

Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção

POTENCIALIDADE DE APROVEITAMENTO DA LUZ
NATURAL ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE
SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE CONTROLE PARA
ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA

Tese de Doutorado
Marcos Barros de Souza

Florianópolis
2003

POTENCIALIDADE DE APROVEITAMENTO DA LUZ
NATURAL ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE
SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE CONTROLE PARA
ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA

Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção

POTENCIALIDADE DE APROVEITAMENTO DA LUZ
NATURAL ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE
SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE CONTROLE PARA
ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA

Marcos Barros de Souza

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em
Engenharia de Produção da
Universidade Federal de Santa Catarina
como requisito parcial para obtenção do
título de Doutor em Engenharia de Produção

Florianópolis

2003

Marcos Barros de Souza

POTENCIALIDADE DE APROVEITAMENTO DA LUZ
NATURAL ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE
SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE CONTROLE PARA
ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA

Esta tese foi julgada e aprovada para obtenção do título de
Doutor em Engenharia de Produção no Programa de Pós-graduação em
Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 30 de abril de 2003.

Prof. Dr. Edson Pacheco Paladini
Coordenador do Curso

BANCA EXAMINADORA

Prof. Fernando Oscar Ruttkay Pereira, Ph.D.
Orientador

Prof. Dr. Anderson Claro

Prof. Roberto Lamberts, Ph.D.

Prof. Ricardo Ruther, Ph.D.

Prof^ª Dr^ª Silvia Regina Morel Corrêa

Prof. Eneidr Ghisi, Ph.D.

Dedicatória

A minha companheira, Lene
pelo apoio e paciência.

A meus filhos Lucas e Laura.

A minha mãe e meus irmãos.

Ao meu tio Abel.

Aos meus avós Amélia Martins de Barros e Dinarte Jose Barros (*in memoriam*).

Agradecimentos

Este trabalho não seria possível sem a ajuda das pessoas e instituições abaixo relacionadas:

Aos professores do Colégio Técnico Industrial da Fundação Universidade do Rio Grande que viabilizaram o meu afastamento para o desenvolvimento do curso de Pós-Graduação em nível de doutorado;

Ao professor Fernando Oscar Ruttkay Pereira pela orientação, apoio e estímulo quando solicitado;

Ao professor Anderson Claro pela ajuda ao longo do desenvolvimento do trabalho;

Ao amigo Alexandre Vasconcelos Leite pelo auxílio durante uma etapa do trabalho;

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade de Santa Catarina;

A Fundação Universidade do Rio Grande pela liberação e apoio financeiro fornecido durante o curso;

A CAPES pela bolsa de estudos fornecida durante o período de março de 1998 a agosto de 2001;

Aos membros da banca examinadora;

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa.

SOUZA, Marcos Barros de. Potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica. Florianópolis, 2003. 208p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Fernando Oscar Ruttkay Pereira
Defesa: 30/04/2003

O presente trabalho apresenta uma [metodologia] para estimar o potencial de aproveitamento da [luz natural] através da utilização de [sistemas automáticos de controle] para [economia de energia elétrica]. Para avaliar e comparar o desempenho das diversas estratégias de controle da iluminação artificial utiliza-se a variável [PALN] (Percentual de Aproveitamento da Luz Natural). Na aplicação da metodologia em 63 modelos foi constatado que a luz natural poderá proporcionar uma [economia de energia elétrica] gasta em [iluminação] de até 87%.

Sumário

Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas.....	xiv
Lista de Variáveis.....	xxi
Resumo.....	xxiii
Abstract	xxiv

CAPÍTULO 1

Introdução

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	2
1.2. POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL.....	3
1.3. SISTEMAS DE CONTROLE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	4
1.4. ACEITAÇÃO DO USUÁRIO	5
1.5. JUSTIFICATIVA.....	5
1.6. OBJETIVOS.....	6
1.6.1. Objetivo Geral	6
1.6.2. Objetivos Específicos	6
1.7. ESTRUTURA DA TESE	7

CAPÍTULO 2

Revisão Bibliográfica

2.1. PERSPECTIVAS DE ECONOMIA DE ENERGIA	10
2.2. NÍVEIS DE ILUMINAÇÃO.....	14
2.3. FONTES DE LUZ.....	17

2.3.1. Iluminação natural.....	17
2.3.1.1. Iluminação zenital	18
2.3.1.2. Iluminação lateral.....	18
2.3.2. Fontes de luz natural	19
2.3.2.1. Luz do sol.....	19
2.3.2.2. Luz do céu	19
2.3.2.3. Luz de fontes indiretas	21
2.3.3. Fontes artificiais	21
2.3.4. Características das fontes	22
2.3.4.1. Aparência da cor.....	22
2.3.4.2. Índice de reprodução de cor	24
2.4. DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL	24
2.5. SISTEMAS DE CONTROLE E <i>RETROFIT</i>	25
2.6. SISTEMAS INTEGRADOS	26
2.7. ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL.....	27
2.8. EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	30
2.8.1. Controle manual	30
2.8.2. Fotossensores	33
2.8.2.1. Localização dos sensores	34
2.8.3. Sensores de ocupação.....	35
2.8.3.1. Sensores passivos de infravermelho.....	35
2.8.3.2. Sensores ultra-sônicos	36
2.8.3.3. Escolha e localização do sensor de ocupação	36
2.8.4. Temporizadores.....	37
2.9. ALGORITMOS DE CONTROLE EM RESPOSTA A LUZ NATURAL	37
2.9.1. Sistema de laço fechado	38
2.9.2. Sistema de laço aberto.....	39
2.10. SISTEMAS DE CONTROLE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	40
2.11. SISTEMAS DE CONTROLE E O USUÁRIO.....	41

CAPÍTULO 3**Metodologia**

3.1. INTRODUÇÃO	45
3.2. PERCENTUAL DE APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL (PALN).....	46
3.3. DEFINIÇÃO DAS ZONAS DE ILUMINAÇÃO	48
3.4. ESTRATÉGIAS DE CONTROLE	48
3.4.1. Interruptor automático liga/desliga	49
3.4.2. Controlador automático de 3 passos	50
3.4.3. Controlador automático dimerizável.....	50
3.5. CÁLCULO DO PALN.....	51
3.5.1. Cálculo do PALN para um sistema de controle automático liga/desliga.....	52
3.5.2. Cálculo do PALN para um sistema de controle automático de 3 passos	56
3.5.3. Cálculo do PALN para um sistema de controle automático dimerizável	61
3.6. A FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO.....	63
3.7. O MODELO.....	65
3.7.1. Posicionamento das janelas.....	65
3.7.2. Tipos de janelas.....	66
3.7.3. Superfícies internas	68
3.7.4. Dimensões dos modelos.....	69
3.8. A ABÓBADA	70
3.9. PLANO DE EXAME	71
3.10. NÍVEIS DE ILUMINAÇÃO.....	71
3.11. DETERMINAÇÃO DAS ZONAS DE ILUMINAÇÃO NOS MODELOS	72
3.12. ILUMINÂNCIA MÉDIA DA LUZ NATURAL	77
3.13. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	78

CAPÍTULO 4**Análise e discussão dos resultados**

4.1. INTRODUÇÃO	80
-----------------------	----

4.2. ZONAS DE ILUMINAÇÃO	80
4.2.1. Modelo com iluminação unilateral.....	80
4.2.2. Modelo com iluminação oposta	82
4.2.3. Modelo com iluminação adjacente.....	85
4.3. PERCENTUAL DE APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL (PALN).....	89
4.3.1. PALN nos modelos com iluminação unilateral e controle automático Liga/Desliga.....	89
4.3.2. PALN nos modelos com iluminação unilateral e controle automático de 3 passos	96
4.3.3. PALN nos modelos com iluminação unilateral e controle automático dimerizável.....	102
4.3.4. Estratégias de controle automático nos modelos com iluminação unilateral.....	110
4.3.5. PALN nos modelos com iluminação oposta e controle automático Liga/Desliga..	112
4.3.6. PALN nos modelos com iluminação oposta e controle automático de 3 passos	118
4.3.7. PALN nos modelos com iluminação oposta e controle automático dimerizável....	124
4.3.8. Estratégias de controle automático nos modelos com iluminação oposta	132
4.3.9. PALN nos modelos com iluminação adjacente e controle automático Liga/Desliga.....	134
4.3.10. PALN nos modelos com iluminação adjacente e controle automático de 3 passos	140
4.3.11. PALN nos modelos com iluminação adjacente e controle automático dimerizável.....	146
4.3.12. Estratégias de controle automático nos modelos com iluminação adjacente.....	155
4.4. COMPARAÇÃO ENTRE OS TIPOS DE ILUMINAÇÃO	157

CAPÍTULO 5

Conclusões e Recomendações

5.1. INTRODUÇÃO	163
5.2. AS ZONAS DE ILUMINAÇÃO	164
5.3. IMPLICAÇÕES DO ZONEAMENTO NO PROJETO LUMINOTÉCNICO	168
5.4. PERCENTUAL DE APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL (PALN).....	168

5.5. LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	172
5.6. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	172

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Referências Bibliográficas.....	174
---------------------------------	-----

ANEXO

Anexo	181
-------------	-----

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

FIGURA 2.1 - Níveis de iluminamento x Desempenho da tarefa.....	15
FIGURA 2.2 - Diagrama de Kruithof	24
FIGURA 2.3 - Probabilidade de ligar as lâmpadas ao entrar em um ambiente	31
FIGURA 2.4 - Sistema dimerizável de laço fechado	38
FIGURA 2.5 - Relação entre o sinal de saída do fotossensor e a saída de luz do sistema de iluminação artificial em um controlador de laço fechado	38
FIGURA 2.6 - Relação entre o sinal de saída do fotossensor e a saída de luz do sistema de iluminação artificial em um controlador de laço aberto	39

CAPÍTULO 3

FIGURA 3.1 - Cálculo do PALN para estratégia de controle automático liga/desliga.....	53
FIGURA 3.2 - Cálculo do PALN ponderado para estratégia de controle automático liga/desliga.....	55
FIGURA 3.3 - Cálculo do PALN da sala para estratégia de controle automático liga/desliga.....	56
FIGURA 3.4 - Cálculo do PALN para estratégia de controle automático de 3 passos.....	59
FIGURA 3.5 - Cálculo do PALN ponderado para estratégia de controle automático de 3 passos.....	60
FIGURA 3.6 - Cálculo do PALN da sala para estratégia de controle automático de 3 passos.....	60
FIGURA 3.7 - Relação linear entre a potência e a iluminância em sistemas dimerizáveis.....	61
FIGURA 3.8 - Cálculo do PALN da sala para estratégia de controle automático dimerizável.....	63
FIGURA 3.9 - Posicionamento das janelas nos modelos.....	66
FIGURA 3.10 - Altura e peitoril das janelas nos modelos.....	66

FIGURA 3.11 - Parede com uma única janela (tamanho e posição).	67
FIGURA 3.12 - Parede com janela dupla (tamanho e posição).	67
FIGURA 3.13 - Parede com janela total (tamanho e posição).	68
FIGURA 3.14 - Malha de pontos do plano de exame.	71
FIGURA 3.15 - Limites das zonas de iluminação.	72
FIGURA 3.16 - Definição das zonas de iluminação das parcelas do plano de exame.	73
FIGURA 3.17 - Zonas de Iluminação (Modelo 6 x 8; Iluminação Unilateral; Janela Total)	74
FIGURA 3.18 - Mapa da zonas de Iluminação (Modelo 6 x 8; Iluminação Unilateral; Janela Total; Orientação Norte)	75
FIGURA 3.19 - Zonas de Iluminação (Modelo 6 x 8; Iluminação Unilateral; Janela Total; Orientação Norte).....	77

CAPÍTULO 4

FIGURA 4.1 - Zonas de Iluminação nos modelos com iluminação unilateral	81
FIGURA 4.2 - Mapa de zonas de iluminação (Modelo 6 x 7; Iluminação Unilateral; Janela Total; Norte).....	81
FIGURA 4.3 - Zonas de Iluminação nos modelos com iluminação oposta	83
FIGURA 4.4 - Mapa de zonas de Iluminação (Modelo 6 x 7; Iluminação Oposta; Janela Total; Norte)	84
FIGURA 4.5 - Zonas de Iluminação nos modelos com iluminação adjacente	86
FIGURA 4.6 - Mapa de Zonas de Iluminação (Modelo 6 x 7; Iluminação Adjacente; Janela Total; Norte)	86
FIGURA 4.7 - PALN dos modelos (Iluminação Unilateral; Janela Única; Controle liga/desliga; Fachada Norte; Florianópolis).....	90
FIGURA 4.8 - PALN dos modelos (Iluminação Unilateral; Janela Única; Controle de 3 passos; Fachada Norte; Florianópolis).....	96
FIGURA 4.9 - PALN dos modelos (Iluminação Unilateral; Janela Única; Controle dimerizável; Fachada Norte; Florianópolis).....	102
FIGURA 4.10 - PALN dos modelos (Iluminação Unilateral; Janela Dupla; Iluminância de Projeto 500 Lux; Norte; Florianópolis)	110
FIGURA 4.11 - PALN dos modelos (Iluminação Oposta; Janela Única; Controle liga/desliga; Fachada Norte; Florianópolis)	113
FIGURA 4.12 - PALN dos modelos (Iluminação Oposta; Janela Única; Controle de 3 passos; Fachada Norte; Florianópolis)	118

FIGURA 4.13 - PALN dos modelos (Iluminação Oposta; Janela Única; Controle dimerizável; Fachada Norte; Florianópolis).....	124
FIGURA 4.14 - PALN dos modelos (Iluminação oposta; Janela Dupla; Iluminância de Projeto 500 Lux; Norte; Florianópolis).....	132
FIGURA 4.15 - PALN dos modelos (Iluminação adjacente; Janela Única; Controle liga/desliga; Fachada Norte; Florianópolis)	134
FIGURA 4.16 - PALN dos modelos (Iluminação adjacente; Janela Única; Controle de 3 passos; Fachada Norte; Florianópolis)	140
FIGURA 4.17 - PALN dos modelos (Iluminação adjacente; Janela Única; Controle dimerizável; Fachada Norte; Florianópolis)	146
FIGURA 4.18 - PALN dos modelos (Iluminação adjacente; Janela Dupla; Iluminância de Projeto 500 Lux; Norte; Florianópolis).....	155
FIGURA 4.19 - Tipos de iluminação (unilateral; oposta e adjacente).....	157

CAPÍTULO 5

FIGURA 5.1 - Configuração de Zonas de Iluminação para ambientes com iluminação unilateral	165
FIGURA 5.2 - Configuração de Zonas de Iluminação para ambientes com iluminação oposta.....	166
FIGURA 5.3 - Configuração de Zonas de Iluminação para ambientes com iluminação adjacente	167

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

TABELA 2.1 - Probabilidade de ocorrência de céu para a cidade de Florianópolis.....	21
TABELA 2.2 - Variação da aparência de cor em função do nível de iluminação.....	23

CAPÍTULO 3

TABELA 3.1 - Refletâncias de superfícies em ambientes de trabalho.	69
TABELA 3.2 - Profundidade das zonas de iluminação.....	76
TABELA 3.3 - Profundidade média das zonas de iluminação.	76

CAPÍTULO 4

TABELA 4.1 - Tamanho das zonas de iluminação nos modelos com iluminação unilateral	82
TABELA 4.2 - Tamanho das zonas de iluminação nos modelos com iluminação oposta.....	84
TABELA 4.3 - Tamanho das zonas de iluminação nos modelos com iluminação adjacente	88
TABELA 4.4 - Adoção da estratégia de controle automático liga/desliga nas zonas para ambientes com iluminação unilateral proporcionando PALN \geq 10% na cidade de Florianópolis	92
TABELA 4.5 - Adoção da estratégia de controle automático liga/desliga nas zonas para ambientes com iluminação unilateral proporcionando PALN \geq 30% na cidade de Florianópolis	93

