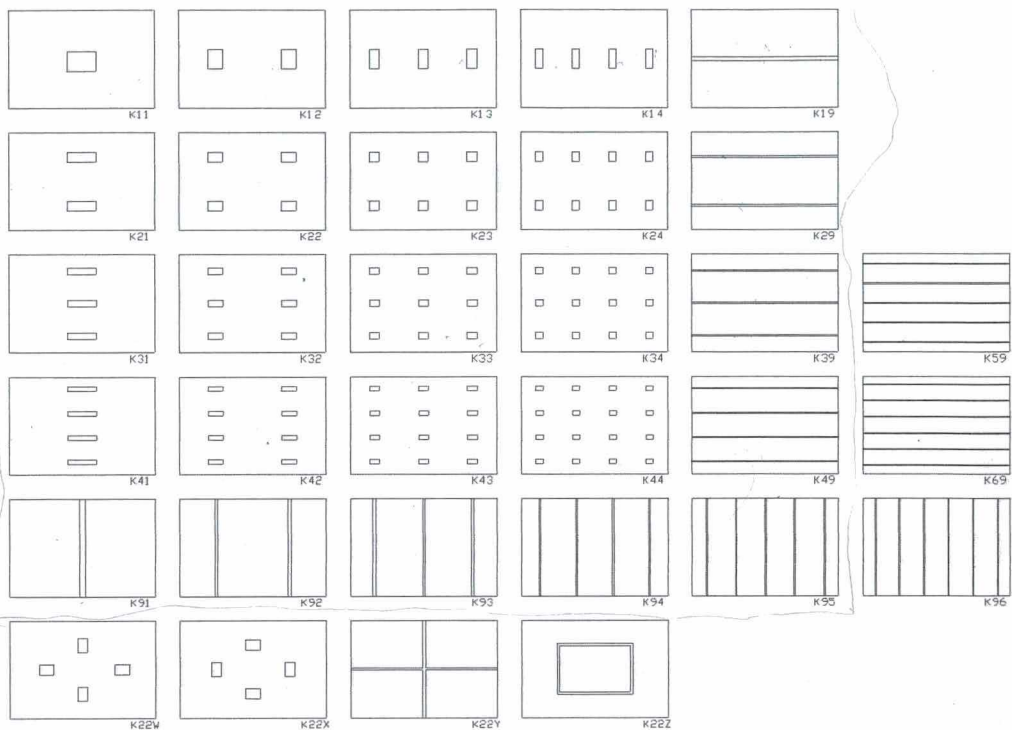
**FIGURA 3-2 – Exemplo de distribuição das aberturas zenitais para o Modelo 23**

Para facilitar a análise, define-se que, para aberturas com uma das dimensões (largura ou comprimento) equivalente à dimensão total do Ambiente, o valor de  $n$  ou  $m$  será 9. Para os casos de Ambientes com valores iguais para  $n$  e  $m$ , será acrescentada ao final do código uma letra em maiúsculas (W, X, Y ou Z) para distinguir o referido Padrão.

Para cada Padrão de Ambiente, é utilizada a distribuição geométrica para os Modelos de aberturas zenitais, descrita na Figura 3-3, onde K representa o Padrão A, B, C ou D.

A distribuição das aberturas zenitais obedece a um critério de simetria. Cada Ambiente é dividido em tantas partes quantas forem as aberturas projetadas, em linhas e em colunas. Cada área gerada serve de base para o posicionamento centralizado da abertura, tendo as dimensões das aberturas proporcionalidade com as dimensões do Ambiente.

Para os Ambientes K22W, K22X, K22Y e K22Z, procura-se variar essa distribuição, colocando-se as aberturas em forma de cruz (K22W e K22Y) e em forma retangular (K22X e K22Z), sendo que nos casos K22W e K22X são utilizadas dimensões para as aberturas idênticas às dimensões do Padrão K22, enquanto nos casos K22Y e K22Z são colocadas dimensões tendendo a uma área contínua, mantendo-se sempre as áreas de aberturas constantes em 4% da superfície do piso.



**FIGURA 3-3 – Geometria dos Modelos de Aberturas Zenitais**

Com essa distribuição possibilita-se estudar a relação do perímetro e da quantidade das aberturas com o desempenho luminoso obtido, através de uma evolução simétrica (K11, K12, K13, K14, K21, K22, K23, K24, K31, K32, K33, K34, K41, K42, K43, K44). Por outro lado, torna-se possível observar a influência da distribuição de aberturas contínuas em linhas (K19, K29, K39, K49, K59, K69) ou colunas (K91, K92, K93, K94, K95, K96). Além disso, acrescentou-se quatro distribuições (K22W, K22X, K22Y, K22Z) para uma análise específica para Ambientes com quatro aberturas. Com isso permite-se uma análise mais abrangente do comportamento das demais variáveis, a partir da fixação de uma delas, no caso a quantidade de aberturas.

Faz-se importante frisar que o Modelo 22W não se aplica ao Padrão D, uma vez que para manter as dimensões estabelecidas para as aberturas seria necessário um valor para  $l$  (largura) maior que o determinado para o Padrão. Por outro lado, no Padrão A, os Modelos simétricos apresentam a mesma geometria de aberturas (ex.: A21 = A12), em função do formato quadrangular.

No sentido de automatizar os cálculos das localizações das aberturas por Modelo, é desenvolvida uma planilha, em Microsoft Excel®. Essa planilha permite a localização de todos os pontos necessários para o processamento, podendo-se variar as dimensões do Ambiente, bem como o percentual da área de abertura. Seu código fonte está no Apêndice I.

### 3.2.3 Conjuntos de Refletividades

São definidos dois Conjuntos de Refletividades<sup>5</sup> para paredes, piso e teto, conforme a Tabela 3-2.

**TABELA 3-2 – Conjuntos de Refletividades**

	Paredes	Teto	Piso
REF 1	0,9	0,9	0,7
REF 0	0,0	0,0	0,0

O Conjunto de Refletividades REF 1 representa uma situação comum em regiões equatoriais, enquanto REF 0 representa a situação extrema de refletividade nula em todas as superfícies. Com esses parâmetros, torna-se possível a coleta de informações que permitem um estudo preliminar da influência da refletividade das superfícies internas na distribuição de iluminâncias no Ambiente.

### 3.2.4 Parâmetros do Modelo

Os parâmetros do modelo foram definidos procurando valorizar a influência das variáveis estudadas, evitando influências paralelas.

O local da pesquisa tem latitude 0° (Equador) e longitude 45° (Meridiano de Brasília), enquanto o dia básico para processamento é o equinócio de 21 de março, às 12 horas, horário solar. Não há obstruções entre a abóbada celeste e as aberturas zenitais. O Ambiente, por sua vez, tem o Norte Verdadeiro perpendicular ao lado de maior dimensão. Com isso temos o sol no zênite e uma geometria solar totalmente simétrica.

O tipo de céu escolhido é o parcialmente encoberto que, segundo MASCARÓ (1985), tem a abóbada celeste formada por nuvens em 1/3 a 2/3 da superfície total. Por

<sup>5</sup> Sempre que as iniciais forem maiúsculas aplica-se a definição dessa seção.

outro lado, MASCARÓ (1983) afirma que esse é o tipo de céu mais freqüente em regiões equatoriais. Não há iluminação lateral e as aberturas zenitais são isoladas por um envidraçamento de transmissividade 45% e refletividade 35%, composto de material perfeitamente difusor. O albedo utilizado é de 0,20, sugerido por HOPKINSON et al. (1975). O Ambiente não tem divisórias, nem móveis, evitando assim sua influência na obstrução e reflexão da luz no interior do Ambiente.

Para o cálculo da iluminância, é definido o plano de trabalho a 0,75m de altura do piso, segundo ABNT (1991a).

### **3.3 Coleta dos Valores de Iluminância**

A coleta dos valores de iluminância é desenvolvida a partir de uma grade de 400 pontos por Ambiente, distribuídos proporcionalmente. Através do programa Lumen Micro®, obtém-se o valor da iluminância, em lux, para cada um dos 400 pontos. Em seguida realiza-se um estudo estatístico preliminar dos dados coletados, através do próprio Lumen Micro, a fim de se obter a iluminância média ( $E_m$ ) e o desvio padrão da amostra ( $s$ ) para cada Padrão, Modelo e Conjunto de Refletividades.

Por outro lado, vale ressaltar que todos os valores absolutos de iluminância para cada situação podem ser ajustados a fim de se atingir uma iluminância média adequada a um Ambiente específico em estudo. Para isso torna-se suficiente aumentar ou diminuir a área das aberturas zenitais, mantendo-se a proporcionalidade na distribuição das aberturas.

### **3.4 Processamento e Análise dos Dados**

Os dados são processados e analisados através de dois métodos: (i) Método Gráfico e (ii) Método Analítico. O Método Gráfico é desenvolvido com vistas a se conseguir uma visualização dos resultados mais próxima àquela que os projetistas costumam trabalhar no seu dia-a-dia, tendo como base uma avaliação qualitativa. Por sua vez, o desenvolvimento do Método Analítico leva em consideração a necessidade de um instrumento baseado em uma avaliação quantitativa, fundamentada em referenciais estatísticos, que sirva de contraponto ao Método Gráfico.

Como fechamento, desenvolve-se uma correlação entre o Método Gráfico e o Método Analítico, procurando classificar os resultados estatísticos alcançados, a partir de conceitos qualitativos, variando do ótimo ao insuficiente.

É importante denotar que ambos os métodos de avaliação, desenvolvidos neste trabalho, podem ser utilizados para o estudo genérico de distribuição de iluminâncias em ambientes iluminados quer artificial, quer naturalmente, não aplicando-se apenas aos objetivos específicos desta dissertação.

### **3.4.1 Método Gráfico**

O Método Gráfico consiste em um mapeamento da iluminância no plano de trabalho de cada Ambiente estudado. Esse mapeamento é definido por curvas isolux, que delimitam 3 regiões com determinadas características do ponto de vista da distribuição de iluminâncias: (i) Região  $\alpha$ , com iluminância excessiva, que poderia ser evitada, em regiões de clima quente, para não fomentar um incremento no ganho de calor interno; (ii) Região  $\beta$ , com iluminância suficiente e (iii) Região  $\chi$ , com iluminância insuficiente, necessitando portanto de adição de iluminação complementar, quer natural, quer artificial.

#### **3.4.1.1 Escolha do Parâmetro de Desempenho**

Segundo CAMOUS (1972) apud PEREIRA e CUNHA NETO(1988), o conceito de desempenho é o elo de ligação entre a identificação de uma necessidade do usuário e a proposição de uma solução física que satisfaça esta necessidade.

A fim de avaliar-se graficamente o desempenho do Ambiente quanto à distribuição de iluminâncias torna-se necessário o mapeamento do plano de trabalho em regiões com intervalo de iluminância definidos a partir de um critério qualitativo.

O referido critério levanta um limite mínimo, abaixo do qual a iluminância será considerada insuficiente, e um limite máximo, acima do qual a iluminância será considerada excessiva, sendo, por consequência, uma fonte de geração de calor excedente, desnecessário em regiões equatoriais. A partir dessas curvas, formam-se as Regiões  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\chi$ , definidas anteriormente. A Região formada pelos pontos com iluminância considerada excessiva, chama-se Região  $\alpha$ . A Região formada entre as duas curvas limites, denominada Região  $\beta$ , é considerada como de iluminância suficiente. Por fim, a Região com iluminância insuficiente denomina-se Região  $\chi$ .

A definição desses limites é tomada com base na ABNT (1991a), onde recomenda-se que a iluminância em qualquer ponto do campo de trabalho não seja inferior a 70% da iluminância média. Por conseguinte, adota-se como limite inferior da

Região  $\beta$  a iluminância ( $E_{\beta}$ ) correspondente a 70% da iluminância média ( $E_m$ ). Por analogia, para o limite superior, adota-se a iluminância ( $E_+$ ) correspondente a 130% da iluminância média ( $E_m$ ).

A Tabela 3-3 apresenta, sinteticamente, a classificação de iluminâncias por Região de Mapeamento.

**TABELA 3-3 – Classificação de Iluminâncias por Região de Mapeamento**

Iluminância (E)		
Região	Classificação	Intervalo
$\alpha$	Excessiva	$E_{\alpha} > 130\%E_m$
$\beta$	Suficiente	$70\%E_m \leq E_{\beta} \leq 130\%E_m$
$\chi$	Insuficiente	$E_{\chi} < 70\%E_m$

A partir dessa classificação fica estabelecida a Região  $\beta$  como parâmetro da avaliação, pelo Método Gráfico, do desempenho do Ambiente do ponto de vista da distribuição de iluminâncias. Esse desempenho será tão melhor, quanto maior for a Região  $\beta$ .

### 3.4.1.2 Construção do Mapeamento

A fim de gerar-se os mapas de iluminância, são calculados, através da Planilha de Cálculo Excel® os limites de Iluminância Inferior ( $E_{-}$ ) e Iluminância Superior ( $E_{+}$ ), equivalentes, respectivamente, a 70% e 130% da Iluminância Média ( $E_m$ ) do Ambiente.

A partir de então, através do Lumen Micro®, geram-se os gráficos de curvas isolux, em formato DXF, contendo apenas as curvas correspondentes às iluminâncias  $E_{+}$  e  $E_{-}$ , permitindo a definição de cada região ( $\alpha$ ,  $\beta$  ou  $\chi$ ). Posteriormente os gráficos são transportados para o programa AutoCAD®, onde são convertidos para o formato DWG e trabalhados de forma a se obter cores diferenciadas para cada região.

Na seqüência, desenvolve-se um estudo visual dos mapas gerados, para cada Padrão isoladamente, os quais posteriormente serão comparados entre si.

Finalmente, são calculadas as áreas de cada uma das regiões  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\chi$  com o objetivo de auxiliar o projetista no estudo da economia de energia, relacionada à carga de potência de iluminação instalada ( $W/m^2$ ), quer na fase de projeto, quer em reformas ou estudos para redução do consumo de energia em edificações já existentes. Por outro

lado, esse cálculo servirá de referencial para o estudo comparativo entre os Métodos Gráfico e Analítico, propostos por este trabalho. O cálculo das áreas é executado pelo AutoCAD® e seus dados são transferidos para a Planilha de Cálculo Excel®, onde os valores absolutos encontrados para as áreas são transformados em percentuais da área total do Ambiente. Este processo tem como objetivo a generalização deste dado, tendo em vista a sua utilização de forma mais ampla, independente das dimensões absolutas do Ambiente em estudo. Entretanto, é importante destacar que a proporcionalidade entre as dimensões do Padrão deve ser mantida.

### **3.4.2 Método Analítico**

Através do desenvolvimento deste método procura-se criar um instrumento matemático, baseado em princípios estatísticos, que possa ser utilizado diretamente sobre uma amostra representativa de dados de iluminância de um Ambiente, no sentido de se obter uma avaliação do seu desempenho, do ponto de vista da distribuição de iluminâncias do Ambiente em estudo.

#### **3.4.2.1 Escolha do Parâmetro de Desempenho**

A fim de avaliar-se estatisticamente o desempenho do Ambiente quanto à distribuição de iluminâncias torna-se necessária a escolha de uma medida de dispersão de dados. Segundo COSTA NETO (1977), as medidas de dispersão servem para indicar o quanto os dados se apresentam dispersos em torno da região central, caracterizando, por conseguinte, o grau de variação existente no conjunto de valores.

TOLEDO e OVALLE (1992) classificam as medidas de dispersão em absoluta e relativa. Dentre as medidas de dispersão absoluta, destacam-se a amplitude, a variância e o desvio padrão. Por sua vez, o coeficiente de variação de Pearson e o coeficiente de variação de Thorndike são exemplos de medidas de dispersão relativa.

A *amplitude* ( $R$ ) é definida como a diferença entre o maior e o menor valor do conjunto de dados. Apesar de estar relacionada com a dispersão dos dados, a amplitude é uma medida que contém pouca informação, visto que não analisa cada um dos valores existentes na amostra de dados, mas apenas seus dois valores extremos.

A *variância* ( $s^2$ ), média dos quadrados das diferenças dos valores em relação à sua média, por sua vez, faz uma análise levando em conta todos os valores existentes na amostra. Tem entretanto mais importância na teoria estatística, pois carrega o



inconveniente de se expressar numa unidade quadrática em relação à variável em questão.

Esse problema é sanado pelo conceito do *desvio padrão* ( $s$ ), raiz quadrada positiva da variância. No entanto, o desvio padrão destaca apenas uma dispersão absoluta, tornando inviável uma comparação entre conjunto de dados com médias distintas, bem como para unidades diferentes. Apesar de, no presente trabalho, todos os dados apresentarem a mesma unidade – lux ( $lx$ ) – e as iluminâncias médias ( $E_m$ ) dos Modelos para uma mesma refletividade terem uma pequena dispersão entre elas, isso traz distorções quando do estudo comparativo entre os Modelos, que podem induzir a resultados menos significativos. Por outro lado, torna inviável a comparação entre os Modelos com Conjuntos de Refletividades distintos (REF 1 e REF 0), visto que, nesse caso, há uma diferença significativa entre as iluminâncias médias coletadas para cada um.

Sendo assim, faz-se necessário o uso de uma medida de dispersão relativa, que permita a comparação entre dados com médias distintas. Em geral, as medidas de dispersão relativa resultam da comparação entre uma medida de dispersão absoluta e um promédio<sup>6</sup>, sendo seu resultado expresso em termos percentuais, segundo TOLEDO e OVALLE (1992). Pearson e Thorndike diferenciam seus conceitos de coeficiente de variação pelo promédio escolhido: enquanto Pearson utiliza a média aritmética, Thorndike prefere a mediana.

Sendo a média aritmética uma medida de posição central mais usual, será usado como medida de dispersão de dados o *coeficiente de variação de Pearson*, doravante chamado simplesmente de coeficiente de variação (c.v.), definido na eq. (3.1).

NANNI (1986) e IEMMA (1992) acentuam que o coeficiente de variação é uma medida útil quando se quer comparar as variabilidades de várias amostras com médias de diferentes ordens de magnitude. COSTA NETO (1977) enfatiza, por sua vez, que sua vantagem é caracterizar a dispersão dos dados em termos relativos a seu valor médio.

Fica portanto estabelecido, para o Método Analítico, o coeficiente de variação (c.v.) como o parâmetro de desempenho da distribuição de iluminâncias em um Ambiente. Esse desempenho será tão melhor, quanto menor for o coeficiente de variação.

---

<sup>6</sup> Medida de posição central. Ex.: Média aritmética, mediana, média geométrica.

### 3.4.2.2 *Dados Básicos*

Inicialmente, calculam-se a Iluminância Média ( $E_m$ ) e o desvio padrão ( $s$ ) das iluminâncias, para cada Padrão, Modelo e Conjunto de Refletividades, através do Lumen Micro®, a partir de uma amostra de 400 valores de iluminância, em pontos proporcionalmente distribuídos, por Ambiente. Posteriormente, os valores são tabulados em planilha Excel® com vistas a se calcular o coeficiente de variação (c.v.), para cada caso. Isso é feito através da Equação 3.1.

$$c.v. = \frac{s}{E_m} \times 100\% \quad (3.1)$$

### 3.4.2.3 *Avaliação de Desempenho*

A avaliação de desempenho é efetivada tendo por base um sistema de iluminação que produza uma distribuição uniforme de iluminâncias. O parâmetro de desempenho adotado é o coeficiente de variação (c.v.), conforme discutido no item 3.4.2.1.

Os dados são agrupados por (i) Modelos Básicos, (ii) Aberturas Zenitais Contínuas, (iii) perímetro das aberturas e (iv) número de aberturas, de forma a se obter uma avaliação de desempenho para cada um dos agrupamentos propostos. São avaliados todos os Padrões e Modelos para ambos os Conjuntos de Refletividades propostos (REF 1 e REF 0).

Faz-se necessário frisar que as análises de desempenho da distribuição de iluminâncias efetuadas para as aberturas zenitais propostas no presente estudo podem ser comparadas a outros sistemas de aberturas, com tipologias semelhantes, porém acrescido de elementos externos de proteção solar. Como exemplo, pode-se relacionar as Aberturas Zenitais Contínuas com aberturas tipo dente-de-serra e lanternins, e os Modelos Básicos com clarabóias.

Isso é possível, uma vez que o importante para esse trabalho é o que ocorre com a luz dentro do ambiente, não influenciando em nada nos resultados encontrados o que venha a ocorrer com a radiação luminosa antes de ser transmitida para o ambiente interno. A transmissão da luz entre o meio exterior e o meio interior ocorre através de uma superfície translúcida 100% difusora, não havendo portanto incidência, quer direta, quer com maior concentração de raios luminosos sobre uma parte da área de trabalho ou superfícies internas (paredes ou piso). Conseqüentemente, os efeitos de uma obstrução externa da insolação ou da abóbada celeste tornam-se desprezíveis.

#### ***3.4.2.3.1 Avaliação de Desempenho por Modelos Básicos***

A avaliação de desempenho por Modelos Básicos tem como objetivo observar a evolução do seu comportamento, no aspecto da distribuição de iluminâncias, quando se modifica a distribuição geométrica das aberturas zenitais, mantendo-se inalterada a área total de abertura.

São apresentados tabelas e gráficos de superfície, agrupados por Padrão e Conjunto de Refletividades, contendo o coeficiente de variação para cada Modelo, sendo destacada uma análise do coeficiente de variação (c.v.) para Modelos com aberturas e perímetros idênticos.

#### ***3.4.2.3.2 Avaliação de Desempenho por Aberturas Zenitais Contínuas***

A avaliação de desempenho por Aberturas Zenitais Contínuas objetiva a observação da evolução do seu comportamento, face à distribuição de iluminâncias, quando se modifica a quantidade de aberturas, mantendo-se constante a área total. Procura-se também encontrar uma otimização no número de aberturas para cada Padrão e Conjunto de Refletividades estudados.

São traçados gráficos de linha relacionando o c.v. e o número de Aberturas Zenitais Contínuas, um para cada Conjunto de Refletividades. Em cada gráfico, são exibidas, simultaneamente, as curvas para cada Padrão.

#### ***3.4.2.3.3 Avaliação de Desempenho por Perímetro das Aberturas***

O perímetro é um dos parâmetros utilizados em orçamento da construção civil, na avaliação do custo de esquadrias. Este estudo pretende analisar a influência do perímetro na distribuição de iluminâncias para os diversos Padrões, Modelos e Conjuntos de Refletividades.

São gerados gráficos de linha relacionando o c.v. e o perímetro, um para cada Conjunto de Refletividades. Em cada gráfico, são apresentadas, simultaneamente, as curvas para cada Padrão. Em seguida, é calculado o coeficiente de correlação linear ( $r$ ) entre as duas variáveis, para cada curva e geral.

#### ***3.4.2.3.4 Avaliação de Desempenho por Número de Aberturas***

O número de aberturas é outro possível parâmetro na avaliação de custos na construção civil e pode inclusive ser usado como uma referência numa análise estética. Este estudo pretende identificar como evolui, através do coeficiente de variação, a

distribuição de iluminâncias em um Ambiente, com o aumento no número de aberturas. São gerados gráficos de linha relacionando o c.v. e o número de aberturas, um para cada Conjunto de Refletividades. Em cada gráfico, são apresentadas, simultaneamente, as curvas para cada Padrão. Sequencialmente, calcula-se o coeficiente de correlação linear ( $r$ ) entre as duas variáveis, para cada curva e geral.

### **3.4.3 Correlação entre o Método Gráfico e o Método Analítico**

Como conclusão, desenvolve-se uma correlação entre o Método Gráfico e o Método Analítico, procurando classificar qualitativamente o coeficiente de variação.

Para tal, são definidos parâmetros de referência para cada um dos métodos. Pelo Método Gráfico é adotada a área da região  $\beta$ , definida como a região com iluminância suficiente, com valores no intervalo compreendido entre 70 e 130% da iluminância média, conforme discutido no item 3.4.1.1. Pelo Método Analítico adota-se o coeficiente de variação (c.v.), conforme analisado no item 3.4.2.1. Em seguida é executado um estudo da correlação entre os dois parâmetros sugeridos, finalizando com uma proposta de classificação do coeficiente de variação em função de aspectos qualitativos. Os resultados são apresentados através de tabelas e gráficos.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Método Gráfico.....	47
4.1.1 Dados Básicos.....	48
4.1.2 Resultados Gráficos.....	53
4.1.3 Análise Comparativa do Mapeamento.....	82
4.1.4 Áreas por Região de Iluminância (em percentual).....	85
4.2 Método Analítico.....	90
4.2.1 Dados Básicos.....	90
4.2.2 Avaliação de Desempenho.....	95
4.3 Correlação Entre o Método Gráfico e o Método Analítico.....	111
4.3.1 Apresentação dos Resultados.....	111
4.3.2 Análise dos Gráficos c.v. x Área $\beta$ .....	116
4.3.3 Coeficiente de Correlação Entre o c.v. e a Área $\beta$ .....	117
4.3.4 Classificação do Coeficiente de Variação.....	118

Este Capítulo apresenta e discute os resultados coletados através de simulação computacional, onde foi usado como instrumento o programa Lumen Micro® V. 6. Os resultados brutos estão apresentados em planilhas e agrupados por Padrão e Conjunto de Refletividades no Anexo A.

Na primeira parte, os dados são analisados através do Método Gráfico, no qual se procura, através do mapeamento da iluminância no plano de trabalho, comparar o conjunto de Padrões (PAD A, PAD B, PAD C e PAD D, descritos na Tabela 3-1 e na Figura 3-1), Modelos (ao todo 32 Modelos, descritos na Figura 3-3) e Conjuntos de Refletividades (REF 1 e REF 0, descritas na Tabela 3-2) propostos.

Na segunda parte, os dados são agrupados pelo Método Analítico. Esse método baseia-se no conceito estatístico de coeficiente de variação (c.v.), que é a relação entre o desvio padrão ( $s$ ) e a média ( $E_m$ ). A partir do c.v., os dados são analisados de forma a se obter uma avaliação de desempenho por (i) Modelos Básicos, (ii) Aberturas Zenitais Contínuas, (iii) perímetro das aberturas e (iv) número de aberturas.

Na terceira e última parte, é feita uma comparação entre os Métodos Gráfico e Analítico, tomando-se por base o percentual da área do plano de trabalho suficientemente iluminada (Área  $\beta$ ), obtida pelo Método Gráfico e o coeficiente de variação (c.v.), calculado pelo Método Analítico.

## 4.1 Método Gráfico

Esse método é desenvolvido com vistas a se obter uma visualização da distribuição de iluminâncias mais próxima àquela que os projetistas costumam trabalhar no seu dia-a-dia. O método consiste em um mapeamento das iluminâncias no plano de trabalho de cada Ambiente estudado, o qual é dividido em regiões com iluminância excessiva ( $R_\alpha$ ), suficiente ( $R_\beta$ ) e insuficiente ( $R_\gamma$ ). Adota-se como parâmetro de desempenho luminoso do Modelo a área da região com iluminância suficiente, denominada Área  $\beta$  ( $A_\beta$ ).

### 4.1.1 Dados Básicos

Inicialmente, a partir da iluminância média ( $E_m$ ), obtida pela simulação computacional, são definidos limites superior ( $E_+$ ) e inferior ( $E_-$ ), equivalentes a 130% e 70% de  $E_m$ , respectivamente. Esses resultados estão agrupados por Padrão, Conjunto de Refletividades e Modelo e apresentados nas Tabelas 4-1 a 4-4. Os Padrões estão descritos na Tabela 3-1 e na Figura 3-1, os Modelos na Figura 3-3 e os Conjuntos de Refletividades na Tabela 3-2.

Vale destacar que não são apresentados, para o Padrão A, os resultados para os Modelos simétricos (Ex.: 42 e 24) por apresentarem a mesma geometria e por conseguinte os mesmos valores de iluminância. Por sua vez, o Modelo 22W não se aplica ao Padrão D por limitações geométricas – para manter as dimensões estabelecidas para as aberturas seria necessária uma dimensão  $l$  (largura) maior que a prevista para o Padrão.

TABELA 4-1 – Iluminâncias Limite para o Padrão A (lx)

PADRÃO A						
MOD	REF 1			REF 0		
	$E_m$	E.	$E_+$	$E_m$	E.	$E_+$
11	3620	2534	4706	1580	1106	2054
12	3560	2492	4628	1480	1036	1924
13	3560	2492	4628	1430	1001	1859
14	3530	2471	4589	1410	987	1833
19	3480	2436	4524	1390	973	1807
22	3500	2450	4550	1380	966	1794
22W	3580	2506	4654	1480	1036	1924
22Y	3410	2387	4433	1390	973	1807
22Z	3590	2513	4667	1450	1015	1885
23	3490	2443	4537	1340	938	1742
24	3460	2422	4498	1320	924	1716
29	3490	2443	4537	1300	910	1690
33	3490	2443	4537	1300	910	1690
34	3460	2422	4498	1280	896	1664
39	3380	2366	4394	1260	882	1638
44	3430	2401	4459	1260	882	1638
49	3470	2429	4511	1240	868	1612

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
MOD	Modelo. Vide Figura 3-3
$E_m$	Iluminância Média
$E_+$	Iluminância Superior
E.	Iluminância Inferior



TABELA 4-2 – Iluminâncias Limite para o Padrão B (lx)

PADRÃO B						
MOD	REF 1			REF 0		
	$E_m$	$E_-$	$E_+$	$E_m$	$E_-$	$E_+$
11	3600	2520	4680	1560	1092	2028
12	3550	2485	4615	1480	1036	1924
13	3540	2478	4602	1440	1008	1872
14	3510	2457	4563	1420	994	1846
19	3450	2415	4485	1390	973	1807
21	3560	2492	4628	1440	1008	1872
22	3510	2457	4563	1370	959	1781
22W	3560	2492	4628	1460	1022	1898
22X	3370	2359	4381	1460	1022	1898
22Y	3590	2513	4667	1380	966	1794
22Z	3600	2520	4680	1430	1001	1859
23	3500	2450	4550	1330	931	1729
24	3480	2436	4524	1310	917	1703
29	3500	2450	4550	1280	896	1664
31	3520	2464	4576	1390	973	1807
32	3470	2429	4511	1330	931	1729
33	3460	2422	4498	1290	903	1677
34	3430	2401	4459	1270	889	1651
39	3360	2352	4368	1240	868	1612
41	3530	2471	4589	1380	966	1794
42	3480	2436	4524	1310	917	1703
43	3470	2429	4511	1270	889	1651
44	3450	2415	4485	1250	875	1625
49	3470	2429	4511	1230	861	1599
91	3460	2422	4498	1360	952	1768
92	3500	2450	4550	1290	903	1677
93	3400	2380	4420	1260	882	1638
94	3470	2429	4511	1240	868	1612

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
MOD	Modelo. Vide Figura 3-3
$E_m$	Iluminância Média
$E_+$	Iluminância Superior
$E_-$	Iluminância Inferior

TABELA 4-3 – Iluminâncias Limite para o Padrão C (lx)

PADRÃO C						
MOD	REF 1			REF 0		
	$E_m$	$E_-$	$E_+$	$E_m$	$E_-$	$E_+$
11	3610	2527	4693	1460	1022	1898
12	3580	2506	4654	1420	994	1846
13	3580	2506	4654	1390	973	1807
14	3550	2485	4615	1370	959	1781
19	3370	2359	4381	1340	938	1742
21	3500	2450	4550	1330	931	1729
22	3460	2422	4498	1290	903	1677
22W	3500	2450	4550	1370	959	1781
22X	3550	2485	4615	1370	959	1781
22Y	3280	2296	4264	1310	917	1703
22Z	3580	2506	4654	1340	938	1742
23	3470	2429	4511	1260	882	1638
24	3440	2408	4472	1240	868	1612
29	3490	2443	4537	1210	847	1573
31	3520	2464	4576	1300	910	1690
32	3490	2443	4537	1260	882	1638
33	3490	2443	4537	1230	861	1599
34	3460	2422	4498	1210	847	1573
39	3260	2282	4238	1180	826	1534
41	3490	2443	4537	1280	896	1664
42	3450	2415	4485	1250	875	1625
43	3460	2422	4498	1220	854	1586
44	3420	2394	4446	1200	840	1560
49	3480	2436	4524	1170	819	1521
91	3440	2408	4472	1270	889	1651
92	3480	2436	4524	1240	868	1612
93	3370	2359	4381	1200	840	1560
94	3460	2422	4498	1190	833	1547

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
MOD	Modelo. Vide Figura 3-3
$E_m$	Iluminância Média
$E_+$	Iluminância Superior
$E_-$	Iluminância Inferior

TABELA 4-4 – Iluminâncias Limite para o Padrão D (lx)

PADRÃO D						
MOD	REF 1			REF 0		
	$E_m$	$E_-$	$E_+$	$E_m$	$E_-$	$E_+$
11	3100	2170	4030	1230	861	1599
12	3070	2149	3991	1220	854	1586
13	3080	2156	4004	1200	840	1560
14	3060	2142	3978	1190	833	1547
19	2720	1904	3536	1160	812	1508
21	3170	2219	4121	1120	784	1456
22	3160	2212	4108	1110	777	1443
22X	3160	2212	4108	1140	798	1482
22Y	2640	1848	3432	1120	784	1456
22Z	3190	2233	4147	1140	798	1482
23	3150	2205	4095	1090	763	1417
24	3140	2198	4082	1080	756	1404
29	3110	2177	4043	1050	735	1365
31	2940	2058	3822	1100	770	1430
32	2860	2002	3718	1090	763	1417
33	2920	2044	3796	1080	756	1404
34	2850	1995	3705	1060	742	1378
39	2080	1456	2704	1030	721	1339
41	3080	2156	4004	1090	763	1417
42	3070	2149	3991	1080	756	1404
43	3070	2149	3991	1070	749	1391
44	3060	2142	3978	1060	742	1378
49	3030	2121	3939	1030	721	1339
91	2940	2058	3822	1090	763	1417
92	2970	2079	3861	1080	756	1404
93	2910	2037	3783	1060	742	1378
94	2960	2072	3848	1050	735	1365

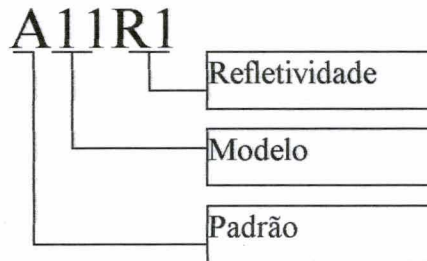
Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
MOD	Modelo. Vide Figura 3-3
$E_m$	Iluminância Média
$E_+$	Iluminância Superior
$E_-$	Iluminância Inferior

#### 4.1.2 Resultados Gráficos

O mapeamento é efetivado através da divisão dos ambiente em regiões. Essas regiões foram definidas levando-se em conta o estabelecido em ABNT (1991a), onde recomenda-se que a iluminância em qualquer ponto do campo de trabalho não seja inferior a 70% da iluminância média. Daí, por analogia, definiu-se o limite superior em 130% da iluminância média. As regiões foram nomeadas como Região  $\alpha$  ( $R_\alpha$ ), Região  $\beta$  ( $R_\beta$ ) e Região  $\chi$  ( $R_\chi$ ), tendo sua classificação e intervalo de iluminância definidos conforme mostrado na Tabela 3-3.

Na titulação das figuras apresentadas a seguir, adotou-se a nomenclatura apresentada na Figura 4-1.