TABELA 4.6 - Adoção da estratégia de controle automático liga/desliga nas zonas para ambientes com iluminação unilateral proporcionando PALN \geq 50% na cidade de Florianópolis	94
TABELA 4.7 - Adoção da estratégia de controle automático liga/desliga nas zonas para ambientes com iluminação unilateral proporcionando PALN \geq 70% na cidade de Florianópolis	95
TABELA 4.8 - Adoção da estratégia de controle automático 3 passos nas zonas para ambientes com iluminação unilateral proporcionando PALN \geq 10% na cidade de Florianópolis	98
TABELA 4.9 - Adoção da estratégia de controle automático 3 passos nas zonas para ambientes com iluminação unilateral proporcionando PALN \geq 30% na cidade de Florianópolis	99
TABELA 4.10 - Adoção da estratégia de controle automático 3 passos nas zonas para ambientes com iluminação unilateral proporcionando PALN \geq 50% na cidade de Florianópolis.....	100
TABELA 4.11 - Adoção da estratégia de controle automático 3 passos nas zonas para ambientes com iluminação unilateral proporcionando PALN \geq 70% na cidade de Florianópolis.....	101
TABELA 4.12 - Adoção da estratégia de controle automático Dimerizável nas zonas para ambientes com iluminação unilateral proporcionando PALN \geq 10% na cidade de Florianópolis.....	104
TABELA 4.13 - Adoção da estratégia de controle automático Dimerizável nas zonas para ambientes com iluminação unilateral proporcionando PALN \geq 30% na cidade de Florianópolis.....	105
TABELA 4.14 - Adoção da estratégia de controle automático Dimerizável nas zonas para ambientes com iluminação unilateral proporcionando PALN \geq 50% na cidade de Florianópolis.....	106
TABELA 4.15 - Adoção da estratégia de controle automático Dimerizável nas zonas para ambientes com iluminação unilateral proporcionando PALN \geq 70% na cidade de Florianópolis.....	107
TABELA 4.16 - PALN das zonas de iluminação dos modelos com iluminação unilateral na cidade de Florianópolis.....	109
TABELA 4.17 - Proporção de economia de energia das estratégias de controle automático em ambientes com iluminação unilateral na cidade de Florianópolis.....	111
TABELA 4.18 - Acréscimo do PALN através da mudança de estratégia de controle automático da iluminação artificial em ambientes com iluminação unilateral na cidade de Florianópolis	111
TABELA 4.19 - Adoção da estratégia de controle automático liga/desliga nas zonas para ambientes com iluminação oposta proporcionando PALN \geq 10% na cidade de Florianópolis.....	114

TABELA 4.20 - Adoção da estratégia de controle automático liga/desliga nas zonas para ambientes com iluminação oposta proporcionando PALN \geq 30% na cidade de Florianópolis.....	115
TABELA 4.21 - Adoção da estratégia de controle automático liga/desliga nas zonas para ambientes com iluminação oposta proporcionando PALN \geq 50% na cidade de Florianópolis.....	116
TABELA 4.22 - Adoção da estratégia de controle automático liga/desliga nas zonas para ambientes com iluminação oposta proporcionando PALN \geq 70% na cidade de Florianópolis.....	117
TABELA 4.23 - Adoção da estratégia de controle automático de 3 passos nas zonas para ambientes com iluminação oposta proporcionando PALN \geq 10% na cidade de Florianópolis.....	120
TABELA 4.24 - Adoção da estratégia de controle automático de 3 passos nas zonas para ambientes com iluminação oposta proporcionando PALN \geq 30% na cidade de Florianópolis.....	121
TABELA 4.25 - Adoção da estratégia de controle automático de 3 passos nas zonas para ambientes com iluminação oposta proporcionando PALN \geq 50% na cidade de Florianópolis.....	122
TABELA 4.26 - Adoção da estratégia de controle automático de 3 passos nas zonas para ambientes com iluminação oposta proporcionando PALN \geq 70% na cidade de Florianópolis.....	123
TABELA 4.27 - Adoção da estratégia de controle automático dimerizável nas zonas para ambientes com iluminação oposta proporcionando PALN \geq 10% na cidade de Florianópolis.....	126
TABELA 4.28 - Adoção da estratégia de controle automático dimerizável nas zonas para ambientes com iluminação oposta proporcionando PALN \geq 30% na cidade de Florianópolis.....	127
TABELA 4.29 - Adoção da estratégia de controle automático dimerizável nas zonas para ambientes com iluminação oposta proporcionando PALN \geq 50% na cidade de Florianópolis.....	128
TABELA 4.30 - Adoção da estratégia de controle automático dimerizável nas zonas para ambientes com iluminação oposta proporcionando PALN \geq 70% na cidade de Florianópolis.....	129
TABELA 4.31 - PALN das zonas de iluminação dos modelos com iluminação oposta na cidade de Florianópolis.....	131
TABELA 4.32 - Proporção de economia de energia das estratégias de controle automático em ambientes com iluminação oposta na cidade de Florianópolis.....	133
TABELA 4.33 - Acréscimo do PALN através da mudança de estratégia de controle automático da iluminação artificial em ambientes com iluminação oposta na cidade de Florianópolis.....	133

TABELA 4.34 - Adoção da estratégia de controle automático liga/desliga nas zonas para ambientes com iluminação adjacente proporcionando PALN \geq 10% na cidade de Florianópolis	136
TABELA 4.35 - Adoção da estratégia de controle automático liga/desliga nas zonas para ambientes com iluminação adjacente proporcionando PALN \geq 30% na cidade de Florianópolis	137
TABELA 4.36 - Adoção da estratégia de controle automático liga/desliga nas zonas para ambientes com iluminação adjacente proporcionando PALN \geq 50% na cidade de Florianópolis	138
TABELA 4.37 - Adoção da estratégia de controle automático liga/desliga nas zonas para ambientes com iluminação adjacente proporcionando PALN \geq 70% na cidade de Florianópolis	139
TABELA 4.38 - Adoção da estratégia de controle automático de 3 passos nas zonas para ambientes com iluminação adjacente proporcionando PALN \geq 10% na cidade de Florianópolis	142
TABELA 4.39 - Adoção da estratégia de controle automático de 3 passos nas zonas para ambientes com iluminação adjacente proporcionando PALN \geq 30% na cidade de Florianópolis	143
TABELA 4.40 - Adoção da estratégia de controle automático de 3 passos nas zonas para ambientes com iluminação adjacente proporcionando PALN \geq 50% na cidade de Florianópolis	144
TABELA 4.41 - Adoção da estratégia de controle automático de 3 passos nas zonas para ambientes com iluminação adjacente proporcionando PALN \geq 70% na cidade de Florianópolis	145
TABELA 4.42 - Adoção da estratégia de controle automático dimerizável nas zonas para ambientes com iluminação adjacente proporcionando PALN \geq 10% na cidade de Florianópolis	148
TABELA 4.43 - Adoção da estratégia de controle automático dimerizável nas zonas para ambientes com iluminação adjacente proporcionando PALN \geq 30% na cidade de Florianópolis	149
TABELA 4.44 - Adoção da estratégia de controle automático dimerizável nas zonas para ambientes com iluminação adjacente proporcionando PALN \geq 50% na cidade de Florianópolis	150
TABELA 4.45 - Adoção da estratégia de controle automático dimerizável nas zonas para ambientes com iluminação adjacente proporcionando PALN \geq 70% na cidade de Florianópolis	151
TABELA 4.46 - PALN das zonas de iluminação dos modelos com iluminação adjacente na cidade de Florianópolis.....	154
TABELA 4.47 - Proporção de economia de energia das estratégias de controle automático em ambientes com iluminação adjacente na cidade de Florianópolis	156

TABELA 4.48 - Acréscimo do PALN através da mudança de estratégia de controle automático da iluminação artificial em ambientes com iluminação adjacente na cidade de Florianópolis.....	156
TABELA 4.49 - Proporção da economia de energia proporcionada pelos diferentes tipos de iluminação para ambiente de 6 m x 6 m com a fachada principal orientada para o norte na cidade de Florianópolis.....	158
TABELA 4.50 - Proporção da economia de energia proporcionada pelos diferentes tipos de iluminação para ambiente de 6 m x 6 m com a fachada principal orientada para o leste na cidade de Florianópolis	158
TABELA 4.51 - Proporção da economia de energia proporcionada pelos diferentes tipos de iluminação para ambiente de 6 m x 6 m com a fachada principal orientada para o sul na cidade de Florianópolis	159
TABELA 4.52 - Proporção da economia de energia proporcionada pelos diferentes tipos de iluminação para ambiente de 6 m x 6 m com a fachada principal orientada para o oeste na cidade de Florianópolis.....	159
TABELA 4.53 - Proporção da economia de energia proporcionada pela iluminação unilateral com relação a iluminação oposta com WWR = 0,50 na cidade de Florianópolis.....	160

ANEXO

TABELA A.1 - PALN dos modelos com iluminação unilateral e janela única com estratégia de controle automático Liga/Desliga da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis	182
TABELA A.2 - PALN dos modelos com iluminação unilateral e janela dupla com estratégia de controle automático Liga/Desliga iluminação artificial para a cidade de Florianópolis	183
TABELA A.3 - PALN dos modelos com iluminação unilateral e janela total com estratégia de controle automático Liga/Desliga da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis	184
TABELA A.4 - PALN dos modelos com iluminação unilateral e janela única com estratégia de controle automático de 3 passos da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis	185
TABELA A.5 - PALN dos modelos com iluminação unilateral e janela dupla com estratégia de controle automático de 3 passos da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis	186

TABELA A.6 - PALN dos modelos com iluminação unilateral e janela total com estratégia de controle automático de 3 passos da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.....	187
TABELA A.7 - PALN dos modelos com iluminação unilateral e janela única com estratégia de controle automático dimerizável da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.....	188
TABELA A.8 - PALN dos modelos com iluminação unilateral e janela dupla com estratégia de controle automático dimerizável da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.....	189
TABELA A.9 - PALN dos modelos com iluminação unilateral e janela total com estratégia de controle automático dimerizável da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.....	190
TABELA A.10 - PALN dos modelos com iluminação oposta e janela única com estratégia de controle automático liga/desliga da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.....	191
TABELA A.11 - PALN dos modelos com iluminação oposta e janela dupla com estratégia de controle automático liga/desliga da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.....	192
TABELA A.12 - PALN dos modelos com iluminação oposta e janela total com estratégia de controle automático liga/desliga da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.....	193
TABELA A.13 - PALN dos modelos com iluminação oposta e janela única com estratégia de controle automático de 3 passos da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.....	194
TABELA A.14 - PALN dos modelos com iluminação oposta e janela dupla com estratégia de controle automático de 3 passos da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.....	195
TABELA A.15 - PALN dos modelos com iluminação oposta e janela total com estratégia de controle automático de 3 passos da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.....	196
TABELA A.16 - PALN dos modelos com iluminação oposta e janela única com estratégia de controle automático dimerizável da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.....	197
TABELA A.17 - PALN dos modelos com iluminação oposta e janela dupla com estratégia de controle automático dimerizável da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.....	198
TABELA A.18 - PALN dos modelos com iluminação oposta e janela total com estratégia de controle automático dimerizável da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.....	199
TABELA A.19 - PALN dos modelos com iluminação adjacente e janela única com estratégia de controle automático liga/desliga da iluminação artificial para a cidade de	

Florianópolis.....	200
TABELA A.20 - PALN dos modelos com iluminação adjacente e janela dupla com estratégia de controle automático liga/desliga da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.....	201
TABELA A.21 - PALN dos modelos com iluminação adjacente e janela total com estratégia de controle automático liga/desliga da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.....	202
TABELA A.22 - PALN dos modelos com iluminação adjacente e janela única com estratégia de controle automático de 3 passos da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.....	203
TABELA A.23 - PALN dos modelos com iluminação adjacente e janela dupla com estratégia de controle automático de 3 passos da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.....	204
TABELA A.24 - PALN dos modelos com iluminação adjacente e janela total com estratégia de controle automático de 3 passos da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.....	205
TABELA A.25 - PALN dos modelos com iluminação adjacente e janela única com estratégia de controle automático dimerizável da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.....	206
TABELA A.26 - PALN dos modelos com iluminação adjacente e janela dupla com estratégia de controle automático dimerizável da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.....	207
TABELA A.27 - PALN dos modelos com iluminação adjacente e janela total com estratégia de controle automático dimerizável da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.....	208

LISTA DE VARIÁVEIS

E_{LA}	Iluminância da luz artificial	[Lux]
E_{LN}	Iluminância da luz natural	[Lux]
$E_{máx}$	Iluminância máxima	[Lux]
$E_{mín}$	Iluminância mínima	[Lux]
E_P	Iluminância de projeto	[Lux]
E_{TOT}	Iluminância total (natural + artificial)	[Lux]
FE	Fator de economia	[%]
n	Número de horas de utilização do ambiente	[h]
P	Potência consumida pelo sistema de iluminação artificial	[W]
PALN	Percentual de Aproveitamento da Luz Natural	[%]
PALN _C	Percentual de Aproveitamento da Luz Natural por complementação	[%]
PALN _{CC}	Percentual de Aproveitamento da Luz Natural com céu claro	[%]
PALN _{CE}	Percentual de Aproveitamento da Luz Natural com céu encoberto	[%]
PALN _{CP}	Percentual de Aproveitamento da Luz Natural com céu parcial	[%]
PALN _S	Percentual de Aproveitamento da Luz Natural por substituição	[%]
PALN _{SALA}	Percentual de Aproveitamento da Luz Natural da sala	[%]
PALN _{S,CC}	Percentual de Aproveitamento da Luz Natural por substituição com céu claro	[%]
PALN _{S,CE}	Percentual de Aproveitamento da Luz Natural por substituição com céu encoberto	[%]
PALN _{S,CP}	Percentual de Aproveitamento da Luz Natural por substituição com céu parcial	[%]
PALN _{S,P}	Percentual de Aproveitamento da Luz Natural por substituição ponderado	[%]
PALN _{S,P-Anual}	Percentual de Aproveitamento da Luz Natural por substituição ponderado anual	[%]
PALN _{S,P-Mensal}	Percentual de Aproveitamento da Luz Natural por substituição ponderado mensal	[%]
$P_{máx}$	Potência máxima consumida pelo sistema de iluminação artificial	[W]
$P_{mín}$	Potência mínima consumida pelo sistema de iluminação artificial	[W]

ρ_{CC}	Probabilidade de ocorrência de céu claro	[%]
ρ_{CE}	Probabilidade de ocorrência de céu encoberto	[%]
ρ_{CP}	Probabilidade de ocorrência de céu parcial	[%]
T_{VIS}	Transmitância visível do vidro da janela	
WWR	Razão Janela/Parede (área da Janela/área da parede)	

RESUMO

A crise energética pela qual a sociedade passa hoje, obriga a todos a utilização racional da energia. Os sistemas de iluminação responsáveis por grande parte da energia consumida na edificação tornam-se um dos principais alvos na busca da eficiência energética, e a luz natural por ser gratuita é um dos fatores que mais contribuem para se obter um sistema energeticamente eficiente. Entretanto, a iluminação natural só proporcionará economia se o sistema artificial for desligado total ou parcialmente.