**FIGURA 4-1 – Nomenclatura adotada na titulação do mapeamento**

### 4.1.2.1 Padrão A

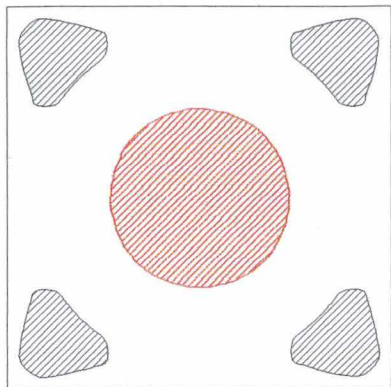


FIGURA 4-2 – Mapa A11R1

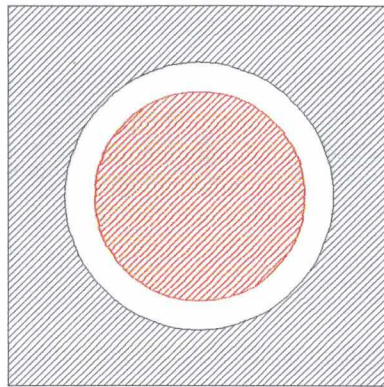


FIGURA 4-3 – Mapa A11R0

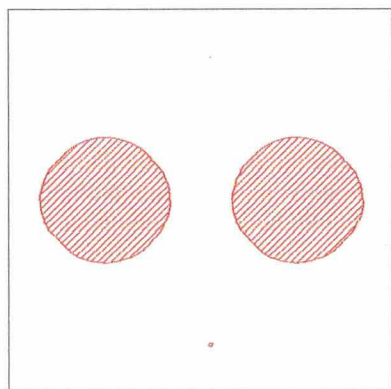


FIGURA 4-4 – Mapa A12R1

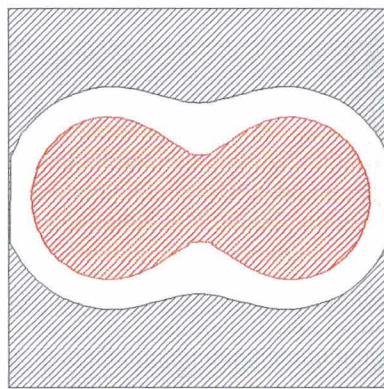


FIGURA 4-5 – Mapa A12R0

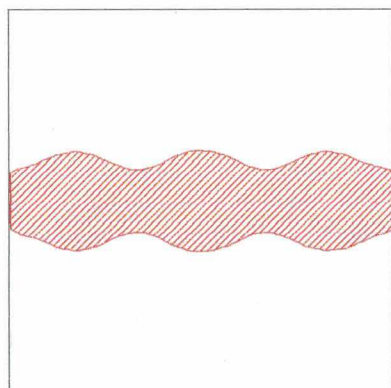


FIGURA 4-6 – Mapa A13R1

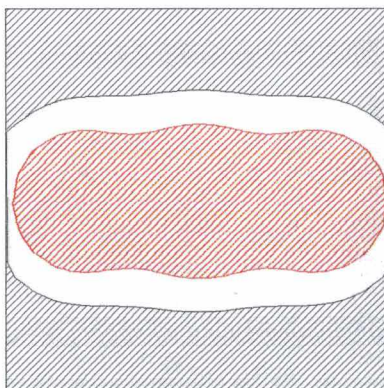


FIGURA 4-7 – Mapa A13R0

Legenda:

Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta

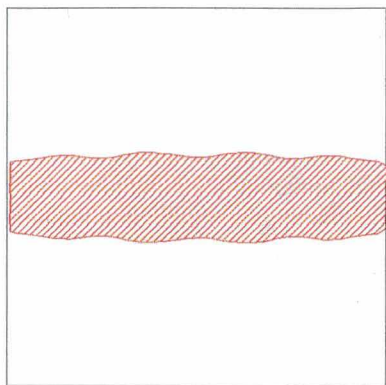


FIGURA 4-8 – Mapa A14R1

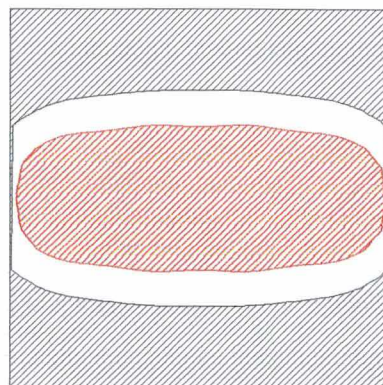


FIGURA 4-9 – Mapa A14R0

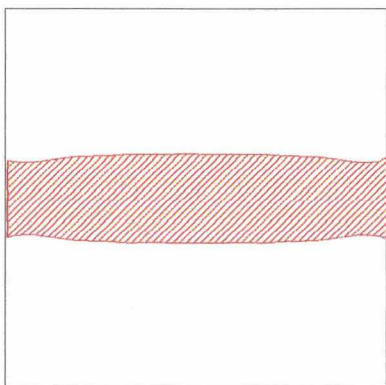


FIGURA 4-10 – Mapa A19R1

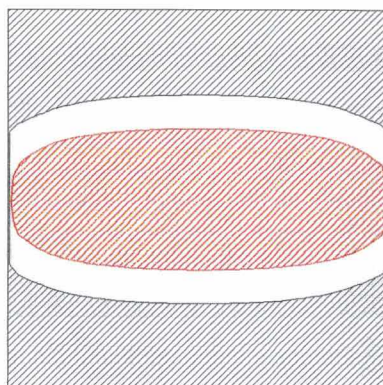


FIGURA 4-11 – Mapa A19R0

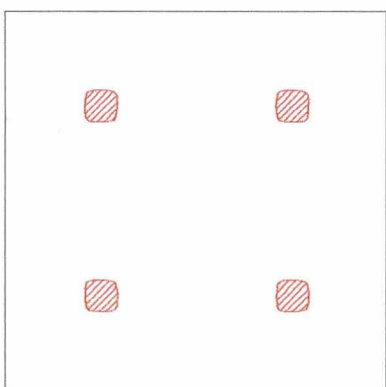


FIGURA 4-12 – Mapa A22R1

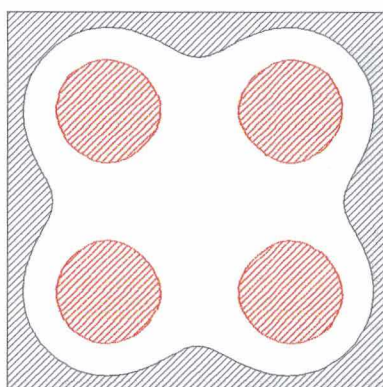
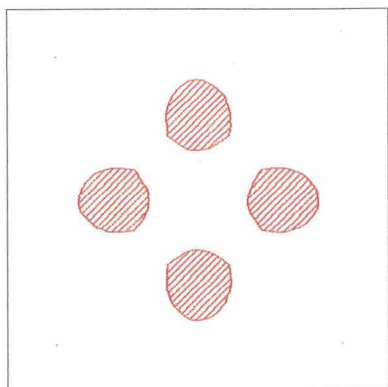


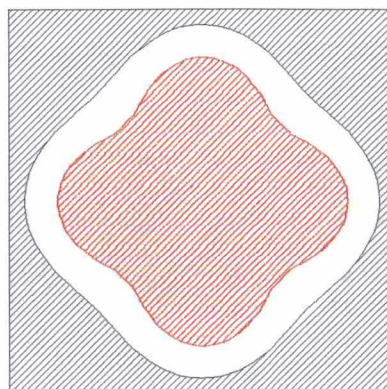
FIGURA 4-13 – Mapa A22R0

Legenda:

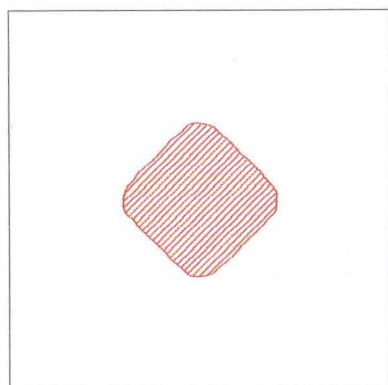
Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta



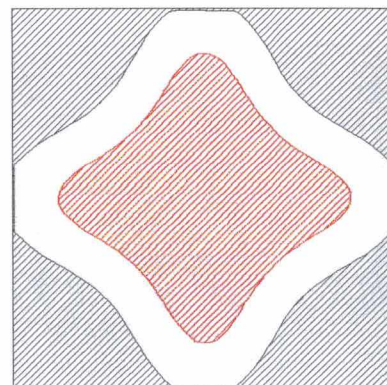
**FIGURA 4-14 – Mapa A22WR1**



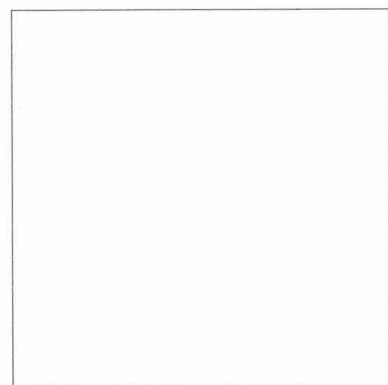
**FIGURA 4-15 – Mapa A22WR0**



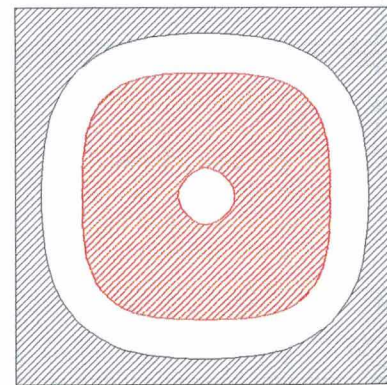
**FIGURA 4-16 – Mapa A22YR1**



**FIGURA 4-17 – Mapa A22YR0**



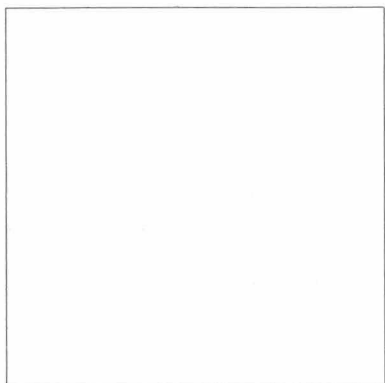
**FIGURA 4-18 – Mapa A22ZR1**



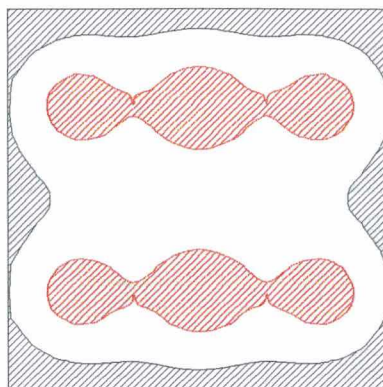
**FIGURA 4-19 – Mapa A22ZR0**

Legenda:

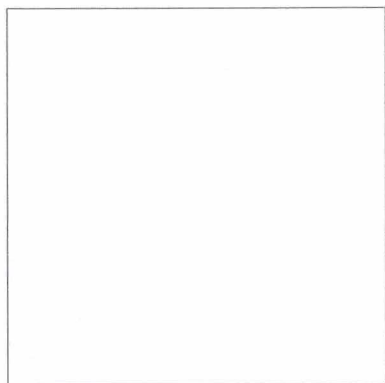
Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta



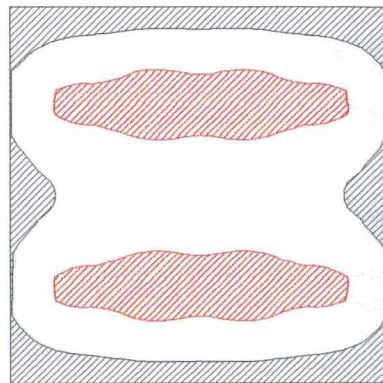
**FIGURA 4-20 – Mapa A23R1**



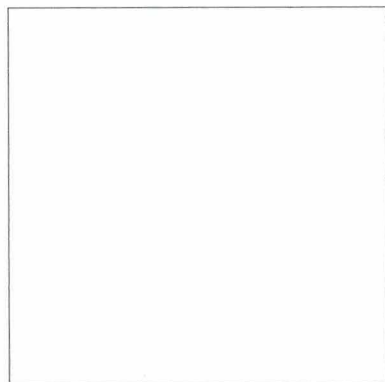
**FIGURA 4-21 – Mapa A23R0**



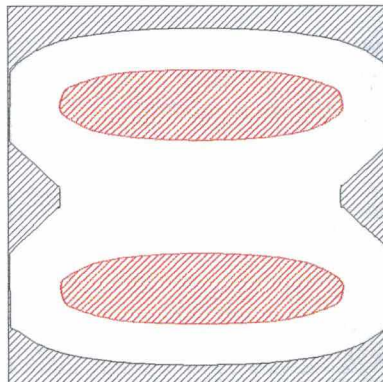
**FIGURA 4-22 – Mapa A24R1**



**FIGURA 4-23 – Mapa A24R0**



**FIGURA 4-24 – Mapa A29R1**



**FIGURA 4-25 – Mapa A29R0**

Legenda:

Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta



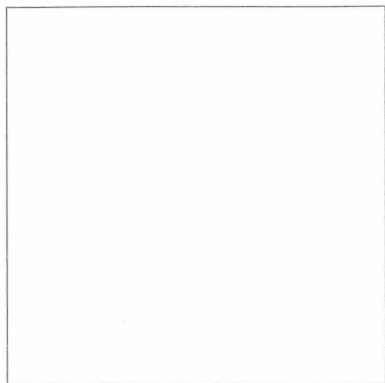


FIGURA 4-26 – Mapa A33R1

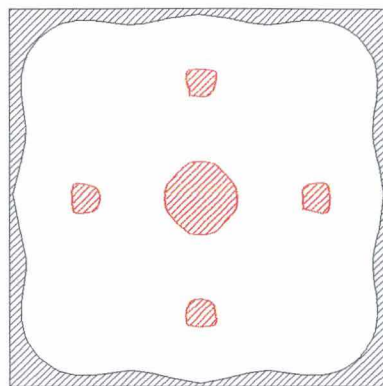


FIGURA 4-27 – Mapa A33R0

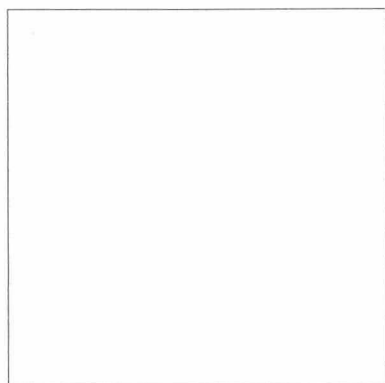


FIGURA 4-28 – Mapa A34R1

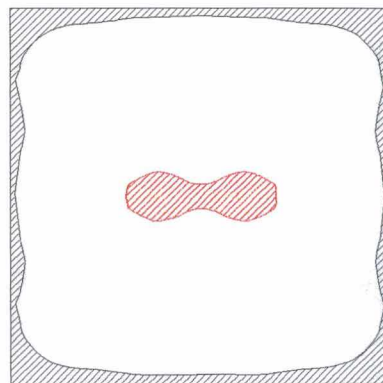


FIGURA 4-29 – Mapa A34R0

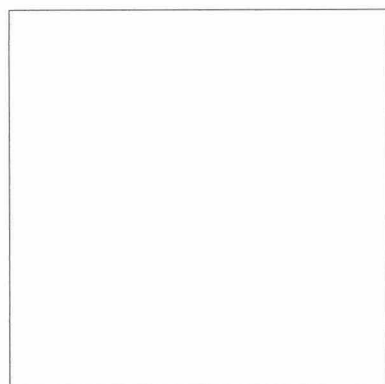


FIGURA 4-30 – Mapa A39R1

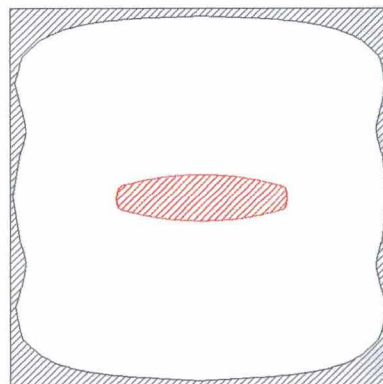
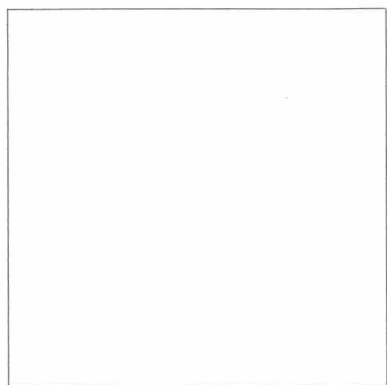


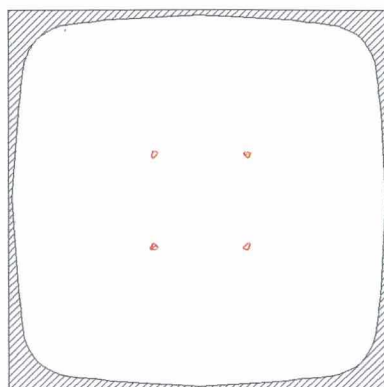
FIGURA 4-31 – Mapa A39R0

Legenda:

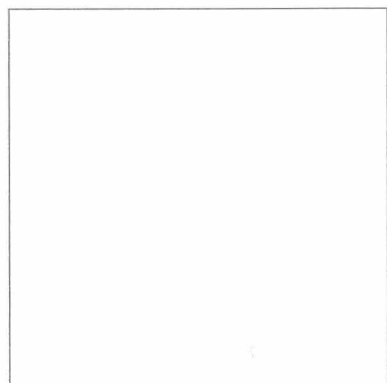
Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta



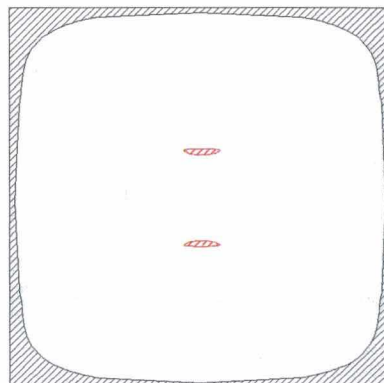
**FIGURA 4-32 – Mapa A44R1**



**FIGURA 4-33 – Mapa A44R0**



**FIGURA 4-34 – Mapa A49R1**



**FIGURA 4-35 – Mapa A49R0**

Legenda:

Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta

### 4.1.2.2 Padrão B

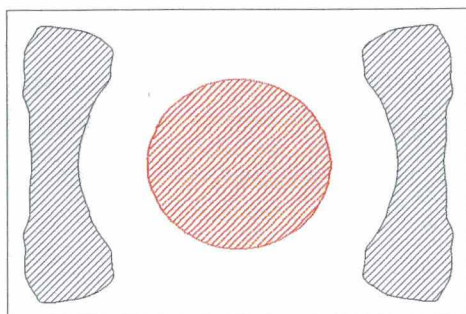


FIGURA 4-36 – Mapa B11R1

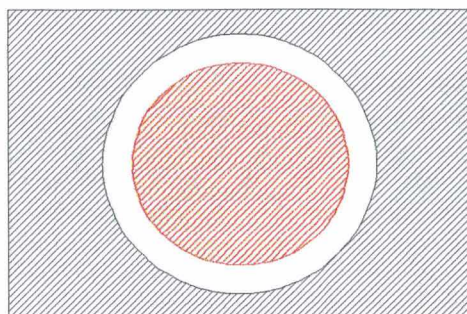


FIGURA 4-37 – Mapa B11R0

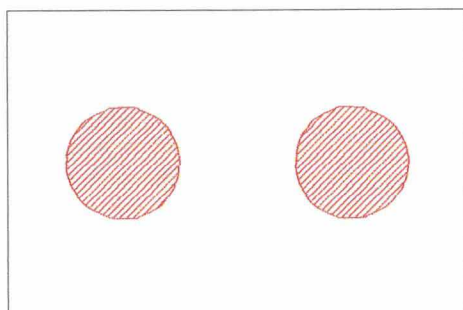


FIGURA 4-38 – Mapa B12R1

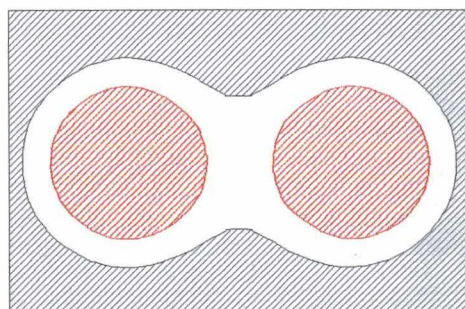


FIGURA 4-39 – Mapa B12R0

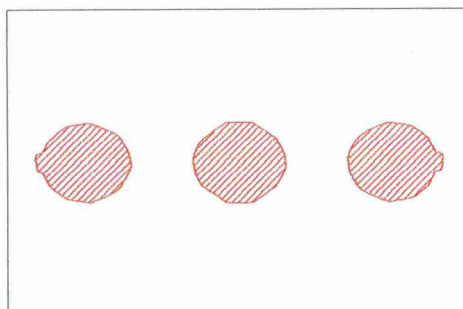


FIGURA 4-40 – Mapa B13R1

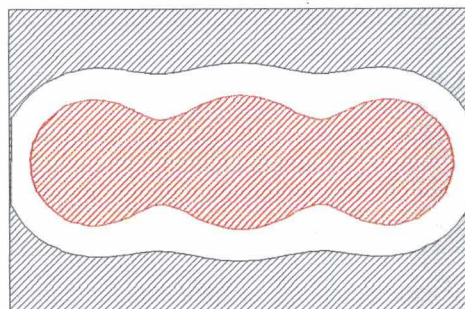


FIGURA 4-41 – Mapa B13R0

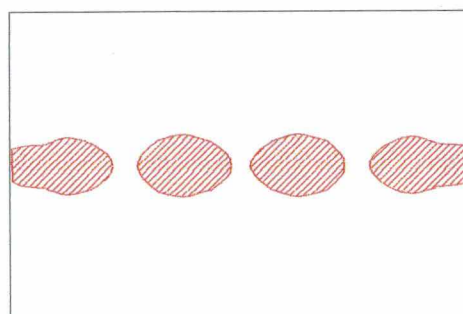


FIGURA 4-42 – Mapa B14R1

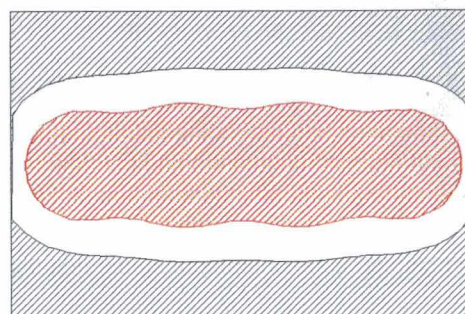


FIGURA 4-43 – Mapa B14R0

Legenda:

Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta

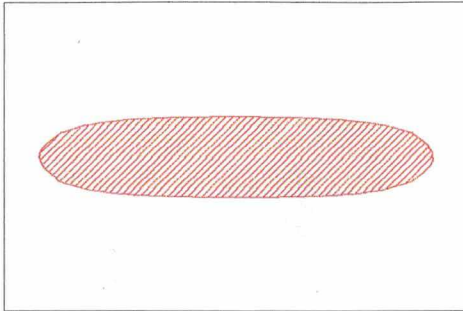


FIGURA 4-44 – Mapa B19R1

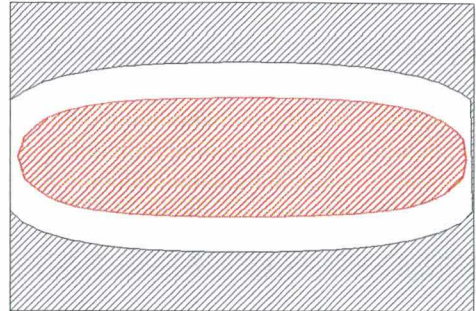


FIGURA 4-45 – Mapa B19R0

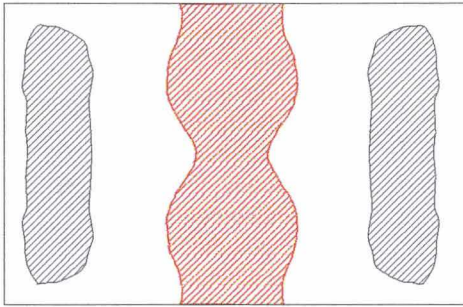


FIGURA 4-46 – Mapa B21R1

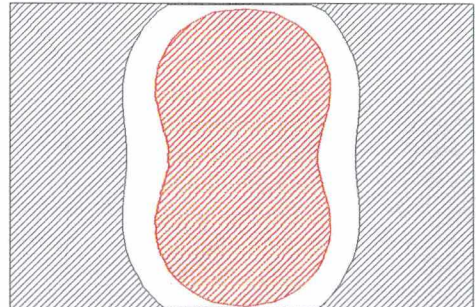


FIGURA 4-47 – Mapa B21R0

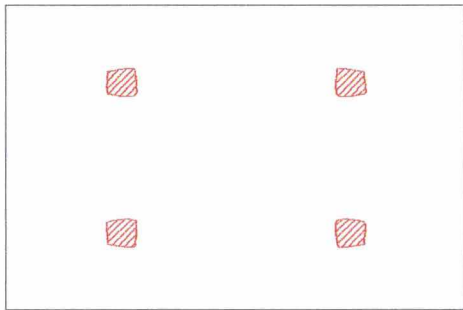


FIGURA 4-48 – Mapa B22R1

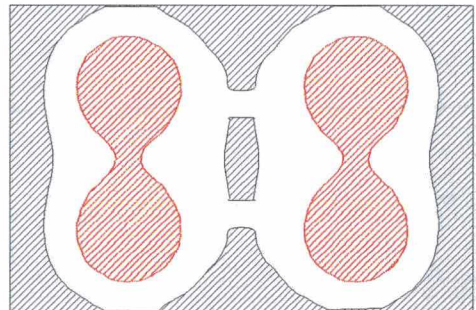


FIGURA 4-49 – Mapa B22R0

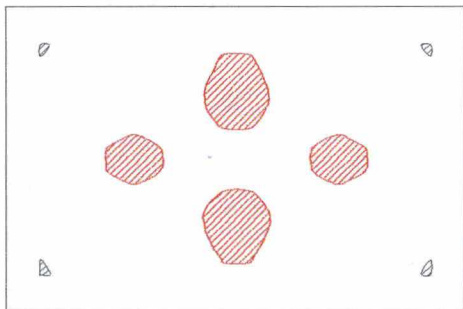


FIGURA 4-50 – Mapa B22WR1

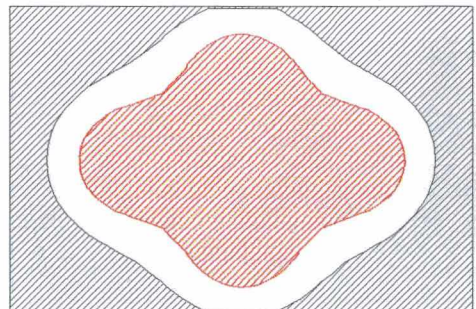
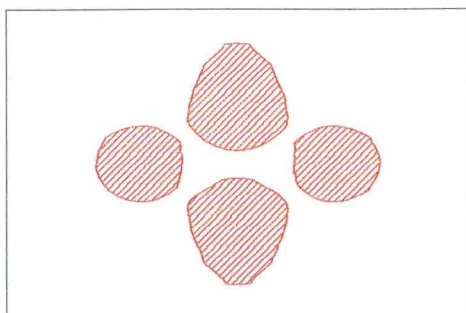


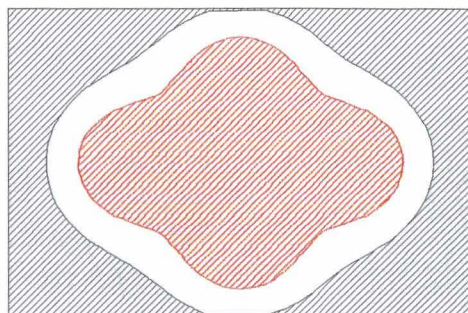
FIGURA 4-51 – Mapa B22WR0

Legenda:

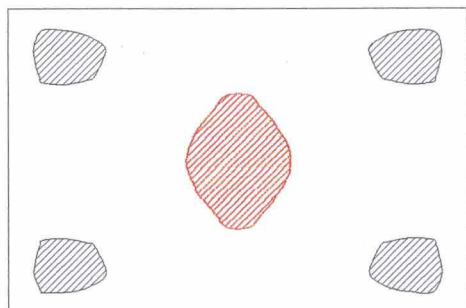
Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta



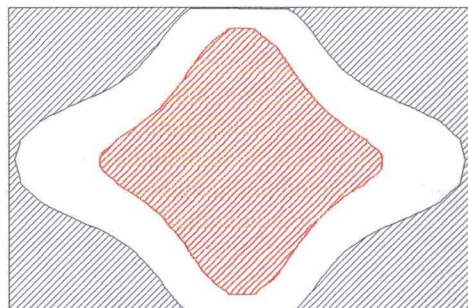
**FIGURA 4-52 – Mapa B22XR1**



**FIGURA 4-53 – Mapa B22XR0**



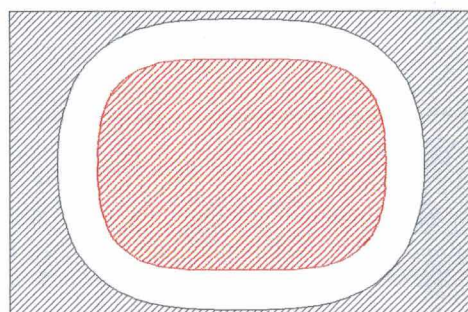
**FIGURA 4-54 – Mapa B22YR1**



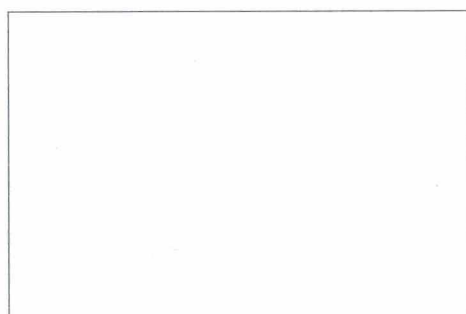
**FIGURA 4-55 – Mapa B22YR0**



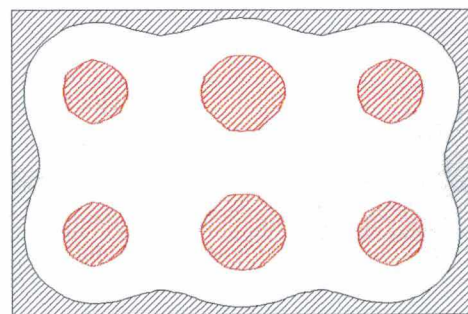
**FIGURA 4-56 – Mapa B22ZR1**



**FIGURA 4-57 – Mapa B22ZR0**



**FIGURA 4-58 – Mapa B23R1**



**FIGURA 4-59 – Mapa B23R0**

Legenda:

Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta

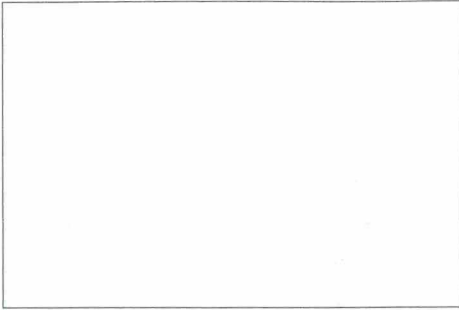


FIGURA 4-60 – Mapa B24R1

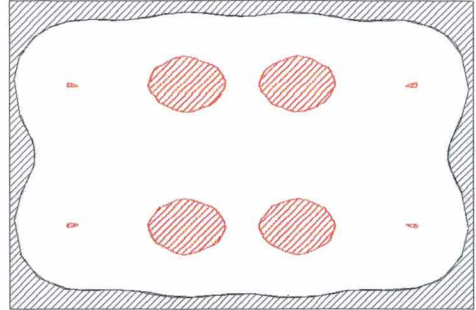


FIGURA 4-61 – Mapa B24R0

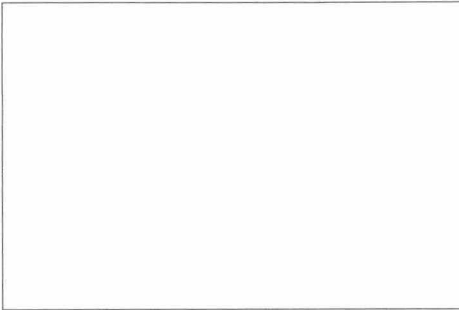


FIGURA 4-62 – Mapa B29R1

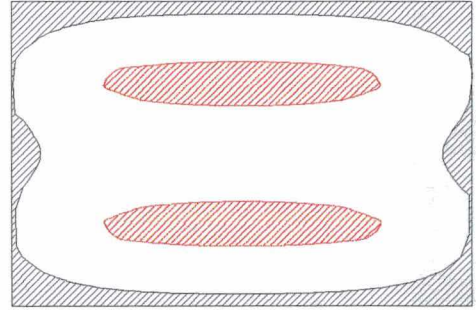


FIGURA 4-63 – Mapa B29R0

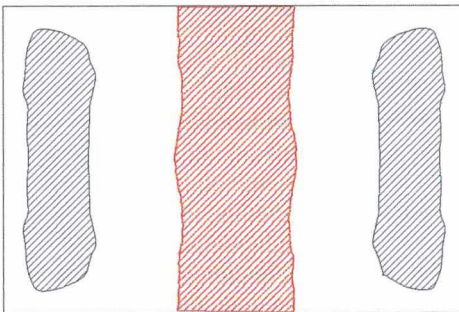


FIGURA 4-64 – Mapa B31R1

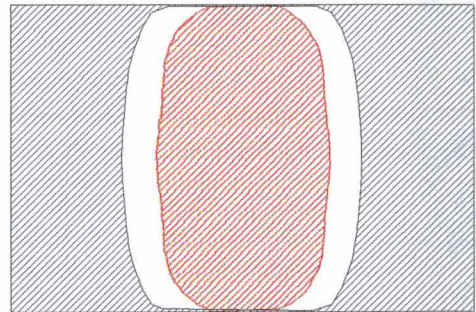


FIGURA 4-65 – Mapa B31R0

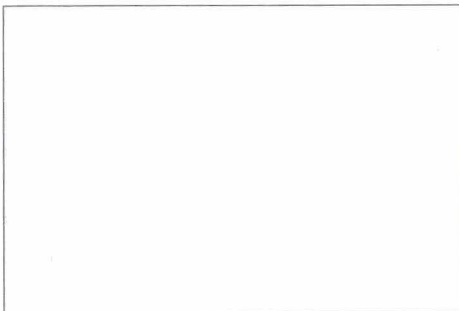


FIGURA 4-66 – Mapa B32R1

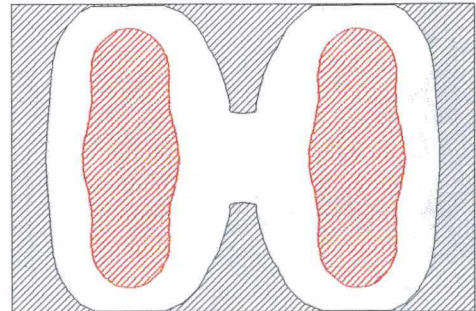


FIGURA 4-67 – Mapa B32R0

Legenda:

Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta

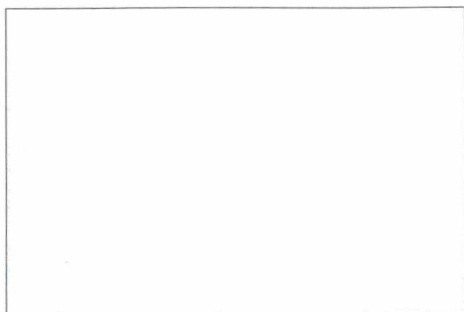


FIGURA 4-68 – Mapa B33R1

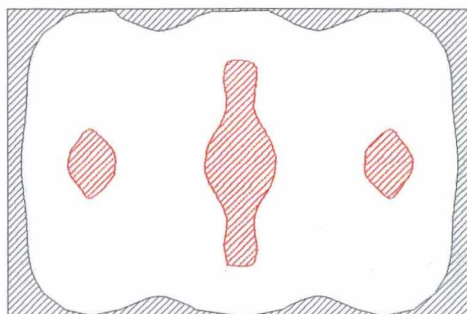


FIGURA 4-69 – Mapa B33R0

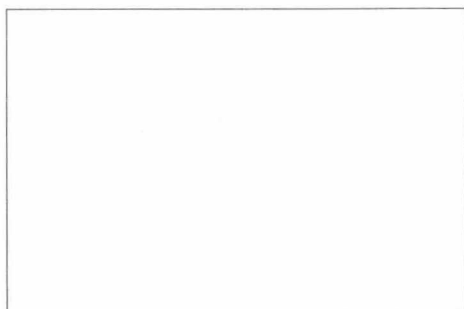


FIGURA 4-70 – Mapa B34R1

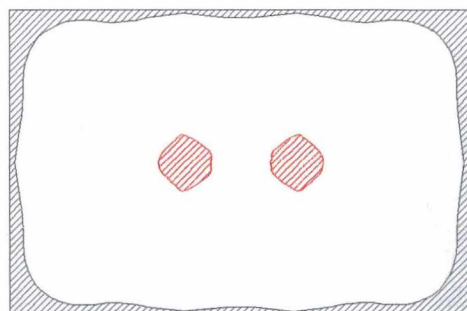


FIGURA 4-71 – Mapa B34R0

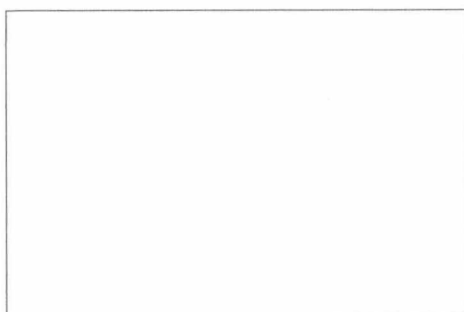


FIGURA 4-72 – Mapa B39R1

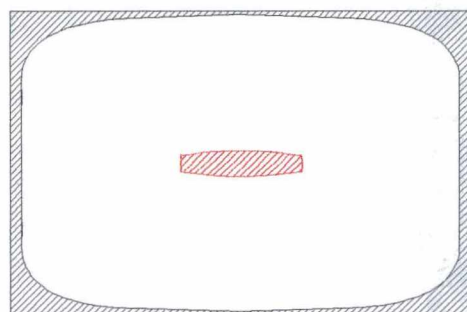


FIGURA 4-73 – Mapa B39R0

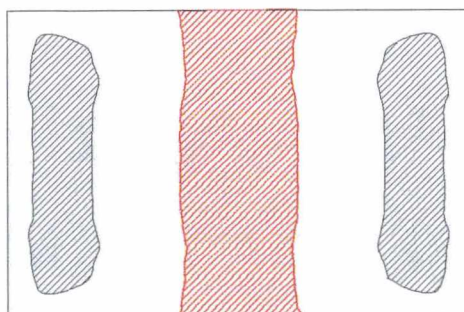


FIGURA 4-74 – Mapa B41R1

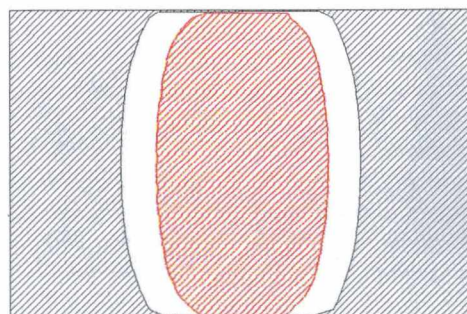
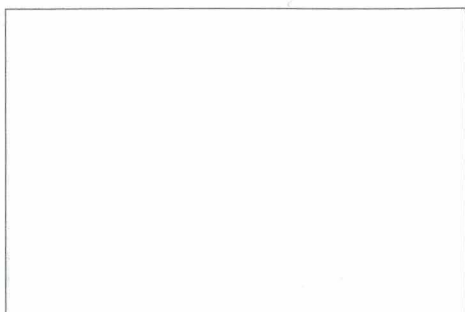


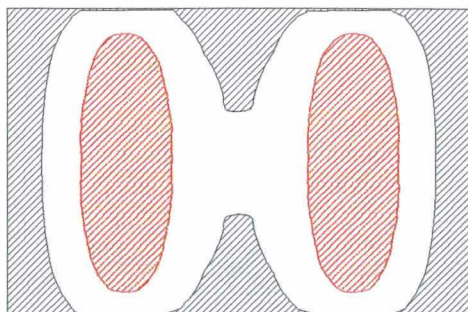
FIGURA 4-75 – Mapa B41R0

Legenda:

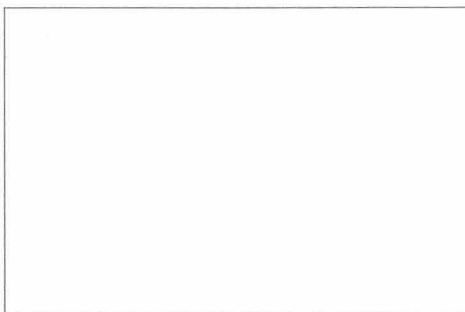
Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta



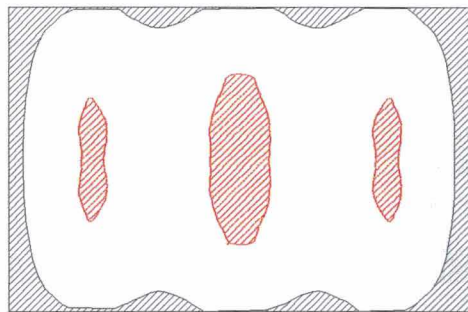
**FIGURA 4-76 – Mapa B42R1**



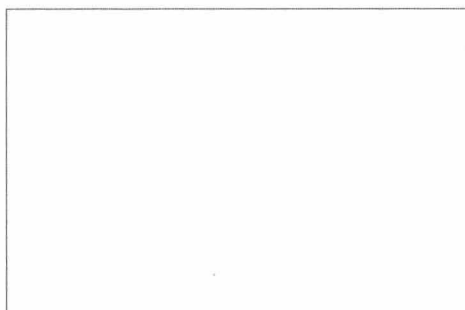
**FIGURA 4-77 – Mapa B42R0**



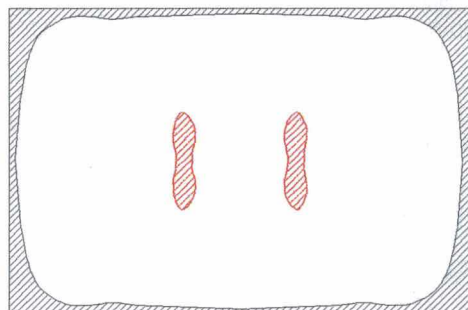
**FIGURA 4-78 – Mapa B43R1**



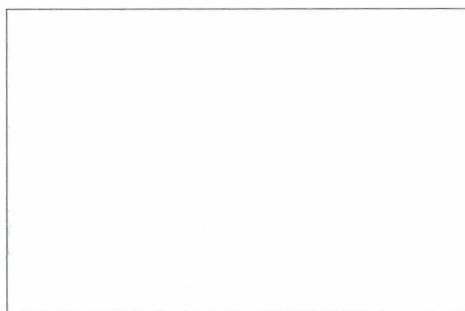
**FIGURA 4-79 – Mapa B43R0**



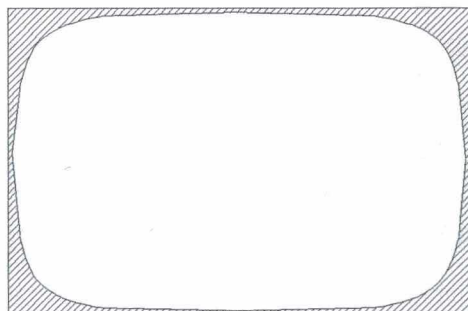
**FIGURA 4-80 – Mapa B44R1**



**FIGURA 4-81 – Mapa B44R0**



**FIGURA 4-82 – Mapa B49R1**



**FIGURA 4-83 – Mapa B49R0**

Legenda:

Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta



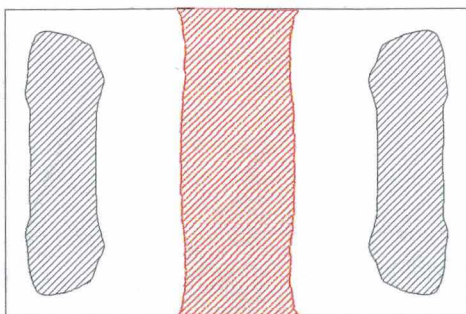


FIGURA 4-84 – Mapa B91R1

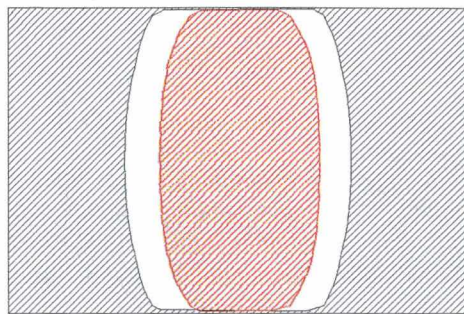


FIGURA 4-85 – Mapa B91R0

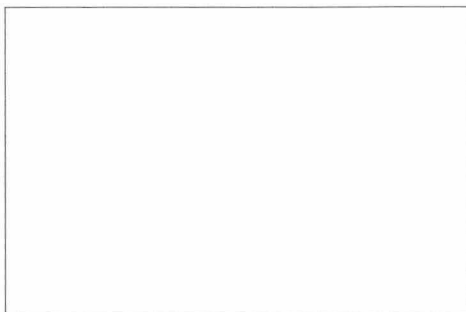


FIGURA 4-86 – Mapa B92R1

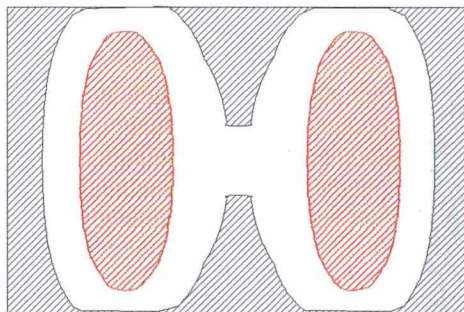


FIGURA 4-87 – Mapa B92R0



FIGURA 4-88 – Mapa B93R1

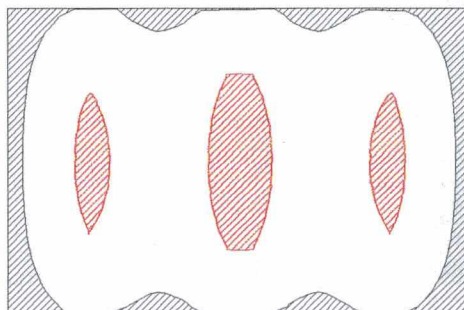


FIGURA 4-89 – Mapa B93R0

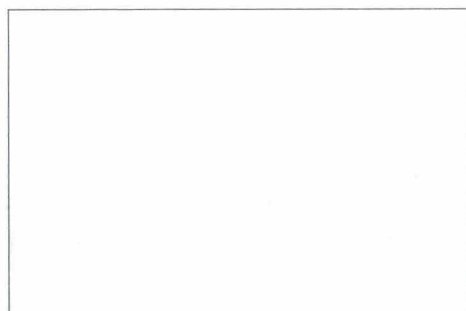


FIGURA 4-90 – Mapa B94R1

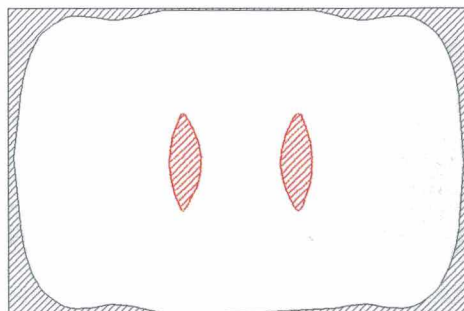


FIGURA 4-91 – Mapa B94R0

Legenda:

Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta

### 4.1.2.3 Padrão C

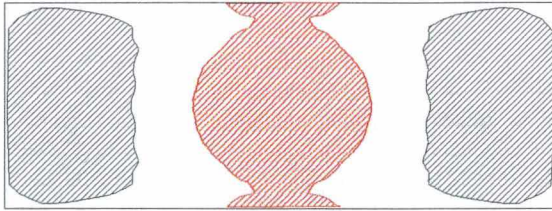


FIGURA 4-92 – Mapa C11R1

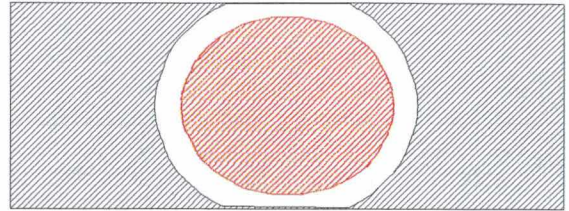


FIGURA 4-93 – Mapa C11R0

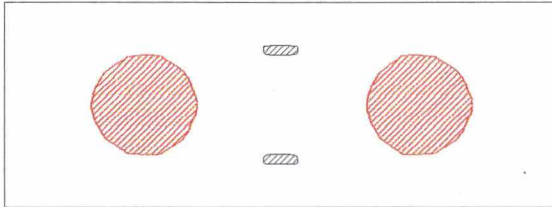


FIGURA 4-94 – Mapa C12R1

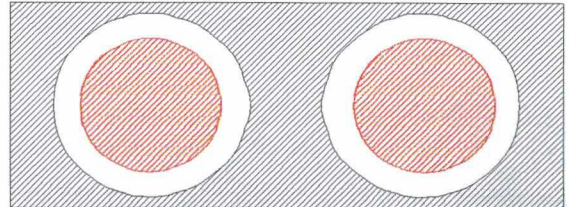


FIGURA 4-95 – Mapa C12R0

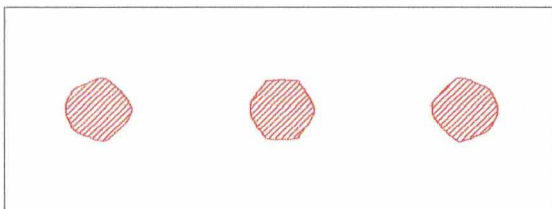


FIGURA 4-96 – Mapa C13R1

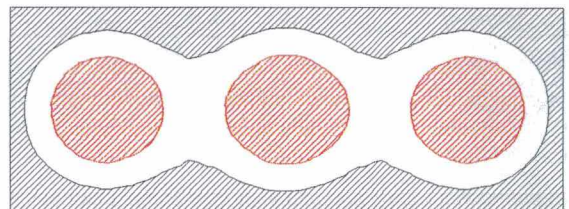


FIGURA 4-97 – Mapa C13R0

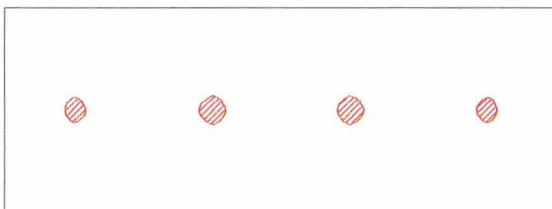


FIGURA 4-98 – Mapa C14R1

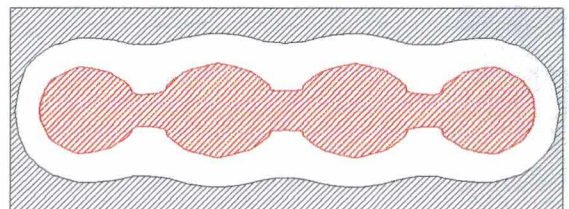


FIGURA 4-99 – Mapa C14R0



FIGURA 4-100 – Mapa C19R1

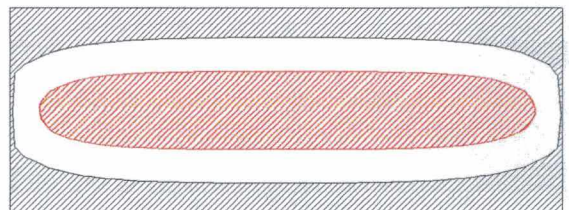


FIGURA 4-101 – Mapa C19R0

Legenda:

Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta

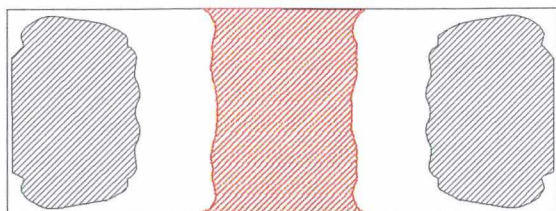


FIGURA 4-102 – Mapa C21R1

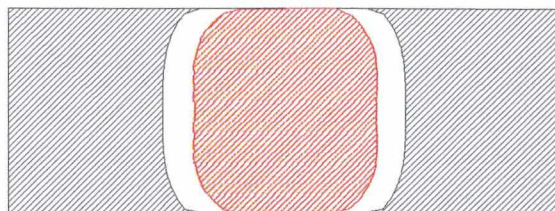


FIGURA 4-103 – Mapa C21R0

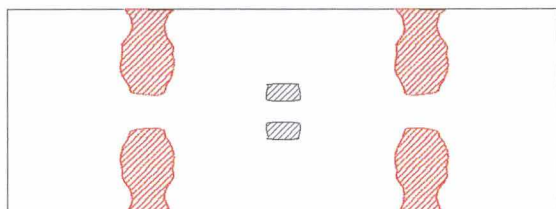


FIGURA 4-104 – Mapa C22R1

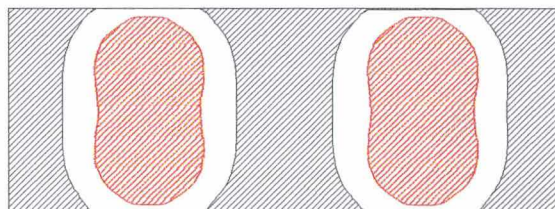


FIGURA 4-105 – Mapa C22R0

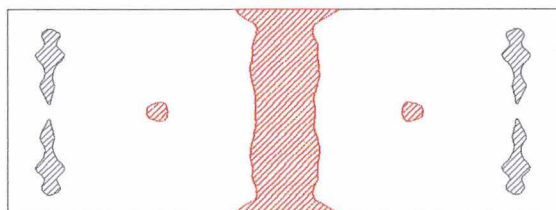


FIGURA 4-106 – Mapa C22WR1

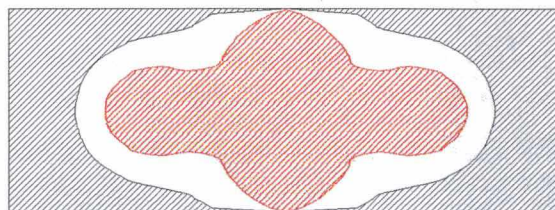


FIGURA 4-107 – Mapa C22WR0

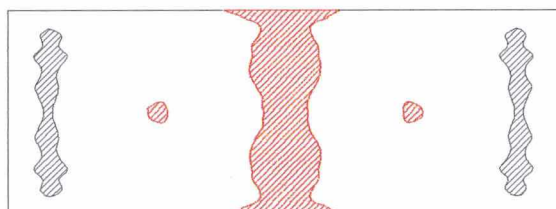


FIGURA 4-108 – Mapa C22XR1

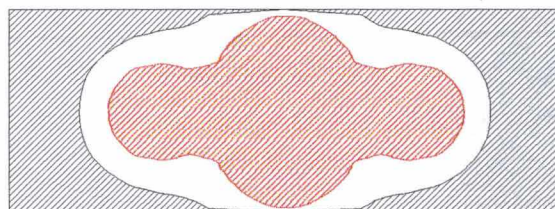


FIGURA 4-109 – Mapa C22XR0

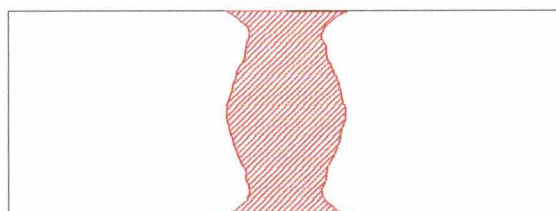


FIGURA 4-110 – Mapa C22YR1

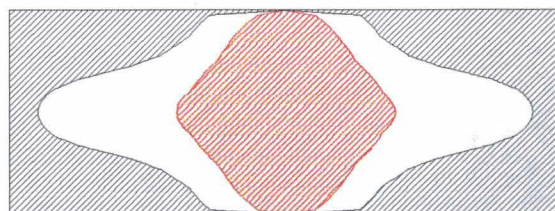


FIGURA 4-111 – Mapa C22YR0

Legenda:

Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta

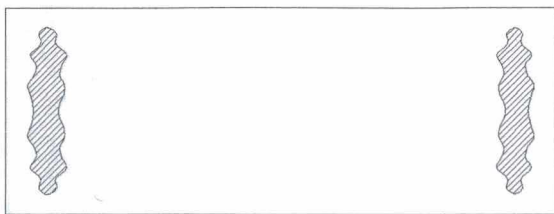


FIGURA 4-112 – Mapa C22ZR1

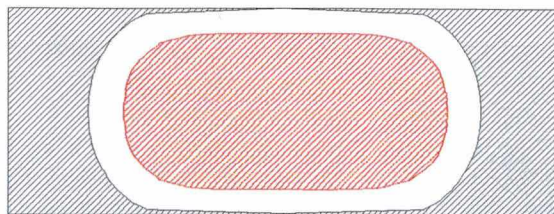


FIGURA 4-113 – Mapa C22ZR0

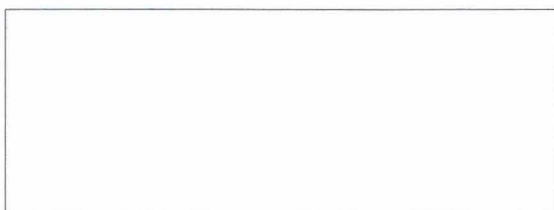


FIGURA 4-114 – Mapa C23R1

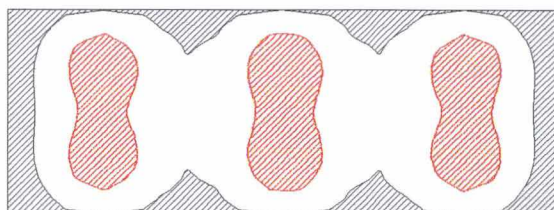


FIGURA 4-115 – Mapa C23R0

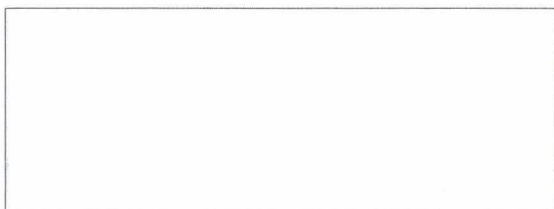


FIGURA 4-116 – Mapa C24R1

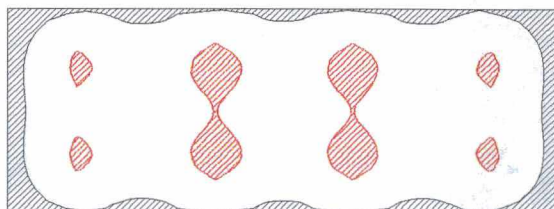


FIGURA 4-117 – Mapa C24R0

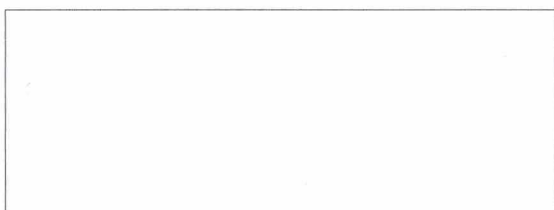


FIGURA 4-118 – Mapa C29R1

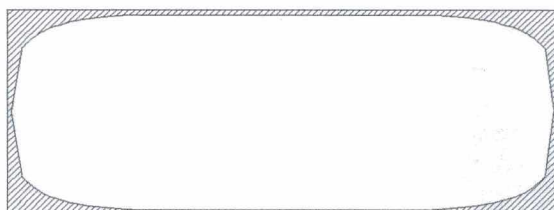


FIGURA 4-119 – Mapa C29R0

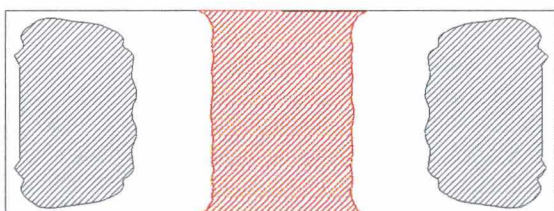


FIGURA 4-120 – Mapa C31R1

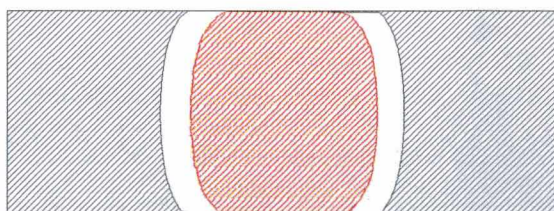


FIGURA 4-121 – Mapa C31R0

Legenda:

Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta

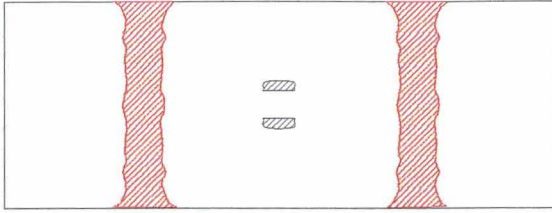


FIGURA 4-122 – Mapa C32R1

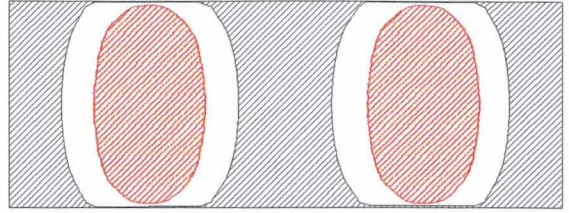


FIGURA 4-123 – Mapa C32R0



FIGURA 4-124 – Mapa C33R1

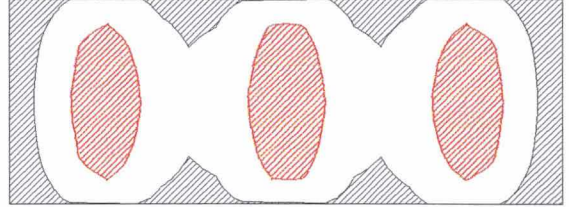


FIGURA 4-125 – Mapa C33R0

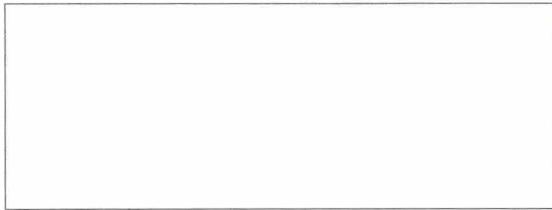


FIGURA 4-126 – Mapa C34R1

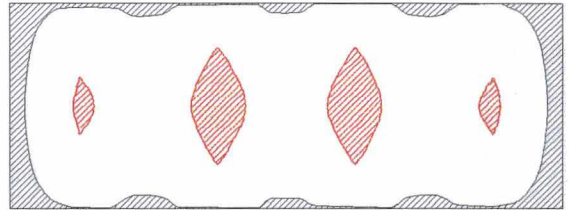


FIGURA 4-127 – Mapa C34R0

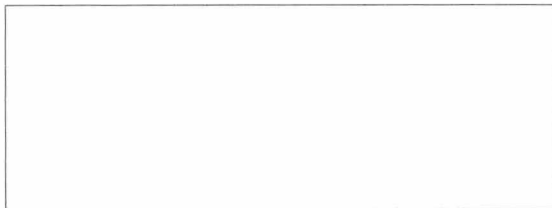


FIGURA 4-128 – Mapa C39R1



FIGURA 4-129 – Mapa C39R0

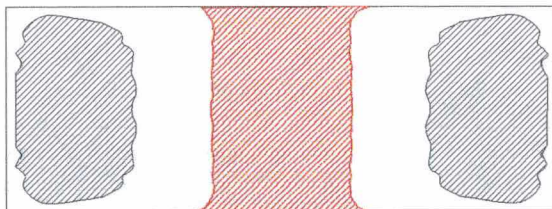


FIGURA 4-130 – Mapa C41R1

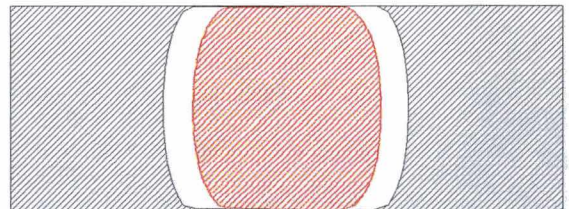


FIGURA 4-131 – Mapa C41R0

Legenda:

Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta

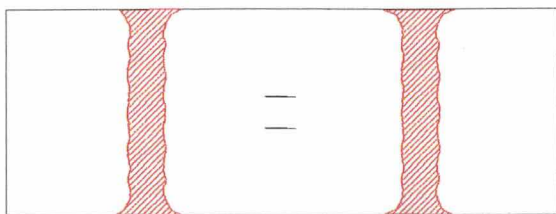


FIGURA 4-132 – Mapa C42R1

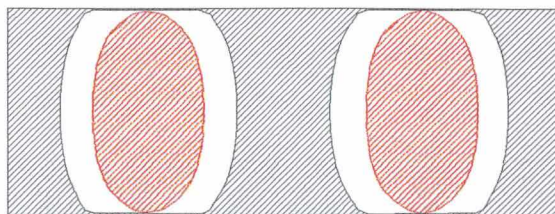


FIGURA 4-133 – Mapa C42R0

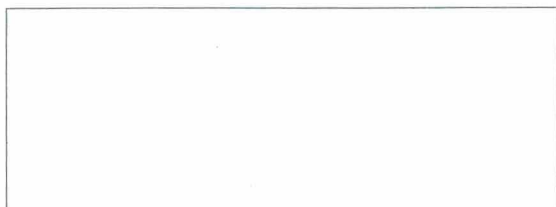


FIGURA 4-134 – Mapa C43R1

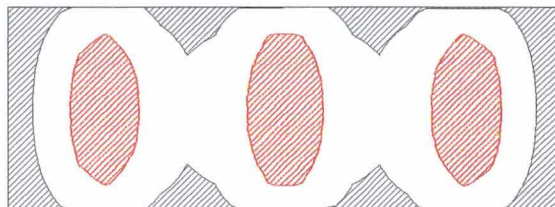


FIGURA 4-135 – Mapa C43R0

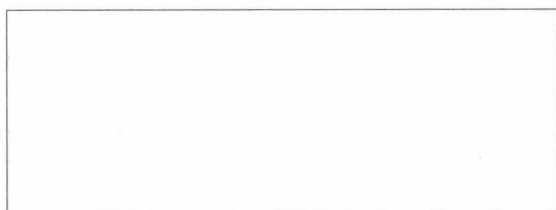


FIGURA 4-136 – Mapa C44R1

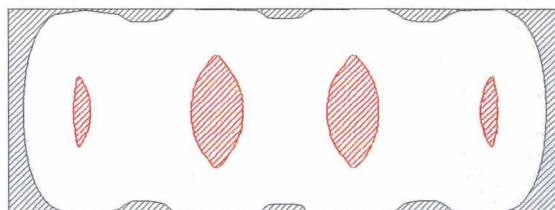


FIGURA 4-137 – Mapa C44R0

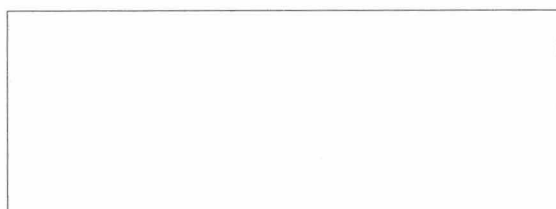


FIGURA 4-138 – Mapa C49R1

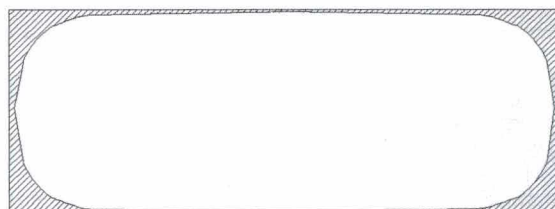


FIGURA 4-139 – Mapa C49R0

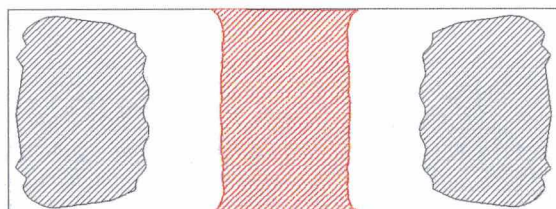


FIGURA 4-140 – Mapa C91R1

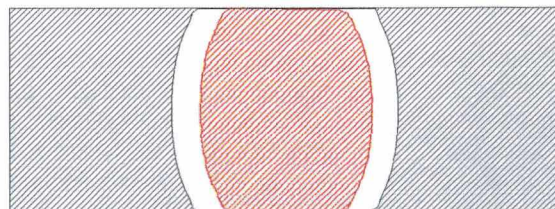


FIGURA 4-141 – Mapa C91R0

Legenda:

Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta

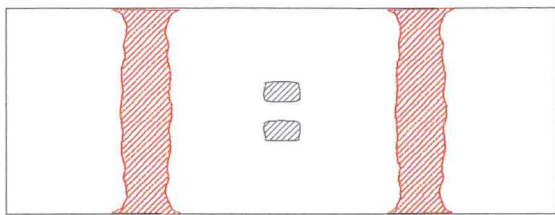


FIGURA 4-142 – Mapa C92R1

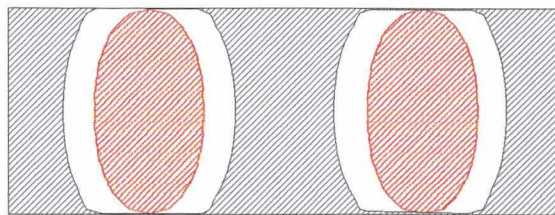


FIGURA 4-143 – Mapa C92R0

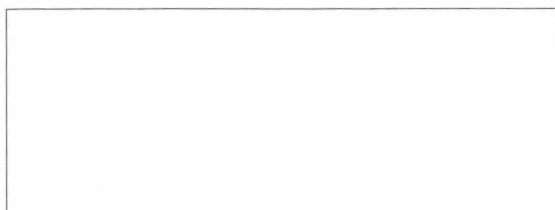


FIGURA 4-144 – Mapa C93R1

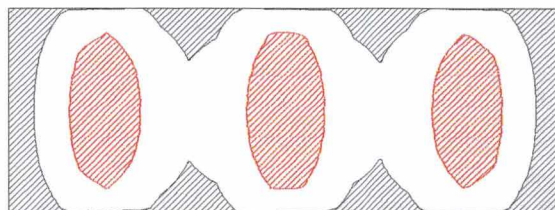


FIGURA 4-145 – Mapa C93R0

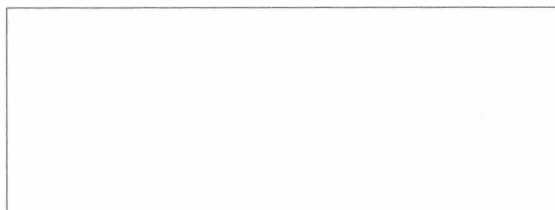


FIGURA 4-146 – Mapa C94R1

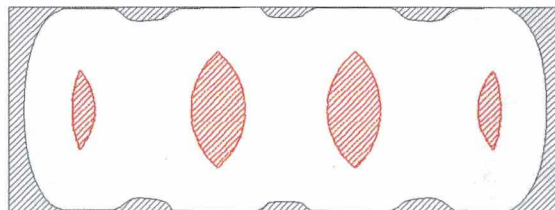


FIGURA 4-147 – Mapa C94R0

Legenda:

Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta

#### 4.1.2.4 Padrão D

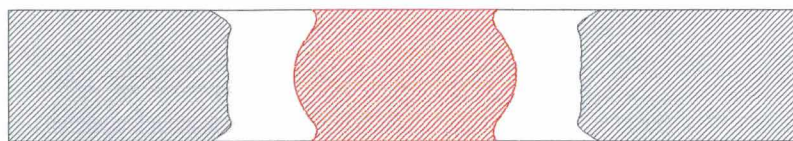


FIGURA 4-148 – Mapa D11R1



FIGURA 4-149 – Mapa D11R0

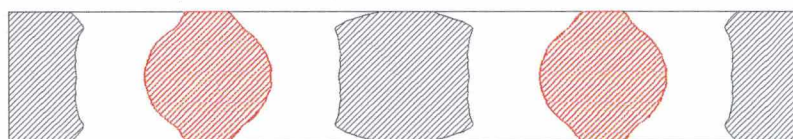


FIGURA 4-150 – Mapa D12R1

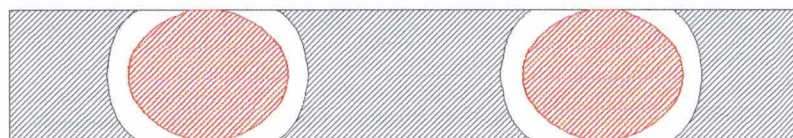


FIGURA 4-151 – Mapa D12R0

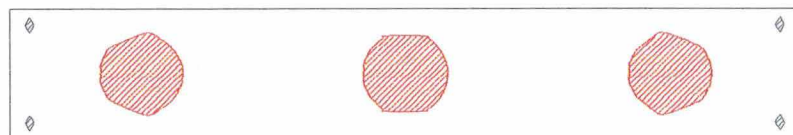


FIGURA 4-152 – Mapa D13R1

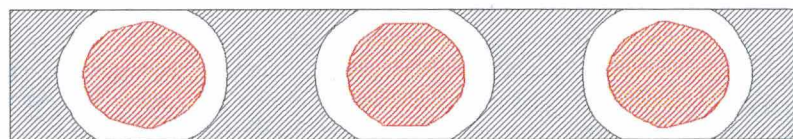


FIGURA 4-153 – Mapa D13R0

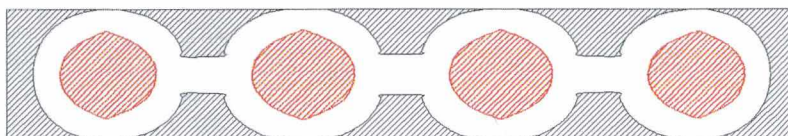
Legenda:

Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta

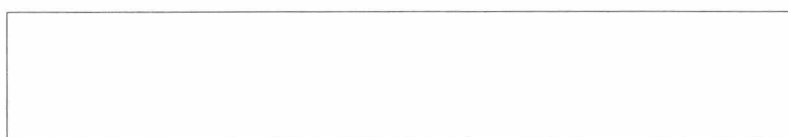




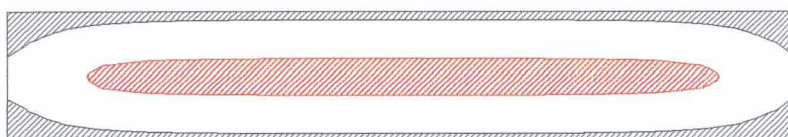
**FIGURA 4-154 – Mapa D14R1**



**FIGURA 4-155 – Mapa D14R0**



**FIGURA 4-156 – Mapa D19R1**



**FIGURA 4-157 – Mapa D19R0**



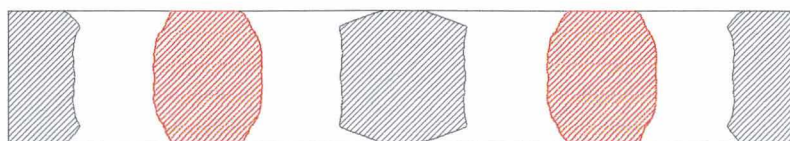
**FIGURA 4-158 – Mapa D21R1**



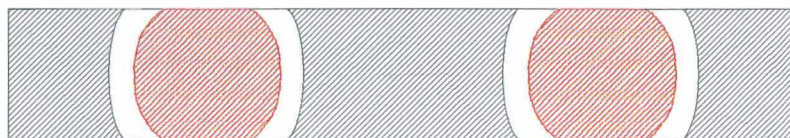
**FIGURA 4-159 – Mapa D21R0**

Legenda:

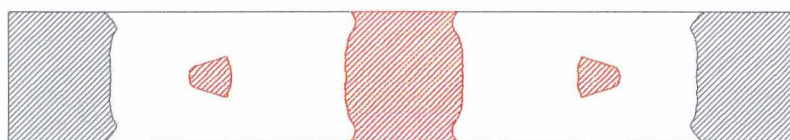
Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta



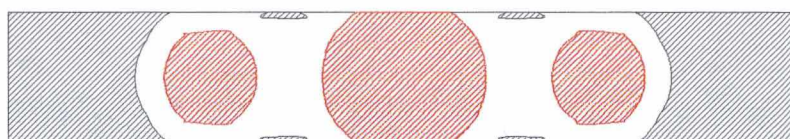
**FIGURA 4-160 – Mapa D22R1**



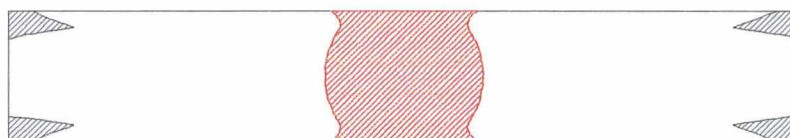
**FIGURA 4-161 – Mapa D22R0**



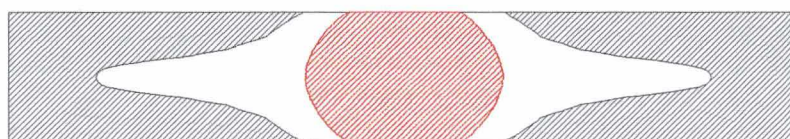
**FIGURA 4-162 – Mapa D22XR1**



**FIGURA 4-163 – Mapa D22XR0**



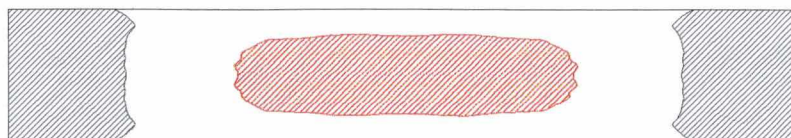
**FIGURA 4-164 – Mapa D22YR1**



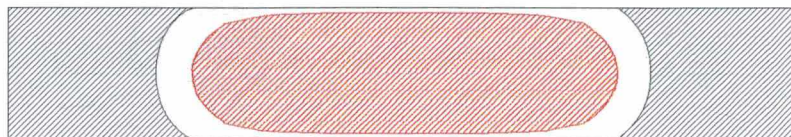
**FIGURA 4-165 – Mapa D22YR0**

Legenda:

Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta



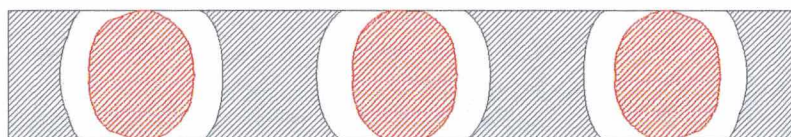
**FIGURA 4-166 – Mapa D22ZR1**



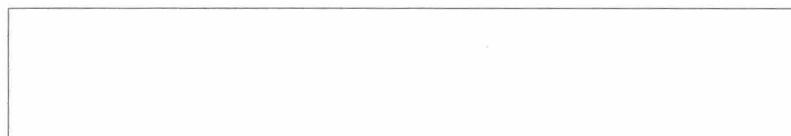
**FIGURA 4-167 – Mapa D22ZR0**



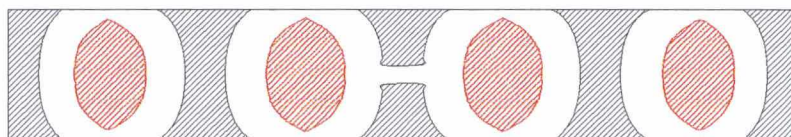
**FIGURA 4-168 – Mapa D23R1**



**FIGURA 4-169 – Mapa D23R0**



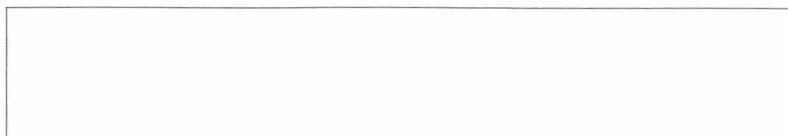
**FIGURA 4-170 – Mapa D24R1**



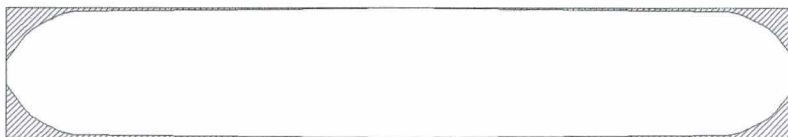
**FIGURA 4-171 – Mapa D24R0**

Legenda:

Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta



**FIGURA 4-172 – Mapa D29R1**



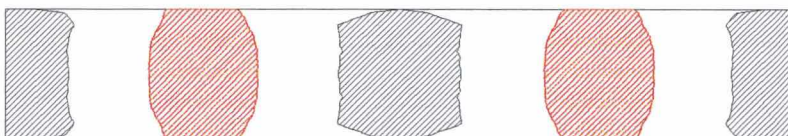
**FIGURA 4-173 – Mapa D29R0**



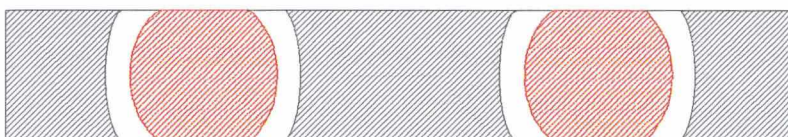
**FIGURA 4-174 – Mapa D31R1**



**FIGURA 4-175 – Mapa D31R0**



**FIGURA 4-176 – Mapa D32R1**



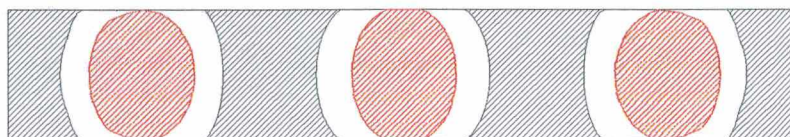
**FIGURA 4-177 – Mapa D32R0**

Legenda:

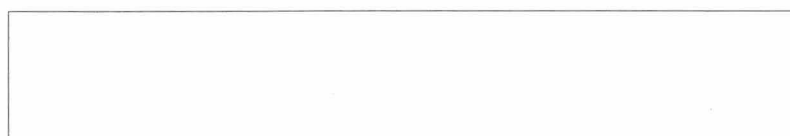
Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta



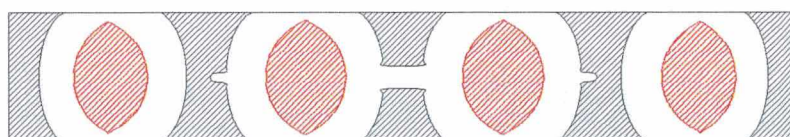
**FIGURA 4-178 – Mapa D33R1**



**FIGURA 4-179 – Mapa D33R0**



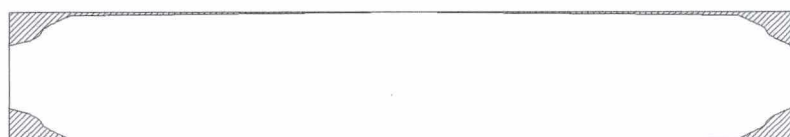
**FIGURA 4-180 – Mapa D34R1**



**FIGURA 4-181 – Mapa D34R0**



**FIGURA 4-182 – Mapa D39R1**



**FIGURA 4-183 – Mapa D39R0**

Legenda:

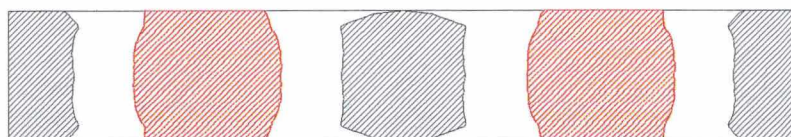
Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta



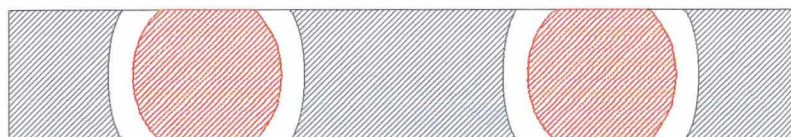
**FIGURA 4-184 – Mapa D41R1**



**FIGURA 4-185 – Mapa D41R0**



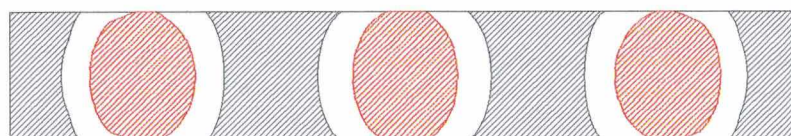
**FIGURA 4-186 – Mapa D42R1**



**FIGURA 4-187 – Mapa D42R0**



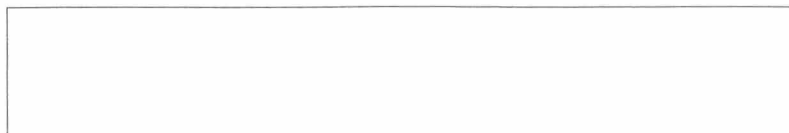
**FIGURA 4-188 – Mapa D43R1**



**FIGURA 4-189 – Mapa D43R0**

Legenda:

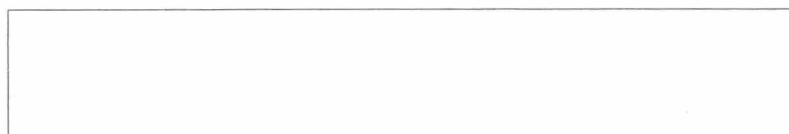
Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta



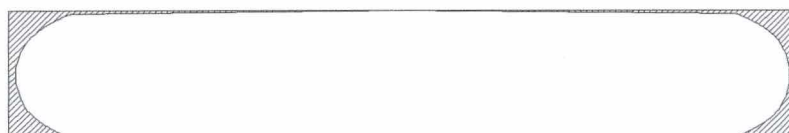
**FIGURA 4-190 – Mapa D44R1**



**FIGURA 4-191 – Mapa D44R0**



**FIGURA 4-192 – Mapa D49R1**



**FIGURA 4-193 – Mapa D49R0**



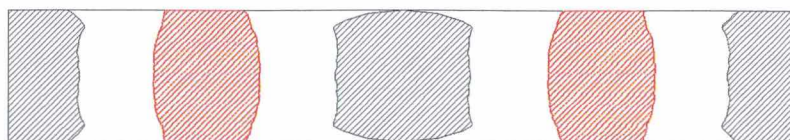
**FIGURA 4-194 – Mapa D91R1**



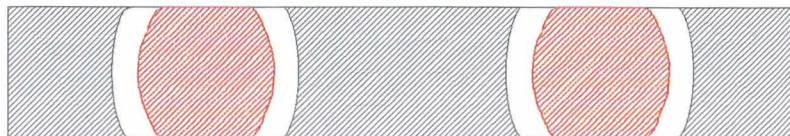
**FIGURA 4-195 – Mapa D91R0**

Legenda:

Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\chi$	Preta



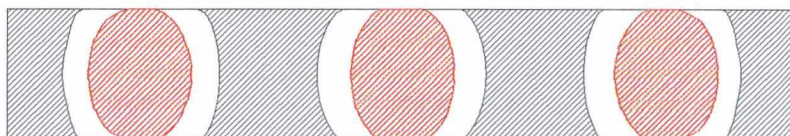
**FIGURA 4-196 – Mapa D92R1**



**FIGURA 4-197 – Mapa D92R0**



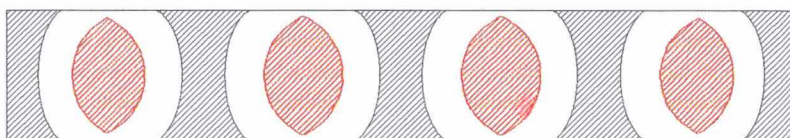
**FIGURA 4-198 – Mapa D93R1**



**FIGURA 4-199 – Mapa D93R0**



**FIGURA 4-200 – Mapa D94R1**



**FIGURA 4-201 – Mapa D94R0**

Legenda:

Região	Cor
$\alpha$	Vermelha
$\beta$	Branca
$\gamma$	Preta



### 4.1.3 Análise Comparativa do Mapeamento

O mapeamento de iluminâncias proposto por este trabalho, permite ao projetista o seu emprego como uma ferramenta simplificada de análise da distribuição de iluminâncias em ambientes. Um simples exame visual sobre o mapa possibilita ao projetista chegar a conclusões rápidas a respeito do comportamento da distribuição de iluminâncias do ambiente em estudo.

Nos itens seguintes são apresentadas algumas inferências, das inúmeras possíveis, tiradas a partir dos mapas expostos nesse trabalho. A análise é feita inicialmente para cada Padrão e posteriormente os agrupando, no sentido de observar a influência do seu *alongamento* no comportamento da distribuição da iluminância para alguns Modelos.

#### 4.1.3.1 Padrão A

Com base nas Figuras 4-2 a 4-35 apresentadas no item 4.1.2.1, é possível observar:

- Para todos os Modelos, há uma redução significativa da área da região  $\beta$  quando se reduz a refletividade das superfícies;
- A evolução das figuras, considerando os Modelos 11, 12, 13, 14 e 19, com aberturas em apenas uma linha, mostra uma tendência a se estabilizar a partir do Modelo 13, para ambos os Conjuntos de Refletividades. A partir desta constatação é possível inferir que, nesse caso, o número de três aberturas seria suficiente para uma boa distribuição de iluminâncias;
- $A_\beta$  tende a crescer à medida que aumenta o número de linhas ou colunas de aberturas, chegando a 100% a partir da terceira linha ou coluna, para a REF 1. Essa observação corrobora com a inferência do item anterior;
- Apenas o Modelo 11 tem  $A_\gamma > 0$  para REF 1;
- Para REF 0, sempre existe uma  $A_\gamma > 0$ , localizada próxima às paredes, devido à refletividade nula. A  $A_\alpha$  é também sempre maior que 0, contudo sendo desprezível para os Modelos 44 e 49.

#### 4.1.3.2 Padrão B

Com base nas Figuras 4-36 a 4-91 apresentadas no item 4.1.2.2, é possível observar:

- Para todos os Modelos, há uma redução significativa de  $A_{\beta}$  quando reduz-se a refletividade das superfícies;
- A evolução das figuras considerando os Modelos 11, 12, 13, 14 e 19, com aberturas em apenas uma linha, mostra uma tendência semelhante ao Padrão A. No entanto há estabilização a partir do Modelo 13 apenas para REF 0, enquanto REF 1 tem uma evolução contínua, para os Modelos estudados;
- Todos os Modelo com aberturas em apenas uma coluna (11, 21, 31, 41, 91) têm  $A_{\alpha} > 0$  para REF 1;
- $A_{\beta}$  tende a crescer à medida que aumenta o número de linhas ou colunas de aberturas, chegando a 100% já a partir de alguns Modelos com quatro aberturas, para REF 1;
- Para REF 0, sempre existe uma  $A_{\chi} > 0$ , localizada próxima às paredes, devido à refletividade igual a zero. A  $A_{\alpha}$  é também sempre maior que 0, exceto para o Modelo 49.

#### **4.1.3.3 Padrão C**

Com base nas Figuras 4-92 a 4-147 apresentadas no item 4.1.2.3, é possível observar:

- Para todos os Modelos, há uma redução significativa de  $A_{\beta}$  quando reduz-se a refletividade das superfícies;
- A evolução das figuras considerando os Modelos 11, 12, 13, 14 e 19, com aberturas em apenas uma linha, mostra uma tendência semelhante aos Padrões A e B, no entanto não há estabilização nessa tendência para ambos os Conjuntos de Refletividades, para os Modelos estudados;
- $A_{\beta}$  tende a crescer à medida que aumenta o número de linhas ou colunas de aberturas, chegando a 100% nas aberturas contínuas em linha e nos Modelos 23, 24, 33, 34, 43, 44, 93 e 94, para REF 1;
- Para REF 0, sempre existe uma  $A_{\chi} > 0$ , localizada próxima às paredes, em função da inexistência de refletividade, e nos casos de Modelos com aberturas em duas colunas (12, 22, 32, 42 e 92) essa região se estende para o centro do Ambiente, por causa da distância entre as colunas. A  $A_{\alpha}$  é também sempre maior que 0, exceto para os Modelos 29, 39 e 49.

#### 4.1.3.4 Padrão D

Com base nas Figuras 4-148 a 4-201, apresentadas no item 4.1.2.4, é possível observar:

- Para todos os Modelos, há uma redução significativa de  $A_\beta$  quando reduz-se a refletividade das superfícies; essa redução é menos notada para Modelos com aberturas em apenas uma coluna, em virtude do alongamento do Padrão;
- A evolução das figuras considerando os Modelos 11, 12, 13, 14 e 19, com aberturas em apenas uma linha, mostra uma tendência semelhante aos Padrões A, B e C, no entanto não há estabilização nessa tendência para ambas as refletividades, para os Modelos estudados;
- $A_\beta$  tende a crescer à medida que aumenta o número de linhas ou colunas de aberturas, chegando a 100% apenas nas aberturas contínuas em linha e nos Modelos 24, 34 e 44 para REF 1;
- Para REF 0, sempre existe uma  $A_\chi > 0$ , localizada próxima às paredes e entre as projeções das aberturas; a  $A_\alpha$  é também sempre maior que 0, exceto para os Modelos 29, 39 e 49.

#### 4.1.3.5 Todos os Padrões

Analisando as figuras em conjunto é possível chegar às seguintes observações:

- Para REF 0, o *alongamento* do Padrão não traz grandes alterações no mapa de iluminâncias, diferentemente de REF 1, onde há uma tendência de evolução bem mais rápida;
- Observando-se a evolução entre as Figuras 4-2, 4-36, 4-92 e 4-148, todas referentes ao Modelo 11, REF 1, temos uma clara transformação da Região  $\chi$ , que no Padrão A apresenta-se em 4 partes próximas aos vértices do Ambiente, à medida que se *alonga* o Padrão, há uma união das partes, duas a duas, formando ilhas próximas às paredes da menor dimensão;
- Ao se analisar a evolução do Modelo 11, REF 0 (Figuras 4-3, 4-37, 4-93 e 4-149), nota-se que a região  $\alpha$  tem formato circular e tende a encontrar as paredes de maior dimensão à medida que o Padrão se alonga;
- No caso do Modelo 12, REF 1 (Figuras 4-4, 4-38, 4-94 e 4-150), com o alongamento do Padrão, começa a surgir uma Região  $\chi$ , inexistente nos Padrões A e

B. Para o Modelo 13, REF 1 (Figuras 4-6, 4-40, 4-96 e 4-152), o surgimento da Região  $\chi$  é insignificante, com o alongamento do Padrão. Essa tendência se concretiza nos Modelos 14 e 19, REF 1 (Figuras 4-8, 4-42, 4-98 e 4-154 e Figuras 4-10, 4-44, 4-100 e 4-156), onde a Região  $\chi$  nem chega a surgir;

- Estudando a evolução entre os Modelos 21, 31, 41 e 91, todos com REF 1, é possível coligir que, para o Padrão A, existe apenas uma Região  $\alpha$  no centro do Ambiente, tendendo com o aumento do número de aberturas, a formar uma faixa vertical contínua. Contudo, no processo de alongamento do Padrão, a partir do Padrão B, há uma tendência de formação além da Região  $\alpha$  no centro, de duas Regiões  $\chi$  nas extremidades próximas às paredes de menor dimensão;
- Quanto à evolução entre os Modelos  $4m$  e  $9m$  (para  $m$  variando de 1 a 4) é possível concluir que esse processo não traz nenhuma influência, no que tange à distribuição de iluminâncias, em todos os Padrões e Conjuntos de Refletividades;
- Por sua vez, a passagem do Modelo  $n4$  para  $n9$  (para  $n$  variando de 1 a 4), não traz nenhuma influência para o Padrão A, em ambos os Conjuntos de Refletividades. Para os demais Padrões, para REF 1 existe apenas alguma influência nos Modelos com uma abertura (14 para 19). Por sua vez, para REF 0, quando aumenta o número de aberturas, aumenta a influência da passagem acima mencionada;
- A partir do exposto nos dois itens anteriores é possível afirmar que os Modelos com maior número de aberturas no sentido paralelo à maior dimensão do Ambiente tem uma melhor distribuição de iluminâncias, que aqueles com o mesmo número no sentido perpendicular.

#### 4.1.4 Áreas por Região de Iluminância (em percentual)

Com o objetivo de auxiliar o projetista no estudo da economia de energia, relacionada à carga de potência de iluminação instalada ( $W/m^2$ ), quer na fase de projeto, quer em reformas ou *retrofit*<sup>7</sup>, são calculadas as áreas por região de iluminância. Esse cálculo também servirá de base para o estudo comparativo entre os Métodos Gráfico e Analítico, propostos por esse trabalho.

---

<sup>7</sup> Segundo MACEDO JUNIOR (1996), retrofit ou retrofitting pode ser interpretado como a reforma de algum sistema onde se incorporam novas tecnologias voltadas para a conservação de energia, com melhoria significativa no seu desempenho.

Por outro lado, semelhante às análises visuais feitas sobre os mapas, é possível realizar todos os estudos em cima das tabelas de áreas. Fica a critério do projetista a escolha da forma que melhor se adapte ao seu estilo.

Os resultados estão apresentados nas Tabelas 4-5 a 4-8. As áreas são agrupadas de acordo com as regiões definidas na Tabela 3-3. Os Padrões estão descritos na Tabela 3-1 e na Figura 3-1, os Modelos na Figura 3-3 e os Conjuntos de Refletividades na Tabela 3-2.

**TABELA 4-5 – Áreas percentuais por Região de Iluminância para o Padrão A**

PADRÃO A						
MOD	REF 1			REF 0		
	Área $\gamma$	Área $\beta$	Área $\alpha$	Área $\gamma$	Área $\beta$	Área $\alpha$
11	14%	69%	17%	61%	15%	24%
12	0%	83%	17%	49%	21%	30%
13	0%	78%	22%	47%	20%	33%
14	0%	78%	22%	48%	18%	33%
19	0%	79%	21%	50%	18%	32%
22	0%	97%	3%	26%	51%	23%
22W	0%	90%	10%	43%	23%	35%
22Y	0%	90%	10%	40%	31%	30%
22Z	0%	100%	0%	36%	27%	37%
23	0%	100%	0%	21%	57%	22%
24	0%	100%	0%	20%	57%	22%
29	0%	100%	0%	22%	56%	23%
33	0%	100%	0%	14%	81%	5%
34	0%	100%	0%	13%	83%	4%
39	0%	100%	0%	14%	82%	4%
44	0%	100%	0%	12%	88%	0%
49	0%	100%	0%	12%	88%	0%

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
MOD	Modelo. Vide Figura 3-3

TABELA 4-6 – Áreas percentuais por Região de Iluminância para o Padrão B

PADRÃO B						
MOD	REF 1			REF 0		
	Área $\gamma$	Área $\beta$	Área $\alpha$	Área $\gamma$	Área $\beta$	Área $\alpha$
11	35%	48%	17%	61%	15%	24%
12	0%	86%	14%	47%	26%	26%
13	0%	88%	12%	42%	26%	32%
14	0%	88%	12%	43%	24%	33%
19	0%	81%	19%	44%	23%	32%
21	23%	54%	23%	53%	16%	31%
22	0%	98%	2%	30%	44%	26%
22W	0%	91%	8%	42%	23%	35%
22X	0%	82%	18%	42%	23%	35%
22Y	9%	84%	7%	50%	22%	28%
22Z	0%	100%	0%	35%	26%	39%
23	0%	100%	0%	19%	65%	16%
24	0%	100%	0%	20%	71%	9%
29	0%	100%	0%	16%	83%	1%
31	22%	54%	23%	53%	32%	14%
32	0%	100%	0%	30%	42%	28%
33	0%	100%	0%	16%	75%	9%
34	0%	100%	0%	13%	84%	3%
39	0%	100%	0%	13%	85%	2%
41	22%	55%	24%	52%	15%	33%
42	0%	100%	0%	30%	43%	28%
43	0%	100%	0%	15%	75%	10%
44	0%	100%	0%	11%	86%	2%
49	0%	100%	0%	14%	86%	0%
91	24%	53%	23%	56%	14%	30%
92	0%	100%	0%	31%	41%	28%
93	0%	100%	0%	15%	73%	11%
94	0%	100%	0%	13%	84%	3%

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
MOD	Modelo. Vide Figura 3-3

TABELA 4-7 – Áreas percentuais por Região de Iluminância para o Padrão C

PADRÃO C						
MOD	REF 1			REF 0		
	Área $\gamma$	Área $\beta$	Área $\alpha$	Área $\gamma$	Área $\beta$	Área $\alpha$
11	40%	36%	23%	60%	14%	26%
12	1%	85%	14%	50%	24%	26%
13	0%	92%	8%	38%	37%	24%
14	0%	98%	2%	36%	35%	29%
19	0%	100%	0%	36%	34%	31%
21	37%	38%	25%	59%	11%	30%
22	1%	86%	13%	43%	26%	31%
22W	4%	84%	12%	41%	24%	35%
22X	6%	83%	12%	40%	24%	36%
22Y	0%	83%	17%	44%	30%	25%
22Z	0%	92%	8%	38%	22%	40%
23	0%	100%	0%	21%	52%	26%
24	0%	100%	0%	14%	77%	9%
29	0%	100%	0%	11%	89%	0%
31	35%	40%	24%	59%	11%	30%
32	1%	86%	13%	43%	26%	32%
33	0%	100%	0%	21%	56%	23%
34	0%	100%	0%	13%	79%	8%
39	0%	100%	0%	10%	90%	0%
41	34%	41%	24%	59%	11%	30%
42	0%	87%	13%	43%	25%	32%
43	0%	100%	0%	21%	57%	22%
44	0%	100%	0%	12%	79%	9%
49	0%	100%	0%	9%	91%	0%
91	38%	39%	23%	62%	10%	28%
92	1%	82%	16%	44%	24%	32%
93	0%	100%	0%	20%	56%	23%
94	0%	100%	0%	11%	79%	10%

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
MOD	Modelo. Vide Figura 3-3

TABELA 4-8 – Áreas percentuais por Região de Iluminância para o Padrão D

PADRÃO D						
MOD	REF 1			REF 0		
	Área $\gamma$	Área $\beta$	Área $\alpha$	Área $\gamma$	Área $\beta$	Área $\alpha$
11	46%	29%	24%	65%	7%	28%
12	33%	43%	24%	54%	15%	31%
13	2%	83%	15%	42%	30%	28%
14	0%	94%	6%	30%	45%	25%
19	0%	100%	0%	19%	60%	20%
21	54%	21%	25%	65%	7%	28%
22	31%	44%	25%	53%	14%	33%
22X	26%	58%	16%	64%	4%	32%
22Y	4%	78%	18%	53%	26%	21%
22Z	30%	47%	24%	40%	16%	45%
23	0%	87%	13%	39%	28%	33%
24	0%	100%	0%	29%	47%	24%
29	0%	100%	0%	6%	94%	0%
31	53%	21%	25%	65%	6%	29%
32	30%	45%	25%	53%	14%	33%
33	0%	87%	13%	39%	28%	33%
34	0%	100%	0%	28%	48%	24%
39	0%	100%	0%	5%	95%	0%
41	54%	21%	25%	65%	7%	28%
42	31%	35%	35%	52%	14%	33%
43	0%	65%	35%	42%	26%	32%
44	0%	100%	0%	28%	48%	24%
49	0%	100%	0%	6%	94%	0%
91	58%	20%	21%	69%	7%	23%
92	33%	42%	25%	55%	14%	31%
93	0%	84%	16%	41%	26%	33%
94	0%	99%	1%	28%	46%	26%

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
MOD	Modelo. Vide Figura 3-3



## 4.2 Método Analítico

O desenvolvimento desse método leva em consideração a necessidade de uma ferramenta baseada em princípios estatísticos, servindo de contraponto ao Método Gráfico. Adota-se como parâmetro de desempenho luminoso o conceito de coeficiente de variação (c.v.), uma medida de dispersão utilizada para compensar as distorções no uso do desvio padrão entre amostras com médias diferenciadas.

A partir do c.v., os dados são agrupados de forma a obter-se uma Avaliação de Desempenho, que leve em conta a capacidade do sistema de iluminação produzir uma distribuição de iluminâncias uniforme. Os agrupamentos se dão por (i) Modelos Básicos, (ii) Aberturas Zenitais Contínuas, (iii) perímetro das aberturas e (iv) número de aberturas.

### 4.2.1 Dados Básicos

Inicialmente, a partir de uma amostra de 400 valores de iluminância em pontos proporcionalmente distribuídos em cada Ambiente, obtida pela simulação computacional, são calculados a média ( $E_m$ ) e o desvio padrão ( $s$ ) das iluminâncias para cada Padrão, Modelo e Conjunto de Refletividades propostos. Em seguida, obtém-se o coeficiente de variação através da relação percentual entre a iluminância média e o desvio padrão, conforme Equação (3.1). Os valores da iluminância média ( $E_m$ ), do desvio padrão ( $s$ ) e do coeficiente de variação (c.v.) estão expostos nas Tabelas 4-9 a 4-12. No Anexo A, pode-se encontrar uma série de planilhas contendo todos os dados coletados e processados a fim de se gerar essas tabelas. Os Padrões estão descritos na Tabela 3-1 e na Figura 3-1, os Modelos na Figura 3-3 e os Conjuntos de Refletividades na Tabela 3-2.

TABELA 4-9 – Resultados estatísticos – Padrão A

PADRÃO A						
MOD	REF 1			REF 0		
	$E_m$	s	c.v.	$E_m$	s	c.v.
11	3620	1240	34,3%	1580	1380	87,3%
12	3560	908	25,5%	1480	995	67,2%
13	3560	890	25,0%	1430	937	65,5%
14	3530	874	24,8%	1410	921	65,3%
19	3480	912	26,2%	1390	962	69,2%
21	3560	908	25,5%	1480	995	67,2%
22	3500	351	10,0%	1380	465	33,7%
22W	3580	654	18,3%	1480	828	55,9%
22X	3580	654	18,3%	1480	828	55,9%
22Y	3410	615	18,0%	1390	746	53,7%
22Z	3590	449	12,5%	1450	638	44,0%
23	3490	267	7,7%	1340	370	27,6%
24	3460	258	7,5%	1320	355	26,9%
29	3490	276	7,9%	1300	362	27,8%
31	3560	890	25,0%	1430	937	65,5%
32	3490	267	7,7%	1340	370	27,6%
33	3490	93,3	2,7%	1300	238	18,3%
34	3460	74,4	2,2%	1280	228	17,8%
39	3380	85,3	2,5%	1260	234	18,6%
41	3530	874	24,8%	1410	921	65,3%
42	3460	258	7,5%	1320	355	26,9%
43	3460	74,4	2,2%	1280	228	17,8%
44	3430	41	1,2%	1260	217	17,2%
49	3470	47,7	1,4%	1240	222	17,9%
59	3380	45,7	1,4%	1240	225	18,1%
69	3450	47	1,4%	1230	224	18,2%
91	3480	912	26,2%	1390	962	69,2%
92	3490	276	7,9%	1300	362	27,8%
93	3380	85,3	2,5%	1260	234	18,6%
94	3470	47,7	1,4%	1240	222	17,9%
95	3380	45,7	1,4%	1240	225	18,1%
96	3450	47	1,4%	1230	224	18,2%

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
MOD	Modelo. Vide Figura 3-3
$E_m$	Iluminância Média
s	Desvio padrão da amostra
c.v.	Coefficiente de variação

TABELA 4-10 – Resultados estatísticos – Padrão B

PADRÃO B						
MOD	REF 1			REF 0		
	$E_m$	s	c.v.	$E_m$	s	c.v.
11	3600	1230	34,2%	1560	1380	88,5%
12	3550	735	20,7%	1480	899	60,7%
13	3540	660	18,6%	1440	790	54,9%
14	3510	647	18,4%	1420	767	54,0%
19	3450	672	19,5%	1390	793	57,1%
21	3560	1100	30,9%	1440	1120	77,8%
22	3510	409	11,7%	1370	523	38,2%
22W	3560	662	18,6%	1460	816	55,9%
22X	3370	616	18,3%	1460	812	55,6%
22Y	3590	661	18,4%	1380	742	53,8%
22Z	3600	472	13,1%	1430	656	45,9%
23	3500	180	5,1%	1330	309	23,2%
24	3480	130	3,7%	1310	276	21,1%
29	3500	132	3,8%	1280	278	21,7%
31	3520	1080	30,7%	1390	1080	77,7%
32	3470	398	11,5%	1330	478	35,9%
33	3460	149	4,3%	1290	260	20,2%
34	3430	100	2,9%	1270	220	17,3%
39	3360	105	3,1%	1240	221	17,8%
41	3530	1070	30,3%	1380	1060	76,8%
42	3480	396	11,4%	1310	469	35,8%
43	3470	146	4,2%	1270	254	20,0%
44	3450	94,5	2,7%	1250	216	17,3%
49	3470	90	2,6%	1230	220	17,9%
59	3350	93,4	2,8%	1220	221	18,1%
69	3470	87,2	2,5%	1220	221	18,1%
91	3460	1110	32,1%	1360	1120	82,4%
92	3500	423	12,1%	1290	486	37,7%
93	3400	155	4,6%	1260	259	20,6%
94	3470	94	2,7%	1240	218	17,6%
95	3520	94,2	2,7%	1280	225	17,6%
96	3460	86	2,5%	1220	218	17,9%

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
MOD	Modelo. Vide Figura 3-3
$E_m$	Iluminância Média
s	Desvio padrão da amostra
c.v.	Coefficiente de variação

TABELA 4-11 – Resultados estatísticos – Padrão C

PADRÃO C						
MOD	REF 1			REF 0		
	$E_m$	s	c.v.	$E_m$	s	c.v.
11	3610	1450	40,2%	1460	1410	96,6%
12	3580	752	21,0%	1420	888	62,5%
13	3580	455	12,7%	1390	635	45,7%
14	3550	364	10,3%	1370	560	40,9%
19	3370	347	10,3%	1340	555	41,4%
21	3500	1300	37,1%	1330	1240	93,2%
22	3460	684	19,8%	1290	680	52,7%
22W	3500	687	19,6%	1370	775	56,6%
22X	3550	691	19,5%	1370	766	55,9%
22Y	3280	703	21,4%	1310	729	55,6%
22Z	3580	683	19,1%	1340	695	51,9%
23	3470	323	9,3%	1260	385	30,6%
24	3440	155	4,5%	1240	243	19,6%
29	3490	98,9	2,8%	1210	216	17,9%
31	3520	1320	37,5%	1300	1210	93,1%
32	3490	679	19,5%	1260	656	52,1%
33	3490	319	9,1%	1230	363	29,5%
34	3460	147	4,2%	1210	229	18,9%
39	3260	103	3,2%	1180	199	16,9%
41	3490	1290	37,0%	1280	1200	93,8%
42	3450	661	19,2%	1250	649	51,9%
43	3460	310	9,0%	1220	358	29,3%
44	3420	142	4,2%	1200	227	18,9%
49	3480	80,2	2,3%	1170	199	17,0%
59	3270	97,4	3,0%	1170	199	17,0%
69	3490	78,9	2,3%	1160	199	17,2%
91	3440	1390	40,4%	1270	1270	100,0%
92	3480	721	20,7%	1240	685	55,2%
93	3370	328	9,7%	1200	371	30,9%
94	3460	148	4,3%	1190	230	19,3%
95	3160	98,7	3,1%	1110	185	16,7%
96	3450	82,4	2,4%	1170	189	16,2%

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
MOD	Modelo. Vide Figura 3-3
$E_m$	Iluminância Média
s	Desvio padrão da amostra
c.v.	Coefficiente de variação

TABELA 4-12 – Resultados estatísticos – Padrão D

PADRÃO D						
MOD	REF 1			REF 0		
	$E_m$	s	c.v.	$E_m$	s	c.v.
11	3100	1600	51,6%	1230	1410	114,6%
12	3070	1070	34,9%	1220	988	81,0%
13	3080	694	22,5%	1200	677	56,4%
14	3060	459	15,0%	1190	486	40,8%
19	2720	190	7,0%	1160	286	24,7%
21	3170	1570	49,5%	1120	1280	114,3%
22	3160	1050	33,2%	1110	884	79,6%
22X	3160	840	26,6%	1140	710	62,3%
22Y	2640	809	30,6%	1120	703	62,8%
22Z	3190	914	28,7%	1140	749	65,7%
23	3150	665	21,1%	1090	586	53,8%
24	3140	417	13,3%	1080	384	35,6%
29	3110	119	3,8%	1050	150	14,3%
31	2940	1430	48,6%	1100	1260	114,5%
32	2860	942	32,9%	1090	866	79,4%
33	2920	606	20,8%	1080	572	53,0%
34	2850	373	13,1%	1060	374	35,3%
39	2080	72,9	3,5%	1030	147	14,3%
41	3080	1530	49,7%	1090	1250	114,7%
42	3070	1030	33,6%	1080	861	79,7%
43	3070	647	21,1%	1070	568	53,1%
44	3060	406	13,3%	1060	371	35,0%
49	3030	115	3,8%	1030	144	14,0%
59	2600	80	3,1%	1020	143	14,0%
69	2970	113	3,8%	1020	143	14,0%
91	2940	1580	53,7%	1090	1340	122,9%
92	2970	1070	36,0%	1080	907	84,0%
93	2910	661	22,7%	1060	598	56,4%
94	2960	416	14,1%	1050	386	36,8%
95	3020	300	9,9%	1090	283	26,0%
96	2960	184	6,2%	1040	188	18,1%

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
MOD	Modelo. Vide Figura 3-3
$E_m$	Iluminância Média
s	Desvio padrão da amostra
c.v.	Coefficiente de variação

## **4.2.2 Avaliação de Desempenho**

É efetivada a avaliação do desempenho, tendo como referencial um sistema de iluminação que produza uma distribuição de iluminâncias uniforme. O parâmetro adotado é o coeficiente de variação (c.v.), conforme analisado no item 3.4.2.1. Os resultados são agrupados em função de (i) Modelos Básicos, (ii) Aberturas Zenitais Contínuas, (iii) perímetro das aberturas e (iv) número de aberturas.

Por outro lado, as análises de desempenho da distribuição de iluminâncias feitas para as aberturas zenitais propostas nesse trabalho podem ser comparadas a sistemas de aberturas zenitais com tipologias semelhantes com proteção solar, como lanternins e dente-de-serra para Aberturas Zenitais Contínuas e clarabóias para os Modelos Básicos. Isto é possível visto que não está em análise, nesse estudo, o que ocorre com a luz fora do ambiente e sim após adentrá-lo. Como o meio de transmissão da luz entre o exterior e o interior é uma superfície definida como 100% difusora, não havendo, por conseguinte, incidência, quer direta, quer mais concentrada de raios solares sobre uma parte da área de trabalho, os efeitos da obstrução da insolação ou da abóbada celeste por parte da proteção solar serão desprezíveis.

### **4.2.2.1 Avaliação do Desempenho por Modelos Básicos**

A avaliação de desempenho por Modelos Básicos tem como objetivo observar a evolução do seu comportamento, sob o ponto de vista da distribuição de iluminâncias, ao se modificar a distribuição geométrica das aberturas zenitais, mantendo-se constante a área total de abertura.

A seguir os dados são agrupados por Padrão, Modelo e Conjunto de Refletividades e apresentados nas Tabelas 4-13 a 4-16 e Figuras 4-202 a 4-209.

A fim de favorecer uma visualização da evolução dos resultados em função do aumento do número de aberturas em linha (L) e coluna (C), as tabelas apresentam os coeficientes de variação por Modelo, através da ligação dos valores de L e C, correspondentes a cada Modelo, estando L colocado na primeira coluna e C na segunda linha de cada Tabela. Exemplificando, o c.v. do Modelo 24 é colocado no encontro da linha 2 com a coluna 4, para o Conjunto de Refletividades escolhido (REF1 ou REF 0).

De forma semelhante, os resultados são apresentados como gráficos de superfície (Fig. 4-202 a 4-209). Vale salientar que o eixo L (número de aberturas em linha) é o eixo vertical e está colocado do lado direito da figura em ordem decrescente. Por sua vez, o eixo C (Número de aberturas em coluna) está no eixo horizontal em ordem crescente. Para REF 1, todos os gráficos apresentam os valores do coeficiente de variação em blocos de 10%, variando de 0% a 60%, enquanto para REF 0 os blocos são de 20%, variando de 0% a 120%.

A Tabela 4-17, seqüencialmente, apresenta os resultados agrupando os Modelos com idênticos número de aberturas e comprimento de seus perímetros.