O presente trabalho propõe uma metodologia para estimar a potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica gasta em iluminação. Para avaliar e comparar o desempenho das diversas opções de controle utiliza-se a variável PALN (percentual de aproveitamento da luz natural). O PALN também permite estimar a quantidade de energia economizada com o aproveitamento da luz natural, que pode ser por substituição ou complementação da iluminação elétrica. A sua determinação é feita dividindo o ambiente em zonas de iluminação que são caracterizadas por áreas que apresentam uma distribuição de iluminâncias com características similares. O PALN é determinado para 3 condições de céu (claro, parcial e encoberto) e por fim calcula-se o PALN ponderado que leva em consideração a probabilidade de ocorrência de cada tipo de céu.

A metodologia proposta foi implementada computacionalmente. Os modelos aqui estudados possuem largura fixa de 6 m e profundidade que varia de 4 m a 10 m, com 3 tipos de iluminação (unilateral, oposta e adjacente) e 3 tipos de janelas (única, dupla e total), totalizando 63 modelos. Para obtenção da disponibilidade de luz natural ao longo do ano foi utilizado o programa computacional LuzSolar.

A primeira etapa de aplicação da metodologia foi a determinação das zonas de iluminação. Verificou-se que a configuração e o número de zonas está relacionado ao tipo de iluminação, ao tipo de janela e à profundidade do modelo. Depois de definidas as zonas de iluminação são então determinados o PALN's em cada uma delas e no modelo para 3 estratégias de controle (liga/desliga, 3 passos e dimerizável).

Analisando-se os resultados das simulações nos modelos estudados verifica-se que as estratégias de controle automático podem reduzir o consumo de energia elétrica gasta em iluminação, chegando a atingir um PALN máximo de 87%. Em geral, na adoção de uma estratégia de 3 passos tem-se um acréscimo de 9 pontos percentuais sobre o PALN de uma estratégia liga/desliga. O PALN de uma estratégia dimerizável apresenta um acréscimo de 15 pontos percentuais sobre o de um sistema de controle liga/desliga.

A aplicação da metodologia aqui apresentada poderá auxiliar os projetistas a tomar decisões quanto ao tipo de iluminação, tipo de janela e estratégia de controle da iluminação artificial na concepção de projetos de iluminação integrados (iluminação natural e artificial) energeticamente eficientes.

Palavras-chave: Iluminação; Iluminação Natural; Eficiência energética; Controles automáticos.

ABSTRACT

The energy crisis, which affects the society nowadays, claims for a rational utilization of energy. The lighting systems responsible for big share of the consumed energy in a building become one of the main targets in the search for energy efficiency. The natural light, because it's free, is one of the factors that contribute most for obtaining an energy efficient system. However, natural lighting will only represent energy saving if the artificial system is completely or partially turned off.

The present work proposes a methodology to estimate the potentiality of use of the natural light through the use automatic systems of control for of the energy spent in lighting. In order to evaluate and compare the performance of the various control options, the variable PALN (percentage of use of natural light) is utilized. The PALN also allows estimating the amount of energy saved with the use of natural light, which can happen through substitution or complement of electric lighting. It is determined by dividing the analysed space in lightning zones, which are characterized by areas representing a distribution of illuminance with similar characteristics. The PALN is determined for 3 sky conditions (clear, partially clouded, clouded), and in the end the weighted average PALN is calculated, taking into account the probability of occurrence of each type of sky.

The proposed methodology was implemented computationally. The models studied here have a fixed width of 6 m, and depth that varies from 4 m to 10 m, having 3 types of lighting (unilateral, opposite, adjacent) and 3 types of windows (single, double, total), totalling 63 models. In order to obtain the availability of natural light throughout the year, the software LuzSolar was used.

The first stage of the application of the methodology was to define the lighting zones. It could be verified that the configuration and number of zones is related to the type of lighting, to the kind of window, and depth of the model. After defining the lighting zones, PALNs are defined in each of them and in the model for 3 control strategies (on/off, 3 steps and dimming).

Analysing the results of the simulation in the studied models, it can be verified that the strategies of automatic control can reduce the use of energy spent in lighting, reaching a maximum PALN of 87%. In general, when adopting a 3-step strategy, 9 percentage points are added to the PALN of an on/off strategy. The PALN of a dimming strategy increases of 15 percentage points compared to an on/off strategy.

The application of the presented methodology can help designers in decision-making regarding types of lighting, type of window and strategy of control of the artificial lighting, when conceiving integrated lighting design (natural and artificial lighting) energy efficient.

Keywords: Lighting; Natural lighting, Energy efficiency, Automatic control.

Capítulo 1

Introdução

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	2
1.2. POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL.....	3
1.3. SISTEMAS DE CONTROLE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	4
1.4. ACEITAÇÃO DO USUÁRIO	5
1.5. JUSTIFICATIVA.....	5
1.6. OBJETIVOS.....	6
1.6.1. Objetivo Geral	6
1.6.2. Objetivos Específicos	6
1.7. ESTRUTURA DA TESE.....	7

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A luz natural vem aos poucos retomando seu espaço nos projetos de iluminação. Desde o início da humanidade, utilizada como principal fonte de iluminação, a luz natural começou a perder espaço após o surgimento da lâmpada incandescente, mas foi em 1938 quando surgiu a primeira lâmpada fluorescente com aplicações práticas, que ela ganhou sua grande rival. Devido ao grande aumento da eficiência e por ser uma fonte de luz previsível, a lâmpada fluorescente passou a competir com a luz do Sol e do céu. Desde então, as pessoas começaram a considerar a luz elétrica como uma fonte primária e a luz natural deixou de ter a relevância que tinha nos projetos de iluminação. Atualmente devido ao grande custo da energia e o reconhecimento da inoportuna atitude de construção de novas usinas geradoras, quer pelo grande impacto ambiental ou pelo dispêndio de recursos que poderiam ser aplicados em outras áreas, a luz natural passa a ser novamente considerada como uma fonte de iluminação importantíssima. Entre os elementos que estão tornando possível esta retomada de espaço destacam-se: o surgimento de reatores dimerizáveis para lâmpadas fluorescentes, os diferentes tipos de sistemas de controle da iluminação artificial e o uso da eletrônica.

Devido à grande preocupação mundial quanto à demasiada utilização da iluminação artificial, gerando um elevado custo na produção de energia elétrica, é necessário que, cada vez mais, se pense em otimizar o uso da iluminação natural nos ambientes construídos, propiciando com isto também um nível adequado de satisfação e bem estar dos usuários das edificações. Uma melhor utilização do potencial de iluminação natural não significa simplesmente economia de energia elétrica, mas uma utilização mais racional da mesma, com possibilidade de dimensionamento adequado dos sistemas de iluminação natural e artificial, a fim de se evitar ambientes com condições de iluminação inadequadas. Um projeto de iluminação inadequado pode causar aos seus usuários desconforto, fadiga visual, ofuscamento de inaptidão, redução da produtividade e até mesmo em alguns casos causar acidentes.

1.2. POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL

Segundo **IWATA et al [1997]**, a necessidade de luz natural em ambientes fechados vem aumentando, por esta ser uma estratégia efetiva de redução do consumo de energia.

O potencial de economia de energia elétrica gasta em iluminação pelo aproveitamento da luz natural depende dos seguintes fatores:

- Características arquitetônicas da edificação (ex: tamanho e orientação das janelas);
- Da vizinhança (outras edificações e vegetação);
- Latitude do local;
- Condições meteorológicas;
- Da estratégia de controle da iluminação artificial.

SCHALIN [1993], diz que o uso de controles para reduzir o consumo de energia em sistemas de iluminação vem tornando-se cada vez mais popular, com boa aceitação por parte dos usuários, pois melhoram a qualidade da iluminação do ambiente.

De acordo com alguns catálogos comerciais nacionais e internacionais, a redução no gasto de energia proporcionada pela luz natural quando associada a controles da iluminação artificial está na faixa de 60% a 80%. **ESCUYER et al [1998]**, em um trabalho onde oito estudos de caso foram revisados, em que a luz artificial era controlada em resposta à quantidade de luz natural disponível, verificaram que a economia de energia alcançada variou de 10% a 70%. Eles atribuíram a existência de uma faixa tão larga de valores aos diferentes procedimentos de monitoramento e ao caso de referência, que foram diferentes em cada um dos estudos analisados.

Segundo **SCHALIN [1993]**, reatores eletrônicos proporcionam uma economia de 25% quando comparados com reatores convencionais. Controles com fotocélulas são capazes de gerar economias de 20% a 60%. Sensores de presença proporcionam uma economia de 20% a 50%. Combinando estas três estratégias pode-se gerar economias de 60% a 70% quando comparadas com as instalações tradicionais.

BREKKE e HANSEN [1993], em um trabalho de monitoramento realizado em um edifício de escritórios na Noruega (latitude 60°N-70°N), local onde os níveis da luz natural são baixos,

principalmente no Inverno, mostraram que a economia proporcionada pela luz natural variava de 30% a 40% para salas que estavam voltadas para o Sul, enquanto que aquelas orientadas para o Norte apresentavam uma menor economia, de 20% a 30%. Enfim, vários trabalhos têm comprovado que o aproveitamento da luz natural é capaz de proporcionar uma significativa economia de energia elétrica gasta em iluminação.

1.3. SISTEMAS DE CONTROLE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

Para se obter economia de energia elétrica com o aproveitamento da luz natural nem sempre basta um simples interruptor manual liga/desliga, é necessário o controle automático do sistema de iluminação artificial. Este controle pode se dar com base em vários critérios de necessidade de iluminação, tais como a iluminância média do ambiente ou ocupação da sala. Através deste controle automático, evita-se o desperdício de energia pelo desligamento da iluminação artificial nos momentos em que a luz natural consegue fornecer a iluminância de projeto e consegue-se também um sistema de iluminação de qualidade.

Os principais controles automáticos da iluminação artificial em resposta à luz natural são:

- Sistema automático liga/desliga;
- Sistema de passo (ou saltos);
- Sistema dimerizável.

BREKKE e HANSEN [1993] dizem que teoricamente a economia proporcionada por um sistema liga/desliga fica em torno de 75% da economia alcançada por um sistema dimerizável e que a economia obtida através de um sistema de passo fica entre estes dois valores. Entretanto, quando o investimento e a economia de energia são considerados, um sistema liga/desliga pode ser muito melhor economicamente que os outros dois, pois geralmente são mais simples e custam menos.

1.4. ACEITAÇÃO DO USUÁRIO

Embora a tecnologia existente hoje permita a criação de projetos de iluminação inovadores, energeticamente eficientes e aparentemente ergonômicos, estes sistemas somente darão o retorno esperado se o usuário final for levado em consideração desde as etapas iniciais de projeto. Normalmente programas de incentivo para projetistas, arquitetos, engenheiros e fomentadores enfocam sempre uma análise custo/benefício dos vários sistemas de iluminação e esquecem que um usuário descontente poderá acabar com todos os benefícios que o sistema promete. Segundo **EMBRECHTS e BELLEGEM [1997]** usuários insatisfeitos sabotam os sistemas de controle, reduzindo a economia de energia esperada, teoricamente a zero.

O sucesso de um sistema de controle só será alcançado se o mesmo não gerar sacrifícios por parte do usuário, caso contrário, ele encontrará um meio de tornar o controle inoperante.

1.5. JUSTIFICATIVA

A crise energética pela qual a sociedade moderna passa hoje, obriga a todos a uma evolução permanente nos processos de projetos de edifícios. Os sistemas de iluminação, responsáveis por grande parte da energia consumida em uma edificação vêm tornando-se um dos principais alvos, na busca da eficiência energética. Segundo **JANNUZZI [1992]**, cerca de 16% do total da energia elétrica consumida no país é para iluminação, e este consumo é distribuído da seguinte maneira:

- 4% para iluminação residencial;
- 6% para iluminação comercial;
- 2% para iluminação industrial;
- 3% para iluminação pública.

Na busca da eficiência energética do sistema de iluminação artificial a técnica mais aplicada tem sido a substituição do sistema existente por um mais eficiente. Lâmpadas

incandescentes e fluorescentes com reatores convencionais são substituídas por lâmpadas fluorescentes com reatores eletrônicos.

Atualmente com o grande avanço na tecnologia de controles para iluminação, a quantidade de projetos que buscam a integração do sistema natural com o artificial vem aumentando. Para a utilização destes controles visando aproveitar ao máximo os benefícios da luz natural torna-se necessário compreender o seu comportamento dentro do ambiente, e avaliar a economia proporcionada por ela na etapa do pré-projeto de uma edificação ou de um retrofit.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral desenvolver uma metodologia para estimar a potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica gasta em iluminação artificial.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar e adotar um parâmetro numérico que permita estimar a potencialidade de aproveitamento da luz natural para economia de energia elétrica;
- Estabelecer critérios para identificar as zonas de iluminação;
- Definir as estratégias de controle da iluminação artificial;
- Realizar avaliação computacional aplicando a metodologia proposta;
- Gerar informações sobre a potencialidade de economia de energia elétrica gasta em iluminação através do aproveitamento da luz natural nos modelos estudados.

1.7. ESTRUTURA DA TESE

No segundo capítulo, é apresentada uma revisão bibliográfica do assunto. Nesta revisão são abordadas as perspectivas de economia de energia; as estratégias de controle da iluminação artificial em sistemas integrados (iluminação natural e artificial); os equipamentos e sistemas de controle da iluminação artificial e por fim sistemas de controle e o usuário.

No terceiro capítulo, é apresentada uma metodologia para estimar a potencialidade de aproveitamento da luz natural com a utilização de sistemas automáticos de controle da iluminação artificial visando à economia de energia elétrica. Também são mostradas neste capítulo as características de um modelo computacional que será utilizado para aplicar a metodologia proposta.

A análise dos dados obtidos através das simulações nos modelos é apresentada no quarto capítulo. Neste capítulo é mostrada a configuração das zonas de iluminação em função das variáveis dos modelos tais como: tipo de iluminação (unilateral; oposta e adjacente), tipo de janela (única, dupla e total) e orientação da fachada principal (Norte, Leste, Sul e Oeste). Também será mostrada neste capítulo a estimativa de aproveitamento da luz natural com objetivo de reduzir o consumo de energia elétrica gasta em iluminação artificial. Esta estimativa é feita para a cidade de Florianópolis (longitude 48°34' - Oeste e latitude 27°35' - Sul) adotando-se três estratégias de controle automático da iluminação artificial (liga/desliga, 3 passos e dimerizável).

No quinto e último capítulo são apresentadas às conclusões e limitações do trabalho, bem como propostas para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

2.1. PERSPECTIVAS DE ECONOMIA DE ENERGIA	10
2.2. NÍVEIS DE ILUMINAÇÃO.....	14
2.3. FONTES DE LUZ.....	17
2.3.1. Iluminação natural.....	17
2.3.1.1. Iluminação zenital	18
2.3.1.2. Iluminação lateral.....	18
2.3.2. Fontes de luz natural	19
2.3.2.1. Luz do Sol	19
2.3.2.2. Luz do céu	19
2.3.2.3. Luz de fontes indiretas	21
2.3.3. Fontes artificiais	21
2.3.4. Características das fontes	22
2.3.4.1. Aparência da cor.....	22
2.3.4.2. Índice de reprodução de cor	24
2.4. DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL	24
2.5. SISTEMAS DE CONTROLE E <i>RETROFIT</i>	25
2.6. SISTEMAS INTEGRADOS	26
2.7. ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL.....	27

2.8. EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	30
2.8.1. Controle manual	30
2.8.2. Fotossensores	33
2.8.2.1. Localização dos sensores	34
2.8.3. Sensores de ocupação.....	35
2.8.3.1. Sensores passivos de infravermelho.....	35
2.8.3.2. Sensores ultra-sônicos	36
2.8.3.3. Escolha e localização do sensor de ocupação	36
2.8.4. Temporizadores	37
2.9. ALGORITMOS DE CONTROLE EM RESPOSTA A LUZ NATURAL	37
2.9.1. Sistema de laço fechado	38
2.9.2. Sistema de laço aberto.....	39
2.10. SISTEMAS DE CONTROLE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	40
2.11. SISTEMAS DE CONTROLE E O USUÁRIO.....	41

2.1. PERSPECTIVAS DE ECONOMIA DE ENERGIA

Dentro do Cenário Brasileiro de Energia, onde é mostrada a participação das diversas fontes de energia que atuam na Matriz Energética Nacional, enfocando os setores da economia (residencial, comercial e pública) é a Edificação o lugar comum e consumidor maior de energia.