TABELA 4-13 – Coeficiente de Variação por Modelos Básicos – Padrão A

LAC	REF 1				REF 0			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	34%	26%	25%	25%	87%	67%	66%	65%
2	26%	10%	8%	7%	67%	34%	28%	27%
3	25%	8%	3%	2%	66%	28%	18%	18%
4	25%	7%	2%	1%	65%	27%	18%	17%

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
L	Número de aberturas em linhas
C	Número de aberturas em colunas

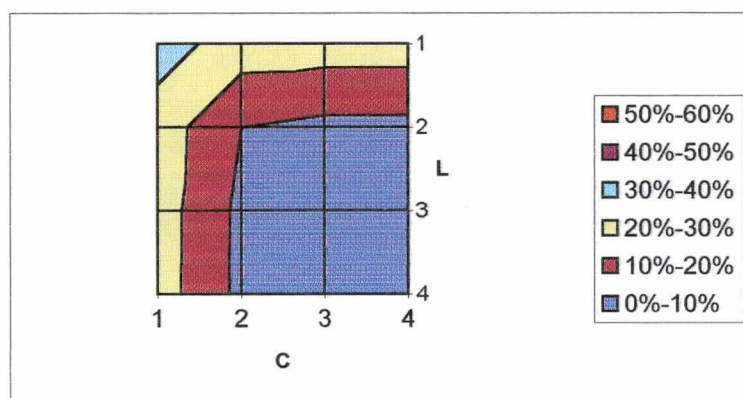


FIGURA 4-202 – Coeficiente de Variação por Modelos Básicos – Padrão A – REF 1

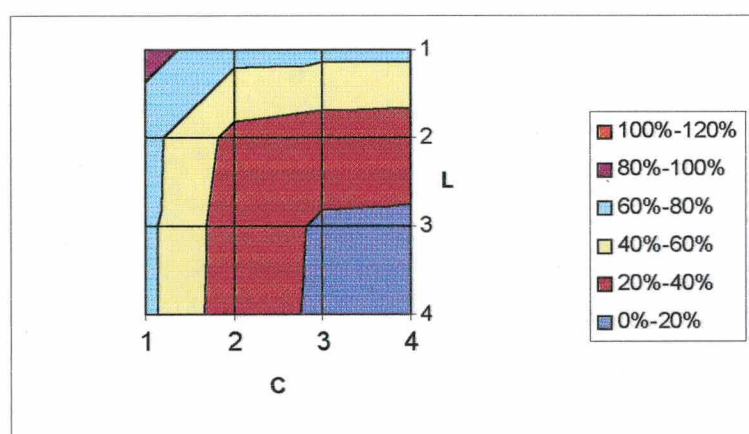


FIGURA 4-203 – Coeficiente de Variação por Modelos Básicos – Padrão A – REF 0



TABELA 4-14 – Coeficiente de Variação por Modelos Básicos – Padrão B

LAC	REF 1				REF 0			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	34%	21%	19%	18%	88%	61%	55%	54%
2	31%	12%	5%	4%	78%	38%	23%	21%
3	31%	11%	4%	3%	78%	36%	20%	17%
4	30%	11%	4%	3%	77%	36%	20%	17%

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
L	Número de aberturas em linhas
C	Número de aberturas em colunas

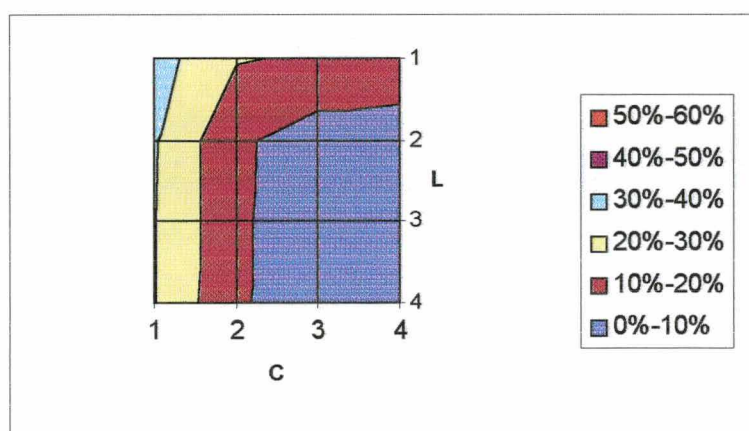


FIGURA 4-204 – Coeficiente de Variação por Modelos Básicos – Padrão B – REF 1

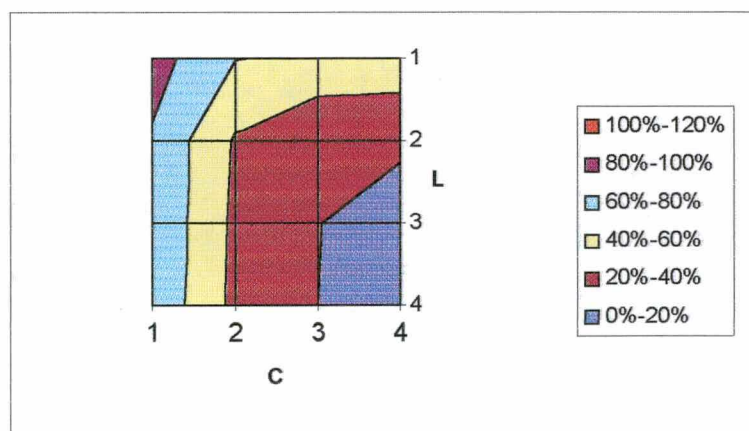


FIGURA 4-205 – Coeficiente de Variação por Modelos Básicos – Padrão B – REF 0

TABELA 4-15 – Coeficiente de Variação por Modelos Básicos – Padrão C

L\C	REF 1				REF 0			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	40%	21%	13%	10%	97%	63%	46%	41%
2	37%	20%	9%	5%	93%	53%	31%	20%
3	38%	19%	9%	4%	93%	52%	30%	19%
4	37%	19%	9%	4%	94%	52%	29%	19%

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
L	Número de aberturas em linhas
C	Número de aberturas em colunas

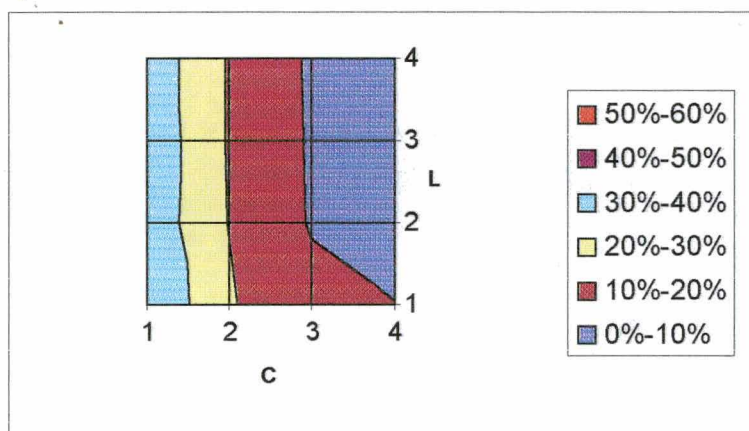


FIGURA 4-206 – Coeficiente de Variação por Modelos Básicos – Padrão C – REF 1

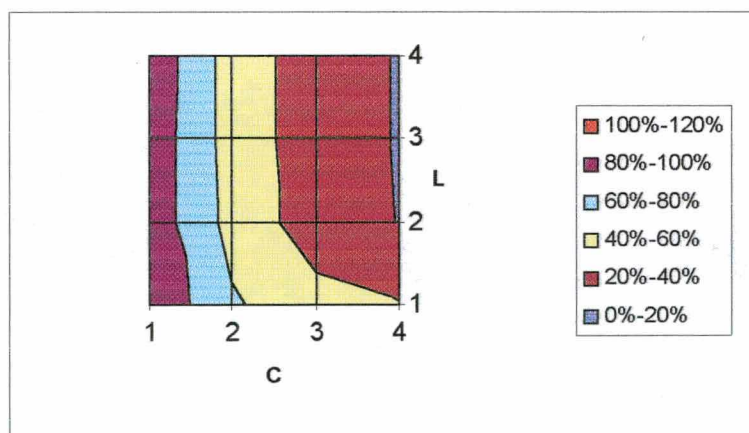


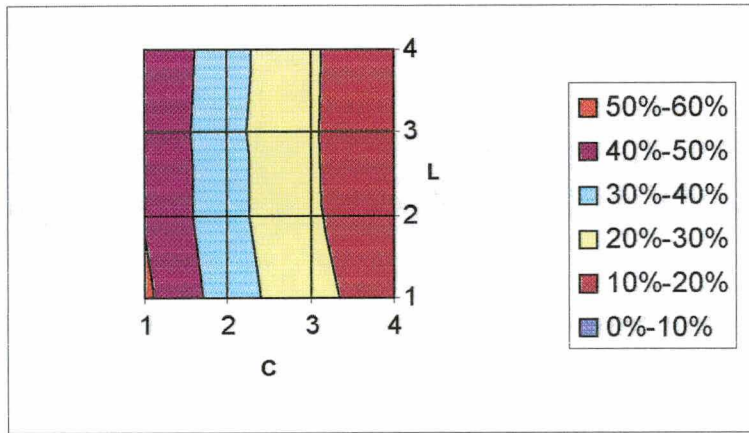
FIGURA 4-207 – Coeficiente de Variação por Modelos Básicos – Padrão C – REF 0

**TABELA 4-16 – Coeficiente de Variação por Modelos Básicos – Padrão D**

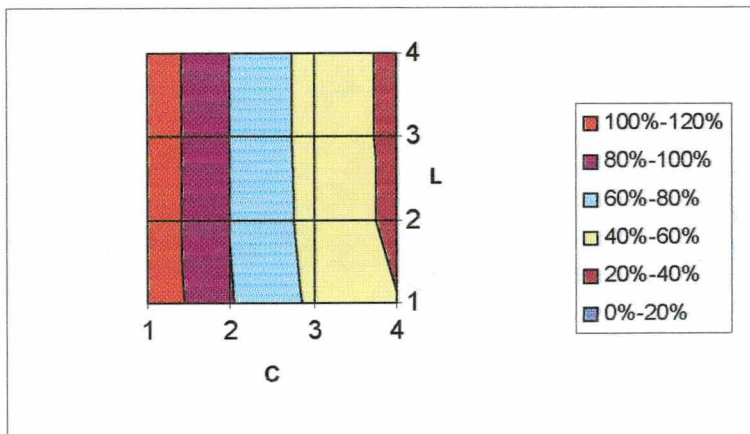
L/C	REF 1				REF 0			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	52%	35%	23%	15%	115%	81%	56%	41%
2	50%	33%	21%	13%	114%	80%	54%	36%
3	49%	33%	21%	13%	115%	79%	53%	35%
4	50%	34%	21%	13%	115%	80%	53%	35%

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
L	Número de aberturas em linhas
C	Número de aberturas em colunas



**FIGURA 4-208 – Coeficiente de Variação por Modelos Básicos – Padrão D – REF 1**



**FIGURA 4-209 – Coeficiente de Variação por Modelos Básicos – Padrão D – REF 0**

**TABELA 4-17 – Coeficiente de Variação (c.v.) para Modelos com Número de Aberturas e Perímetros (P) idênticos**

MOD	P	PADRÃO A		PADRÃO B		PADRÃO C		PADRÃO D	
		REF 1	REF 0	REF 1	REF 0	REF 1	REF 0	REF 1	REF 0
22	15,7	10,03%	33,70%	11,65%	38,18%	19,77%	52,71%	33,23%	79,64%
22W	15,7	18,27%	55,95%	18,60%	55,89%	19,63%	56,57%	-	-
22X	15,7	18,27%	55,95%	18,28%	55,62%	19,46%	55,91%	26,58%	62,28%
22Y	39,2	18,04%	53,67%	18,41%	53,77%	21,43%	55,65%	30,64%	62,77%
22Z	39,2	12,51%	44,00%	13,11%	45,87%	19,08%	51,87%	28,65%	65,70%

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
MOD	Modelo. Vide Figura 3-3
P	Perímetro, m

A partir dos dados agrupados nas Tabelas 4-13 a 4-16 e Figuras 4-202 a 4-209 pode-se observar que:

- Com o *alongamento* do Padrão, fica desprezível a influência do número de aberturas em linha sobre o desempenho, enquanto a influência do número de aberturas em coluna aumenta;
- Os gráficos têm comportamentos semelhantes para REF 1 e REF 0, variando apenas no módulo do c.v., que é bem mais alto para REF 0. A partir dessa constatação é possível inferir que é significativa a influência da refletividade na distribuição de iluminâncias, independente do Padrão e do Modelo.

Por sua vez, comparando o desempenho entre Modelos com mesmo número de aberturas e mesmo perímetro, conforme Tabela 4-17, é possível afirmar que:

- Para os Padrões A e B o Modelo 22 tem melhor desempenho que o 22W e 22X, tanto para a refletividade REF 1 quanto REF 0. Para o Padrão C os desempenhos são praticamente semelhantes para ambos os Conjuntos de Refletividades. Já para o Padrão D, o Modelo 22X tem melhor desempenho para ambas as refletividades estudadas;
- O Modelo 22W não sofre influências com o alongamento do Padrão, em ambos os Conjuntos de Refletividades estudados;
- É possível coligir que o Modelo 22 tem melhor desempenho para Padrões com dimensões próximas à quadrangular, enquanto os Modelos 22W e 22X, melhoram

suas performances, comparadas à do Modelo 22, quando sua forma se afasta da quadrangular;

- Quando comparados os Modelos 22Y e 22Z, observa-se que, para o Conjunto de Refletividades REF 1, o Modelo 22Z tem melhor desempenho que o 22Y, para todos os Padrões estudados. No entanto é possível perceber que essa vantagem tende a diminuir, à medida que o Padrão se afasta do quadrangular. Isso se verifica também para o Conjunto de Refletividades REF 0, inclusive no caso do Padrão D o Modelo 22Y já tem melhor desempenho que o 22Z;
- A passagem do Modelo 22W para 22Y (22Y é uma evolução de 22W, quando se alonga cada uma das aberturas, mantendo-se constante sua área total) não chega a trazer ganhos significativos de desempenho, apesar de ter um aumento considerável no perímetro das aberturas;
- A passagem do Modelo 22X para 22Z (22Z é uma evolução de 22X, quando se alonga cada uma das aberturas, mantendo-se constante a área total) traz um ganho de desempenho, que tende a desaparecer com o alongamento do Padrão. Para REF 1, o ganho que é de mais de 30% no Padrão A, ao chegar no Padrão D, transforma-se numa perda de quase 8%.

#### **4.2.2.2 Avaliação do Desempenho por Aberturas Zenitais Contínuas**

A avaliação de desempenho por Aberturas Zenitais Contínuas objetiva observar a evolução do seu comportamento, sob o ponto de vista da distribuição de iluminâncias, ao se modificar a quantidade de aberturas, mantendo-se constante a área total. Procura-se também encontrar uma otimização no número de aberturas para cada Padrão e Conjunto de Refletividades estudados.

Os resultados são apresentados nas Tabelas 4-18 e 4-19, agrupados por linha ou coluna, Conjunto de Refletividades e Padrão. São gerados gráficos de linha, com agrupamento semelhante às tabelas. No eixo horizontal são exibidos os números de aberturas em linha ou coluna, variando de 1 a 6, enquanto no eixo vertical são postos os valores do coeficiente de variação, variando de 0% a 60% para REF 1 e de 0% a 140% para REF 0.

Em cada gráfico há quatro linhas representando cada Padrão, de acordo com a legenda colocada à direita de cada figura.

TABELA 4-18 – c.v. para Aberturas Zenitais Contínuas em linha

LIN	REF 1				REF 0			
	PAD A	PAD B	PAD C	PAD D	PAD A	PAD B	PAD C	PAD D
1	26,2%	19,5%	10,3%	7,0%	69,2%	57,1%	41,4%	24,7%
2	7,9%	3,8%	2,8%	3,8%	27,8%	21,7%	17,9%	14,3%
3	2,5%	3,1%	3,2%	3,5%	18,6%	17,8%	16,9%	14,3%
4	1,4%	2,6%	2,3%	3,8%	17,9%	17,9%	17,0%	14,0%
5	1,4%	2,8%	3,0%	3,1%	18,1%	18,1%	17,0%	14,0%
6	1,4%	2,5%	2,3%	3,8%	18,2%	18,1%	17,2%	14,0%

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
PAD	Padrão. Vide Fig. 3-1, Tab. 3-1
LIN	Número de aberturas em linha

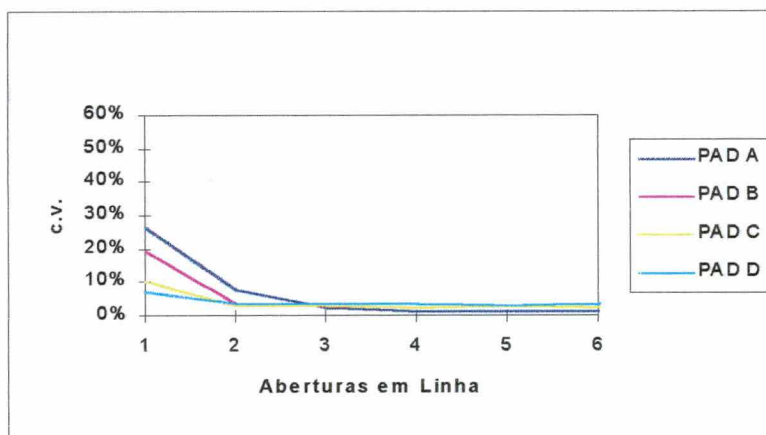


FIGURA 4-210 – c.v. para Aberturas Zenitais Contínuas em linha – REF 1

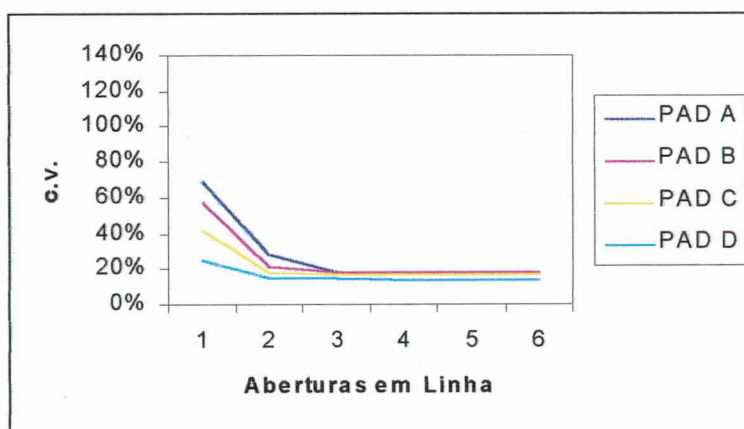


FIGURA 4-211 – c.v. para Aberturas Zenitais Contínuas em linha – REF 0

TABELA 4-19 – c.v. para Aberturas Zenitais Contínuas em coluna

COL	REF 1				REF 0			
	PAD A	PAD B	PAD C	PAD D	PAD A	PAD B	PAD C	PAD D
1	26,2%	32,1%	40,4%	53,7%	69,2%	82,4%	100,0%	122,9%
2	7,9%	12,1%	20,7%	36,0%	27,8%	37,7%	55,2%	84,0%
3	2,5%	4,6%	9,7%	22,7%	18,6%	20,6%	30,9%	56,4%
4	1,4%	2,7%	4,3%	14,1%	17,9%	17,6%	19,3%	36,8%
5	1,4%	2,7%	3,1%	9,9%	18,1%	17,6%	16,7%	26,0%
6	1,4%	2,5%	2,4%	6,2%	18,2%	17,9%	16,2%	18,1%

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
PAD	Padrão. Vide Fig. 3-1, Tab. 3-1
COL	Número de aberturas em coluna

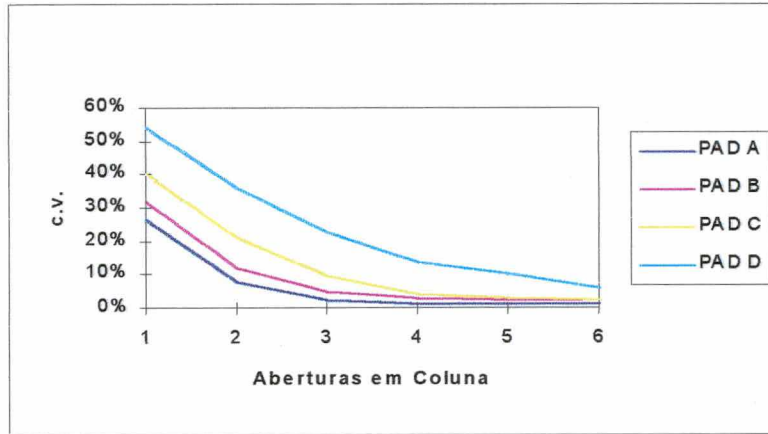


FIGURA 4-212 – c.v. para Aberturas Zenitais Contínuas em coluna – REF 1

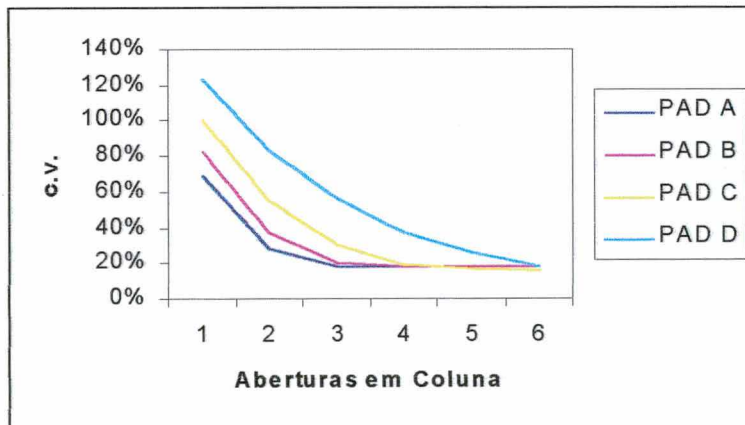


FIGURA 4-213 – c.v. para Aberturas Zenitais Contínuas em coluna – REF 0

É possível observar nas Figuras 4-210 a 4-213, geradas a partir das Tabelas 4-18 a 4-19, que há uma semelhança entre as curvas dos gráficos para REF 1 e as dos gráficos para REF 0, diferenciando-se apenas no valor do coeficiente de variação, que como era esperado, é superior para a REF 0.

Analisando separadamente para o Conjunto de Refletividades REF 1, pode-se inferir que:

- Para aberturas em linhas (isto é, paralelas à maior dimensão do Ambiente), a partir da segunda abertura já atinge-se, para todos os Padrões, um patamar abaixo dos 10% para o c.v., tendo, a partir da terceira abertura, uma diferença insignificante para o c.v. obtido com o incremento de novas aberturas;
- Para aberturas em colunas (isto é, perpendiculares à maior dimensão), o c.v., só atinge o patamar dos 10% para os Padrões B e C, a partir da terceira abertura, e para o Padrão D, a partir da quinta abertura;
- Vale salientar que o c.v. obtido para apenas uma linha no Padrão D é praticamente equivalente ao c.v. para 6 colunas no mesmo Padrão.

Por sua vez, para o Conjunto de Refletividades REF 0, pode-se observar que:

- Tanto para aberturas em linhas, como em colunas, não se obtém c.v. no patamar 10%, porém, é possível chegar abaixo dos 20%;
- Para aberturas em linhas (isto é, paralelas à maior dimensão do Ambiente), a partir da segunda abertura já atinge-se, com exceção do Padrão A, um patamar abaixo dos 20% para o c.v., o que é atingido com a terceira abertura, quando, a partir daí, há uma diferença insignificante para o c.v. obtido com o incremento de novas aberturas;
- Para aberturas em colunas (isto é, perpendiculares à maior dimensão), o c.v., só atinge o patamar dos 20% para o Padrão B, a partir da terceira, para o Padrão C a partir da quarta e para o Padrão D apenas a partir da sexta abertura;
- Vale salientar que o c.v. obtido para apenas uma linha no Padrão D é praticamente equivalente ao c.v. para 5 colunas no Padrão D.

É possível observar, por outro lado, que a influência da refletividade das superfícies, apesar de não ser significativa no formato das curvas geradas, traz uma redução de mais de 60% no c.v. entre os Modelos com Conjuntos de Refletividades REF 0 e REF 1, para praticamente todos os Padrões.



Dai é possível afirmar que, tanto a refletividade, quanto a forma da distribuição das aberturas, são significativas para uma melhor distribuição da iluminância nos Ambientes iluminados por aberturas zenitais contínuas.

#### 4.2.2.3 Avaliação do Desempenho em Função do Perímetro das Aberturas

O perímetro é um dos parâmetros utilizados em orçamento da construção civil, na avaliação do custo de esquadrias. Esse estudo pretende analisar a influência do Perímetro na distribuição de iluminâncias para os diversos Padrões, Modelos e Refletividades.

Os dados são apresentados a seguir em dois gráficos de pontos (Figuras 4-214 e 4-215), cada um representando um Conjunto de Refletividades (REF 1 e REF 0). No eixo horizontal são colocados os valores do perímetro, em metros, variando de 5m a 45m e no eixo vertical o coeficiente de variação, variando de 0% a 60% para REF 1 e de 0% a 140%, para REF 0. Em cada gráfico há quatro linhas representando cada Padrão, de acordo com a legenda apresentada à direita de cada figura.

Em seguida é exposta uma tabela (Tab. 4-20) apresentando o coeficiente de correlação linear ( $r$ ) entre o c.v. e o perímetro para cada Conjunto de Refletividades, por Padrão e geral.

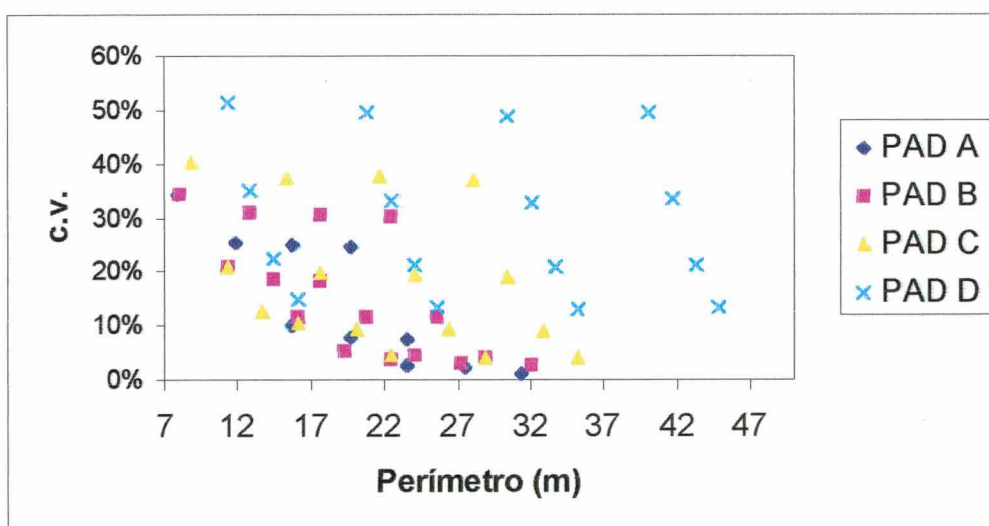


FIGURA 4-214 – Gráfico da evolução do c.v. em função do perímetro para REF 1

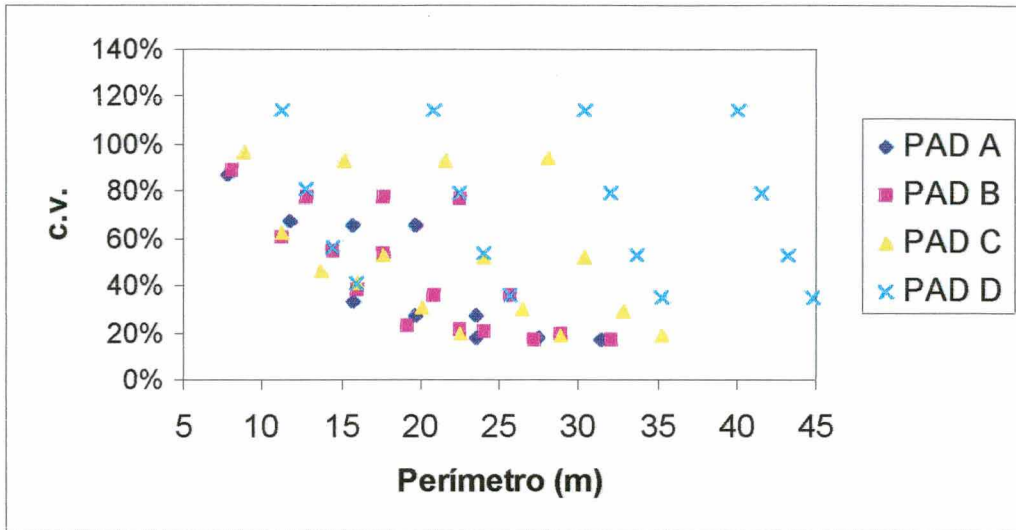


FIGURA 4-215 – Gráfico da evolução do c.v. em função do perímetro para REF 0

TABELA 4-20 – Coeficiente de correlação linear ( $r$ ) entre o c.v. e o perímetro (P)

Padrão	REF	$r$
A	1	-0,85
B	1	-0,72
C	1	-0,43
D	1	-0,20
Geral	1	-0,21
A	0	-0,85
B	0	-0,75
C	0	-0,48
D	0	-0,19
Geral	0	-0,26

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
$r$	Coeficiente de correlação linear

Não é possível, a partir dos dados obtidos e representados nas Figuras 4-214 e 4-215, encontrar uma correlação linear entre o perímetro das aberturas e o coeficiente de variação, conforme descrito na Tabela 4-20.

Contudo, pode-se constatar que há uma semelhança entre as curvas dos gráficos para as refletividades REF 1 e REF 0, diferenciando-se apenas no valor do coeficiente de variação, que é superior para REF 0, como era esperado.

É importante destacar que os gráficos apresentam uma série de pulsos, sobretudo quando o Padrão se alonga. Esse processo ocorre em virtude de não haver uma relação entre a ordem de crescimento do perímetro e a distribuição das aberturas, uma vez que, para perímetros semelhantes, existem diversas tipologias de aberturas apresentando coeficiente de variação diversos.

Vale ressaltar que no Padrão D, o mais alongado, a curva chega a apresentar-se praticamente como uma função periódica. Nela, a crista da onda representa os valores correspondentes ao c.v. e ao perímetro das distribuições de aberturas com apenas uma coluna, centralizada na menor dimensão do Ambiente e apresentando, por conseguinte, uma pior distribuição (Modelos 11, 21, 31 e 41 e 91). Nos *vales* da onda, por outro lado, estão colocadas as situações com melhor desempenho, representando os Modelos com aberturas distribuídas em um maior número de colunas (Modelos 14, 24, 34, 44 e Modelos com aberturas contínuas em linha). É perceptível também que o aumento no número de aberturas na coluna, apesar de aumentar o perímetro de forma modular, praticamente não traz ganho de desempenho, ressaltando a característica de periodicidade da curva.

A partir do exposto, pode-se inferir que um simples aumento no número de aberturas não implica necessariamente em ganho de desempenho, do ponto de vista da distribuição de iluminâncias, sobretudo à medida que o Padrão se alonga.

Nesse sentido, faz-se importante ao projetista, na escolha da tipologia de abertura zenital, perceber que é possível escolher, para perímetros semelhantes, o Modelo com melhor desempenho. Como exemplo, tem-se para o Padrão B os Modelos 41 e 24, que apresentam diferentes distribuição e número de aberturas, conforme Figura 3-3. Apesar de ambos os Modelos terem perímetro de abertura igual a 22,4m, o c.v. do primeiro chega a 30,31%, enquanto no Modelo 24 o c.v. é de apenas 3,74%, aproximadamente 8 vezes menor.

As planilhas de dados dos Padrões estão ordenadas nos Anexos B e C, respectivamente, em ordem de c.v. e perímetro. A utilização das planilhas, em conjunto com a Figura 3-3, com os Modelos de aberturas, permite escolher a melhor tipologia, levando-se em conta a melhor distribuição de iluminâncias.

#### 4.2.2.4 Avaliação do Desempenho em Função do Número de Aberturas

O número de aberturas é outro possível parâmetro na avaliação de custos na construção civil, além do que pode ser usado como uma referência numa análise estética. Este estudo pretende identificar o comportamento, através do coeficiente de variação, da distribuição de iluminâncias em um Ambiente, com o aumento no número de aberturas.

Os resultados são agrupados em dois gráficos de pontos (Figuras 4-216 e 4-217), para cada Conjunto de Refletividades (REF 1 e REF 0). O número de aberturas é colocado no eixo horizontal, variando de 1 a 16, enquanto o c.v. está posto no eixo vertical, variando de 0% a 60% para REF 1 e de 0% a 140% para REF 0. Em cada gráfico há quatro linhas representando cada Padrão, de acordo com a legenda apresentada à direita de cada figura.

Em seguida é exposta uma tabela (Tab. 4-21) exibindo o coeficiente de correlação linear ( $r$ ) entre o c.v. e o número de aberturas para cada Conjunto de Refletividades, por Padrão e geral.

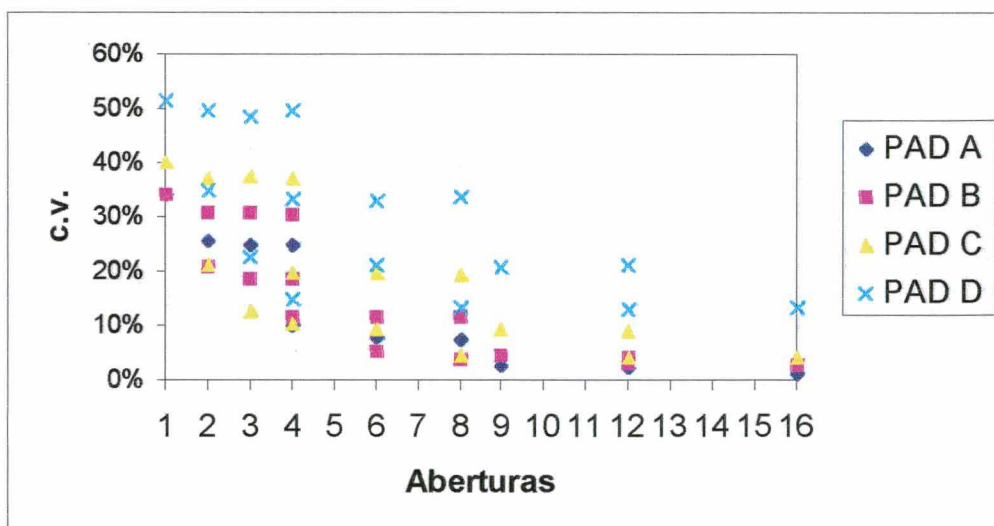


FIGURA 4-216 – Gráfico da evolução do c.v. em função do número de aberturas para REF 1

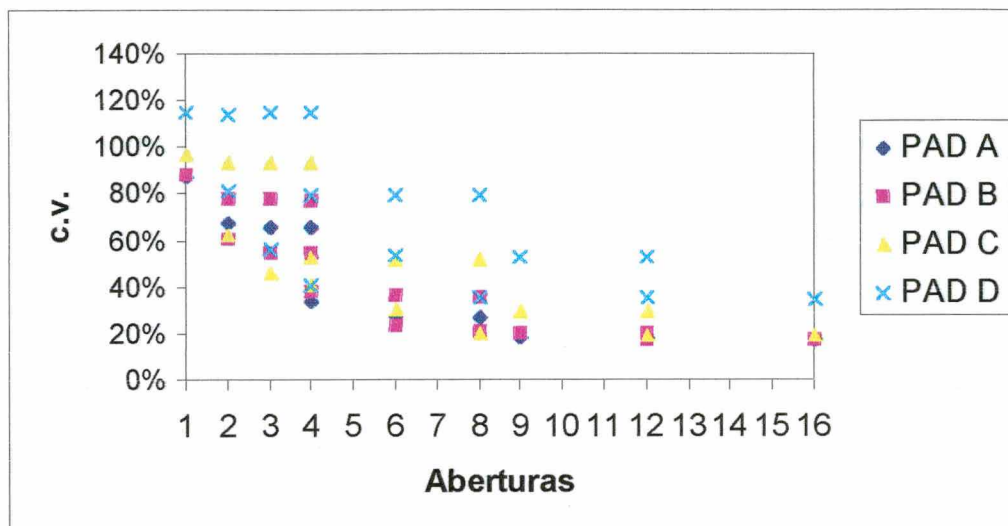


FIGURA 4-217 – Gráfico da evolução do c.v. em função do número de aberturas para REF 0

TABELA 4-21 – Coeficiente de correlação linear (r) entre o c.v. e o número de aberturas

Padrão	REF	r
A	1	-0,87
B	1	-0,81
C	1	-0,72
D	1	-0,69
Geral	1	-0,68
A	0	-0,85
B	0	-0,83
C	0	-0,76
D	0	-0,69
Geral	0	-0,72

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
r	Coefficiente de correlação linear

Diferentemente do afirmado no item anterior, com relação ao comportamento do c.v. em função do perímetro das aberturas, é possível observar uma ligeira correlação entre o c.v. e o número de aberturas, conforme Tabela 4-21. Constata-se também que essa correlação cai com o *alongamento* do Padrão.

Por outro lado, pode-se afirmar que há também uma semelhança entre as curvas dos gráficos para ambos os Conjuntos de Refletividades, REF 1 e REF 0, diferenciando-se apenas no valor do c.v., que, como esperado, é superior para REF 0.

Com relação às curvas descritas nas Figuras 4-216 e 4-217, é destacável que a partir de um certo número é insignificante o incremento do número de aberturas, com vistas a um melhor c.v. Isso ocorre, para o Padrão A, quando se atingem 9 aberturas; para os demais Padrões, a partir de 8 aberturas já torna-se desprezível o aumento do seu número para melhorar o desempenho do ponto de vista da distribuição de iluminâncias.

Os pulsos que ocorrem nas curvas têm motivo semelhante ao apresentado no item 4.2.2.3. Vale destacar que há vários Modelos com mesmo número de aberturas, porém com tipologias bastante distintas, provocando diferentes valores de c.v. No entanto, é perceptível que os pulsos são bem menores neste estudo do número de aberturas, que no anterior, sobre perímetro, uma vez que agora há uma tendência clara de diminuição do c.v. com o aumento do número de aberturas.

### **4.3 Correlação Entre o Método Gráfico e o Método Analítico**

Através da correlação entre os Métodos Gráfico e Analítico, busca-se classificar os valores obtidos através do Método Analítico, de forma a auxiliar o projetista no uso do coeficiente de variação (c.v.) como elemento de avaliação no estudo da distribuição de iluminâncias em um Ambiente iluminado de forma zenital.

Nesse sentido, como parâmetro do Método Gráfico adota-se a Área  $\beta$ , calculada no item 4.1, que representa a região do plano de trabalho com iluminância no intervalo entre 70 e 130% da iluminância média ( $E_m$ ) do Ambiente. Como parâmetro para o Método Analítico utiliza-se o coeficiente de variação (c.v.).

#### **4.3.1 Apresentação dos Resultados**

Os dados são agrupados por Padrão (vide Tabela 3-1 e Figura 3-1), Modelo (vide Figura 3-3) e Conjunto de Refletividades (Vide Tabela 3-2) e apresentados nas Tabelas 4-43 a 4-46.

Em seguida, é executado um novo agrupamento, juntando todos os Padrões, mantendo-se apenas a segmentação por Conjunto de Refletividades. O resultado é exibido em gráficos de linha, relacionando o c.v. e a Área  $\beta$ , estando o c.v. colocado no eixo horizontal, variando de 0% a 130%, enquanto no eixo vertical é mostrada a Área  $\beta$ , variando de 0% a 100%. As Figuras 4-230 e 4-231 representam a relação entre o c.v. e a Área  $\beta$  para REF1 e REF 0, respectivamente, enquanto a Figura 4-232 concatena as duas curvas anteriores.

**TABELA 4-22 – Valores de c.v. e Área  $\beta$  para o Padrão A**

PADRÃO A				
MOD	REF 1		REF 0	
	c.v.	Área $\beta$	c.v.	Área $\beta$
11	34,3%	68,6%	87,3%	14,9%
12	25,5%	82,9%	67,2%	20,1%
13	25,0%	78,2%	65,5%	19,8%
14	24,8%	78,4%	65,3%	18,5%
19	26,2%	79,1%	69,2%	18,0%
22	10,0%	97,4%	33,7%	51,2%
23	7,7%	100,0%	27,6%	57,3%
24	7,5%	100,0%	26,9%	57,4%
29	7,9%	100,0%	27,8%	55,7%
33	2,7%	100,0%	18,3%	81,2%
34	2,2%	100,0%	17,8%	82,8%
39	2,5%	100,0%	18,6%	81,8%
44	1,2%	100,0%	17,2%	88,1%
49	1,4%	100,0%	17,9%	88,2%
22W	18,3%	90,2%	55,9%	22,6%
22Y	18,0%	89,8%	53,7%	30,6%
22Z	12,5%	100,0%	44,0%	27,5%

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
MOD	Modelo. Vide Fig. 3-3
c.v.	Coefficiente de variação

TABELA 4-23 – Valores de c.v. e Área  $\beta$  para o Padrão B

PADRÃO B				
MOD	REF 1		REF 0	
	c.v.	Área $\beta$	c.v.	Área $\beta$
11	34,2%	47,9%	88,5%	15,1%
12	20,7%	85,8%	60,7%	26,5%
13	18,6%	88,3%	54,9%	26,1%
14	18,4%	88,3%	54,0%	24,3%
19	19,5%	81,0%	57,1%	23,3%
21	30,9%	53,9%	77,8%	15,7%
22	11,7%	97,9%	38,2%	43,8%
23	5,1%	100,0%	23,2%	65,3%
24	3,7%	100,0%	21,1%	71,2%
29	3,8%	100,0%	21,7%	82,6%
31	30,7%	54,4%	77,7%	32,3%
32	11,5%	100,0%	35,9%	42,4%
33	4,3%	100,0%	20,2%	75,4%
34	2,9%	100,0%	17,3%	84,3%
39	3,1%	100,0%	17,8%	85,1%
41	30,3%	54,7%	76,8%	15,1%
42	11,4%	100,0%	35,8%	42,9%
43	4,2%	100,0%	20,0%	75,0%
44	2,7%	100,0%	17,3%	86,4%
49	2,6%	100,0%	17,9%	86,1%
91	32,1%	52,8%	82,4%	13,8%
92	12,1%	100,0%	37,7%	41,4%
93	4,6%	100,0%	20,6%	73,5%
94	2,7%	100,0%	17,6%	84,2%
22W	18,6%	91,3%	55,9%	22,9%
22X	18,3%	81,6%	55,6%	22,9%
22Y	18,4%	83,8%	53,8%	22,0%
22Z	13,1%	100,0%	45,9%	26,4%

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
MOD	Modelo. Vide Fig. 3-3
c.v.	Coefficiente de variação



TABELA 4-24 – Valores de c.v. e Área  $\beta$  para o Padrão C

PADRÃO C				
MOD	REF 1		REF 0	
	c.v.	Área $\beta$	c.v.	Área $\beta$
11	40,2%	36,3%	96,6%	13,9%
12	21,0%	85,2%	62,5%	23,9%
13	12,7%	92,2%	45,7%	37,5%
14	10,3%	98,4%	40,9%	35,4%
19	10,3%	100,0%	41,4%	33,9%
21	37,1%	37,7%	93,2%	10,7%
22	19,8%	86,2%	52,7%	25,9%
23	9,3%	100,0%	30,6%	52,5%
24	4,5%	100,0%	19,6%	76,9%
29	2,8%	100,0%	17,9%	89,4%
31	37,5%	40,4%	93,1%	11,3%
32	19,5%	86,1%	52,1%	25,5%
33	9,1%	100,0%	29,5%	56,4%
34	4,2%	100,0%	18,9%	79,0%
39	3,2%	100,0%	16,9%	89,9%
41	37,0%	41,3%	93,8%	11,3%
42	19,2%	86,8%	51,9%	25,4%
43	9,0%	100,0%	29,3%	56,6%
44	4,2%	100,0%	18,9%	79,0%
49	2,3%	100,0%	17,0%	90,8%
91	40,4%	39,3%	100,0%	10,0%
92	20,7%	82,3%	55,2%	24,3%
93	9,7%	100,0%	30,9%	56,3%
94	4,3%	100,0%	19,3%	79,2%
22W	19,6%	84,3%	56,6%	23,6%
22X	19,5%	82,7%	55,9%	23,5%
22Y	21,4%	82,9%	55,6%	30,3%
22Z	19,1%	92,2%	51,9%	22,4%

Legenda:

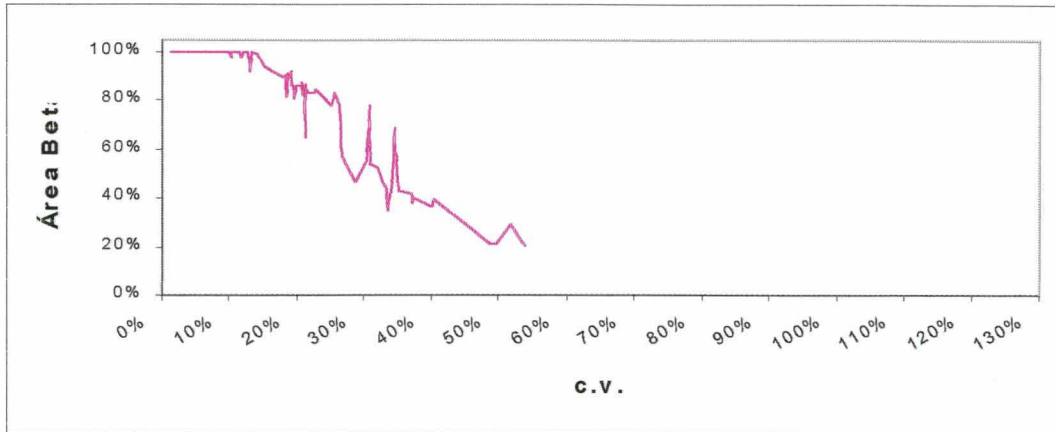
REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
MOD	Modelo. Vide Fig. 3-3
c.v.	Coefficiente de variação

TABELA 4-25 – Valores de c.v. e Área  $\beta$  para o Padrão D

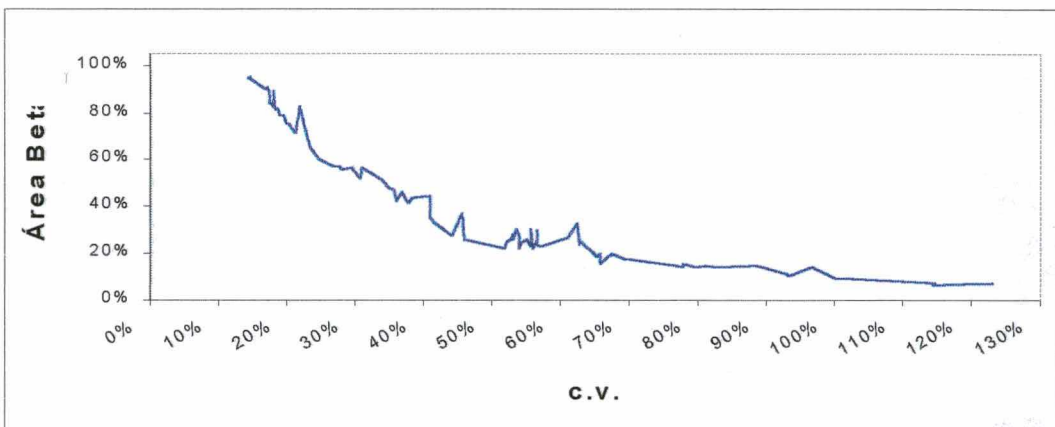
PADRÃO D				
MOD	REF 1		REF 0	
	c.v.	Área $\beta$	c.v.	Área $\beta$
11	51,6%	29,3%	114,6%	7,2%
12	34,9%	43,0%	81,0%	15,2%
13	22,5%	83,3%	56,4%	30,1%
14	15,0%	93,8%	40,8%	44,9%
19	7,0%	100,0%	24,7%	60,5%
21	49,5%	21,0%	114,3%	7,3%
22	33,2%	44,2%	79,6%	14,2%
23	21,1%	86,9%	53,8%	27,9%
24	13,3%	100,0%	35,6%	46,9%
29	3,8%	100,0%	14,3%	94,4%
31	48,6%	21,3%	114,5%	6,4%
32	32,9%	45,2%	79,4%	14,3%
33	20,8%	87,3%	53,0%	27,9%
34	13,1%	100,0%	35,3%	47,8%
39	3,5%	100,0%	14,3%	95,1%
41	49,7%	21,1%	114,7%	6,6%
42	33,6%	34,6%	79,7%	14,4%
43	21,1%	65,2%	53,1%	26,1%
44	13,3%	100,0%	35,0%	47,9%
49	3,8%	100,0%	14,0%	94,3%
91	53,7%	20,3%	122,9%	7,4%
92	36,0%	42,1%	84,0%	14,5%
93	22,7%	84,4%	56,4%	25,9%
94	14,1%	99,3%	36,8%	46,0%
22X	26,6%	57,8%	62,3%	4,2%
22Y	30,6%	77,9%	62,8%	25,8%
22Z	28,7%	46,7%	65,7%	15,5%

Legenda:

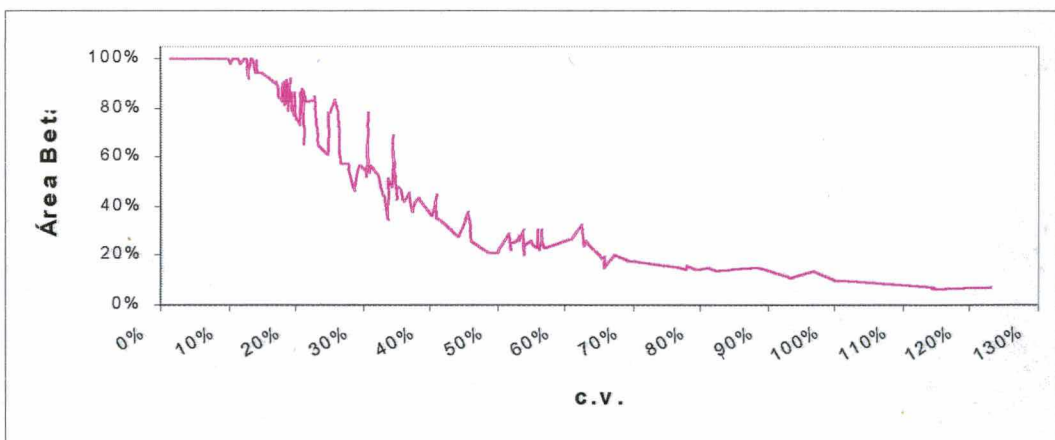
REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
MOD	Modelo. Vide Fig. 3-3
c.v.	Coefficiente de variação



**FIGURA 4-218 – Relação entre o c.v. e a Área  $\beta$ , REF 1**



**FIGURA 4-219 – Relação entre o c.v. e a Área  $\beta$ , REF 0**



**FIGURA 4-220 – Relação entre o c.v. e a Área  $\beta$ , REF 1 + REF 0**

### 4.3.2 Análise dos Gráficos c.v. x Área $\beta$

Através de um estudo sobre os gráficos apresentados nas figuras 4-230 a 4-232 é possível perceber que o gráfico que relaciona o c.v. e a Área  $\beta$  para REF 1 é formado por uma curva com concavidade voltada para baixo, enquanto para REF 0 é formado por

uma curva com concavidade voltada para cima. Quando os dados para ambos os Conjuntos de Refletividades são concatenados e gerado um único gráfico, Figura 4-232, há a confirmação da correlação entre as duas variáveis, com a formação de uma nova curva composta pelas duas curvas descritas nos gráficos para REF 1 e REF 0, que se encontram no trecho entre 20 e 60% de c.v.

Por outro lado, pode-se constatar, no intervalo compreendido entre o c.v. igual a 0 e 10%, uma curva praticamente horizontal correspondendo a uma Área  $\beta$  igual a 100%, que corresponde a um Ambiente com toda superfície recebendo iluminância suficiente, objetivo a ser alcançado pelo projetista.

No trecho com c.v. entre 10 e 20%, que corresponde a uma Área  $\beta$  acima dos 75%, há uma ligeira queda na curva. A partir desse ponto há uma certa oscilação na curva, mantendo posteriormente a tendência de queda nos valores da Área  $\beta$ .

### 4.3.3 Coeficiente de Correlação Entre o c.v. e a Área $\beta$

Processando os dados apresentados nas Tabelas 4-30 a 4-33, e agrupando por Padrão e Conjunto de Refletividades, encontramos os coeficientes de correlação linear entre o c.v. e o percentual de área  $\beta$  apresentados na Tabela 4-34.

**TABELA 4-26 – Coeficientes de correlação linear (r) entre o c.v. e a Área  $\beta$**

REF	PAD	r
1	A	-0,95
1	B	-0,93
1	C	-0,96
1	D	-0,95
0	A	-0,94
0	B	-0,94
0	C	-0,90
0	D	-0,88
GERAL		-0,92

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades . Vide Tabela 3-2
PAD	Padrão. Vide Fig. 3-1, Tab. 3-1
r	Coeficiente de correlação linear

Destacam-se da Tabela 4-34:

- Os valores do coeficiente de correlação negativos e próximos de 1, os quais mostram que há uma correlação inversamente proporcional entre o c.v. e a área  $\beta$ , confirmando o visualizado nas Figuras 4-230 a 4-232;
- Uma homogeneidade dos coeficientes de correlação para distintos Padrões e Conjuntos de Refletividades, o que permite afirmar que essa correlação pode ser interpolada para outros Conjuntos de Refletividades, bem como possivelmente ser válida para outros Padrões de Ambiente.

#### 4.3.4 Classificação do Coeficiente de Variação

Numa primeira aproximação e com base nos dados encontrados pode-se classificar o coeficiente de variação, de acordo com a Tabela 4-35. Ela é formada levando-se em conta que a definição das regiões  $R_\alpha$ ,  $R_\beta$  e  $R_\gamma$ , apresentadas na Tabela 3-3, baseou-se em ABNT (1991a) que recomenda que a iluminância em qualquer ponto do campo de trabalho não seja inferior a 70% da iluminância média. Definiu-se, por analogia, o limite superior em 130% da iluminância média, para a região com iluminância suficiente, do ponto de vista da distribuição de iluminâncias, denominada Região  $\beta$ .

Por outro lado, deve-se observar que normalmente o campo de trabalho não se estende a toda área do Ambiente. Nesse sentido, propõe-se uma classificação do coeficiente de variação sob o aspecto qualitativo, através de conceitos para faixas de c.v., relacionados com a área  $\beta$ .

Portanto, emprega-se a classificação *Ótimo* para c.v. equivalente a uma área  $\beta$  maior que 95% da área total do Ambiente, *Bom* para c.v. equivalente a uma área  $\beta$  entre 80 e 95%, *Regular* entre 70 e 80% e *Insuficiente* abaixo de 70 %.

**TABELA 4-27 – Classificação do coeficiente de variação (c.v.)**

c.v.	Área $\beta$	Classificação
$x < \text{c.v.} < 15\%$	$A_\beta \geq 95\%$	Ótimo
$15\% \leq \text{c.v.} \leq 20\%$	$80\% \leq A_\beta < 95\%$	Bom
$20\% < \text{c.v.} \leq 25\%$	$70\% \leq A_\beta < 80\%$	Regular
$\text{c.v.} > 25\%$	$A_\beta < 70\%$	Insuficiente

Por outro lado, é importante destacar que essa proposta engloba todos os Padrões e Modelos estudados, bem como para qualquer refletividade das superfícies internas, em função do presente estudo ter analisado refletividades extremas REF 1 ( $\rho_{\text{paredes}} = \rho_{\text{teto}} = 0,9$  e  $\rho_{\text{piso}} = 0,7$ ) e REF 0 ( $\rho_{\text{paredes}} = \rho_{\text{teto}} = \rho_{\text{piso}} = 0$ ).

É necessário frisar que não é objetivo desse trabalho avaliar o nível mínimo admissível do c.v., apesar de considerá-lo importante. Sendo assim foi inserida uma constante  $x$  como limite inferior no intervalo correspondente à classificação *Ótimo*. Para o cálculo desse valor, deve-se levar em conta a real necessidade de distribuição da iluminância no Ambiente estudado, sobretudo no seu aspecto qualitativo.

## 5. CONCLUSÃO

5.1 Conclusões .....	121
5.2 Sugestões Para Trabalhos Futuros .....	122

Esse capítulo finaliza o texto principal da dissertação, inicialmente apresentando as principais conclusões encontradas na pesquisa, seguindo com um rol de sugestões para trabalhos futuros, relacionados com esta dissertação.

## 5.1 Conclusões

A partir das análises desenvolvidas durante esta dissertação, podem-se destacar as seguintes conclusões:

- O mapeamento de iluminâncias, proposto por esse trabalho, permite ao projetista o seu emprego de forma eficaz como uma ferramenta simplificada de análise da distribuição de iluminâncias em ambientes;
- O uso do Método Gráfico possibilita a identificação e o cálculo das áreas (i) das regiões excessivamente iluminadas, que caracterizam ganho demasiado de calor no ambiente interno, (ii) das regiões iluminadas suficientemente e (iii) das regiões insuficientemente iluminadas, que necessitam de uma complementação de luz, quer artificial, incorrendo em consumo de energia elétrica, quer natural com a implantação de novas aberturas;
- O aumento da refletividade das superfícies é fator determinante na melhoria da distribuição de iluminâncias em um ambiente;
- Não é possível, a partir dos dados obtidos, encontrar uma correlação linear entre o perímetro das aberturas e o coeficiente de variação, contudo pode-se, para Modelos com perímetros semelhantes, encontrar aquele com melhor desempenho, a partir da utilização das informações contidas nos Anexos B e C;
- Existe uma correlação entre o c.v. e o número de aberturas. Constata-se também que essa correlação é reduzida com o alongamento do Padrão. Há, por outro lado, uma tendência clara de diminuição do c.v. com o aumento do número de aberturas. Pode-se também inferir que a partir de um certo patamar é insignificante o incremento do número de aberturas, com vistas a melhorar o c.v.;
- Há uma correlação inversamente proporcional entre os parâmetros de desempenho do Método Analítico - c.v. - e do Método Gráfico - Área  $\beta$ ;



- Existe uma homogeneidade dos coeficientes de correlação para distintos Padrões e Conjuntos de Refletividades, o que permite afirmar que essa correlação pode ser interpolada para outros Conjuntos de Refletividades, bem como possivelmente ser válida para outros Padrões de Ambiente;
- Tendo-se por base o exposto nos dois itens anteriores, pode-se afirmar que a utilização tanto do Método Gráfico, como do Método Analítico, propostos por esse trabalho, permite uma eficiente análise do desempenho luminoso em ambientes, do ponto de vista da distribuição de iluminâncias.

## 5.2 Sugestões Para Trabalhos Futuros

A partir das perspectivas de evolução nos resultados obtidos nesta dissertação, assim como das limitações surgidas, podem ser propostos os seguintes trabalhos relacionados com o tema estudado:

- Estudo da influência da refletividade das superfícies internas na distribuição de iluminâncias, adotando um maior número de Conjuntos de Refletividades e variando independentemente a refletividade de paredes, piso e teto;
- Produção de mapeamento para novos Padrões e Modelos;
- Estudo da influência da relação  $c:l$  (comprimento/largura) e do Índice de Recinto nos valores dos parâmetros de desempenho do Método Gráfico (Área  $\beta$ ) e do Método Analítico (c.v.);
- Alteração da superfície de transmissão da luz natural entre o meio externo e o interno e com isso permitir os estudos da influência na distribuição de iluminâncias (i) das obstruções externas, (ii) do tipo de céu, (iii) da insolação direta e, por consequência, (iv) da latitude, (v) do dia do ano e (vi) da hora do dia;
- Otimização da região  $\beta$  através da introdução de iluminação suplementar artificial ou natural;
- Execução da coleta de dados de iluminância a partir de um sistema que admita a reflexão tanto difusa, quanto especular;
- Estudo de um Índice Custo, Desempenho (Icd), que leve em consideração a introdução de novas variáveis - como a área de abertura - e ponderação sobre a influência de cada uma delas em função das necessidades do ambiente em estudo;

- Desenvolvimento de ábacos e programas de computador para a otimização do número de aberturas;
- Análise dos limites mínimos de c.v. admissíveis para um bom desempenho luminoso do ambiente;
- Estudo comparativo entre o Método Analítico e os conceitos de Uniformidade e Diversidade, utilizados pela CIBSE (1994) no estudo da variação de iluminâncias.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NB-57: Iluminância de interiores*. Rio de Janeiro: ABNT, 1991a.
- \_\_\_\_\_. *TB-23: Iluminação: Terminologia*. Rio de Janeiro: ABNT, 1991b.
- ALLEN, Edward. *Construcción. Como funciona un edificio: principios elementales*. Versión: Bárbara Lataillade. 3. ed. Barcelona: Gustavo Gili, 1990.
- ARESTEH, D., JOHNSON, R., SELKOWITZ, S., CONNELL, D. Cooling energy and cost saving with daylighting in a hot and humid climate. *SunWorld*. Vitoria, Australia: International Solar Energy Society – ISES, v. 10, n. 4, 1986.
- ARESTEH, Dariush. Advances in Window Technology: 1973-1993. In: ADVANCES IN SOLAR ENERGY, AN ANNUAL REVIEW OF RESEARCH AND DEVELOPMENT. Vol. 9. Boulder: Karl W. Böer, American Solar Energy Society, 1994
- ARZTEGUI, José Miguel. Claraboyas e confort. In: XIX CONGRESSO PANAMERICANO DE ARQUITECTOS. Montevideo, [198-?].
- BAKER, N., FANCHIOTTI, A., STEEMERS, K. *Daylighting in architecture: a European reference book*. Brussels and Luxembourg: James & James, 1993.
- BELLIA, L., CESARANO, A., SIBILIO, S. Daylighting contribution in interior lighting: experimental verification of software simulation results. *Lighting Research and Technology*. London: CIBSE, v. 26, n. 2, p. 99-105, 1994.
- BOGO, Amílcar José. *Análise do desempenho térmico e verificação do potencial de uso da iluminação natural para edificações escolares*. Florianópolis, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC.
- BURGNER, Lois, I. Lighting design software roundup. *Architectural lighting*. New York: Miller Freeman, v. 11, n. 3, spring 1997.

- CABÚS, Ricardo C., PEREIRA, Fernando O. R. Luminous efficacy of daylighting in intertropical region: an analysis for toplighting systems. In: IV WORLD RENEWABLE ENERGY CONGRESS, June, 1996, Denver. *Proceeding...* Denver: NREL, 1996.
- CADDET ENERGY EFFICIENCY. *Saving energy with efficient lighting in commercial buildings*. The Netherlands: 1995.
- CHICHIERCHIO, Luiz C. *Manual técnico de iluminação zenital*. São Paulo: Colorplast, 1978.
- CIBSE – The Chartered Institution of Building Services Engineers. *Code for interior lighting*. London: 1994.
- CINTRA DO PRADO, L. *Iluminação*. São Paulo: FAU-USP, 1962.
- COLEY, D. A., CRABB, J. A. An artificial intelligence approach to the prediction of natural lighting levels. *Building and Environment*. London: Elsevier Science, v. 32, n. 2, p. 81-85, 1997.
- COSTA NETO, Pedro L. de O. *Estatística*. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.
- COURRET, Gilles, PAULE, Bernard, SCARTEZZINI, Jean-Louis. Anidolic zenithal openings. In: EUROPEAN CONFERENCE ON ENERGY PERFORMANCE AND INDOOR CLIMATE IN BUILDINGS, Lyon, nov. 1994. *Proceedings*. Lyon: Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, p. 569-574, nov. 1994.
- EDMONDS, I.R., JARDINE, P. A., RUTLEDGE, G. Daylighting with angular-selective skylights: predicted performance. *Lighting Research and Technology*. London: CIBSE, v. 28, n. 3, p. 122-130, 1996.
- ENERGY RESEARCH GROUP. *Daylighting in buildings*. Dublin: The European Commission Directorate General for Energy (DGXVII), School of Architecture, University College Dublin, 1994.
- ERHORN, Hans, STOFFEL, Jürgen, SZERMAN, Michael. Adeline 2.0 – Using computer tools to evaluate daylighting and electric lighting applications in buildings. In: 3RD EUROPEAN CONFERENCE ON ENERGY-EFFICIENT LIGHTING. *Proceedings...* New Castle: Northern Electric, v.1, p. 25-31, 18-21 jun.1995.

- EVANS, Barrie. The two cultures of lighting. *The Architects' Journal*. London: Architectural Press, p. 40-41, 22 jun. 1995.
- GELLER, Howard S. *Efficient electricity use: a development strategy for Brazil*. Washington DC: American Council for an Energy-Efficient Economy, 1991.
- GIRARDIN, Maria C. *Iluminacion natural: método de cálculo y conceptos fundamentales*. [S.I.]: Centro de Estudiantes de Arquitectura, mar. 1994.
- GIVONI, B. *Man, Climate and Architecture*. London: Applied Science, 2nd. Ed., 1976.
- GOULDING, John R., LEWIS, J. Owen, STEEMERS, Theo C. *Energy conscious design: a primer for architects*. London: Batsford for Commission of the European Communities, 1993.
- HARPER, Denis Rawnsley. *Construcción. Diseño, obra y uso*. Traducción: Santiago Castán Gómez-Salvo. Barcelona: Gustavo Gili, 1981.
- HOPKINSON, R.G., PETHERBRIDGE, P., LONGMORE, J. *Iluminação natural* (Tradução: Antônio S. L. de Faria). Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1975.
- IEMMA, Antônio Francisco. *Estatística Descritiva*. Piracicaba: Fi, Sigma, Rô Publicações, 1992.
- IES DAYLIGHTING COMMITTEE. Recommended practice of daylighting. *Lighting Design & Application*. New York: IES, p.25-61, feb. 1979.
- IESNA – Illuminating Engineering Society of Northern America. *Lighting handbook*. New York: IESNA, 1993a.
- \_\_\_\_\_. 1993 IESNA software survey. *Lighting Design & Application*. New York: Illuminating Engineering Society –NA, 1993b.
- LAM, William M. C. *Sunlighting as formgiver for architecture*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.
- LITTLEFAIR, P. Measuring daylight – the effective use of scale models. In: DAYLIGHTING BUILDINGS, Apr. 1989, London. *Proceeding...* London: UK-ISES – International Solar Energy Society, 1989.

- LOE, D. L., ROWLANDS, E. The art and science of lighting: a strategy for lighting design. *Lighting Research and Technology*. London: CIBSE, v. 28, n. 4, p. 153-164, 1996.
- LUMEN MICRO 6.0. *User's guide*. Boulder: Lighting Technologies, 1993.
- LYNES, J. A., LITTLEFAIR, P. J. Lighting energy savings from daylight: estimation at the sketch design stage. *Lighting Research and Technology*. London: CIBSE, v. 22, n. 3, p. 129-137, 1990.
- LYNES, J.A. *Principles of natural lighting*. London: Elsevier, 1968.
- MACEDO JUNIOR, Azarias. Técnicas de retrofitting de sistemas fluorescentes tubulares. *Eletricidade Moderna*. São Paulo: Aranda, Ano XXIV, n. 270, p. 34-54, set. 1996.
- MARDALJEVIC, J. Validation of a lighting simulation program under real sky conditions. *Lighting Research and Technology*. London: CIBSE, v. 27, n. 4, p. 181-188, 1995.
- MASCARÓ, Juan Luis, MASCARÓ, Lúcia. *Incidências das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios*. Porto Alegre: Sagra – DC Luzzato, 1992.
- MASCARÓ, Lúcia, VIANNA, Nelson S. *Iluminação natural nos edifícios*. Porto Alegre: Propar, 1980.
- MASCARÓ, Lúcia. *Luz, clima e arquitetura*. São Paulo: Nobel, 1983.
- \_\_\_\_\_. *Energia na edificação: estratégia para minimizar o consumo*. São Paulo: Projeto, 1985.
- MCNICHOLL, Ann. Daylighting in perspective. *The Architects' Journal*. London: Architectural Press, p. 35-37, 16 feb. 1995.
- MOORE, Fuller. *Concepts and practice of architectural daylighting*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.
- \_\_\_\_\_. *Environmental control systems – heat cooling lighting*. New York: McGraw-Hill, 1993.

- NANNI, Luiz Fernando. *Análise estatística de dados com uso de técnicas computacionais*. Porto Alegre: UFRGS, 1986.
- OPDAL, Knut, BREKKE, Bjorn. Energy saving in lighting by utilisation of daylight. In: 3RD EUROPEAN CONFERENCE ON ENERGY-EFFICIENT LIGHTING. *Proceedings...* New Castle: Northern Electric, v.1, p. 67-74, 18-21 jun.1995.
- PEREIRA, Fernando O. R., CUNHA NETO, José A. B. Princípios para otimização do desempenho térmico de componentes da edificação. In: I SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL. *Anais...* Florianópolis: ANTAC, 1988.
- PEREIRA, Fernando O. R. *Iluminação natural no ambiente construído*. Gramado: ANTAC, 1995.
- PILOTTO NETO, Egydio. *Cor e iluminação nos ambientes de trabalho*. São Paulo: Ciência e Tecnologia, 1980.
- PRITCHARD, David C. *Lighting*. London: Longman, 1985
- PUPPO, Ernesto, PUPPO, Giorgio A. *Acondicionamento natural y arquitectura*. Barcelona: Marcombo, 1972.
- ROBBINS, Claude L. *Daylighting: design and analysis*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.
- ROGERS, Tyler Stewart. *Thermal design of buildings*. New York: John Wiley & Sons, 1964.
- SCARAZZATO, Paulo Sergio. *O conceito de dia típico de projeto aplicado à iluminação natural*. São Paulo, 1995. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU-USP.
- SCHILER, Marc. *Simulation daylight with architectural models*. U.S. Dept. of Energy, University of Southern California, 1987.
- SELKOWITZ, Stephen. Influence of windows on building energy use. In: BUILDING DESIGN AND MAINTENANCE. Gothenburg, Sweden: June 13-15, 1984.



- SELKOWITZ, Stephen, GRIFFITH, James W. Effective daylighting in buildings – revisited. *Lighting Design & Application*. New York: IES, p. 34-47, mar. 1986.
- SOLOVYOV, A. K., SPIRIDONOV, A. V. Sawtooth rooflights: efficiency at different sky states. *Lighting Research and Technology*. London: CIBSE, v. 23, n. 3, p. 151-154, 1991.
- SOUZA, Marcos Barros de. *Impacto da luz natural no consumo de energia elétrica em um edifício de escritórios em Florianópolis*. Florianópolis: 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.
- SVENDENIUS, Nils, PERTOLA, Peter. Searching for useful lighting design software: developing technical specifications based on real needs. In: 3rd EUROPEAN CONFERENCE ON ENERGY-EFFICIENT LIGHTING. *Proceedings...* New Castle: Northern Electric, v.1, p. 19-24, 18-21 jun.1995.
- SZOKOLAY, S. V. Passive and low energy design for thermal and visual comfort. In: PLEA 84. Cidade do México: 1984.
- TOLEDO, Geraldo Luciano, OVALLE, Ivo Izidoro. *Estatística Básica*. São Paulo: Atlas, 1992.
- TREGENZA, P. R. Sunlight, skylight and electric light. In: 2º ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1993, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: ANTAC, p. 21-27, 1993.
- WILKINSON, M. A. Natural lighting under translucent domes. *Lighting Research and Technology*. London: CIBSE, v. 24, n. 3, p. 117-126, 1992.
- WILLIAMS, Rollo Gillespie. *Lighting for color and form*. London: Sir Isaac Pitman & Sons, 1954.

# **ANEXO A – Planilhas de Dados – Geral**

Anexo A.1. Planilha de Dados Padrão A – REF 1 .....	133
Anexo A.2. Planilha de Dados Padrão A – REF 0 .....	134
Anexo A.3. Planilha de Dados Padrão B – REF 1 .....	135
Anexo A.4. Planilha de Dados Padrão B – REF 0 .....	136
Anexo A.5. Planilha de Dados Padrão C – REF 1 .....	137
Anexo A.6. Planilha de Dados Padrão C – REF 0 .....	138
Anexo A.7. Planilha de Dados Padrão D – REF 1 .....	139
Anexo A.8. Planilha de Dados Padrão D – REF 0 .....	140

A seguir são apresentadas 8 tabelas, contendo (i) dados referentes a definição do modelo proposto para esse trabalho, (ii) valores coletados pela simulação computacional, (iii) dados processados para uso pelo Método Gráfico e (iv) dados processados para uso pelo Método Analítico.

As planilhas estão agrupadas por Padrão e Conjuntos de Refletividades.

## Anexo A.1. Planilha de Dados Padrão A – REF 1

MOD	L	C	A	P	$E_m$	$E_{min}$	$E_e$	$\delta_e$	$E_{max}$	$E_+$	$\delta_+$	s	c.v.	Amp
11	1	1	1	7,838	3620	2350	2534	-184	10400	4706	-5694	1240	34,25%	8050
12	1	2	2	11,758	3560	2490	2492	-2	6730	4628	-2102	908	25,51%	4240
13	1	3	3	15,677	3560	2510	2492	18	5780	4628	-1152	890	25,00%	3270
14	1	4	4	19,596	3530	2500	2471	29	5470	4589	-881	874	24,76%	2970
19	1	1	1	20,380	3480	2440	2436	4	5610	4524	-1086	912	26,21%	3170
21	2	1	2	11,758	3560	2490	2492	-2	6730	4628	-2102	908	25,51%	4240
22	2	2	4	15,677	3500	2830	2450	380	4650	4550	-100	351	10,03%	1820
22W	2	2	4	15,677	3580	2510	2506	4	5090	4654	-436	654	18,27%	2580
22X	2	2	4	15,677	3580	2510	2506	4	5090	4654	-436	654	18,27%	2580
22Y	2	2	4	39,192	3410	2400	2387	13	5500	4433	-1067	615	18,04%	3100
22Z	2	2	4	39,192	3590	2710	2513	197	4440	4667	227	449	12,51%	1730
23	2	3	6	19,596	3490	3010	2443	567	4150	4537	387	267	7,65%	1140
24	2	4	8	23,515	3460	3000	2422	578	3960	4498	538	258	7,46%	960
29	2	1	2	39,976	3490	2980	2443	537	4010	4537	527	276	7,91%	1030
31	3	1	3	15,677	3560	2510	2492	18	5780	4628	-1152	890	25,00%	3270
32	3	2	6	19,596	3490	3010	2443	567	4150	4537	387	267	7,65%	1140
33	3	3	9	23,515	3490	3300	2443	857	3780	4537	757	93,3	2,67%	480
34	3	4	12	27,434	3460	3320	2422	898	3630	4498	868	74,4	2,15%	310
39	3	1	3	59,572	3380	3200	2366	834	3580	4394	814	85,3	2,52%	380
41	4	1	4	19,596	3530	2500	2471	29	5470	4589	-881	874	24,76%	2970
42	4	2	8	23,515	3460	3000	2422	578	3960	4498	538	258	7,46%	960
43	4	3	12	27,434	3460	3320	2422	898	3630	4498	868	74,4	2,15%	310
44	4	4	16	31,354	3430	3320	2401	919	3570	4459	889	41	1,20%	250
49	4	1	4	79,168	3470	3330	2429	901	3630	4511	881	47,7	1,37%	300
59	5	1	5	98,764	3380	3250	2366	884	3560	4394	834	45,7	1,35%	310
69	6	1	6	118,360	3450	3280	2415	865	3600	4485	885	47	1,36%	320
91	1	1	1	20,380	3480	2440	2436	4	5610	4524	-1086	912	26,21%	3170
92	1	2	2	39,976	3490	2980	2443	537	4010	4537	527	276	7,91%	1030
93	1	3	3	59,572	3380	3200	2366	834	3580	4394	814	85,3	2,52%	380
94	1	4	4	79,168	3470	3330	2429	901	3630	4511	881	47,7	1,37%	300
95	1	5	5	98,764	3380	3250	2366	884	3560	4394	834	45,7	1,35%	310
96	1	6	6	118,360	3450	3280	2415	865	3600	4485	885	47	1,36%	320

### Legenda:

MOD	Modelo de distribuição das aberturas. Vide Figura 3-3
L	Número de aberturas no sentido da largura do Ambiente
C	Número de aberturas no sentido do comprimento do Ambiente
A	Número total de aberturas
P	Perímetro das aberturas (Unid: m)
$E_m$	Iluminância média no plano de trabalho (Unid: lx)
$E_{min}$	Iluminância mínima no plano de trabalho (Unid: lx)
$E_e$	Iluminância equivalente à iluminância média menos 30% (Unid: lx)
$\delta_e$	Diferença entre $E_{min}$ e $E_e$ . Um valor negativo significa que há pontos com iluminância abaixo de $E_e$ (Unid: lx)
$E_{max}$	Iluminância máxima no plano de trabalho (Unid: lx)
$E_+$	Iluminância equivalente à iluminância média mais 30% (Unid: lx)
$\delta_+$	Diferença entre $E_{max}$ e $E_+$ . Um valor negativo significa que há pontos com iluminância acima de $E_+$ (Unid: lx)
s	Desvio padrão da iluminância (Unid: lx)
c.v.	Coefficiente de variação (Unid: adimensional, em percentual)
Amp	Amplitude da iluminância (Unid: lx)