O consumo de energia elétrica em edificações, compreendendo então os setores: residencial, comercial e público é aproximadamente 47,35% do total, ou seja, 147 TWh de consumo em 2002 conforme mostrado no Balanço Energético Nacional (**BEN [2002]**), representando assim um elemento importante e com grande potencial para economia de energia elétrica.

Segundo **LAMBERTS [1998]**, o setor elétrico estava operando em uma faixa de alto risco devido à falta de investimentos no setor de geração e crescente aumento de consumo. Isto pode ser comprovado com a crise de energia ocorrida no setor elétrico no ano de 2001.

Pode-se dizer que esta crise apresentou pelo menos dois aspectos positivos:

- ❑ Em poucas semanas o tema eficiência energética começou a ser discutido por uma importante parcela da sociedade e medidas concretas para a redução do desperdício de energia começaram a ser executadas;
- ❑ A Lei 10.295 que a muito tempo tramitava no congresso foi finalmente sancionada em 17 de outubro de 2001, estabelecendo, dentre outras medidas, em seu Art. 4º: O Poder Executivo desenvolverá mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no País.

Sabe-se que o consumo de energia de um edifício está condicionado ao seu projeto arquitetônico, e que um edifício será mais eficiente energeticamente que outro quando proporcionar as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia. Para **LOE e ROWLANDS [1995]** a eficiência energética em um projeto de iluminação esta também relacionada com a eficiência visual, ou seja, o sistema deve fornecer iluminância suficiente sem desconforto visual.

É preciso que os projetistas tenham conhecimento do tema eficiência energética na arquitetura e para isto, pesquisas importantes vêm sendo conduzidas nas escolas de arquitetura e engenharia para auxiliar na elaboração dos projetos.

Frente ao desenvolvimento tecnológico dos sistemas de iluminação artificial e dos sistemas de controle, e com o agravamento da crise de energia elétrica através da falta de investimentos no setor, além dos elevados custos financeiro e ambiental necessários para sua ampliação, obrigam os profissionais projetistas de edificações a buscar soluções cada vez mais eficazes para seus projetos.

Segundo **GHSI [1997]** “Um elevado potencial de economia de energia pode ser alcançado se a iluminação natural for utilizada como uma fonte de luz para iluminar os ambientes internos. No entanto, a iluminação natural não resulta diretamente em economia de energia. A economia só ocorre quando a carga de iluminação artificial pode ser reduzida através de sua utilização. Existem poucas edificações em que a iluminação natural possa suprir o total de iluminação necessária, da mesma forma, existem poucas edificações em que a iluminação natural não possa contribuir significativamente na iluminância do ambiente”.

SOUZA [1995] mostra que o aproveitamento da luz natural poderá reduzir o consumo de energia elétrica gasta no sistema de iluminação artificial em prédios de escritórios de 35% a 70%, representando no consumo total da edificação uma redução de 10% a 35%. Segundo **NE’EMAN [1998]** a utilização eficiente da luz natural pode reduzir o consumo de energia elétrica gasta em iluminação em até 50%.

No que diz respeito ao aproveitamento da luz natural é certo lembrar da variabilidade da sua disponibilidade em relação à posição geográfica do local, situação do entorno, época do ano, horário do dia, condições de céu, das variáveis arquitetônicas inerentes à edificação tais como forma, função, fechamentos e sistemas de iluminação e das variáveis humanas inerentes ao conforto visual: nível de iluminação, contraste e ofuscamento. Da correta avaliação da iluminação natural poderão ser elaborados projetos luminotécnicos em que a iluminação artificial seja usada apenas como forma de suprir as necessidades de iluminação quando a luz natural não fornecer os níveis necessários.

Para que os ocupantes de postos de trabalho possam realizar suas tarefas de maneira adequada é necessário que o sistema de iluminação forneça a mínima quantidade de luz direcionada ao plano de trabalho. A iluminação artificial só deve ser fornecida enquanto o usuário ocupa seu posto de trabalho, proporcionando assim um uso racional do sistema de iluminação.

Além da questão energética, a luz natural também tem influência em fatores psicológicos dos usuários. **BOYCE [1998]** diz que as pessoas quando estão de bom humor tendem a ser mais positivas sobre o trabalho, mais cooperativas e mais criativas; atributos que são considerados desejáveis em muitas situações de trabalho. Um grande número de fatores ambientais e psicológicos podem influenciar o humor de uma pessoa, como um presente ou um elogio inesperado, um cheiro atraente e até mesmo a iluminação. O que os fatores que influenciam o humor das pessoas têm em comum é que eles são inesperados. A luz natural que entra através das janelas, por causa da sua variabilidade, tem o potencial de trazer o inesperado. Já a iluminação artificial não apresenta o mesmo potencial, mesmo que seja um sistema variável, pois o que ela faz é completamente previsível. Deve-se observar que tanto a iluminação natural como a artificial podem gerar mau humor, fazendo com que as pessoas tenham comportamento obstrutivo, uma situação que não é boa para a produtividade.

Num sistema de iluminação a eficiência energética relaciona-se diretamente com duas variáveis: o tempo de utilização e a potência instalada do sistema de iluminação artificial.

Uma das maneiras de minimizar o tempo de utilização do sistema de iluminação é através do aproveitamento da luz natural associados a controles automáticos. Sistemas de controle em resposta aos níveis de iluminação natural atuam sobre o sistema de iluminação artificial desligando-o quando este não se faz necessário. Temporizadores e sensores de presença também são capazes de reduzir o tempo de utilização da iluminação artificial.

Os sistemas automáticos de controle de múltiplos passos e os sistemas automáticos dimerizáveis apresentam-se como uma opção a utilizar-se em sistemas integrados de iluminação natural e artificial e como uma solução altamente eficaz na redução do consumo de energia e qualidade de iluminação.

Ainda conforme relatos de experiências recentes com estudos de caso na área, sugere-se o controle automático do sistema de iluminação artificial como forma de redução no consumo de energia elétrica para ambientes de uso público. Esta situação vem de encontro a outros estudos que indicam a satisfação do usuário em ter o domínio do seu posto (local) de trabalho, incluindo o acionamento da iluminação artificial e o acesso aos elementos de controle da iluminação natural, uma tendência nos escritórios abertos, conforme **GODOY [1998]**.

A utilização de cores claras nas superfícies de ambientes internos, além de possibilitar a redução da potência instalada em iluminação artificial, torna os espaços mais claros e interferem diretamente no rendimento da iluminação natural no ambiente construído.

Os projetistas de iluminação devem garantir em seus projetos a iluminação adequada ao desenvolvimento das tarefas visuais, evitando excessos e garantindo o mínimo de luz para a realização da tarefa, tanto durante o dia como durante a noite. Em conjunto com a equipe de projeto, arquitetos e engenheiros devem estudar a possibilidade de utilizar a iluminação natural como aliada na redução do consumo de energia elétrica nas edificações, bem como o uso de tecnologias eficientes que permitem a integração da iluminação natural e artificial.

Na prática são poucos os estudos que conduzem a uma metodologia para desenvolvimento de projetos integradores de sistemas de iluminação natural e artificial, o que leva aos projetistas de iluminação a tratarem somente o projeto de iluminação artificial deixando a iluminação natural para o domínio do projetista da edificação, ou ainda levando muitos profissionais a optar por fontes elétricas de iluminação, pois estas são predizíveis, ao contrário das fontes naturais que fornecem níveis de iluminação diferentes a cada instante.

Segundo **SOUZA [1995]** "O medo que certos profissionais apresentam para enfrentar este problema em parte é até justificável, pois eles carecem de uma documentação normativa que atenda as suas necessidades e muitas das vezes durante sua formação jamais tiveram em seus currículos disciplinas que tratassem da questão energética das edificações".

A utilização eficiente qualitativa e quantitativamente de sistemas integrados de iluminação artificial e natural proporciona ao usuário ambientes agradáveis e prazerosos,

evitando desperdício de energia elétrica e proporcionando o retorno em curto prazo do investimento inicial em sistemas tecnologicamente eficientes.

2.2. NÍVEIS DE ILUMINAÇÃO

O olho humano pode perceber somente superfícies, objetos e as pessoas através da luz que é emitida por eles. Características da superfície, fatores de reflexão e a quantidade e qualidade de luz determinam o aparecimento do ambiente.

A habilidade para ver graus de detalhe é substancialmente determinada pelo tamanho do objeto, contraste e a visão do espectador. Melhoramentos no sistema de iluminação em quantidade e qualidade é uma contribuição importante para um bom desempenho visual e geralmente aumentam o desempenho da tarefa, sendo essencial um bom contraste entre os elementos da tarefa e o fundo.

YONEMURA [1981] diz que 2 fatores devem ser levados em conta quando se ilumina um espaço:

- Aceitabilidade do usuário;
- Performance do trabalho.

Um bom ambiente é aquele que é aceitável pelo usuário. Por aceitável, **YONEMURA [1981]** não quer dizer preferido, mas sim que o ambiente não foi rejeitado pelo usuário. O ambiente visual pode ser satisfatório ou aceitável, mas não necessariamente o preferido ou o de condições ideais. Por exemplo, um usuário pode preferir X Lux de iluminância, mas achar 0,5.X Lux ou 2.X Lux uma iluminância aceitável. Por outro lado, um projeto que apresente condições ideais para todos os usuários é muito difícil, se não impossível de ser alcançado.

Ao considerar os padrões e critérios para iluminar um ambiente, a razão mais óbvia é habilitar os usuários para o desempenho de suas tarefas visuais. **LOE e ROWLANDS [1996]** afirmam que reduzir a qualidade da iluminação com o propósito de reduzir o consumo pode ser uma alternativa contra-produtiva. A princípio um aumento de iluminação é capaz de aumentar o

desempenho da tarefa, desempenho este que obedece a lei da diminuição dos retornos, embora as relações exatas entre a iluminância na tarefa e o desempenho alcançado dependam da natureza da tarefa.

Conforme pode ser visto na **FIGURA 2.1** o rendimento visual tende a crescer, a partir de 10 Lux, com o logaritmo do iluminamento até cerca de 1000 Lux, enquanto a fadiga visual se reduz nessa faixa. A partir desse ponto, os aumentos do iluminamento não provocam melhorias sensíveis no rendimento visual, e a fadiga começa a aumentar. Dessa forma, recomenda-se usar um nível de iluminamento máximo de 2000 Lux. Caso exista a necessidade de uma iluminância maior o aconselhável seria utilizar iluminação local como complemento da iluminação geral.

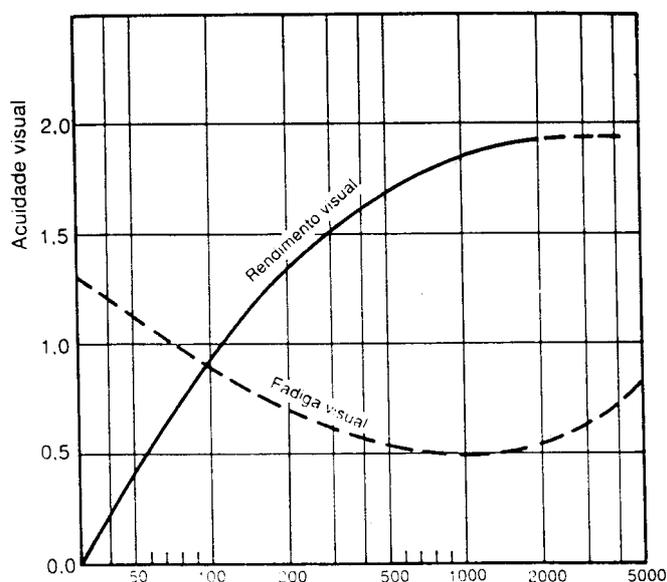


FIGURA 2.1 - Níveis de iluminamento x Desempenho da tarefa.

(Fonte: **HOPKINSON E COLLINS [1970]** apud **IDA [1997]**)

Em uma pesquisa realizada por **MILLS e BORG [1998]** onde compararam os níveis de iluminação recomendados em 19 países, foi constatada uma variação muito grande. De 1930 até 1970 os níveis de iluminação aumentaram 10 vezes, a partir de 1970 até a data da pesquisa os níveis sofreram uma redução de 2 a 3 vezes, devido a crise energética dos anos 70. As variações mais dramáticas foram verificadas nas atividades de leitura (75 a 1000 Lux), de desenho detalhado (200 a 3000 Lux), nos quartos de hospitais (30 a 300 Lux), em salas de teste e montagem de componentes eletrônicos (200 a 5000 Lux). **MILLS e BORG [1998]** acreditam que a explicação para esta enorme diferença entre os níveis recomendados nos diversos países

pesquisados seja o fato de que o nível de iluminação tem grandes implicações no consumo de energia. Embora a eficiência dos sistemas de iluminação tenha aumentado nas últimas décadas o problema energético ainda continua.

A Bélgica, o Brasil e o Japão são os países que recomendam os níveis de iluminação mais elevados. A Austrália, a China, o México e a Rússia (antiga União Soviética) têm os níveis mais baixos. As recomendações Norte Americanas sugerem níveis de iluminação que representam a média na maioria dos casos.

Um outro aspecto importante diz respeito ao tipo de iluminação que está sendo utilizada, natural ou artificial. A Alemanha, por exemplo, possui duas normas de iluminação, a **DIN 5035 [1983]** que recomenda os níveis de iluminação artificial e a **DIN 5034 [1983]** que trata dos níveis de iluminação quando há a integração da luz natural com a artificial. Os valores recomendados pela **DIN 5034 [1983]** são aproximadamente 40% menores que os recomendados quando se utiliza apenas luz artificial.

Fatores que complicam ainda mais a escolha do nível de iluminação adequado é o fato de que as pessoas diferem quanto as suas preferências de qualidade e intensidade da iluminação, podendo ser determinadas por fatores sociais, culturais e econômicos. A idade, o gênero, a hora dia e o período do ano também afetam os níveis de iluminação desejáveis.

O projetista de iluminação deve ter bem claro que a iluminância é apenas um dos fatores que determinam a qualidade do sistema. Fatores tais como: iluminância horizontal x iluminância vertical, brilho das superfícies, contraste entre tarefa e fundo e características das fontes (índice de reprodução de cores e temperatura da cor correlata) são fatores que jamais poderão ser negligenciados, sob pena dos resultados esperados não serem alcançados. Porém, quando se pretende realizar uma análise da eficiência energética da edificação, o nível de iluminação torna-se um fator chave no processo.

2.3. FONTES DE LUZ

Para concepção de um projeto de iluminação, é necessário conhecer as características das fontes de luz (natural e artificial) a fim de que se possa fazer uma escolha adequada, principalmente quando se pretende fazer a integração de fontes naturais com fontes artificiais. Na seqüência são apresentadas as características das fontes naturais e as principais fontes artificiais.