## Anexo A.2. Planilha de Dados Padrão A – REF 0

MOD	L	C	A	P	$E_m$	$E_{min}$	$E_e$	$\delta_e$	$E_{max}$	$E_+$	$\delta_+$	s	c.v.	Amp
11	1	1	1	7,838	1580	129	1106	-977	8760	2054	-6706	1380	87,34%	8631
12	1	2	2	11,758	1480	178	1036	-858	4910	1924	-2986	995	67,23%	4732
13	1	3	3	15,677	1430	180	1001	-821	3960	1859	-2101	937	65,52%	3780
14	1	4	4	19,596	1410	180	987	-807	3660	1833	-1827	921	65,32%	3480
19	1	1	1	20,380	1390	169	973	-804	3850	1807	-2043	962	69,21%	3681
21	2	1	2	11,758	1480	178	1036	-858	4910	1924	-2986	995	67,23%	4732
22	2	2	4	15,677	1380	382	966	-584	2780	1794	-986	465	33,70%	2398
22W	2	2	4	15,677	1480	171	1036	-865	3230	1924	-1306	828	55,95%	3059
22X	2	2	4	15,677	1480	171	1036	-865	3230	1924	-1306	828	55,95%	3059
22Y	2	2	4	39,192	1390	169	973	-804	3860	1807	-2053	746	53,67%	3691
22Z	2	2	4	39,192	1450	232	1015	-783	2490	1885	-605	638	44,00%	2258
23	2	3	6	19,596	1340	432	938	-506	2260	1742	-518	370	27,61%	1828
24	2	4	8	23,515	1320	438	924	-486	2080	1716	-364	355	26,89%	1642
29	2	1	2	39,976	1300	425	910	-485	2050	1690	-360	362	27,85%	1625
31	3	1	3	15,677	1430	180	1001	-821	3960	1859	-2101	937	65,52%	3780
32	3	2	6	19,596	1340	432	938	-506	2260	1742	-518	370	27,61%	1828
33	3	3	9	23,515	1300	521	910	-389	1890	1690	-200	238	18,31%	1369
34	3	4	12	27,434	1280	538	896	-358	1760	1664	-96	228	17,81%	1222
39	3	1	3	59,572	1260	528	882	-354	1720	1638	-82	234	18,57%	1192
41	4	1	4	19,596	1410	180	987	-807	3660	1833	-1827	921	65,32%	3480
42	4	2	8	23,515	1320	438	924	-486	2080	1716	-364	355	26,89%	1642
43	4	3	12	27,434	1280	538	896	-358	1760	1664	-96	228	17,81%	1222
44	4	4	16	31,354	1260	560	882	-322	1640	1638	-2	217	17,22%	1080
49	4	1	4	79,168	1240	556	868	-312	1610	1612	2	222	17,90%	1054
59	5	1	5	98,764	1240	558	868	-310	1600	1612	12	225	18,15%	1042
69	6	1	6	118,360	1230	555	861	-306	1580	1599	19	224	18,21%	1025
91	1	1	1	20,380	1390	169	973	-804	3850	1807	-2043	962	69,21%	3681
92	1	2	2	39,976	1300	425	910	-485	2050	1690	-360	362	27,85%	1625
93	1	3	3	59,572	1260	528	882	-354	1720	1638	-82	234	18,57%	1192
94	1	4	4	79,168	1240	556	868	-312	1610	1612	2	222	17,90%	1054
95	1	5	5	98,764	1240	558	868	-310	1600	1612	12	225	18,15%	1042
96	1	6	6	118,360	1230	555	861	-306	1580	1599	19	224	18,21%	1025

Legenda:

MOD	Modelo de distribuição das aberturas. Vide Figura 3-3
L	Número de aberturas no sentido da largura do Ambiente
C	Número de aberturas no sentido do comprimento do Ambiente
A	Número total de aberturas
P	Perímetro das aberturas (Unid: m)
$E_m$	Iluminância média no plano de trabalho (Unid: lx)
$E_{min}$	Iluminância mínima no plano de trabalho (Unid: lx)
$E_e$	Iluminância equivalente à iluminância média menos 30% (Unid: lx)
$\delta_e$	Diferença entre $E_{min}$ e $E_e$ . Um valor negativo significa que há pontos com iluminância abaixo de $E_e$ (Unid: lx)
$E_{max}$	Iluminância máxima no plano de trabalho (Unid: lx)
$E_+$	Iluminância equivalente à iluminância média mais 30% (Unid: lx)
$\delta_+$	Diferença entre $E_{max}$ e $E_+$ . Um valor negativo significa que há pontos com iluminância acima de $E_+$ (Unid: lx)
s	Desvio padrão da iluminância (Unid: lx)
c.v.	Coefficiente de variação (Unid: adimensional, em percentual)
Amp	Amplitude da iluminância (Unid: lx)

### Anexo A.3. Planilha de Dados Padrão B – REF 1

MOD	L	C	A	P	$E_m$	$E_{min}$	E.	$\delta$ .	$E_{max}$	$E_+$	$\delta_+$	s	c.v.	Amp
11	1	1	1	8	3600	2210	2520	-310	10300	4680	-5620	1230	34,17%	8090
12	1	2	2	11,2	3550	2590	2485	105	6590	4615	-1975	735	20,70%	4000
13	1	3	3	14,4	3540	2720	2478	242	5470	4602	-868	660	18,64%	2750
14	1	4	4	17,6	3510	2680	2457	223	5030	4563	-467	647	18,43%	2350
19	1	1	1	24,64	3450	2600	2415	185	4890	4485	-405	672	19,48%	2290
21	2	1	2	12,8	3560	2240	2492	-252	6770	4628	-2142	1100	30,90%	4530
22	2	2	4	16	3510	2760	2457	303	4650	4563	-87	409	11,65%	1890
22W	2	2	4	16	3560	2490	2492	-2	5050	4628	-422	662	18,60%	2560
22X	2	2	4	16	3370	2380	2359	21	5490	4381	-1109	616	18,28%	3110
22Y	2	2	4	40	3590	2510	2513	-3	5080	4667	-413	661	18,41%	2570
22Z	2	2	4	40	3600	2660	2520	140	4390	4680	290	472	13,11%	1730
23	2	3	6	19,2	3500	3070	2450	620	4020	4550	530	180	5,14%	950
24	2	4	8	22,4	3480	3120	2436	684	3780	4524	744	130	3,74%	660
29	2	1	2	48,64	3500	3130	2450	680	3820	4550	730	132	3,77%	690
31	3	1	3	17,6	3520	2230	2464	-234	6110	4576	-1534	1080	30,68%	3880
32	3	2	6	20,8	3470	2710	2429	281	4270	4511	241	398	11,47%	1560
33	3	3	9	24	3460	3100	2422	678	3860	4498	638	149	4,31%	760
34	3	4	12	27,2	3430	3210	2401	809	3790	4459	669	100	2,92%	580
39	3	1	3	72,64	3360	3170	2352	818	3750	4368	618	105	3,13%	580
41	4	1	4	22,4	3530	2240	2471	-231	5990	4589	-1401	1070	30,31%	3750
42	4	2	8	25,6	3480	2730	2436	294	4290	4524	234	396	11,38%	1560
43	4	3	12	28,8	3470	3100	2429	671	3880	4511	631	146	4,21%	780
44	4	4	16	32	3450	3210	2415	795	3810	4485	675	94,5	2,74%	600
49	4	1	4	96,64	3470	3270	2429	841	3850	4511	661	90	2,59%	580
59	5	1	5	120,64	3350	3180	2345	835	3750	4355	605	93,4	2,79%	570
69	6	1	6	144,64	3470	3280	2429	851	3840	4511	671	87,2	2,51%	560
91	1	1	1	16,96	3460	2170	2422	-252	6330	4498	-1832	1110	32,08%	4160
92	1	2	2	32,96	3500	2720	2450	270	4350	4550	200	423	12,09%	1630
93	1	3	3	48,96	3400	3020	2380	640	3770	4420	650	155	4,56%	750
94	1	4	4	64,96	3470	3230	2429	801	3830	4511	681	94	2,71%	600
95	1	5	5	80,96	3520	3320	2464	856	3840	4576	736	94,2	2,68%	520
96	1	6	6	96,96	3460	3270	2422	848	3820	4498	678	86	2,49%	550

#### Legenda:

MOD	Modelo de distribuição das aberturas. Vide Figura 3-3
L	Número de aberturas no sentido da largura do Ambiente
C	Número de aberturas no sentido do comprimento do Ambiente
A	Número total de aberturas
P	Perímetro das aberturas (Unid: m)
$E_m$	Iluminância média no plano de trabalho (Unid: lx)
$E_{min}$	Iluminância mínima no plano de trabalho (Unid: lx)
E.	Iluminância equivalente à iluminância média menos 30% (Unid: lx)
$\delta$ .	Diferença entre $E_{min}$ e E.. Um valor negativo significa que há pontos com iluminância abaixo de E. (Unid: lx)
$E_{max}$	Iluminância máxima no plano de trabalho (Unid: lx)
$E_+$	Iluminância equivalente à iluminância média mais 30% (Unid: lx)
$\delta_+$	Diferença entre $E_{max}$ e $E_+$ . Um valor negativo significa que há pontos com iluminância acima de $E_+$ (Unid: lx)
s	Desvio padrão da iluminância (Unid: lx)
c.v.	Coefficiente de variação (Unid: adimensional, em percentual)
Amp	Amplitude da iluminância (Unid: lx)

## Anexo A.4. Planilha de Dados Padrão B – REF 0

MOD	L	C	A	P	$E_m$	$E_{min}$	E.	$\delta$ .	$E_{max}$	$E_+$	$\delta_+$	s	c.v.	Amp
11	1	1	1	8	1560	113	1092	-979	8620	2028	-6592	1380	88,46%	8507
12	1	2	2	11,2	1480	225	1036	-811	4890	1924	-2966	899	60,74%	4665
13	1	3	3	14,4	1440	245	1008	-763	3700	1872	-1828	790	54,86%	3455
14	1	4	4	17,6	1420	246	994	-748	3300	1846	-1454	767	54,01%	3054
19	1	1	1	24,64	1390	234	973	-739	3210	1807	-1403	793	57,05%	2976
21	2	1	2	12,8	1440	123	1008	-885	4900	1872	-3028	1120	77,78%	4777
22	2	2	4	16	1370	355	959	-604	2790	1781	-1009	523	38,18%	2435
22W	2	2	4	16	1460	167	1022	-855	3220	1898	-1322	816	55,89%	3053
22X	2	2	4	16	1460	169	1022	-853	3210	1898	-1312	812	55,62%	3041
22Y	2	2	4	40	1380	173	966	-793	3890	1794	-2096	742	53,77%	3717
22Z	2	2	4	40	1430	213	1001	-788	2480	1859	-621	656	45,87%	2267
23	2	3	6	19,2	1330	462	931	-469	2150	1729	-421	309	23,23%	1688
24	2	4	8	22,4	1310	490	917	-427	1930	1703	-227	276	21,07%	1440
29	2	1	2	48,64	1280	484	896	-412	1800	1664	-136	278	21,72%	1316
31	3	1	3	17,6	1390	123	973	-850	4310	1807	-2503	1080	77,70%	4187
32	3	2	6	20,8	1330	366	931	-565	2450	1729	-721	478	35,94%	2084
33	3	3	9	24	1290	500	903	-403	1920	1677	-243	260	20,16%	1420
34	3	4	12	27,2	1270	544	889	-345	1740	1651	-89	220	17,32%	1196
39	3	1	3	72,64	1240	549	868	-319	1630	1612	-18	221	17,82%	1081
41	4	1	4	22,4	1380	123	966	-843	4070	1794	-2276	1060	76,81%	3947
42	4	2	8	25,6	1310	367	917	-550	2310	1703	-607	469	35,80%	1943
43	4	3	12	28,8	1270	504	889	-385	1820	1651	-169	254	20,00%	1316
44	4	4	16	32	1250	552	875	-323	1660	1625	-35	216	17,28%	1108
49	4	1	4	96,64	1230	557	861	-304	1570	1599	29	220	17,89%	1013
59	5	1	5	120,64	1220	557	854	-297	1570	1586	16	221	18,11%	1013
69	6	1	6	144,64	1220	555	854	-299	1570	1586	16	221	18,11%	1015
91	1	1	1	16,96	1360	114	952	-838	4550	1768	-2782	1120	82,35%	4436
92	1	2	2	32,96	1290	355	903	-548	2370	1677	-693	486	37,67%	2015
93	1	3	3	48,96	1260	496	882	-386	1830	1638	-192	259	20,56%	1334
94	1	4	4	64,96	1240	547	868	-321	1660	1612	-48	218	17,58%	1113
95	1	5	5	80,96	1280	583	896	-313	1660	1664	4	225	17,58%	1077
96	1	6	6	96,96	1220	561	854	-293	1580	1586	6	218	17,87%	1019

Legenda:

MOD	Modelo de distribuição das aberturas. Vide Figura 3-3
L	Número de aberturas no sentido da largura do Ambiente
C	Número de aberturas no sentido do comprimento do Ambiente
A	Número total de aberturas
P	Perímetro das aberturas (Unid: m)
$E_m$	Iluminância média no plano de trabalho (Unid: lx)
$E_{min}$	Iluminância mínima no plano de trabalho (Unid: lx)
E.	Iluminância equivalente à iluminância média menos 30% (Unid: lx)
$\delta$ .	Diferença entre $E_{min}$ e E.. Um valor negativo significa que há pontos com iluminância abaixo de E. (Unid: lx)
$E_{max}$	Iluminância máxima no plano de trabalho (Unid: lx)
$E_+$	Iluminância equivalente à iluminância média mais 30% (Unid: lx)
$\delta_+$	Diferença entre $E_{max}$ e $E_+$ . Um valor negativo significa que há pontos com iluminância acima de $E_+$ (Unid: lx)
s	Desvio padrão da iluminância (Unid: lx)
c.v.	Coefficiente de variação (Unid: adimensional, em percentual)
Amp	Amplitude da iluminância (Unid: lx)

## Anexo A.5. Planilha de Dados Padrão C – REF 1

MOD	L	C	A	P	$E_m$	$E_{min}$	E.	$\delta$ .	$E_{max}$ .	$E_+$	$\delta_+$	s	c.v.	Amp
11	1	1	1	8,8	3610	1990	2527	-537	9880	4693	-5187	1450	40,17%	7890
12	1	2	2	11,2	3580	2480	2506	-26	6610	4654	-1956	752	21,01%	4130
13	1	3	3	13,6	3580	2890	2506	384	5440	4654	-786	455	12,71%	2550
14	1	4	4	16	3550	2990	2485	505	4790	4615	-175	364	10,25%	1800
19	1	1	1	32,48	3370	2770	2359	411	4090	4381	291	347	10,30%	1320
21	2	1	2	15,2	3500	1990	2450	-460	7000	4550	-2450	1300	37,14%	5010
22	2	2	4	17,6	3460	2400	2422	-22	4880	4498	-382	684	19,77%	2480
22W	2	2	4	17,6	3500	2330	2450	-120	5160	4550	-610	687	19,63%	2830
22X	2	2	4	17,6	3550	2350	2485	-135	5180	4615	-565	691	19,46%	2830
22Y	2	2	4	44	3280	2350	2296	54	5660	4264	-1396	703	21,43%	3310
22Z	2	2	4	44	3580	2340	2506	-166	4620	4654	34	683	19,08%	2280
23	2	3	6	20	3470	2850	2429	421	4160	4511	351	323	9,31%	1310
24	2	4	8	22,4	3440	3090	2408	682	3950	4472	522	155	4,51%	860
29	2	1	2	64,48	3490	3220	2443	777	4010	4537	527	98,9	2,83%	790
31	3	1	3	21,6	3520	2020	2464	-444	6740	4576	-2164	1320	37,50%	4720
32	3	2	6	24	3490	2430	2443	-13	4820	4537	-283	679	19,46%	2390
33	3	3	9	26,4	3490	2880	2443	437	4170	4537	367	319	9,14%	1290
34	3	4	12	28,8	3460	3140	2422	718	4030	4498	468	147	4,25%	890
39	3	1	3	96,48	3260	3040	2282	758	3830	4238	408	103	3,16%	790
41	4	1	4	28	3490	2010	2443	-433	6610	4537	-2073	1290	36,96%	4600
42	4	2	8	30,4	3450	2410	2415	-5	4750	4485	-265	661	19,16%	2340
43	4	3	12	32,8	3460	2860	2422	438	4130	4498	368	310	8,96%	1270
44	4	4	16	35,2	3420	3110	2394	-2083	3980	4446	466	142	4,15%	3669
49	4	1	4	128,48	3480	3270	2436	834	4020	4524	504	80,2	2,30%	750
59	5	1	5	160,48	3270	3050	2289	761	3830	4251	421	97,4	2,98%	780
69	6	1	6	192,48	3490	3280	2443	837	4030	4537	507	78,9	2,26%	750
91	1	1	1	13,28	3440	1960	2408	-448	7560	4472	-3088	1390	40,41%	5600
92	1	2	2	25,28	3480	2410	2436	-26	4900	4524	-376	721	20,72%	2490
93	1	3	3	37,28	3370	2770	2359	411	4060	4381	321	328	9,73%	1290
94	1	4	4	49,28	3460	3140	2422	718	4000	4498	498	148	4,28%	860
95	1	5	5	61,28	3160	2930	2212	718	3560	4108	548	98,7	3,12%	630
96	1	6	6	73,28	3450	3270	2415	855	4010	4485	475	82,4	2,39%	740

Legenda:

MOD	Modelo de distribuição das aberturas. Vide Figura 3-3
L	Número de aberturas no sentido da largura do Ambiente
C	Número de aberturas no sentido do comprimento do Ambiente
A	Número total de aberturas
P	Perímetro das aberturas (Unid: m)
$E_m$	Iluminância média no plano de trabalho (Unid: lx)
$E_{min}$	Iluminância mínima no plano de trabalho (Unid: lx)
E.	Iluminância equivalente à iluminância média menos 30% (Unid: lx)
$\delta$ .	Diferença entre $E_{min}$ e E.. Um valor negativo significa que há pontos com iluminância abaixo de E. (Unid: lx)
$E_{max}$	Iluminância máxima no plano de trabalho (Unid: lx)
$E_+$	Iluminância equivalente à iluminância média mais 30% (Unid: lx)
$\delta_+$	Diferença entre $E_{max}$ e $E_+$ . Um valor negativo significa que há pontos com iluminância acima de $E_+$ (Unid: lx)
s	Desvio padrão da iluminância (Unid: lx)
c.v.	Coefficiente de variação (Unid: adimensional, em percentual)
Amp	Amplitude da iluminância (Unid: lx)



## Anexo A.6. Planilha de Dados Padrão C – REF 0

MOD	L	C	A	P	$E_m$	$E_{min}$	E.	$\delta$	$E_{max}$	$E_+$	$\delta_+$	s	c.v.	Amp
11	1	1	1	8,8	1460	62,6	1022	-959,4	8040	1898	-6142	1410	96,58%	7977,4
12	1	2	2	11,2	1420	226	994	-768	4760	1846	-2914	888	62,54%	4534
13	1	3	3	13,6	1390	316	973	-657	3530	1807	-1723	635	45,68%	3214
14	1	4	4	16	1370,00	344	959	-615	2960	1781	-1179	560	40,88%	2616
19	1	1	1	32,48	1340,00	335	938	-603	2450	1742	-708	555	41,42%	2115
21	2	1	2	15,2	1330	61,6	931	-869,4	4880	1729	-3151	1240	93,23%	4818,4
22	2	2	4	17,6	1290,00	254	903	-649	2870	1677	-1193	680	52,71%	2616
22W	2	2	4	17,6	1370	140	959	-819	3190	1781	-1409	775	56,57%	3050
22X	2	2	4	17,6	1370	139	959	-820	3120	1781	-1339	766	55,91%	2981
22Y	2	2	4	44	1310	195	917	-722	4040	1703	-2337	729	55,65%	3845
22Z	2	2	4	44	1340	138	938	-800	2400	1742	-658	695	51,87%	2262
23	2	3	6	20	1260,00	419	882	-463	2130	1638	-492	385	30,56%	1711
24	2	4	8	22,4	1240,00	503	868	-365	1830	1612	-218	243	19,60%	1327
29	2	1	2	64,48	1210,00	532	847	-315	1510	1573	63	216	17,85%	978
31	3	1	3	21,6	1300	61,3	910	-848,7	4750	1690	-3060	1210	93,08%	4688,7
32	3	2	6	24	1260,00	253	882	-629	2770	1638	-1132	656	52,06%	2517
33	3	3	9	26,4	1230,00	422	861	-439	2050	1599	-451	363	29,51%	1628
34	3	4	12	28,8	1210,00	515	847	-332	1770	1573	-197	229	18,93%	1255
39	3	1	3	96,48	1180	554	826	-272	1500	1534	34	199	16,86%	946
41	4	1	4	28	1280,00	61,2	896	-834,8	4680	1664	-3016	1200	93,75%	4618,8
42	4	2	8	30,4	1250,00	253	875	-622	2720	1625	-1095	649	51,92%	2467
43	4	3	12	32,8	1220,00	421	854	-433	2020	1586	-434	358	29,34%	1599
44	4	4	16	35,2	1200,00	514	840	-326	1740	1560	-180	227	18,92%	1226
49	4	1	4	128,48	1170	554	819	-265	1480	1521	41	199	17,01%	926
59	5	1	5	160,48	1170	553	819	-266	1480	1521	41	199	17,01%	927
69	6	1	6	192,48	1160	553	812	-259	1470	1508	38	199	17,16%	917
91	1	1	1	13,28	1270	55,6	889	-833,4	5600	1651	-3949	1270	100,00%	5544,4
92	1	2	2	25,28	1240	240	868	-628	2850	1612	-1238	685	55,24%	2610
93	1	3	3	37,28	1200	405	840	-435	2050	1560	-490	371	30,92%	1645
94	1	4	4	49,28	1190	508	833	-325	1760	1547	-213	230	19,33%	1252
95	1	5	5	61,28	1110	514	777	-263	1460	1443	-17	185	16,67%	946
96	1	6	6	73,28	1170	572	819	-247	1550	1521	-29	189	16,15%	978

Legenda:

MOD	Modelo de distribuição das aberturas. Vide Figura 3-3
L	Número de aberturas no sentido da largura do Ambiente
C	Número de aberturas no sentido do comprimento do Ambiente
A	Número total de aberturas
P	Perímetro das aberturas (Unid: m)
$E_m$	Iluminância média no plano de trabalho (Unid: lx)
$E_{min}$	Iluminância mínima no plano de trabalho (Unid: lx)
E.	Iluminância equivalente à iluminância média menos 30% (Unid: lx)
$\delta$	Diferença entre $E_{min}$ e E.. Um valor negativo significa que há pontos com iluminância abaixo de E. (Unid: lx)
$E_{max}$	Iluminância máxima no plano de trabalho (Unid: lx)
$E_+$	Iluminância equivalente à iluminância média mais 30% (Unid: lx)
$\delta_+$	Diferença entre $E_{max}$ e $E_+$ . Um valor negativo significa que há pontos com iluminância acima de $E_+$ (Unid: lx)
s	Desvio padrão da iluminância (Unid: lx)
c.v.	Coefficiente de variação (Unid: adimensional, em percentual)
Amp	Amplitude da iluminância (Unid: lx)

## Anexo A.7. Planilha de Dados Padrão D – REF 1

MOD	L	C	A	P	$E_m$	$E_{min}$	E.	$\delta$	$E_{max}$	$E_+$	$\delta_+$	s	c.v.	Amp
11	1	1	1	11,2	3100	1660	2170	-510	8640	4030	-4610	1600	51,61%	6980
12	1	2	2	12,8	3070	1850	2149	-299	6130	3991	-2139	1070	34,85%	4280
13	1	3	3	14,4	3080	2110	2156	-46	5160	4004	-1156	694	22,53%	3050
14	1	4	4	16	3060	2310	2142	168	4470	3978	-492	459	15,00%	2160
19	1	1	1	48,32	2720	2230	1904	326	3060	3536	476	190	6,99%	830
21	2	1	2	20,8	3170	1750	2219	-469	7550	4121	-3429	1570	49,53%	5800
22	2	2	4	22,4	3160	1960	2212	-252	5450	4108	-1342	1050	33,23%	3490
22X	2	2	4	22,4	3160	1840	2212	-372	5510	4108	-1402	840	26,58%	3670
22Y	2	2	4	56	2640	1800	1848	-48	5900	3432	-2468	809	30,64%	4100
22Z	2	2	4	56	3190	1840	2233	-393	4310	4147	-163	914	28,65%	2470
23	2	3	6	24	3150	2200	2205	-5	4570	4095	-475	665	21,11%	2370
24	2	4	8	25,6	3140	2430	2198	232	4050	4082	32	417	13,28%	1620
29	2	1	2	96,32	3110	2680	2177	503	3280	4043	763	119	3,83%	600
31	3	1	3	30,4	2940	1640	2058	-418	6930	3822	-3108	1430	48,64%	5290
32	3	2	6	32	2860	1790	2002	-212	4920	3718	-1202	942	32,94%	3130
33	3	3	9	33,6	2920	2060	2044	16	4220	3796	-424	606	20,75%	2160
34	3	4	12	35,2	2850	2230	1995	235	3680	3705	25	373	13,09%	1450
39	3	1	3	144,32	2080	1800	1456	344	2190	2704	514	72,9	3,50%	390
41	4	1	4	40	3080	1710	2156	-446	7410	4004	-3406	1530	49,68%	5700
42	4	2	8	41,6	3070	1910	2149	-239	5340	3991	-1349	1030	33,55%	3430
43	4	3	12	43,2	3070	2150	2149	1	4470	3991	-479	647	21,07%	2320
44	4	4	16	44,8	3060	2370	2142	228	3960	3978	18	406	13,27%	1590
49	4	1	4	192,32	3030	2620	2121	499	3210	3939	729	115	3,80%	590
59	5	1	5	240,32	2600	2280	1820	460	2770	3380	610	80	3,08%	490
69	6	1	6	288,32	2970	2570	2079	491	3140	3861	721	113	3,80%	570
91	1	1	1	9,92	2940	1610	2058	-448	9080	3822	-5258	1580	53,74%	7470
92	1	2	2	17,92	2970	1820	2079	-259	5520	3861	-1659	1070	36,03%	3700
93	1	3	3	25,92	2910	2020	2037	-17	4460	3783	-677	661	22,71%	2440
94	1	4	4	33,92	2960	2270	2072	198	3910	3848	-62	416	14,05%	1640
95	1	5	5	41,92	3020	2490	2114	376	3530	3926	396	300	9,93%	1040
96	1	6	6	49,92	2960	2510	2072	438	3350	3848	498	184	6,22%	840

Legenda:

MOD	Modelo de distribuição das aberturas. Vide Figura 3-3
L	Número de aberturas no sentido da largura do Ambiente
C	Número de aberturas no sentido do comprimento do Ambiente
A	Número total de aberturas
P	Perímetro das aberturas (Unid: m)
$E_m$	Iluminância média no plano de trabalho (Unid: lx)
$E_{min}$	Iluminância mínima no plano de trabalho (Unid: lx)
E.	Iluminância equivalente à iluminância média menos 30% (Unid: lx)
$\delta$	Diferença entre $E_{min}$ e E.. Um valor negativo significa que há pontos com iluminância abaixo de E. (Unid: lx)
$E_{max}$	Iluminância máxima no plano de trabalho (Unid: lx)
$E_+$	Iluminância equivalente à iluminância média mais 30% (Unid: lx)
$\delta_+$	Diferença entre $E_{max}$ e $E_+$ . Um valor negativo significa que há pontos com iluminância acima de $E_+$ (Unid: lx)
s	Desvio padrão da iluminância (Unid: lx)
c.v.	Coefficiente de variação (Unid: adimensional, em percentual)
Amp	Amplitude da iluminância (Unid: lx)

## Anexo A.8. Planilha de Dados Padrão D – REF 0

MOD	L	C	A	P	$E_m$	$E_{min}$	E.	$\delta$	$E_{max}$	$E_+$	$\delta_+$	s	c.v.	Amp
11	1	1	1	11,2	1230	17	861	-844	6650	1599	-5051	1410	114,63%	6633
12	1	2	2	12,8	1220	111	854	-743	4330	1586	-2744	988	80,98%	4219
13	1	3	3	14,4	1200	252	840	-588	3380	1560	-1820	677	56,42%	3128
14	1	4	4	16	1190	368	833	-465	2720	1547	-1173	486	40,84%	2352
19	1	1	1	48,32	1160	462	812	-350	1650	1508	-142	286	24,66%	1188
21	2	1	2	20,8	1120	16,8	784	-767,2	4990	1456	-3534	1280	114,29%	4973,2
22	2	2	4	22,4	1110	109	777	-668	3180	1443	-1737	884	79,64%	3071
22X	2	2	4	22,4	1140	58,1	798	-739,9	3260	1482	-1778	710	62,28%	3201,9
22Y	2	2	4	56	1120	238	784	-546	4250	1456	-2794	703	62,77%	4012
22Z	2	2	4	56	1140	44,6	798	-753,4	2150	1482	-668	749	65,70%	2105,4
23	2	3	6	24	1090	254	763	-509	2450	1417	-1033	586	53,76%	2196
24	2	4	8	25,6	1080	388	756	-368	1980	1404	-576	384	35,56%	1592
29	2	1	2	96,32	1050	547	735	-188	1260	1365	105	150	14,29%	713
31	3	1	3	30,4	1100	16,7	770	-753,3	4960	1430	-3530	1260	114,55%	4943,3
32	3	2	6	32	1090	109	763	-654	3170	1417	-1753	866	79,45%	3061
33	3	3	9	33,6	1080	253	756	-503	2440	1404	-1036	572	52,96%	2187
34	3	4	12	35,2	1060	386	742	-356	1970	1378	-592	374	35,28%	1584
39	3	1	3	144,32	1030	546	721	-175	1250	1339	89	147	14,27%	704
41	4	1	4	40	1090	16,7	763	-746,3	4930	1417	-3513	1250	114,68%	4913,3
42	4	2	8	41,6	1080	108	756	-648	3150	1404	-1746	861	79,72%	3042
43	4	3	12	43,2	1070	252	749	-497	2430	1391	-1039	568	53,08%	2178
44	4	4	16	44,8	1060	386	742	-356	1960	1378	-582	371	35,00%	1574
49	4	1	4	192,32	1030	545	721	-176	1240	1339	99	144	13,98%	695
59	5	1	5	240,32	1020	545	714	-169	1240	1326	86	143	14,02%	695
69	6	1	6	288,32	1020	544	714	-170	1240	1326	86	143	14,02%	696
91	1	1	1	9,92	1090	14,8	763	-748,2	6770	1417	-5353	1340	122,94%	6755,2
92	1	2	2	17,92	1080	99,1	756	-656,9	3430	1404	-2026	907	83,98%	3330,9
93	1	3	3	25,92	1060	238	742	-504	2560	1378	-1182	598	56,42%	2322
94	1	4	4	33,92	1050	373	735	-362	2020	1365	-655	386	36,76%	1647
95	1	5	5	41,92	1090	491	763	-272	1600	1417	-183	283	25,96%	1109
96	1	6	6	49,92	1040	528	728	-200	1490	1352	-138	188	18,08%	962

Legenda:

MOD	Modelo de distribuição das aberturas. Vide Figura 3-3
L	Número de aberturas no sentido da largura do Ambiente
C	Número de aberturas no sentido do comprimento do Ambiente
A	Número total de aberturas
P	Perímetro das aberturas (Unid: m)
$E_m$	Iluminância média no plano de trabalho (Unid: lx)
$E_{min}$	Iluminância mínima no plano de trabalho (Unid: lx)
E.	Iluminância equivalente à iluminância média menos 30% (Unid: lx)
$\delta$	Diferença entre $E_{min}$ e E.. Um valor negativo significa que há pontos com iluminância abaixo de E. (Unid: lx)
$E_{max}$	Iluminância máxima no plano de trabalho (Unid: lx)
$E_+$	Iluminância equivalente à iluminância média mais 30% (Unid: lx)
$\delta_+$	Diferença entre $E_{max}$ e $E_+$ . Um valor negativo significa que há pontos com iluminância acima de $E_+$ (Unid: lx)
s	Desvio padrão da iluminância (Unid: lx)
c.v.	Coefficiente de variação (Unid: adimensional, em percentual)
Amp	Amplitude da iluminância (Unid: lx)

## **ANEXO B - Planilhas de Dados - Ordem Crescente de c.v.**

Anexo B.1. Planilha de Dados Padrão A - Ordem Crescente de c.v. ....	143
Anexo B.2. Planilha de Dados Padrão B - Ordem Crescente de c.v. ....	144
Anexo B.3. Planilha de Dados Padrão C - Ordem Crescente de c.v. ....	145
Anexo B.4. Planilha de Dados Padrão D - Ordem Crescente de c.v. ....	146

São apresentadas quatro Tabelas, onde os Modelos, com seus respectivos Perímetros, são classificados em ordem crescente de c.v.

As tabelas são agrupadas por Padrão e por Conjunto de Refletividade.

**Anexo B.1. Planilha de Dados Padrão A - Ordem Crescente de  
C.V.**

REF 1			REF 0		
MOD	P	c.v.	MOD	P	c.v.
44	31,354	1,20%	44	31,354	17,22%
59	98,764	1,35%	34	27,434	17,81%
95	98,764	1,35%	43	27,434	17,81%
69	118,360	1,36%	49	79,168	17,90%
96	118,360	1,36%	94	79,168	17,90%
49	79,168	1,37%	59	98,764	18,15%
94	79,168	1,37%	95	98,764	18,15%
34	27,434	2,15%	69	118,360	18,21%
43	27,434	2,15%	96	118,360	18,21%
39	59,572	2,52%	33	23,515	18,31%
93	59,572	2,52%	39	59,572	18,57%
33	23,515	2,67%	93	59,572	18,57%
24	23,515	7,46%	24	23,515	26,89%
42	23,515	7,46%	42	23,515	26,89%
23	19,596	7,65%	23	19,596	27,61%
32	19,596	7,65%	32	19,596	27,61%
29	39,976	7,91%	29	39,976	27,85%
92	39,976	7,91%	92	39,976	27,85%
22	15,677	10,03%	22	15,677	33,70%
22Z	39,192	12,51%	22Z	39,192	44,00%
22Y	39,192	18,04%	22Y	39,192	53,67%
22W	15,677	18,27%	22W	15,677	55,95%
22X	15,677	18,27%	22X	15,677	55,95%
14	19,596	24,76%	14	19,596	65,32%
41	19,596	24,76%	41	19,596	65,32%
13	15,677	25,00%	13	15,677	65,52%
31	15,677	25,00%	31	15,677	65,52%
12	11,758	25,51%	12	11,758	67,23%
21	11,758	25,51%	21	11,758	67,23%
19	20,380	26,21%	19	20,380	69,21%
91	20,380	26,21%	91	20,380	69,21%
11	7,838	34,25%	11	7,838	87,34%

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
MOD	Modelo de distribuição das aberturas, vide Figura 3-3
P	Perímetro das aberturas, m
c.v.	Coefficiente de variação, adimensional, percentual

**Anexo B.2. Planilha de Dados Padrão B - Ordem Crescente de  
C.V.**

REF 1			REF 0		
MOD	P	c.v.	MOD	P	c.v.
96	96,96	2,49%	44	32,00	17,28%
69	144,64	2,51%	34	27,20	17,32%
49	96,64	2,59%	94	64,96	17,58%
95	80,96	2,68%	95	80,96	17,58%
94	64,96	2,71%	39	72,64	17,82%
44	32,00	2,74%	96	96,96	17,87%
59	120,64	2,79%	49	96,64	17,89%
34	27,20	2,92%	59	120,64	18,11%
39	72,64	3,13%	69	144,64	18,11%
24	22,40	3,74%	43	28,80	20,00%
29	48,64	3,77%	33	24,00	20,16%
43	28,80	4,21%	93	48,96	20,56%
33	24,00	4,31%	24	22,40	21,07%
93	48,96	4,56%	29	48,64	21,72%
23	19,20	5,14%	23	19,20	23,23%
42	25,60	11,38%	42	25,60	35,80%
32	20,80	11,47%	32	20,80	35,94%
22	16,00	11,65%	92	32,96	37,67%
92	32,96	12,09%	22	16,00	38,18%
22Z	40,00	13,11%	22Z	40,00	45,87%
22X	16,00	18,28%	22Y	40,00	53,77%
22Y	40,00	18,41%	14	17,6	54,01%
14	17,60	18,43%	13	14,4	54,86%
22W	16,00	18,60%	22X	16,00	55,62%
13	14,40	18,64%	22W	16,00	55,89%
19	24,64	19,48%	19	24,64	57,05%
12	11,20	20,70%	12	11,20	60,74%
41	22,40	30,31%	41	22,40	76,81%
31	17,60	30,68%	31	17,60	77,70%
21	12,80	30,90%	21	12,80	77,78%
91	16,96	32,08%	91	16,96	82,35%
11	8,00	34,17%	11	8,00	88,46%

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
MOD	Modelo de distribuição das aberturas, vide Figura 3-3
P	Perímetro das aberturas, m
c.v.	Coefficiente de variação, adimensional, percentual

**Anexo B.3. Planilha de Dados Padrão C - Ordem Crescente de  
c.v.**

REF 1			REF 0		
MOD	P	c.v.	MOD	P	c.v.
69	192,48	2,26%	96	73,28	16,15%
49	128,48	2,30%	95	61,28	16,67%
96	73,28	2,39%	39	96,48	16,86%
29	64,48	2,83%	49	128,48	17,01%
59	160,48	2,98%	59	160,48	17,01%
95	61,28	3,12%	69	192,48	17,16%
39	96,48	3,16%	29	64,48	17,85%
44	35,20	4,15%	44	35,20	18,92%
34	28,80	4,25%	34	28,80	18,93%
94	49,28	4,28%	94	49,28	19,33%
24	22,40	4,51%	24	22,40	19,60%
43	32,80	8,96%	43	32,80	29,34%
33	26,40	9,14%	33	26,40	29,51%
23	20,00	9,31%	23	20,00	30,56%
93	37,28	9,73%	93	37,28	30,92%
14	16,00	10,25%	14	16,00	40,88%
19	32,48	10,30%	19	32,48	41,42%
13	13,60	12,71%	13	13,60	45,68%
22Z	44,00	19,08%	22Z	44,00	51,87%
42	30,40	19,16%	42	30,40	51,92%
22X	17,60	19,46%	32	24,00	52,06%
32	24,00	19,46%	22	17,60	52,71%
22W	17,60	19,63%	92	25,28	55,24%
22	17,60	19,77%	22Y	44,00	55,65%
92	25,28	20,72%	22X	17,60	55,91%
12	11,20	21,01%	22W	17,60	56,57%
22Y	44,00	21,43%	12	11,20	62,54%
41	28,00	36,96%	31	21,60	93,08%
21	15,20	37,14%	21	15,20	93,23%
31	21,60	37,50%	41	28,00	93,75%
11	8,80	40,17%	11	8,80	96,58%
91	13,28	40,41%	91	13,28	100,00%

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
MOD	Modelo de distribuição das aberturas, vide Figura 3-3
P	Perímetro das aberturas, m
c.v.	Coefficiente de variação, adimensional, percentual



**Anexo B.4. Planilha de Dados Padrão D - Ordem Crescente de  
c.v.**

REF 1			REF 0		
MOD	P	c.v.	MOD	P	c.v.
59	240,32	3,08%	49	192,32	13,98%
39	144,32	3,50%	59	240,32	14,02%
49	192,32	3,80%	69	288,32	14,02%
69	288,32	3,80%	39	144,32	14,27%
29	96,32	3,83%	29	96,32	14,29%
96	49,92	6,22%	96	49,92	18,08%
19	48,32	6,99%	19	48,32	24,66%
95	41,92	9,93%	95	41,92	25,96%
34	35,20	13,09%	44	44,80	35,00%
44	44,80	13,27%	34	35,20	35,28%
24	25,60	13,28%	24	25,60	35,56%
94	33,92	14,05%	94	33,92	36,76%
14	16,00	15,00%	14	16,00	40,84%
33	33,60	20,75%	33	33,60	52,96%
43	43,20	21,07%	43	43,20	53,08%
23	24,00	21,11%	23	24,00	53,76%
13	14,40	22,53%	13	14,40	56,42%
93	25,92	22,71%	93	25,92	56,42%
22X	22,40	26,58%	22X	22,40	62,28%
22Z	56,00	28,65%	22Y	56,00	62,77%
22Y	56,00	30,64%	22Z	56,00	65,70%
32	32,00	32,94%	32	32,00	79,45%
22	22,40	33,23%	22	22,40	79,64%
42	41,60	33,55%	42	41,60	79,72%
12	12,80	34,85%	12	12,80	80,98%
92	17,92	36,03%	92	17,92	83,98%
31	30,40	48,64%	21	20,80	114,29%
21	20,80	49,53%	31	30,40	114,55%
41	40,000	49,68%	11	11,20	114,63%
11	11,20	51,61%	41	40,00	114,68%
91	9,92	53,74%	91	9,92	122,94%

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
MOD	Modelo de distribuição das aberturas, vide Figura 3-3
P	Perímetro das aberturas, m
c.v.	Coefficiente de variação, adimensional, percentual

## **ANEXO C - Planilhas de Dados - Ordem Crescente de Perímetro**

Anexo C.1. Planilha de Dados Padrão A - Ordem Crescente de Perímetro .....	149
Anexo C.2. Planilha de Dados Padrão B - Ordem Crescente de Perímetro .....	150
Anexo C.3. Planilha de Dados Padrão C - Ordem Crescente de Perímetro .....	151
Anexo C.4. Planilha de Dados Padrão D - Ordem Crescente de Perímetro .....	152

São apresentadas quatro Tabelas, onde os Modelos, com seus respectivos coeficientes de variação (c.v.), são classificados em ordem crescente de Perímetro.