2.3.1. Iluminação natural

A luz natural que é admitida no interior das edificações consiste em luz proveniente diretamente do Sol, luz difundida na atmosfera (abóbada celeste) e luz refletida no entorno. A magnitude e distribuição da luz no ambiente interno dependem de um conjunto de variáveis, tais como: da disponibilidade da luz natural (quantidade e distribuição variáveis com relação às condições atmosféricas locais), de obstruções externas, do tamanho, orientação, posição e detalhes de projeto das aberturas (verticais e/ou horizontais), das características óticas dos envidraçados, do tamanho e geometria do ambiente e da refletividade das superfícies internas. Um bom projeto de iluminação natural tira proveito e controla a luz disponível, maximizando suas vantagens e reduzindo suas desvantagens. As decisões mais críticas, a este respeito, são tomadas nas etapas iniciais de projeto.

O problema mais crítico refere-se à iluminação natural nos edifícios modernos, quando se prevê a presença de grande número de pessoas realizando tarefas visuais de diferentes exigências ao mesmo tempo.

Na definição de uma prioridade em termos de exposição à luz natural, valores de iluminâncias e distribuição de luz necessária para as atividades em cada ambiente devem ser estabelecidas. Em alguns ambientes a iluminação uniforme é mais recomendada, em outros é desejável uma maior variação. Em ambientes nos quais os usuários ocupam posições fixas, o critério deve ser diferente daqueles onde as pessoas podem mover-se livremente na direção das aberturas ou para longe delas. A **NBR 5413 [1992]** fixa níveis de iluminação recomendados para diferentes tipos de atividades, baseados numa iluminação constante e uniforme sobre um plano de trabalho.

A localização das tarefas com maiores exigências visuais próximas das janelas, onde a iluminância natural é maior, trará uma otimização do uso da luz natural. Devendo ser complementada com o controle da luminância da janela e da radiação solar direta sobre o plano de trabalho. O significado energético desta estratégia é uma poupança de energia elétrica de até 50%, segundo **MASCARÓ [1981]**. A escolha do sistema de iluminação lateral ou zenital se faz tendo em vista as características do edifício, a forma e a disposição dos ambientes.

2.3.1.1. Iluminação zenital

Segundo **CABÚS [1997]**, 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 disso, 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 zenitais é a limitação do seu uso a edificações de um pavimento ou ambientes de cobertura.

A enorme carga térmica existente sobre a cobertura do edifício, própria das regiões tropicais e subtropicais, deve ser considerada no projeto de iluminação zenital, sendo necessário limitar a superfície a valores que não comprometam o desempenho térmico do ambiente.

2.3.1.2. Iluminação lateral

A iluminância produzida por uma fonte diminui à medida que a distância com relação a ela aumenta, isto faz com que os sistemas de iluminação lateral só sejam eficientes para regiões próximas às janelas, pois são raros os casos em que a luz natural consegue atingir o fundo da sala.

Tanto a luminância excessiva proveniente da abóbada celeste e do Sol, como o calor por estes emitidos, devem ser controlados através do uso de fatores de sombra. Os fatores de sombra, colocados externamente na abertura fornecem proteção termoluminosa: os colocados internamente só controlam a luz que entra no local. Seu desempenho depende de seu fator de reflexão (cor) e de seu estado de manutenção. O controle da luminância das superfícies iluminantes é fundamental para se obter uma boa iluminação.

2.3.2. Fontes de luz natural

Dentro do estudo da iluminação, destaca-se o uso da iluminação natural como fonte primeira de iluminação, usada desde os primórdios da arquitetura e à qual se deve dar atenção especial por suas características e potencial de aproveitamento. As fontes de luz natural, para fins de projeto, podem ser caracterizadas como diretas (luz do Sol e luz difusa do céu), e indiretas (luz de difusores refletivos ou translúcidos que foram originalmente iluminados por outras fontes primárias ou secundárias).

2.3.2.1. Luz do Sol

A luz do Sol fornece de 60 a 110 kLux no plano horizontal (10 a 15 vezes maior que a luz proporcionada por um céu encoberto). No entanto, ela é intensa demais para ser usada como iluminação de tarefa. A alta eficiência luminosa e a excelente reprodução de cores da luz solar associado ao fato de que a mesma é abundante durante a maior parte do horário de trabalho e ao longo do transcurso do ano conduz ao seu aproveitamento como fonte de luz para iluminação de ambientes internos. Como sugere **SOUZA [1997]**, pode-se usar recursos para torná-la uma fonte refletida o que faria com que os níveis de iluminação sejam menores do que os obtidos pelos raios solares diretos e fazendo com que o foco direcional desta fonte de luz seja mais uniformemente distribuído pelo ambiente que se deseja iluminar.

2.3.2.2. Luz do céu

A luz do céu é o resultado da refração e da reflexão da luz solar ao passar pela atmosfera. Enquanto a luz solar é uma fonte puntual, a luz do céu é uma fonte superficial. Ela produz uma iluminação suave, não direcional, relativamente sem sombras. Os níveis de iluminação resultantes são menores do que os produzidos pela luz solar direta; podendo variar de 5 a 20 kLux. Segundo **PEREIRA [1995]**, a distribuição das luminâncias da abóbada celeste varia de acordo com as condições atmosféricas e as condições de céu empregadas nas técnicas de simulação são: céu claro, céu parcialmente encoberto e céu encoberto.

Para a caracterização das condições do céu, é utilizado o método da cobertura do céu preconizado pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, EUA), sendo que a cobertura é estimada visualmente pela observação do montante de cobertura de nuvens. Esta

cobertura de nuvens é estimada em percentual e expressa numa escala de 0 a 100%. Assim sendo, **ABNT [1997]** apresenta-se as seguintes condições de céus:

- Céu claro : 0% a 35%
- Céu parcial : 35% a 75%
- Céu encoberto : 75% a 100%

Numa condição de céu claro (inexistência de nuvens e baixa nebulosidade), as reduzidas dimensões das partículas de água fazem com que apenas os comprimentos de onda da porção azul do espectro chegue à superfície da terra, conferindo esta cor ao céu. Sob estas condições, o céu apresenta sua porção mais escura a 90° do Sol e sua parte mais brilhante ao redor deste. Além deste efeito, o céu tende a ser mais brilhante nas regiões próximas da linha do horizonte, devido a maior espessura da massa de ar que a luz tem de atravessar. Esta condição também se encontra normalizada, com possíveis correções para a consideração de diferentes tipos de nuvens segundo **TREGENZA [1994]**.

O céu encoberto resulta da reflexão/refração da luz direta do Sol (todos os comprimentos de onda) em grandes partículas de água em suspensão na atmosfera. O resultado é uma abóbada cinza-claro, com a porção zenital apresentando uma luminância três vezes maior que a da porção próxima à linha do horizonte. Cabe salientar que, de uma certa forma, a altura solar afeta a luminância de céus encobertos e que em qualquer latitude um céu encoberto pode ser duas vezes mais brilhante no Verão do que no Inverno, **PEREIRA [1995]**.

No céu parcialmente encoberto tem-se a abóbada encoberta com a presença sazonal do Sol alternada por períodos de nebulosidade variável. É próprio do clima temperado úmido ou quente úmido, **MASCARÓ [1981]**.

A **TABELA 2.1** apresenta a probabilidade de ocorrência de céu claro, céu parcial e céu encoberto para a cidade de Florianópolis segundo **AMARAL [1999]**.

TABELA 2.1 - Probabilidade de ocorrência de céu para a cidade de Florianópolis.

Mês	Probabilidade de ocorrência [%]		
	ρ_{cc}	ρ_{cp}	ρ_{ce}
JAN	6,56	31,62	61,82
FEV	8,22	37,93	53,85
MAR	6,45	35,72	57,83
ABR	17,06	47,66	35,28
MAI	14,25	43,06	42,69
JUN	14,16	36,70	49,14
JUL	16,91	42,85	40,24
AGO	7,83	44,60	47,57
SET	6,88	34,74	58,38
OUT	10,31	27,09	62,60
NOV	10,42	36,48	53,10
DEZ	12,39	30,50	57,11

Fonte: AMARAL [1999].

2.3.2.3. Luz de fontes indiretas

Quando uma superfície refletiva fosca é iluminada por uma fonte primária, sua luminância resultante a torna uma fonte indireta de iluminação. Uma vez que esta superfície pode ser considerada como difusora ela se torna então, uma fonte distribuída - a qualidade e distribuição de sua luz sendo virtualmente idêntica à luz direta do céu admitida através de uma abertura de tamanho similar. Se iluminada diretamente pelo Sol, a iluminação refletida por uma superfície branca pode variar de 50 a 100 kLux, substancialmente maior que a luminância da abobada celeste. De modo similar, materiais translúcidos de vidro podem ser utilizados como fontes indiretas.

2.3.3. Fontes de luz artificial

As lâmpadas são componentes do sistema de iluminação que podem converter energia elétrica em luz visível. Porém, para que esta luz possa ser reproduzida e adequadamente distribuída é necessário a utilização de reatores (dependendo da lâmpada utilizada) e de luminárias que são os componentes auxiliares do sistema de iluminação artificial. As luminárias podem maximizar o uso da luz emitida pela lâmpada e desta forma, diminuir a carga total de

iluminação. Na escolha de luminárias para uma determinada aplicação é essencial a escolha daquelas que iluminem o espaço com a aparência e o nível desejado.

As lâmpadas elétricas atuais são agrupadas em: lâmpadas incandescentes; lâmpadas de descarga gasosa; lâmpadas mistas. As características e aplicações das fontes de luz artificial são informadas pelos fabricantes em seus catálogos.

2.3.4. Características das fontes

As fontes de luz apresentam duas propriedades que deverão ser consideradas no projeto de iluminação: temperatura de cor correlata (TCC) e o índice de reprodução de cores (IRC). Atenção especial deve ser dada a estas propriedades principalmente quando se pretende integrar os sistemas natural e artificial.

2.3.4.1. Aparência da cor

Ao escolher uma lâmpada para uma determinada finalidade deve-se avaliar mais uma característica de performance importante que é a aparência ou temperatura de cor correlata. As fontes de luz são caracterizadas por sua temperatura de cor para indicar sua respectiva quentura (tons laranjas) ou frieza (tons azuis). Com base na escala Kelvin, a temperatura de cor é relacionada com a temperatura na qual o corpo negro deve ser aquecido para irradiar uma luz aproximadamente igual à cor da fonte de luz em questão. A temperatura de cor é literalmente aplicável à fonte de luz que produz luz por aquecimento, como a lâmpada incandescente, enquanto as outras são designadas pela temperatura de cor correlata (TCC).

A aparência de cor pode estabelecer sensações de um ambiente "quente" ou "frio" assim como afetar comportamentos de compra ou performances de trabalho. Para TCC maior que 5000 K a luz da fonte tem uma aparência de luz fria (branca azulada). Quando o TCC é maior que 3000 K a aparência de cor é quente (branca avermelhada). Para valores de TCC entre 3000 K e 5000 K a aparência de cor é dita intermediária ou morna (aparência branca).

Diversas experiências têm mostrado que para uma iluminação de boa qualidade, a aparência de cor das fontes de luz deve estar de acordo com o nível de iluminação. A TABELA

2.2 mostra a aparência de cor em função do nível de iluminação para ambientes iluminados com lâmpadas fluorescentes. Analisando a **TABELA 2.2** nota-se que quanto maior for o nível de iluminação, maior deve ser a temperatura de cor, proporcionando ao ambiente uma aparência de cor mais fria.

TABELA 2.2 - Variação da aparência de cor em função do nível de iluminação.

Iluminância [Lux]	Aparência de cor da luz		
	Quente	Intermediária	Fria
< 500	agradável	neutra	fria
500 - 1.000	⇕	⇕	⇕
1.000 - 2.000	estimulante	agradável	neutra
2.000 - 3.000	⇕	⇕	⇕
> 3.000	inatural	estimulante	agradável

Fonte: **PEREIRA [1996]**

Para uma iluminação ser de boa qualidade, a aparência de cor das fontes de luz deverá estar relacionada com os níveis de iluminamento. Quanto maior for o nível de iluminamento, maior deverá ser a temperatura de cor correlata da fonte de luz (luz mais branca), para se obter uma aparência de cor agradável. O diagrama de Kruithof (**FIGURA 2.2**), relaciona a temperatura de cor correlata com níveis de iluminância. A área limitada pelas duas curvas indica a região na qual, em função da iluminância de projeto e da temperatura de cor correlata da fonte de luz utilizada, as cores terão uma aparência mais natural. Se esses limites são ultrapassados, isso resultará em impressões de cor não naturais e desagradáveis.

Outro aspecto que deve ser levado em consideração é a coerência que deverá existir entre a temperatura de cor de diferentes fontes de luz de ambientes adjacentes. **ELEY e TOLEN [1993]** recomendam que esta diferença de temperatura da cor correlata fique em torno de 300 K. Entretanto, as diferenças globais de temperatura da cor correlata nunca devem ultrapassar a 1000 K.

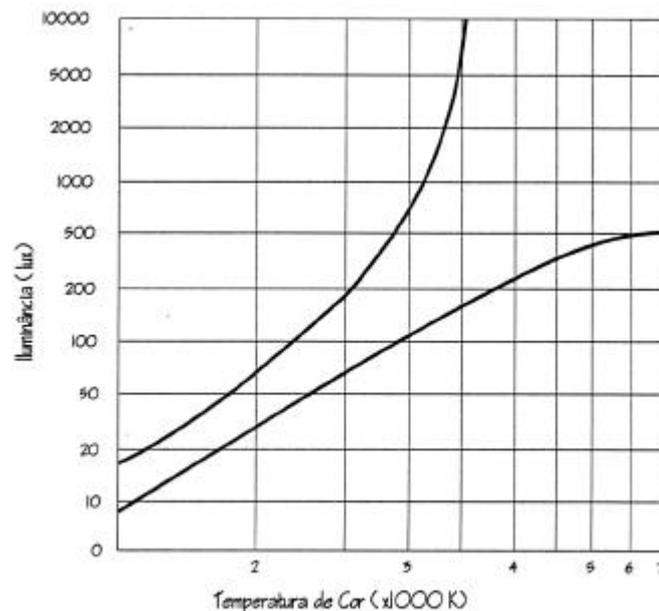


FIGURA 2.2 – Diagrama de KRUTHOF (Fonte: ROBBINS [1986]).

2.3.4.2. Índice de reprodução de cor

O índice de reprodução de cor (Ra ou IRC) é a medida correspondente entre a cor real de um objeto ou superfície submetida à luz natural e sua aparência diante de uma fonte de luz artificial. A luz artificial como regra, deve permitir ao olho humano perceber cores corretamente, ou o mais próximo possível da luz natural. Lâmpadas com Ra de 100% apresentam as cores com total fidelidade e precisão. Quanto mais baixo o índice, mais deficiente é a reprodução das cores. Os índices variam conforme a natureza da luz e são indicados de acordo com o uso de cada ambiente.

2.4. DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL

Os níveis de iluminação internos proporcionados pela luz natural dependem de dois fatores principais: características do ambiente construído (geometria do ambiente, tamanho e orientação das janelas, refletância das superfícies internas, vizinhança, etc.) e da disponibilidade

de luz natural externa. A iluminância externa por sua vez depende da distribuição de luminâncias do céu. A iluminância da luz natural está sempre variando, tanto ao longo do dia quanto ao longo do ano quando mudam as condições atmosféricas. Outro fator que faz variar a disponibilidade de luz natural externa é a latitude do local, fator este que faz com que os benefícios da luz natural mudem de região para região. Existem mudanças da posição do sol no céu com a latitude fazendo com que a distribuição de luminâncias do céu seja diferente, proporcionando variações na disponibilidade de luz natural. A quantidade e o tipo de nuvens também alteram a disponibilidade de luz natural, assim como a névoa e poeira suspensa na atmosfera.

2.5. SISTEMAS DE CONTROLE E *RETROFIT*

Segundo **BAPTISTA [2000]**, como a maioria das pessoas, em todas as classes sociais, não tem arraigado em si o simples hábito de desligar a luz quando deixa o ambiente, foi desenvolvido um equipamento que cuidasse desta ação de uma forma discreta e automática: o detector de presença. Extrapolando o universo desta simples aplicação para ambientes onde o uso de energia não é feito de maneira racional, os sistemas de controle de ambientes revelam-se a alternativa de conservação de energia mais adequada.

BAPTISTA [2000] ainda ressalta que a medida normalmente adotada, quando se pensa em conservação de energia em iluminação, é o *retrofit* para equipamentos eficientes. Se, por um lado, resulta numa esperada economia nos custos operacionais, por outro, não reduz efetivamente o desperdício, uma vez que os hábitos não são modificados pela aplicação. Além disso, requer investimentos em novos equipamentos, sabidamente bem mais dispendiosos que os usuais, destinando os substituídos ao sucateamento, mesmo que ainda se encontrem em condições reais de uso. No entanto, somente uma análise econômica detalhada envolvendo os custos durante o ciclo de vida das alternativas irá revelar as reais vantagens de um *retrofit*.

MORROW et al [1998] dizem que a instalação de lâmpadas T8 e reatores eletrônicos é uma estratégia segura, mas sem nenhuma ambição, pois elas não fazem nada mais que melhorar os níveis de iluminação e reduzir a energia perdida. Além de usar tecnologias de maior eficiência, pode-se somar benefícios através da instalação de controles.

Os sistemas de controle por atuarem diretamente na otimização do uso da iluminação, implicam na redução efetiva do desperdício e conseqüentemente, também, na economia dos custos operacionais. O primeiro ponto positivo a favor dos sistemas de controle é, portanto, conservação através da eliminação do desperdício e não em cima da substituição dos equipamentos existentes por outros de maior eficiência. Um outro item relevante é que a aplicação de sistemas de controle não elimina o *retrofit*, pelo contrário, são ações complementares por excelência.

Na verdade, somente análises detalhadas das alternativas de conservação para cada projeto poderão revelar efetivamente os indicadores econômicos para uma decisão isenta, pois cada uma delas resulta em economia nos custos operacionais e requer investimentos associados.

2.6. SISTEMAS INTEGRADOS

As pessoas preferem ambientes com luz natural, a menos que a função deste torne isto impraticável. Alguns edifícios fazem aproveitamento da luz natural, mas mesmo assim parte do sistema de iluminação artificial fica em uso contínuo durante períodos em que a luz natural fornece os níveis de iluminância satisfatórios para o desenvolvimento das atividades. Para um uso eficiente de energia e para uma iluminação de alta qualidade no ambiente de trabalho, a iluminação artificial e a natural devem ser complementares.

O uso da luz natural com bons controles do sistema de iluminação artificial pode conduzir a uma significativa economia de energia elétrica com benefícios para a sociedade e para os usuários da edificação.

A economia de energia proporcionada pela utilização da luz natural nos sistemas de iluminação se dá de duas formas, uma direta e outra indireta. A economia direta é resultado do desligamento das lâmpadas nos momentos em que a luz natural é capaz de fornecer a iluminância de projeto. Indiretamente, a luz natural é capaz reduzir o consumo de energia, pois o sistema artificial desligado faz com que ocorra uma redução nas cargas de resfriamento. Segundo **ELEY e TOLEN [1993]** para cada 4 kWh de energia elétrica gasta pelo sistema de iluminação

artificial é necessário acrescentar 0,7 kWh (17,5%) ao ar condicionado para que ele remova o calor gerado por este sistema. Certamente estes valores estão relacionados ao tipo de iluminação utilizado. Lâmpadas incandescentes produzem uma quantidade de calor bem maior do que as lâmpadas fluorescentes.

Segundo **SOUZA [1995]** a luz natural entrando no espaço carrega junto com ela um ganho de calor solar que em alguns casos é maior que a redução obtida pelo desligamento das lâmpadas. **ULLAH [1996]** ressalta que deve ser realizado um balanceamento entre o aumento nas cargas de resfriamento e a redução da carga de iluminação.

2.7. ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

O tipo mais comum de controle do sistema de iluminação artificial é o controle manual de dois passos (liga/desliga), que poderá controlar luminárias individuais, conjunto de luminárias ou até mesmo todas as luminárias do espaço. Porém, quando se pretende realizar a integração entre os sistemas de iluminação artificial e natural é preciso ir mais além utilizando-se sistemas automáticos de múltiplos passos ou sistemas dimerizáveis, que serão projetados com base em algum critério de necessidade de iluminação (iluminância média, ocupação da sala, etc.), pois só eles garantirão que a iluminação artificial será desligada quando a luz natural fornecer iluminância suficiente para a realização da atividade visual desenvolvida no ambiente.

As principais estratégias de controle da iluminação artificial são as seguintes:

- ❑ Controles de iluminação em resposta à luz natural

(daylight responsive lighting controls)

Controles que diminuem (continuamente ou em saltos) ou interrompem a luz artificial de acordo com a quantidade de luz natural disponível no ambiente. Neste sistema, chamado do laço aberto (*open loop*), o sensor de luz está apenas exposto a incidência da luz natural.

- ❑ Manutenção dos lumens (*Lumen Maintenance*)

Os sistemas de iluminação normalmente são projetados para manter um nível mínimo de iluminância. Isto requer em um sistema de iluminação novo, um nível

de iluminação entre 20-35% acima do nível de projeto para permitir a depreciação do sistema (depreciação do lumen da lâmpada, depreciação causada pela sujeira da luminária e depreciação causada pela sujeira das superfícies do ambiente). Esta estratégia tem este nome por manter constante a iluminância do ambiente ao longo da vida do sistema. Quando a depreciação dos lumens ocorre, mais potência é aplicada às lâmpadas de modo que o fluxo luminoso de saída permaneça constante. Logo, a potência total somente será aplicada próximo do fim da vida útil do sistema, reduzindo significativamente o consumo de energia durante a vida das lâmpadas.

❑ Padrão de uso previsível (*Predictable Scheduling*)

Este tipo de estratégia é efetiva em locais onde a rotina de trabalho é bem definida, onde se sabe claramente para os dias da semana, fins de semana e feriados os horários de chegada e partida do pessoal, os horários de almoço, horários de folgas e horários de limpeza, ou seja, o sistema é automaticamente desligado em horários pré-determinados. Segundo **REA [1999]**, tal estratégia pode reduzir o consumo de energia em torno de 40% pela eliminação do desperdício na utilização da iluminação em espaços desocupados. Porém, deve-se ter muito cuidado na adoção desta estratégia, pois seria inaceitável mergulhar os usuários em profunda escuridão simplesmente porque o esquema de operação assim está programado.

❑ Padrão de uso não previsível (*Unpredictable Scheduling*)

Muitos eventos são impossíveis de serem esquematizados como, por exemplo, abandono do posto de trabalho por mau estar do operário, férias, reuniões de pessoal e outros. Muitos ambientes são utilizados esporadicamente não sendo possível programar seus horários de utilização (centros de cópia, seções de arquivos, salas de reuniões, vestiários, etc). Estes ambientes, por não apresentarem um uso contínuo, não necessitam de um controle justo na operação do sistema de iluminação, mas técnicas de controle automáticas locais poderão apresentar melhores resultados do que o habitual controle manual das luzes. Segundo **REA [1999]**, a utilização de sensores de ocupação para estes ambientes é capaz de reduzir o consumo de energia gasto em iluminação em até 60%.

❑ Iluminação ajustável à tarefa (*Tuning*)

Normalmente os sistemas de iluminação são projetados para fornecerem uma iluminância uniforme por todo o ambiente. Numa estratégia de iluminação ajustável à tarefa, o sistema pode ser afinado, de modo a fornecer a iluminância específica para uma determinada tarefa. Uma estratégia deste tipo proporciona uma grande economia de energia sem sacrifício do desempenho visual dos usuários do ambiente. O ajuste é realizado pela variação do fluxo luminoso fornecido por uma luminária ou por um pequeno grupo de luminárias. Em ambientes em que este tipo de ajuste ocorre muito esporadicamente, não há necessidade que ele se processe automaticamente, um ajuste manual será o suficiente.

❑ Padrão de carga (*Load Scheduling*)

A energia elétrica gasta em iluminação em edifícios pode ser efetivamente reduzida pelo controle da demanda de potência em curtos períodos de tempo. Redução seletiva de iluminância em áreas menos críticas pode ser particularmente efetiva em regiões onde o pico de demanda elétrica ocorre no Verão, porque a redução da carga de iluminação também reduzirá as cargas de resfriamento.

Estas estratégias também podem ser aplicadas de forma combinada como, por exemplo, uma estratégia de controles de iluminação em resposta à luz natural com estratégia de sensores de presença (esquema não previsível), a qual poderia funcionar da seguinte maneira:

- ❑ Quando uma pessoa entra na sala, as lâmpadas são imediatamente ligadas;
- ❑ Caso exista contribuição da luz natural para a iluminação do ambiente, a iluminação artificial é desligada total ou parcialmente;
- ❑ Se pelo menos uma pessoa permanece no ambiente, sistema baseado na disponibilidade de luz natural continua atuando;
- ❑ Quando a última pessoa sai do ambiente, o sistema com sensor de presença atua desligando a iluminação artificial após alguns minutos.

2.8. EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

O controle da iluminação artificial é feito através de equipamentos que ligam, desligam e controlam o nível de iluminância dos ambientes. Os equipamentos utilizados para este controle são interruptores manuais, fotossensores e sensores de ocupação.

2.8.1. Controle manual

A forma mais comum de controle dos circuitos de iluminação é através de interruptores manuais. Segundo **REA et al [1998]** controles manuais, incluindo os dimerizáveis, são efetivos para reduzir o consumo de energia elétrica gasta em iluminação. São controles baratos, de fácil calibração, e o mais importante, são os preferidos pelos usuários.

Para que se consiga alcançar alguma economia de energia através da utilização de interruptores manuais é necessário uma atenção especial na hora da distribuição dos circuitos de uma sala ou zona de iluminação. **BOYCE [1980]** diz ser improvável que qualquer usuário mude as condições de iluminação de um ambiente onde existam outras pessoas trabalhando (desligar as lâmpadas), a menos que tal solicitação seja feita. Isto sugere que os sistemas de iluminação sejam divididos em pequenas áreas, dando ao usuário a sensação de posse da luminária que está acima do seu posto de trabalho, encorajando-o a ligá-la ou desligá-la conforme a sua necessidade.

Segundo **CIBSE [1994]**, estudos de campo têm mostrado que com os arranjos tradicionais de distribuição dos circuitos de iluminação, o sistema tem permanecido totalmente desligado ou totalmente ligado. O ato de acionar o interruptor de um sistema de iluminação ocorre praticamente em duas situações: uma no início do período de expediente e a outra ao término do mesmo. As pessoas podem ligar a iluminação quando entram em um ambiente, mas raramente voltam a desligá-la até que todos saiam da sala.

HUNT [1979] diz que o ciclo de ocupação do espaço determina a frequência com que as pessoas ligam ou desligam as lâmpadas. As lâmpadas são ligadas (se necessário) quando as pessoas entram no ambiente, mas raramente são desligadas se o espaço fica totalmente

desocupado. Nos espaços de ocupação contínua as lâmpadas raramente são desligadas durante o dia.

CIBSE [1994] mostra que a probabilidade ao longo do ano de uma pessoa acender as luzes quando entra em uma sala depende da hora do dia, da orientação das janelas e do fator de luz do dia ponderado mínimo na área de trabalho (**FIGURA 2.3**). O fator de luz do dia ponderado deve ser calculado utilizando-se o fator da luz do dia multiplicado por um coeficiente que leva em conta a orientação da janela:

- ❑ Janela na face Norte: 0,77
- ❑ Janela na face Leste: 1,04
- ❑ Janela na face Sul: 1,20
- ❑ Janela na face Oeste: 1,00

Os coeficientes acima são para o hemisfério Norte. Para o hemisfério Sul estes coeficientes devem ser: 1,20 para janela na face Norte; 1,00 para janela na face Leste; 0,77 para janela na face Sul e 1,04 para janela na face Oeste.

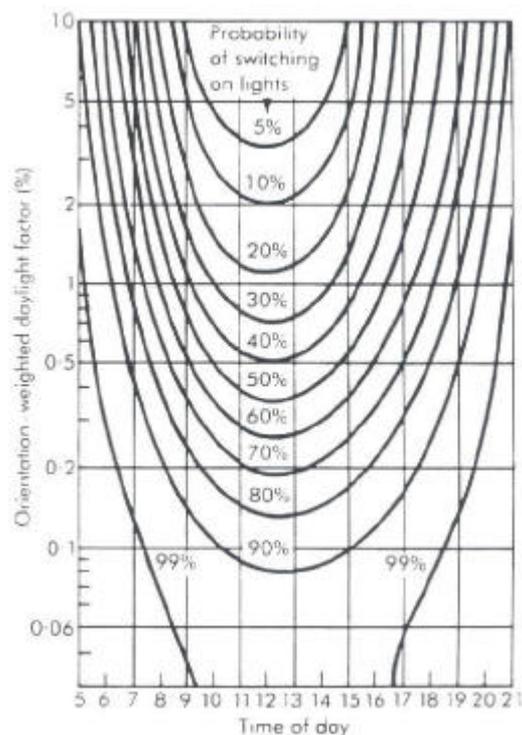


FIGURA 2.3 – Probabilidade de ligar as lâmpadas ao entrar em um ambiente
(Fonte: **CIBSE [1994]**)

Por exemplo, para um fator de luz do dia ponderado de 0,6% e o expediente de trabalho começando as 9h00min, a **FIGURA 2.3** sugere uma probabilidade de acionamento das lâmpadas de 56%. Supondo um período de utilização de 8 horas sem interrupção e uma carga de iluminação de 1 kW ter-se-ia um provável consumo diário de:

$$8 \times (0,56) \times 1 = 4,48 \text{ kWh de consumo de energia diário.}$$

Supondo agora o mesmo período de 8 horas de trabalho, mas com um intervalo de 1 hora ao meio dia (das 12h00min as 13h00min). Ao retornar do intervalo a probabilidade de acionamento da iluminação para um mesmo fator de luz do dia ponderado é de 37%, logo o novo consumo diário passa a ser:

$$4 \times (0,56) \times 1 + 4 \times (0,37) \times 1 = 3,72 \text{ kWh de consumo de energia diário.}$$

Com a simples adoção de um intervalo durante o período de expediente e admitindo que as lâmpadas sejam desligadas durante este intervalo, pode-se obter uma redução no consumo de energia gasta em iluminação de 17%.

Segundo **CIBSE [1994]**, para alcançar alguma economia de energia com sistemas manuais deve-se ter os seguintes cuidados quando da distribuição dos circuitos de iluminação artificial:

- Cada ambiente ou zona de iluminação deve ter seu próprio sistema de controle;
- As áreas nas quais são desenvolvidas atividades semelhantes devem ser agrupadas em um único circuito;
- Nas instalações com luminárias de uma ou duas lâmpadas, as linhas adjacentes devem pertencer a circuitos alternados com a finalidade de ter um nível de iluminação intermediário entre o máximo e a situação de todo o sistema desligado;
- Em instalações com luminárias de 3 lâmpadas, a lâmpada do meio deve pertencer a um circuito diferente das outras duas, com isso tem-se um sistema com três níveis de iluminação (33%, 66% e 100%);
- Em luminárias de 4 lâmpadas, elas devem ser conectadas duas a duas em circuitos separados, proporcionando dois níveis de iluminação (50% e 100%);

- ❑ Locais que necessitam de altos níveis de iluminação devem possuir interruptores em separado;
- ❑ As linhas de luminárias paralelas às janelas devem ser controladas independentemente.