As tabelas são agrupadas por Padrão e por Conjunto de Refletividade.

## Anexo C.1. Planilha de Dados Padrão A - Ordem Crescente de Perímetro

REF 1			REF 0		
MOD	P	c.v.	MOD	P	c.v.
11	7,838	34,25%	11	7,838	87,34%
12	11,758	25,51%	12	11,758	67,23%
21	11,758	25,51%	21	11,758	67,23%
22	15,677	10,03%	22	15,677	33,70%
22W	15,677	18,27%	22W	15,677	55,95%
22X	15,677	18,27%	22X	15,677	55,95%
13	15,677	25,00%	13	15,677	65,52%
31	15,677	25,00%	31	15,677	65,52%
23	19,596	7,65%	23	19,596	27,61%
32	19,596	7,65%	32	19,596	27,61%
14	19,596	24,76%	14	19,596	65,32%
41	19,596	24,76%	41	19,596	65,32%
19	20,380	26,21%	19	20,380	69,21%
91	20,380	26,21%	91	20,380	69,21%
33	23,515	2,67%	33	23,515	18,31%
24	23,515	7,46%	24	23,515	26,89%
42	23,515	7,46%	42	23,515	26,89%
34	27,434	2,15%	34	27,434	17,81%
43	27,434	2,15%	43	27,434	17,81%
44	31,354	1,20%	44	31,354	17,22%
22Z	39,192	12,51%	22Z	39,192	44,00%
22Y	39,192	18,04%	22Y	39,192	53,67%
29	39,976	7,91%	29	39,976	27,85%
92	39,976	7,91%	92	39,976	27,85%
39	59,572	2,52%	39	59,572	18,57%
93	59,572	2,52%	93	59,572	18,57%
49	79,168	1,37%	49	79,168	17,90%
94	79,168	1,37%	94	79,168	17,90%
59	98,764	1,35%	59	98,764	18,15%
95	98,764	1,35%	95	98,764	18,15%
69	118,360	1,36%	69	118,360	18,21%
96	118,360	1,36%	96	118,360	18,21%

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
MOD	Modelo de distribuição das aberturas, vide Figura 3-3
P	Perímetro das aberturas, m
c.v.	Coefficiente de variação, adimensional, percentual

## Anexo C.2. Planilha de Dados Padrão B - Ordem Crescente de Perímetro

REF 1			REF 0		
MOD	P	c.v.	MOD	P	c.v.
11	8,00	34,17%	11	8,00	88,46%
12	11,20	20,70%	12	11,20	60,74%
21	12,80	30,90%	21	12,80	77,78%
13	14,40	18,64%	13	14,40	54,86%
22	16,00	11,65%	22	16,00	38,18%
22X	16,00	18,28%	22X	16,00	55,62%
22W	16,00	18,60%	22W	16,00	55,89%
91	16,96	32,08%	91	16,96	82,35%
14	17,60	18,43%	14	17,60	54,01%
31	17,60	30,68%	31	17,60	77,70%
23	19,20	5,14%	23	19,20	23,23%
32	20,80	11,47%	32	20,80	35,94%
24	22,40	3,74%	24	22,40	21,07%
41	22,40	30,31%	41	22,40	76,81%
33	24,00	4,31%	33	24,00	20,16%
19	24,64	19,48%	19	24,64	57,05%
42	25,60	11,38%	42	25,60	35,80%
34	27,20	2,92%	34	27,20	17,32%
43	28,80	4,21%	43	28,80	20,00%
44	32,00	2,74%	44	32,00	17,28%
92	32,96	12,09%	92	32,96	37,67%
22Z	40,00	13,11%	22Z	40,00	45,87%
22Y	40,00	18,41%	22Y	40,00	53,77%
29	48,64	3,77%	29	48,64	21,72%
93	48,96	4,56%	93	48,96	20,56%
94	64,96	2,71%	94	64,96	17,58%
39	72,64	3,13%	39	72,64	17,82%
95	80,96	2,68%	95	80,96	17,58%
49	96,64	2,59%	49	96,64	17,89%
96	96,96	2,49%	96	96,96	17,87%
59	120,64	2,79%	59	120,64	18,11%
69	144,64	2,51%	69	144,64	18,11%

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
MOD	Modelo de distribuição das aberturas, vide Figura 3-3
P	Perímetro das aberturas, m
c.v.	Coefficiente de variação, adimensional, percentual

### Anexo C.3. Planilha de Dados Padrão C - Ordem Crescente de Perímetro

REF 1			REF 0		
MOD	P	c.v.	MOD	P	c.v.
11	8,80	40,17%	11	8,80	96,58%
12	11,20	21,01%	12	11,20	62,54%
91	13,28	40,41%	91	13,28	100,00%
13	13,60	12,71%	13	13,60	45,68%
21	15,20	37,14%	21	15,20	93,23%
14	16,00	10,25%	14	16,00	40,88%
22X	17,60	19,46%	22	17,60	52,71%
22W	17,60	19,63%	22X	17,60	55,91%
22	17,60	19,77%	22W	17,60	56,57%
23	20,00	9,31%	23	20,00	30,56%
31	21,60	37,50%	31	21,60	93,08%
24	22,40	4,51%	24	22,40	19,60%
32	24,00	19,46%	32	24,00	52,06%
92	25,28	20,72%	92	25,28	55,24%
33	26,40	9,14%	33	26,40	29,51%
41	28,00	36,96%	41	28,00	93,75%
34	28,80	4,25%	34	28,80	18,93%
42	30,40	19,16%	42	30,40	51,92%
19	32,48	10,30%	19	32,48	41,42%
43	32,80	8,96%	43	32,80	29,34%
44	35,20	4,15%	44	35,20	18,92%
93	37,28	9,73%	93	37,28	30,92%
22Z	44,00	19,08%	22Z	44,00	51,87%
22Y	44,00	21,43%	22Y	44,00	55,65%
94	49,28	4,28%	94	49,28	19,33%
95	61,28	3,12%	95	61,28	16,67%
29	64,48	2,83%	29	64,48	17,85%
96	73,28	2,39%	96	73,28	16,15%
39	96,48	3,16%	39	96,48	16,86%
49	128,48	2,30%	49	128,48	17,01%
59	160,48	2,98%	59	160,48	17,01%
69	192,48	2,26%	69	192,48	17,16%

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
MOD	Modelo de distribuição das aberturas, vide Figura 3-3
P	Perímetro das aberturas, m
c.v.	Coefficiente de variação, adimensional, percentual

### Anexo C.4. Planilha de Dados Padrão D - Ordem Crescente de Perímetro

REF 1			REF 0		
MOD	P	c.v.	MOD	P	c.v.
91	9,92	53,74%	91	9,92	122,94%
11	11,20	51,61%	11	11,20	114,63%
12	12,80	34,85%	12	12,80	80,98%
13	14,40	22,53%	13	14,40	56,42%
14	16,00	15,00%	14	16,00	40,84%
92	17,92	36,03%	92	17,92	83,98%
21	20,80	49,53%	21	20,80	114,29%
22X	22,40	26,58%	22X	22,40	62,28%
22	22,40	33,23%	22	22,40	79,64%
23	24,00	21,11%	23	24,00	53,76%
24	25,60	13,28%	24	25,60	35,56%
93	25,92	22,71%	93	25,92	56,42%
31	30,40	48,64%	31	30,40	114,55%
32	32,00	32,94%	32	32,00	79,45%
33	33,60	20,75%	33	33,60	52,96%
94	33,92	14,05%	94	33,92	36,76%
34	35,20	13,09%	34	35,20	35,28%
41	40,00	49,68%	41	40,00	114,68%
42	41,60	33,55%	42	41,60	79,72%
95	41,92	9,93%	95	41,92	25,96%
43	43,20	21,07%	43	43,20	53,08%
44	44,80	13,27%	44	44,80	35,00%
19	48,32	6,99%	19	48,32	24,66%
96	49,92	6,22%	96	49,92	18,08%
22Z	56,00	28,65%	22Y	56,00	62,77%
22Y	56,00	30,64%	22Z	56,00	65,70%
29	96,32	3,83%	29	96,32	14,29%
39	144,32	3,50%	39	144,32	14,27%
49	192,32	3,80%	49	192,32	13,98%
59	240,32	3,08%	59	240,32	14,02%
69	288,32	3,80%	69	288,32	14,02%

Legenda:

REF	Conjunto de Refletividades. Vide Tabela 3-2
MOD	Modelo de distribuição das aberturas, vide Figura 3-3
P	Perímetro das aberturas, m
c.v.	Coefficiente de variação, adimensional, percentual

# GLOSSÁRIO



<b>Abertura Zenital Contínua</b>	Abertura única com uma das dimensões iguais a uma das dimensões do Padrão. Pode ser tanto em linha, quanto em coluna.
<b>Aberturas em Coluna</b>	Seqüência de aberturas paralelas a menor dimensão da figura.
<b>Aberturas em Linha</b>	Seqüência de aberturas paralelas a maior dimensão da figura.
<b>Alongamento</b>	Processo de transformação geométrica de um quadrado em retângulo, mantendo-se a mesma área. O processo de alongamento é tão maior, quanto maior for a relação C:L de cada figura, sendo C (Comprimento) o lado maior e L (Largura) o lado menor do retângulo, isto é, quanto mais oblongo for o retângulo.
<b>Ambiente</b>	Conjunto formado por um Padrão, um Modelo e um Conjunto de Refletividades para as superfícies internas
<b>Amplitude</b>	Amplitude da Iluminância no ambiente. Diferença entre $E_{\max}$ e $E_{\min}$
<b>Coefficiente de variação (c.v.)</b>	Vide coeficiente de variação de Pearson
<b>Coefficiente de variação de Pearson</b>	Relação percentual entre o desvio padrão e a média dos dados da mostra ou do universo. Será chamado simplesmente de coeficiente de variação (c.v.)
<b>Coefficiente de variação de Thorndike</b>	Relação percentual entre o desvio padrão e a mediana dos dados da mostra ou do universo.
<b>Conjunto de Refletividades</b>	Conjunto composto pelas refletividades das superfícies internas do ambiente – paredes, piso e teto.
<b>Correlação linear</b>	Objetiva medir e avaliar o grau de relação existente entre duas variáveis aleatórias

<b>Curva isolux</b>	Linha desenhada em um sistema de coordenadas apropriado para exibir todos os pontos da superfície onde a iluminância é igual.
<b>Desvio padrão</b>	Afastamento médio quadrático tomado em relação à média aritmética.
<b>Diversidade</b>	Relação entre a iluminância máxima ( $E_{\max}$ ) e a iluminância mínima ( $E_{\min}$ )
<b>Fator de Luz Diurna</b>	Medida da iluminação natural num ponto de um dado plano, expressa como uma relação da iluminância no plano dado e no ponto em causa, com a iluminância exterior simultânea num plano horizontal proveniente da totalidade de um céu não obstruído com uma distribuição de luminâncias suposta ou conhecida. Exclui-se a luz solar direta de ambos os valores de iluminação (interior e exterior).
<b>Iluminância</b>	Densidade de fluxo luminoso incidente em uma superfície. Unidade: Lux (lx).
<b>Índice de Recinto ou Índice de Local</b>	Índice que relaciona as dimensões internas de um local a partir da fórmula: $I_r = \frac{C \times L}{(C + L) \times h}$ , onde C = comprimento, L = Largura e h = pé-direito
<b>lux (lx)</b>	Unidade de Iluminância do Sistema Internacional (SI). Equivale a um lumen por metro quadrado.
<b>Modelo (MOD)</b>	Forma de distribuição das aberturas em um determinado padrão de ambiente. Vide Figura 3-3
<b>Modelos Básicos</b>	Aplicam-se aos Modelos: 11, 12, 13, 14, 21, 22, 23, 24, 31, 32, 33, 34, 41, 42, 43 e 44
<b>Modelos com Aberturas Zenitais Contínuas em coluna</b>	Aplicam-se aos Modelos : 91, 92, 93, 94, 95 e 96
<b>Modelos com Aberturas Zenitais Contínuas em linha</b>	Aplicam-se aos Modelos : 19, 29, 39, 49, 59 e 69.
<b>Modelos Especiais com 4 Aberturas</b>	Aplicam-se aos Modelos: 22W, 22X, 22Y, 22Z

<b>Modelos simétricos</b>	Dizem-se dos pares de Modelos M1 e M2, onde $n(M1) = m(M2)$ . Ex.: 42 e 24, 13 e 31.
<b>Padrão</b>	Padrão de ambiente. É definido pelas dimensões do ambiente. Vide Figura 3-1
<b>Promédio</b>	Medida de posição central. Ex.: Média aritmética, mediana, média geométrica
<b>Refletividade</b>	Proporção do fluxo luminoso incidente sobre uma superfície que é refletida.
<b>Região <math>\alpha</math></b>	Região definida como de iluminância excessiva. Tem iluminância maior que 130% da iluminância média ( $E_m$ )
<b>Região <math>\beta</math></b>	Região definida como de iluminância suficiente. Tem iluminância compreendida entre 70% e 130% da iluminância média ( $E_m$ )
<b>Região <math>\chi</math></b>	Região definida como de iluminância insuficiente. Tem iluminância abaixo de 70% da iluminância média ( $E_m$ )
<b>Retrofit</b>	Reforma de algum sistema onde se incorporam novas tecnologias voltadas para a conservação de energia, com melhoria significativa no seu desempenho.
<b>Superfície lambertiana</b>	Superfície ideal para a qual a radiação proveniente dessa superfície tem uma distribuição angular de acordo com a lei co-senoidal de Lambert.
<b>Transmissividade</b>	Proporção do fluxo luminoso incidente sobre uma superfície que é transmitido através dela.
<b>Uniformidade</b>	Relação entre a iluminância mínima ( $E_{min}$ ) e a iluminância média ( $E_m$ )

# **APÊNDICE I - Planilhas Para Cálculo da Distribuição de Aberturas**

Modo de Utilização das Planilhas .....	Ap-2
Apêndice I.1 - Planilha Para Cálculo da Distribuição de Aberturas - Modelos Básicos .....	Ap-4
Apêndice I.2 - Planilha Para Cálculo da Distribuição de Aberturas - Modelos Especiais com 4 Aberturas .....	Ap-5
Apêndice I.3 - Planilha para Cálculo da Distribuição de Aberturas - Aberturas Zenitais Contínuas em Linha .....	Ap-6
Apêndice I.4 - Planilha para Cálculo da Distribuição de Aberturas - Aberturas Zenitais Contínuas em Coluna .....	Ap-7

São apresentadas quatro Planilhas, contendo códigos fontes em Microsoft Excel®, compatível com a grande maioria das planilhas de cálculo existentes. Através dessas planilhas é possível se calcular a distribuição de aberturas zenitais proporcionalmente a qualquer ambiente retangular.

As opções de planilhas são para:

- Modelos Básicos;
- Modelos Especiais com 4 Aberturas;
- Modelos com Aberturas Zenitais Contínuas em linha;
- Modelos com Aberturas Zenitais Contínuas em coluna.

Como entrada de dados tem-se:

- Percentual da área de aberturas;
- Comprimento do ambiente;
- Largura do ambiente.

## **Modo de Utilização das Planilhas**

Uma vez digitado o código fonte e colocado os três valores solicitados como entrada de dados a planilha automaticamente fornece os resultados para cada uma das quatro extremidades de cada abertura.

Os valores apresentados levam em consideração um eixo de coordenadas XY, com origem (0,0) na extremidade inferior esquerda.

A seguir o uso das planilhas é explicado através de exemplos.

### **MODELOS BÁSICOS:**

- Procedimento para o Modelo 11

O Modelo tem LIN = 1 e COL = 1 e apenas uma abertura. Verificando na planilha, temos apenas valores para X1 (cel. C11), X2 (cel. D11), Y1 (cel. C17) e Y2 (cel. D17). Esses são os próprios valores das extremidades da abertura.

- Procedimento para o Modelo 23

O Modelo tem LIN = 2 e COL = 3, e portanto seis aberturas. Verificando na Planilha, temos os valores X1 a X6, na linha 13, e os valores Y1 a Y4, na linha 18. Para

encontrar os quatro valores de cada uma das seis aberturas deve-se fazer uma combinação dos pares  $(X_1, X_2)$ ,  $(X_3, X_4)$ ,  $(X_5, X_6)$  com os pares  $(Y_1, Y_2)$ ,  $(Y_3, Y_4)$ .

- Todos os demais modelos básicos seguem a mesma orientação.

### **MODELOS ESPECIAIS COM 4 ABERTURAS:**

- Modelos 22W e 22X

Para esses modelos há três pares de pontos no Eixo X e no Eixo Y, a combinação deve ser feita de acordo com a Figura 3-3. Dessa forma, a combinação de pares fica:  $\{(X_1, X_2) \text{ e } (Y_3, Y_4)\}$ ,  $\{(X_3, X_4) \text{ e } (Y_5, Y_6)\}$ ,  $\{(X_5, X_6) \text{ e } (Y_3, Y_4)\}$  e  $\{(X_3, X_4) \text{ e } (Y_1, Y_2)\}$ .

- Modelo 22Y

Como é formado por duas aberturas contínuas, necessita apenas dos pares  $(X_1, X_2)$  e  $(Y_1, Y_2)$ .

- Modelos 22Z

A abertura é a composição de dois retângulos semelhantes, o externo com pontos  $(X_1, Y_1)$ ,  $(X_1, Y_4)$ ,  $(X_4, Y_4)$  e  $(X_4, Y_1)$  e o interno com pontos  $(X_2, Y_2)$ ,  $(X_2, Y_3)$ ,  $(X_3, Y_3)$  e  $(X_3, Y_2)$ .

### **MODELOS COM ABERTURAS ZENITAIS CONTÍNUAS (LINHA OU COLUNA)**

É formado pela combinação de tantos pares  $\{(X_n, X_{n+1}), (X_{n+2}, X_{n+3}), \dots\}$ , quantos necessários pelo modelo.

## Apêndice I.1 - Planilha Para Cálculo da Distribuição de Aberturas - Modelos Básicos

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1			<b>PLANILHA PARA CÁLCULO DA DISTRIBUIÇÃO DE ABERTURAS</b>						
2			<i>Modelos Básicos</i>						
3									
4									
5			AMBIENTE	ABERTURA					
6		Percentual		D6					
7		Comprimento (C)	C7	=C7*RAIZ(F6/100)					
8		Largura (L)	C8	=C8*RAIZ(F6/100)					
9									
10	COL	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
11	1	=((C7-D7)/(2*A11))	=B11+(D7/A11)						
12	2	=((C7-D7)/(2*A12))	=B12+(D7/A12)	=C12+((C7-D7)/A12)	=D12+(D7/A12)				
13	3	=((C7-D7)/(2*A13))	=B13+(D7/A13)	=C13+((C7-D7)/A13)	=D13+(D7/A13)	=E13+((C7-D7)/A13)	=F13+(D7/A13)		
14	4	=((C7-D7)/(2*A14))	=B14+(D7/A14)	=C14+((C7-D7)/A14)	=D14+(D7/A14)	=E14+((C7-D7)/A14)	=F14+(D7/A14)	=G14+((C7-D7)/A14)	=H14+(D7/A14)
15									
16	LIN	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8
17	1	=((C8-D8)/(2*A17))	=B17+(D8/A17)						
18	2	=((C8-D8)/(2*A18))	=B18+(D8/A18)	=C18+((C8-D8)/A18)	=D18+(D8/A18)				
19	3	=((C8-D8)/(2*A19))	=B19+(D8/A19)	=C19+((C8-D8)/A19)	=D19+(D8/A19)	=E19+((C8-D8)/A19)	=F19+(D8/A19)		
20	4	=((C8-D8)/(2*A20))	=B20+(D8/A20)	=C20+((C8-D8)/A20)	=D20+(D8/A20)	=E20+((C8-D8)/A20)	=F20+(D8/A20)	=G20+((C8-D8)/A20)	=H20+(D8/A20)

## Apêndice I.2 - Planilha Para Cálculo da Distribuição de Aberturas - Modelos Especiais com 4 Aberturas

A	B	C	D	E	F	G
1	<b>PLANILHA PARA CÁLCULO DA DISTRIBUIÇÃO DE ABERTURAS</b>					
2	<i>Modelos Especiais com 4 Aberturas</i>					
3						
4						
5		AMBIENTE	ABERTURA			
6	Percentual		<b>D6</b>			
7	Comprimento (C)	<b>C7</b>	$=C7 \cdot \text{RAIZ}(D6/100)$			
8	Largura (L)	<b>C8</b>	$=C8 \cdot \text{RAIZ}(D6/100)$			
9						
10	MOD X1	X2	X3	X4	X5	X6
11	22W $= (C7-D7)/4$	$=B11+D7/2$	$= (C7-D8/2)/2$	$=D11+D8/2$	$=C7-C11$	$=C7-B11$
12	22X $= (C7-D8)/4$	$=B12+D8/2$	$= (C7-D7/2)/2$	$=D12+D7/2$	$=C7-C12$	$=C7-B12$
13	22Y $= C7 \cdot (0.5-D6/100/4)$	$=B13+C7 \cdot (D6/100/2)$				
14	22Z $= C7/4 \cdot (D7-D8/(C7+C8))/2$	$=B14+(D7-D8/(C7+C8))$	$=C7-C14$	$=C7-B14$		
15						
16	MOD Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
17	22W $= (C8-D7)/4$	$=B17+D7/2$	$= (C8-D8/2)/2$	$=D17+D8/2$	$=C8-C17$	$=C8-B17$
18	22X $= (C8-D8)/4$	$=B18+D8/2$	$= (C8-D7/2)/2$	$=D18+D7/2$	$=C8-C18$	$=C8-B18$
19	22Y $= C8 \cdot (0.5-D6/100/4)$	$=B19+C8 \cdot (D6/100/2)$				
20	22Z $= C8/4 \cdot (D7-D8/(C7+C8))/2$	$=B20+(D7-D8/(C7+C8))$	$=C8-C20$	$=C8-B20$		



### Apêndice I.3 - Planilha para Cálculo da Distribuição de Aberturas - Aberturas Zenitais Contínuas em Linha

	A	B	C	D	E	F	G	H
1			<b>PLANILHA PARA CÁLCULO DA DISTRIBUIÇÃO DE ABERTURAS</b>					
2			<i>Aberturas Zenitais Contínuas em Linha</i>					
3								
4				AMBIENTE	ABERTURA			
5					E6			
6			Percentual					
7			Comprimento (C)		D7	=D7*RAIZ(E6/100)		
8			Largura (L)		D8	=D8*RAIZ(E6/100)		
9								
10		MOD LN	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
11		19 1	=(D8/B11-(E7*E8/D7))/2	=C11+E7*E8/D7				
12		29 2	=(D8/(2*B12))-(E7*E8/D7)/(2*B12))	=C12+(E7*E8/D7)/B12	=D12+C12*2	=E12+(E7*E8/D7)/B12		
13		39 3	=(D8/(2*B13))-(E7*E8/D7)/(2*B13))	=C13+(E7*E8/D7)/B13	=D13+C13*2	=E13+(E7*E8/D7)/B13	=F13+C13*2	=G13+(E7*E8/D7)/B13
14		49 4	=(D8/(2*B14))-(E7*E8/D7)/(2*B14))	=C14+(E7*E8/D7)/B14	=D14+C14*2	=E14+(E7*E8/D7)/B14	=F14+C14*2	=G14+(E7*E8/D7)/B14
15		59 5	=(D8/(2*B15))-(E7*E8/D7)/(2*B15))	=C15+(E7*E8/D7)/B15	=D15+C15*2	=E15+(E7*E8/D7)/B15	=F15+C15*2	=G15+(E7*E8/D7)/B15
16		69 6	=(D8/(2*B16))-(E7*E8/D7)/(2*B16))	=C16+(E7*E8/D7)/B16	=D16+C16*2	=E16+(E7*E8/D7)/B16	=F16+C16*2	=G16+(E7*E8/D7)/B16
17								
18		MOD LN	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12
19		19 1						
20		29 2						
21		39 3						
22		49 4	=H14+C14*2	=C22+(E7*E8/D7)/B14				
23		59 5	=H15+C15*2	=C23+(E7*E8/D7)/B15	=D23+C15*2	=E23+(E7*E8/D7)/B15		
24		69 6	=H16+C16*2	=C24+(E7*E8/D7)/B16	=D24+C16*2	=E24+(E7*E8/D7)/B16	=F24+C16*2	=G24+(E7*E8/D7)/B16

Apêndice I.4 - Planilha para Cálculo da Distribuição de Aberturas - Aberturas Zenitais Contínuas em Coluna

	A	B	C	D	E	F	G	H
1			<b>PLANILHA PARA CÁLCULO DA DISTRIBUIÇÃO DE ABERTURAS</b>					
2			<i>Aberturas Zenitais Contínuas em Coluna</i>					
3								
4				AMBIENTE	ABERTURA			
5					E6			
6			Percentual		E6			
7			Comprimento (C)		E6			
8			Largura (L)	D7	E6			
9				D8	E6			
10		MOD COL	X1	X2	X3	X4	X5	X6
11		91 1	=D7/B11-(E7*E8/D8)/2	=C11+E7*E8/D8	X3	X4	X5	X6
12		92 2	=D7/(2*B12)-((E7*E8/D8)/(2*B12))	=C12+(E7*E8/D8)/B12	=D12+C12*2	=E12+(E7*E8/D8)/B12		
13		93 3	=D7/(2*B13)-((E7*E8/D8)/(2*B13))	=C13+(E7*E8/D8)/B13	=D13+C13*2	=E13+(E7*E8/D8)/B13	=F13+C13*2	=G13+(E7*E8/D8)/B13
14		94 4	=D7/(2*B14)-((E7*E8/D8)/(2*B14))	=C14+(E7*E8/D8)/B14	=D14+C14*2	=E14+(E7*E8/D8)/B14	=F14+C14*2	=G14+(E7*E8/D8)/B14
15		95 5	=D7/(2*B15)-((E7*E8/D8)/(2*B15))	=C15+(E7*E8/D8)/B15	=D15+C15*2	=E15+(E7*E8/D8)/B15	=F15+C15*2	=G15+(E7*E8/D8)/B15
16		96 6	=D7/(2*B16)-((E7*E8/D8)/(2*B16))	=C16+(E7*E8/D8)/B16	=D16+C16*2	=E16+(E7*E8/D8)/B16	=F16+C16*2	=G16+(E7*E8/D8)/B16
17								
18		MOD COL	X7	X8	X9	X10	X11	X12
19		91 1						
20		92 2						
21		93 3						
22		94 4	=H14+C14*2	=C22+(E7*E8/D8)/B14				
23		95 5	=H15+C15*2	=C23+(E7*E8/D8)/B15	=D23+C15*2	=E23+(E7*E8/D8)/B15		
24		96 6	=H16+C16*2	=C24+(E7*E8/D8)/B16	=D24+C16*2	=E24+(E7*E8/D8)/B16	=F24+C16*2	=G24+(E7*E8/D8)/B16

## **APÊNDICE II - Marcas Registradas**

A seguir, são listadas uma série de Marcas Registradas citadas durante o texto. Na primeira coluna estão relacionados os nomes dos produtos, enquanto na segunda coluna estão relacionados os nomes das Empresas ou Instituições possuidoras dos registros das Marcas.

---

PRODUTO	EMPRESA
Adeline	Lawrence Berkeley National Laboratory.
AutoCAD	Autodesk Inc.
Controlite	Lawrence Berkeley National Laboratory.
Daylight	Anglia Higher Education College
Excel	Microsoft Corporation
LightCad	Electric Power Research Institute
Lumen Micro	Lighting Technologies Inc
Radiance	Lawrence Berkeley National Laboratory.
Scribe	Lawrence Berkeley National Laboratory.
Superlink	Lawrence Berkeley National Laboratory.
Superlite	Lawrence Berkeley National Laboratory.

# ÍNDICE REMISSIVO

- Aalto, 12; 25
- Aberturas Zenitais Contínuas, 43; 44; 47; 90; 95; 102; 103; 104; 155; Ap-2; Ap-6; Ap-7
- ABNT, xvii; 38; 40; 53; 118; 125
- ADELINE, xvii; 28; 126; Ap-9
- ALLEN, 8; 125
- alongamento*, 82; 84; 85; 101; 102; 111; 121; 154
- Ambiente, 31; 33-35; 37-41; 43; 45; 47; 83-85; 90; 105; 108; 109; 111; 117; 118; 122; 154
- amplitude*, 41; 42; 154
- ANTAC, 129; 130
- ARESTEH, 10; 22; 125
- ARozTEGUI, 22; 125
- ASHRAE, xvii; 10
- AutoCAD, 40; 41; Ap-9
- BAKER, 19-21; 23-26; 29; 125
- BELLIA, 32; 125
- BOGO, 15; 125
- BREKKE, 15; 16; 129
- Building and Environment*, 126
- BURGNER, 32; 125
- c.v. *Consulte* coeficiente de variação
- CABÚS, 15; 126
- CAD, 28; 33
- CADDET ENERGY EFFICIENCY, 126
- calor, 3; 9; 14; 16; 23; 39; 121
- CAMOUS, 39
- células fotoelétricas, 16
- CESARANO, 125
- CHICHERCHIO, 18; 126
- CIBSE, xvii; 16; 123; 125; 126; 128; 130
- CINTRA DO PRADO, 8; 13; 19; 126
- clarabóia, 18; 23
- clima, 9; 16; 22; 25; 39; 128
- coeficiente de variação, 41-45; 47; 90-96; 101-119; 121-123; 133-140; 142-152; 154  
 Pearson, 41; 42; 154  
 Thomdike, 41; 42; 154
- COLEY, 16; 126
- CONGRESSO PANAMERICANO DE ARQUITECTOS, 125
- Conjunto de Refletividades, 32; 37; 38; 42-45; 47-52; 82; 83; 85-95; 97-107; 109-115; 117; 118; 122; 154
- Conjuntos de Refletividades. *Consulte* Conjunto de Refletividade
- CONNELL, 125
- Controlite, 28; Ap-9
- cor, 11
- correlação linear, xix; 45; 106-110; 117; 121; 154
- COSTA NETO, 41; 43; 126
- COURRET, 23; 126
- CRABB, 16; 126
- CUNHA NETO, 39; 129
- Curva isolux. *Consulte* isolux
- Custo x Desempenho, 122
- Daylight, 32; Ap-9

- desempenho, 3; 5; 8; 10; 15; 17; 22-24; 28; 36; 39-41; 43; 44; 47; 85; 90; 95; 101; 102; 108; 111; 121-123; 125; 129; 156
- Desvio padrão, xix; 38; 41-43; 47; 90-94; 154; 155
- diagrama de pontos, 26; 27
- distribuição das aberturas, 2, 3; 4; 35; 38; 106; 108; 155
- distribuição de iluminâncias, 2-5; 22; 31; 33; 34; 37; 39-41; 43-45; 47; 82; 85; 90; 95; 101; 102; 106; 108; 109; 111; 118; 121; 122
- distribuição de luminâncias, 12; 25; 155
- Diversidade, 123; 155
- domo, 18; 21
- economia de energia, 5; 10; 15; 16; 41; 85
- EDMONDS, 22; 126
- eficácia luminosa, 8; 14
- Eletricidade Moderna*, 128
- energia, 2; 4; 5; 8-10; 14-16; 23; 27; 28; 41; 85; 121; 130; 156
- ENERGY RESEARCH GROUP, 15; 16; 21; 22; 23; 25; 126
- ERHORN, 28; 126
- EUROPEAN CONFERENCE ON ENERGY PERFORMANCE AND INDOOR CLIMATE IN BUILDINGS, 126
- EVANS, 27; 127
- Excel, 37; 40; 41; 43; 2; 9
- FANCHIOTTI, 125
- Fator de Luz Diurna, 155
- ferramentas de avaliação, 5; 8; 23
- ferramentas simplificadas, 24; 26; 31
- GELLER, 15; 127
- GIRARDIN, 16; 127
- GIVONI, 22; 127
- GOULDING, 12; 127
- GRIFFITH, 10; 130
- HARPER, 22; 127
- HOPKINSON, 15; 38; 127
- IEMMA, 43; 127
- IES, xvii; 8; 10; 15; 127; 130
- IESNA, 12; 28; 127
- Iluminância, 40; 43; 48-52; 86-94; 111; 125; 154; 155
- Índice de Local. *Consulte* Índice de Recinto
- Índice de Recinto, 122; 155
- inteligência artificial, 16
- isolux, 33; 39; 40; 155
- JARDINE, 126
- JOHNSON, 125
- LAM, 21; 22; 23; 127
- lanternim, 18; 21; 23
- Le Corbusier, 12
- LEWIS, 127
- LightCad, 28; 9
- Lighting Design & Application*, 127; 130
- Lighting Research and Technology*, 125; 126; 128; 130
- LITTLEFAIR, 16; 24; 127; 128
- LOE, 10; 128

- Lomardo, 15
- LONGMORE, 127
- Lumen Micro, 28; 29; 31; 32; 38; 40; 43; 47;  
128; Ap-9
- luz elétrica, 9
- luz natural, 2; 4; 5; 8-12; 14-18; 25; 122; 130
- LYNES, 12; 16; 22; 128
- MACEDO JUNIOR, 85; 128
- maquete. *Consulte* modelo em escala
- MARDALJEVIC, 28; 32; 128
- MASCARÓ, 8; 12; 14; 18; 19; 22; 38; 128
- MCNICHOLL, 11; 128
- meio ambiente, 9
- Método Analítico, 5; 38; 39; 43; 45; 47; 111;  
121-123; 132
- Método Gráfico, 5; 31; 38-40; 45; 47; 90; 111;  
121; 122; 132
- Modelo, 32; 37; 38; 43; 44; 47-52; 82-95; 101;  
102; 108; 111-115; 154; 155; Ap-2; Ap-3
- modelo em escala, 24; 25; 31
- Modelos Básicos, 44; 47; 90; 95; 155; Ap-2;  
Ap-4
- Modelos Especiais com 4 Aberturas, 36; 155;  
Ap-2; Ap-5
- Modelos simétricos, 37; 48; 156
- monitor, 18
- MOORE, 8; 10; 14; 15; 18; 21; 22; 24-27; 29;  
128
- NANNI, 43; 129
- Nervi, 12
- número de aberturas, 4; 43-45; 85; 90; 95; 96;  
101; 102; 108-111; 121; 123
- ofuscamento, 19; 23; 28
- OPDAL, 15; 16; 129
- OVALLE, 41; 42; 130
- Padrão, 32; 34-38; 41; 43-45; 47-52; 82-95; 97-  
115; 117; 121; 143-146; 148-152; 154; 156
- PAULE, 126
- PEREIRA, 15; 17; 39; 126; 129
- perímetro, 3; 4; 36; 43-45; 47; 90; 95; 101;  
102; 106-109; 111; 121; 147
- PERTOLA, 25; 27; 28; 32; 130
- PETHERBRIDGE, 127
- PILOTTO NETO, 12; 129
- PRITCHARD, 21; 129
- proteção solar, 17; 33; 43; 95
- protetor solar, 33
- PUPPO, 21; 129
- qualidade da luz, 2; 8; 11
- quantidade de aberturas, 3; 36; 44; 102
- Radiance, 28; 32; 9
- refletividade, 3; 4; 33; 37; 38; 42-44; 48; 82-  
84; 90; 101; 102; 105; 106; 117; 121; 122;  
156
- reflexão difusa, 32
- reflexão especular, 33
- regiões equatoriais, 23; 37; 38; 39
- retrofit*, 85
- Revolução Industrial, 9
- ROBBINS, 8; 11; 13; 15; 17; 21; 22; 24; 129
- Rocha, 15



- ROGERS, 23; 129
- Romero, 15
- ROWLANDS, 10; 128
- Rudolph, 12
- RUTLEDGE, 126
- SCARAZZATO, 12; 129
- SCARTEZZINI, 126
- SCHILER, 24; 129
- Scribe, 28; Ap-9
- SELKOWITZ, 10; 16; 125; 129; 130
- SIBILIO, 125
- SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE  
MATERIAIS E COMPONENTES DE  
CONSTRUÇÃO CIVIL, 129
- simulação, 31; 33; 47; 48; 90; 132
- simulação computacional, 27; 31; 47; 48; 90;  
132
- simulações, 15; 31; 33
- SOLOVYOV, 19; 130
- SOUZA, 15; 130
- SPIRIDONOV, 19; 130
- STEEMERS, 125; 127
- STOFFEL, 126
- SunWorld*, 125
- superfície lambertiana, 33; 156
- Superlink, 28; Ap-9
- Superlite, 28; 32; Ap-9
- SVENDENIUS, 25; 27; 28; 32; 130
- SZERMAN, 126
- SZOKOLAY, 16; 130
- teto transparente, 18; 20
- The Architects' Journal*, 127; 128
- TOLEDO, 41; 42; 130
- transmissividade, 38; 156
- TREGENZA, 16; 130
- uniformidade, 2; 123; 156
- variabilidade, 2; 8; 11; 12
- Variância, xix; 41; 42
- VIANNA, 128
- WILKINSON, 26; 130
- WILLIAMS, 11; 130
- WORLD RENEWABLE ENERGY  
CONGRESS, 126
- Wright, 12
- zenital, 2; 3; 8; 17; 18; 21-23; 26; 27; 108; 111;  
126