A flexibilidade dos interruptores é extremamente importante, pelo fato da economia a ser alcançada depender totalmente da vontade do usuário, pois segundo **ASSAF e CISINT [1996]**, o aproveitamento da luz natural em sistemas de iluminação integrados com interruptores manuais se dá mais por não ligar as lâmpadas do que por desligá-las.

2.8.2. Fotossensores

Fotossensores ou sensores de luz (fotocélulas), são dispositivos que utilizam componentes eletrônicos que transformam a radiação visível (luz) em sinais elétricos. Estes sensores geram uma corrente elétrica proporcional à radiação recebida. O sinal de saída atuará sobre o sistema de iluminação de duas formas:

- ❑ O sinal de saída do fotossensor atua sobre um interruptor simples ou sobre um relé;
- ❑ O sinal de saída do fotossensor é enviado para um controlador que ajustará a produção de luz do sistema de iluminação artificial em função de sua intensidade.

Quando fotossensores são utilizados em conjunto com relés para controlar o liga/desliga do sistema de iluminação, eles devem ter uma "zona morta", ou seja, a iluminância na qual o sistema é desligado deve ser maior do que a iluminância na qual o sistema será ligado, isto evita o liga/desliga das lâmpadas para valores de iluminância perto da iluminância de projeto, o que poderá trazer aborrecimentos aos usuários. O sistema deverá ser ligado sempre que a iluminância da sala atingir valores abaixo da iluminância de projeto.

Segundo **LRC [1998]**, os fotossensores têm sua aplicação limitada por três razões:

- ❑ A dificuldade em prever a economia de energia que os fotossensores proporcionam;
- ❑ Embora corretamente localizado, instalado, ou posicionado e produzindo economia de energia, eles também podem ser a origem de reclamações dos usuários;

- ❑ Relatos das dificuldades de uma correta instalação e de calibração dos fotossensores pode ter limitado em muito a utilização dos mesmos.

2.8.2.1. Localização dos sensores

Os fotossensores devem ser orientados para o Sul; isto evita a incidência da radiação solar direta sobre ele, garantindo uma iluminância mais uniforme no sensor.

Os sensores podem ser classificados em duas categorias conforme o local onde eles são posicionados: os que ficam no local da tarefa e os que ficam fora deste ambiente. Ambos os sistemas podem ser utilizados para controlar todo sistema de iluminação ou algumas partes através de um sistema de relés.

Quando o fotossensor fica localizado no exterior, ele apresenta a desvantagem de não levar em conta fatos que poderão ocorrer no ambiente de trabalho como, por exemplo, a posição das cortinas ou a posição dos dispositivos de sombreamento externo (quando estes não são fixos). Entretanto, são sistemas simples que encorajam os usuários a aproveitarem melhor a luz natural.

Os sensores localizados no interior, que perceberão a iluminância dentro do ambiente, têm a capacidade de fornecer uma iluminância constante no plano de trabalho, quando este está associado a um dimmer. Na situação mais simples o sensor é colocado na superfície de trabalho e o sistema opera mantendo constante a iluminância sobre o sensor. Segundo **MOORE [1993]**, esta localização não é prática visto que o sensor fica sensível aos efeitos de sombras do corpo, documentos e ferramentas soltas sobre o plano de trabalho e outros objetos capazes de obstruírem a luz.

Uma segunda localização no interior e a mais comum é a colocação do sensor no teto, orientado para a tarefa. Entretanto, sensores montados no teto não conseguem medir com exatidão a iluminância no plano de trabalho.

Um terceiro método mede a luz natural que entra através da janela. Este método alcançará bons resultados se a radiação solar direta não chegar no sensor.

ELEY e TOLEN [1993] destacam duas regras na colocação dos fotossensores:

- ❑ Posicionar o sensor a uma distância da janela de aproximadamente 2/3 à profundidade da zona de iluminação;
- ❑ Em sistemas de iluminação indireta e semi-indireta, garantir que o fotossensor não possa ver diretamente as lâmpadas que ele controla.

2.8.3. Sensores de ocupação

A função dos sensores de ocupação é desligar automaticamente as luminárias quando os espaços não estão ocupados, a fim de reduzir o consumo de energia elétrica, que se dá pela redução do número de horas que as lâmpadas ficam ligadas.

Sensores de ocupação são dispositivos que respondem à presença ou ausência de pessoas dentro de seu campo de visão. O sistema consiste em um detector de movimento, uma unidade eletrônica de controle, e um interruptor controlável (relé). A ocupação é percebida por áudio, ultra-som, infravermelho passivo ou meios óticos. Estes dispositivos são projetados para ligar as lâmpadas no momento em que as pessoas entram no ambiente e as mantêm ligadas enquanto elas permanecem no espaço. As lâmpadas são desligadas depois de um tempo prefixado que segue a partida do ocupante. **JENNINGS et al [2000]** verificaram em um edifício de escritórios em San Francisco (USA) que a utilização de sensores de ocupação é capaz de reduzir o consumo de energia de 23% a 26%, quando comparado ao consumo de energia de um sistema com interruptor manual.

Os principais tipos de sensores de presença são os sensores passivos de infravermelho e os ultra-sônicos.

2.8.3.1. Sensores passivos de infravermelho

Estes sensores reagem à energia do calor infravermelho emitido pelas pessoas. São considerados passivos porque apenas detectam radiação, não a emitem. Segundo **ELEY e TOLEN [1993]**, estes sensores são extremamente sensíveis a objetos que emitem radiação em comprimento de onda em torno de 10 μm (o pico do comprimento de onda do calor emitido pelo corpo humano).

Os sensores passivos infravermelho utilizam um dispositivo piroelétrico para detectar a radiação infravermelha. O dispositivo converte a energia infravermelha em um sinal de voltagem. Sua sensibilidade diminui com o afastamento, e quanto maior for a distância, maior terá que ser o objeto em movimento para que possa ser detectado pelo sensor. Por exemplo, o movimento de mãos é percebido a até 3 metros, o de braços e tronco até 6,10 metros e ao movimento de todo o corpo em até 12,20 metros, segundo **ELEY e TOLEN [1993]**.

2.8.3.2. Sensores ultra-sônicos

Os sensores de ocupação ultra-sônicos ativam um cristal de quartzo que emite ondas ultra-sônicas através do espaço fazendo com que a unidade controladora perceba a frequência das ondas refletidas. A frequência dos sensores ultra-sônicos geralmente está entre 25.000 a 40.000 Hz.

Segundo **ELEY e TOLEN [1993]**, estes sensores operam em frequências de 25, 30 ou 40 kHz, frequências estas que estão acima da percepção humana. São sensores mais sensíveis ao movimento: o movimento de mãos é detectado a 7,60 metros, o de braço e tronco a 9,10 metros e de todo o corpo a mais de 13,00 metros.

2.8.3.3. Escolha e localização do sensor de ocupação

Os sensores de ocupação infravermelhos e os sensores ultra-sônicos oferecem muitas características similares em termos de desempenho global. Os sensores ultra-sônicos em geral são mais caros, mas por serem mais sensíveis, fornecem uma área de cobertura maior que a dos sensores infravermelhos. Entretanto, esta maior sensibilidade pode significar uma maior suscetibilidade a falsas respostas, ou seja, detecções de pequenos movimentos em sua área de atuação. Por serem mais sensíveis, os sensores ultra-sônicos são recomendados para ambientes onde as pessoas ficam mais quietas como, por exemplo, a utilização de um telefone ou a realização de uma leitura.

Existe uma variedade de configurações para a montagem dos sensores de ocupação. Eles podem ser montados em superfícies do teto ou das paredes e podem substituir os interruptores de parede. Segundo **REA [1999]**, a área de piso coberta por sensores individuais vão da faixa de 15 m² em escritórios individuais ou 200 m² em estações de trabalho grandes como salas de aula ou espaços semelhantes.

Ao selecionar o sensor e executar o planejamento de sua localização, o projetista deve estar ciente que todos os movimentos importantes dentro da área controlada serão detectados, sujeitos a respostas falso positivas, isto é, resposta para movimento de objetos inanimados ou de pessoas que estão fora do ambiente. Também deve ter conhecimento que a vida útil das lâmpadas fluorescentes é afetada pelo número de acionamentos. A redução da vida das lâmpadas dependerá do tipo de lâmpada e da frequência de acionamentos do sistema, mas o período de utilização das lâmpadas poderá ser aumentado pela eliminação do número de horas em que as lâmpadas ficam ligadas sem necessidade.

2.8.4. Temporizadores

Os temporizadores são controladores que desligam automaticamente o sistema de iluminação após um período pré-determinado. Este tipo de controle proporciona uma boa estratégia de conservação de energia, desligando o sistema de iluminação automaticamente e permitindo que o usuário torne a ligá-lo caso julgue necessário.

2.9. ALGORITMOS DE CONTROLE EM RESPOSTA A LUZ NATURAL

Segundo **O'CONNOR et al [1997]**, os algoritmos de controle em resposta a luz natural, ou seja, sistemas de controle que utilizam fotossensores, são dois:

- Laço aberto;
- Laço fechado.

A calibração e a localização do fotossensor nos dois sistemas apresenta uma pequena diferença. No sistema de laço fechado o fotossensor é localizado de modo a detectar tanto a iluminância da luz natural como a do sistema de iluminação artificial que ele controla (**FIGURA 2.4**). Num controle de laço aberto o fotossensor é colocado de modo a detectar apenas a luz natural sem detectar a iluminância do sistema artificial.

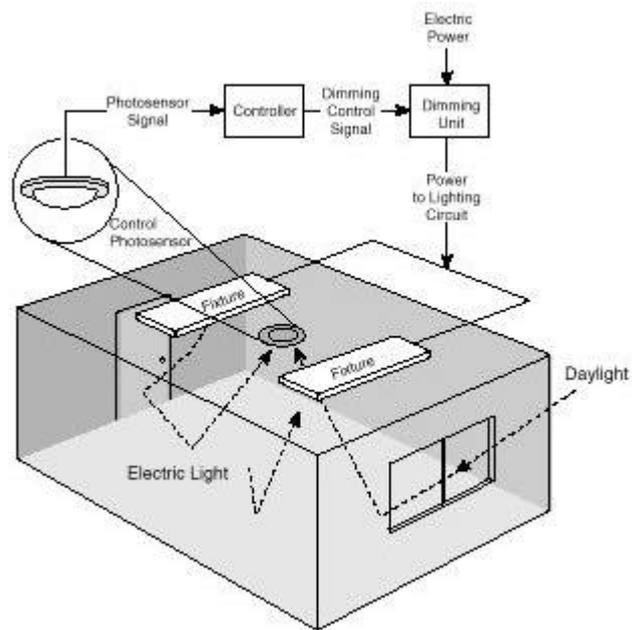


FIGURA 2.4 – Sistema dimerizável de laço fechado (Fonte: O'CONNOR et al [1997])

2.9.1. Sistema de laço fechado

Num sistema de laço fechado (**FIGURA 2.5**) o controlador do sistema de iluminação artificial ajusta continuamente a saída de luz de modo que a iluminância no fotossensor é mantida no nível do set-point do sistema (iluminância de projeto).

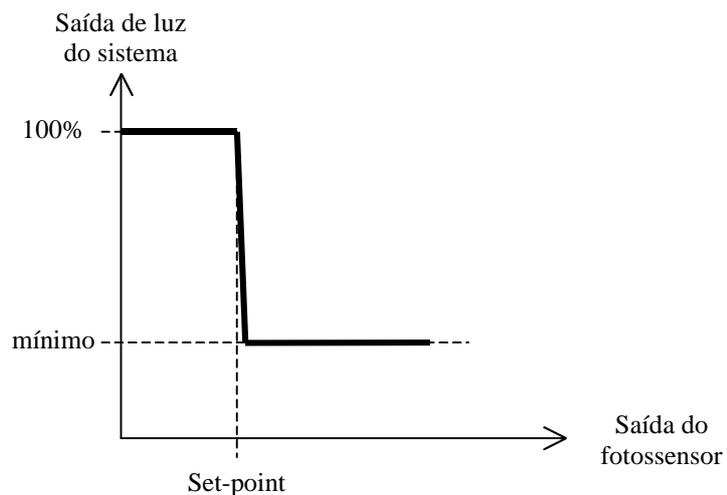


FIGURA 2.5 – Relação entre o sinal de saída do fotossensor e a saída de luz do sistema de iluminação artificial em um controlador de laço fechado.

Quando o fotossensor detecta um aumento da iluminância devido à luz natural, o controlador do sistema de iluminação artificial reduz a saída de luz para estabelecer no sensor a iluminância set-point. Na prática, este set-point é determinado empiricamente à noite, fazendo com que o sistema artificial forneça a iluminância de projeto. Este processo de determinação do set-point no local é chamado de calibração noturna (*night-time calibration*). Neste algoritmo é essencial que o fotossensor possa ver o sistema de iluminação artificial.

2.9.2. Sistema de laço aberto

Em um laço aberto o sensor é colocado de modo que não detecte a iluminância do sistema de iluminação artificial que ele controla, ele somente perceberá as variações da iluminação natural. Neste sistema geralmente é estabelecida uma variação linear entre a iluminância detectada pelo fotossensor e a quantidade de luz fornecida pela iluminação artificial (FIGURA 2.6).

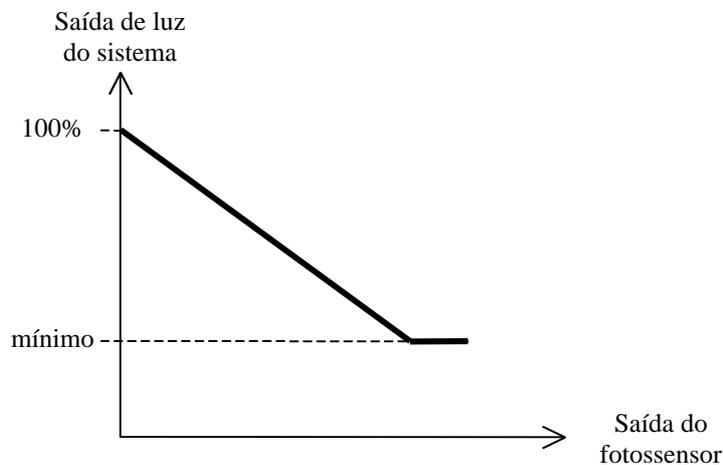


FIGURA 2.6 – Relação entre o sinal de saída do fotossensor e a saída de luz do sistema de iluminação artificial em um controlador de laço aberto.

Segundo ELEY e TOLEN [1993], em algumas unidades, a relação entre a luz de saída e o sinal do fotossensor é controlado pelo usuário. Durante a calibração (*daytime calibration*), o usuário pode arbitrar 1 a 1, a relação entre estas duas variáveis.

Os sistemas de laço aberto não podem compensar as perdas de luz do sistema de iluminação artificial, mas possuem uma grande flexibilidade de calibração quando comparados com os sistemas de laço fechado.

2.10. SISTEMAS DE CONTROLE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

Para que se consiga reduzir a energia elétrica gasta em iluminação através do aproveitamento da luz natural e ao mesmo tempo garantir que os locais de trabalho possuam iluminância suficiente para a realização das tarefas visuais, torna-se necessário a utilização de sistemas de controle automáticos.

Sistemas de controle baseados em níveis de iluminação são constituídos dos seguintes elementos:

- Sensores de nível de luz** são dispositivos que monitoram a iluminância (apenas da luz natural ou da luz natural mais a luz elétrica) em uma determinada zona de referência;
- Unidade de controle eletrônico** que inclui a possibilidade de calibração;
- Unidade de acionamento** total ou parcial do fluxo luminoso do sistema de iluminação artificial.

Podem ser utilizados três tipos de controles baseados nos níveis de luz natural:

- Interruptor liga/desliga automático;
- Interruptor de passo automático;
- Dimerização contínua automática.

2.11. SISTEMAS DE CONTROLE E O USUÁRIO

Sabe-se que a luz natural associada a sistemas de controle da iluminação artificial pode economizar energia e manter os níveis de iluminância no plano de trabalho, mas os mesmos nem sempre satisfazem as expectativas dos usuários. **GLENNIE et al [1992]** dizem que uma tecnologia de controle que focaliza somente a economia de energia pode diminuir o conforto e a produtividade e assim passar a ser rejeitado pelos usuários e o empregador. **BREKKE E HANSEN [1993]** alertam que são raros os sistemas de controle automáticos que são aceitos pelos usuários. **ZONNEVELDT e RUTTEN [1993]** e **EMBRECHTS e BELLEGEM [1997]**, enfatizam que o sucesso dos controles automáticos está diretamente relacionado com a aceitação dos usuários. **VEITCH e NEWSHAM [1998]** dizem que os custos e benefícios da iluminação não são somente aqueles dos equipamentos, instalações, manutenção e energia; eles incluem os efeitos da iluminação nas pessoas e no espaço.

Um sistema de controle automático para obter sucesso deve cumprir os seguintes requisitos:

- Manter iluminância suficiente no plano de trabalho;
- Reduzir as razões de luminância dentro do campo de visão do usuário com níveis que evitem o ofuscamento;
- Evitar irritação causada pelo liga/desliga do sistema artificial.

Segundo **GLENNIE et al [1992]** sistemas de controle em resposta à luz natural podem gerar problemas de ofuscamento. Ao reduzir os níveis de iluminação artificial em resposta a luz natural disponível, o brilho da janela (luminância) torna-se muito mais alto do que a luminância interior resultando em ofuscamento.

LITTLEFAIR [1998] diz que um dos grandes problemas dos sistemas fotoelétricos é a rapidez com que as lâmpadas são ligadas e desligadas em função das flutuações dos níveis da luz natural. Isto aborrece os usuários e diminui a vida das lâmpadas. Algumas técnicas têm sido utilizadas para diminuir o número de acionamentos como, por exemplo, o controle diferencial e com tempo de retardo. No controle diferencial o sistema apresenta duas iluminâncias uma para desligar o sistema e outra menor para ligá-lo. No sistema com tempo de retardo a iluminação só

pode ser desligada “n” minutos após ter sido ligada ou após “n” minutos que a iluminância da luz natural ultrapassa a iluminância de projeto.

O caráter centralizador de muitos controles automáticos, onde um sensor controla várias luminárias causa descontentamento. Uma combinação de controles automáticos associados a controles manuais seria uma boa opção. **MANICCIA et al [1999]** dizem que ambos os controles liga/desliga e dimerizável satisfazem as expectativas dos usuários, principalmente quando este controle está locado em seu posto de trabalho. Segundo **SLATER et al [1996]** esta associação aumenta o desempenho do usuário e oferece maiores oportunidades de economia de energia, pois foi constatado que locais onde os usuários tinha pequeno ou nenhum controle sobre o sistema ocorreram grandes insatisfações. Segundo **MORROW et al [1998]**, já está claro e documentado que é muito importante dar às pessoas uma sensação de controle sobre seu ambiente, caso contrário elas se rebelam e ficam furiosas. Este controle deverá ser uma escolha e não um dever. O sistema correto permite ao usuário controlar o ambiente, mas não o obriga a isto. Exigir que o usuário faça constantemente ajustes no sistema é como ter um garçom em um restaurante que interrompe continuamente uma conversa para perguntar se está tudo correto. O usuário vai aos poucos ficando irritado.

Segundo **MORROW et al [1998]**, a maioria dos ocupantes utilizam os controles manuais quando tem esta oportunidade. Eles ajustam as luzes para realizarem suas tarefas com maior conforto, nunca pensando em economizar energia, mas a redução no consumo acaba acontecendo naturalmente.

Estudos realizados por **DILUIE [1998]** indicam que uma combinação de desligamento automático da iluminação através de sensores de presença e o controle manual dimerizável, apresenta-se como a estratégia mais efetiva na conservação de energia.

No capítulo seguinte, é apresentada uma metodologia, para estimar a potencialidade de aproveitamento da luz natural com a utilização de sistemas automáticos de controle da iluminação artificial para economia de energia elétrica. Também será descrito o modelo computacional utilizado para aplicação da metodologia proposta.

Capítulo 3

Metodologia

3.1. INTRODUÇÃO	45
3.2. PERCENTUAL DE APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL (PALN).....	46
3.3. DEFINIÇÃO DAS ZONAS DE ILUMINAÇÃO.....	48
3.4. ESTRATÉGIAS DE CONTROLE	48
3.4.1. Interruptor automático liga/desliga	49
3.4.2. Controlador automático de 3 passos	50
3.4.3. Controlador automático dimerizável.....	50
3.5. CÁLCULO DO PALN.....	51
3.5.1. Cálculo do PALN para um sistema de controle automático liga/desliga.....	52
3.5.2. Cálculo do PALN para um sistema de controle automático de 3 passos	56
3.5.3. Cálculo do PALN para um sistema de controle automático dimerizável	61
3.6. A FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO.....	63
3.7. O MODELO	65
3.7.1. Posicionamento das janelas.....	65
3.7.2. Tipos de janelas.....	66
3.7.3. Superfícies internas	68
3.7.4. Dimensões dos modelos.....	69
3.8. A ABÓBADA	70
3.9. PLANO DE EXAME.....	71

3.10. ILUMINÂNCIA DE PROJETO	71
3.11. DETERMINAÇÃO DAS ZONAS DE ILUMINAÇÃO NOS MODELOS	72
3.12. ILUMINÂNCIA MÉDIA DA LUZ NATURAL	77
3.13. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	78

3.1. INTRODUÇÃO

Na busca de uma edificação energeticamente eficiente a luz natural deve ser sempre levada em consideração em virtude do seu grande potencial de redução do consumo de energia gasta em iluminação artificial.

Segundo **BAKER et al [1993]**, para se obter todas as vantagens de todos os benefícios oferecidos pela luz natural é necessário adquirir profundo conhecimento de seu comportamento. Com este objetivo em mente, é importante analisar todas as possibilidades de iluminação natural disponíveis para os arquitetos. O primeiro passo é alcançar uma boa aproximação dos efeitos dos componentes de iluminação natural que estão sendo utilizados no projeto arquitetônico.

BAKER et al [1993] classificam os componentes de iluminação natural em dois agrupamentos básicos:

- Componentes de condução da luz;
- Componentes de passagem da luz;

Componentes de condução, que na sua configuração mais simples é o próprio espaço, serve de guia e distribuição da luz no ambiente interno, servindo de conexão entre os componentes de passagem. Já os componentes de passagem, tendo a janela como o elemento mais comum, são dispositivos projetados para permitir a passagem da luz de um ambiente para outro. Nos componentes de passagem também podem ser incorporados elementos de controle, que são dispositivos projetados para regular a admissão de luz dentro dos ambientes.

Este trabalho está limitado ao estudo de ambientes retangulares, tendo como componente de passagem janelas colocadas em sua envoltória. Não é propósito do trabalho, o estudo de componentes de passagem zenitais e globais, tampouco os efeitos e alterações que seriam proporcionadas na adoção de dispositivos de controle nos componentes de passagem.

Na seqüência é apresentada a metodologia adotada para obtenção dos objetivos do presente trabalho.

3.2. PERCENTUAL DE APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL (PALN)

O percentual de aproveitamento da luz natural (PALN) é a variável utilizada para avaliar e comparar o desempenho das diversas opções de controle. Através dela também é possível estimar a quantidade de energia economizada com a utilização da luz natural.

Determinar o PALN é estabelecer dentro do horário de utilização do ambiente o período no qual a luz natural poderá substituir ou complementar a luz artificial. O percentual de aproveitamento da luz natural é então dado pela **EQUAÇÃO 3.1**:

$$\text{PALN} = \text{PALN}_S + \text{PALN}_C \quad (3.1)$$

- Onde:
- PALN - Percentual de aproveitamento da luz natural;
 - PALN_S - Percentual de aproveitamento da luz natural por substituição da iluminação elétrica;
 - PALN_C - Percentual de aproveitamento da luz natural por complementação da iluminação elétrica.

Para que a luz natural possa substituir o sistema de iluminação artificial, a iluminância proporcionada por ela deverá ser maior ou igual à iluminância de projeto. Admitindo que E_{LN} é a iluminância proporcionada pela luz natural, E_P é a iluminância de projeto e E_{LA} é a iluminância gerada pelo sistema artificial de iluminação, o seguinte algoritmo de análise pode ser formulado:

se ($E_{LN} \geq E_P$) **então**

$$E_{LA} = 0$$

senão

"A iluminância da luz natural não pode substituir o sistema artificial, somente complementá-lo".

A luz natural poderá ser utilizada para complementar o sistema de iluminação artificial quando a iluminância proporcionada por ela, E_{LN} , for menor que a iluminância de projeto E_P e maior que a iluminância mínima que o sistema artificial poderá fornecer, $E_{\text{mín}}$.

se ($E_{\text{mín}} \leq E_{\text{LN}} < E_{\text{P}}$) **então**

$$E_{\text{LA}} = \% \text{ da iluminância de projeto } E_{\text{P}}$$

senão

$$E_{\text{LA}} = E_{\text{P}}$$

A iluminância mínima fornecida pelo sistema artificial dependerá da estratégia de controle adotada para a zona.

A análise do PALN para cada zona de controle é feita para três condições de céu (céu claro, parcial e encoberto). Para que a comparação entre as várias estratégias de controle de passo e as de diminuição contínua possa ser feita, torna-se necessário a atribuição de pesos aos PALNs correspondentes a probabilidade de ocorrência de cada tipo de céu. O valor do percentual de aproveitamento da luz natural ponderado para as três condições de céu é dado pela **EQUAÇÃO 3.2**:

$$\text{PALN}_{\text{P}} = [(\text{PALN}_{\text{CC}} \cdot \rho_{\text{cc}}) + (\text{PALN}_{\text{CP}} \cdot \rho_{\text{cp}}) + (\text{PALN}_{\text{CE}} \cdot \rho_{\text{ce}})] \quad (3.2)$$

- Onde:
- PALN_{P} - Percentual de aproveitamento da luz natural ponderado;
 - PALN_{CC} - Percentual de aproveitamento da luz natural com céu claro;
 - PALN_{CP} - Percentual de aproveitamento da luz natural com céu parcial;
 - PALN_{CE} - Percentual de aproveitamento da luz natural com céu encoberto;
 - ρ_{cc} - Probabilidade de ocorrência de céu claro;
 - ρ_{cp} - Probabilidade de ocorrência de céu parcial;
 - ρ_{ce} - Probabilidade de ocorrência de céu encoberto.

O somatório das probabilidades de ocorrência de céu claro, parcial e encoberto é igual a unidade.

$$\rho_{\text{CC}} + \rho_{\text{CP}} + \rho_{\text{CE}} = 1,0 \quad (3.3)$$

3.3. DEFINIÇÃO DAS ZONAS DE ILUMINAÇÃO

Em edificações que são utilizadas principalmente durante o dia (escolas, lojas, etc.), a iluminação artificial deve ser projetada de maneira a complementar a iluminação natural. A fim de que o projeto de iluminação artificial tenha um alto desempenho, o ambiente a ser iluminado deverá ser dividido em zonas de iluminação, com o objetivo de que a iluminação artificial de cada zona tenha um controle independente. As zonas de iluminação são caracterizadas por áreas que apresentam uma distribuição de iluminâncias com características similares. **ROBBINS [1986]** diz que confiar na experiência do passado e na intuição para definir as zonas poderá ser muito perigoso e não render os resultados esperados, devido a complexidade e a qualidade dinâmica da luz natural. O tamanho da zona dependerá da configuração da abertura, das condições de céu, e do período (mês, dia e hora). É recomendado que o arquiteto e/ou projetista de iluminação trabalhe com modelos em escala ou utilize programas computacionais para estimar os níveis de iluminação natural do ambiente.

Na determinação das zonas de iluminação deve-se procurar não os pontos que possuem os níveis de iluminância de projeto ou variações ao longo do ano e sim, por padrões de distribuição de iluminâncias que possam ser agrupados.

Segundo **ROBBINS [1986]** dentro de uma zona de iluminação, a razão entre a iluminância máxima e a iluminância mínima deverá ser sempre menor ou igual a 3:1 ($E_{máx}/E_{mín} \leq 3$), isto garantirá uma relação de contraste razoável. Esta recomendação poderá variar de acordo com a atividade visual que será desenvolvida na zona, nunca sendo superior a 9:1 ($E_{máx}/E_{mín} \leq 9$).

3.4. ESTRATÉGIAS DE CONTROLE

O tipo mais comum de controle do sistema de iluminação artificial é o controle manual de dois passos (liga/desliga), que poderá controlar luminárias individuais, conjunto de luminárias ou até mesmo todas as luminárias do espaço. Porém, quando se pretende realizar a integração

entre os sistemas de iluminação artificial e natural, é preciso ir mais além, utilizando-se sistemas automáticos de múltiplos passos ou sistemas dimerizáveis, que serão projetados com base em algum critério de necessidade de iluminação (iluminância média, ocupação da sala, etc.), pois só eles garantirão que a iluminação artificial será desligada quando a luz natural fornecer iluminância suficiente para a realização da atividade visual desenvolvida no ambiente.

A escolha da estratégia de controle apropriada é mais importante que a definição do tamanho e localização das zonas, pois a redução do consumo de energia elétrica gasta em iluminação em uma determinada zona dependerá desta estratégia. Podem ser utilizados três tipos de estratégias de controle em qualquer zona de uma sala:

- Interruptor liga/desliga automático;
- Interruptor de passo automático;
- Dimerização contínua automática.

Embora o interruptor liga/desliga seja uma forma de interruptor de passo, os dois são distintos por apresentarem características de desempenho diferentes. Com o interruptor liga/desliga não se consegue valores de iluminância intermediários entre o totalmente escuro e a iluminância máxima fornecida pelo sistema artificial. Embora existam interruptores de 4 e 5 passos este trabalho está limitado aos interruptores liga/desliga, de 3 passos e a dimerização contínua.

3.4.1. Interruptor automático liga/desliga

Um interruptor automático liga/desliga, também chamado de interruptor de dois passos, é utilizado nas áreas onde a iluminância da luz natural esperada, está acima da iluminância de projeto na maioria do tempo ou onde grandes saltos de iluminância interior na zona não aborrecem as pessoas. As luzes são apagadas (passo 1) quando a iluminância interior da luz natural é igual ou maior que a iluminância de projeto. As lâmpadas são ligadas (passo 2) quando a luz natural interior é menor que o iluminância de projeto da zona. O primeiro passo (luzes desligadas) para o interruptor liga/desliga é também o primeiro passo para todas as estratégias de passo.

Passo 1 : $E_P \leq E_{LN}$ - $E_{LA} = 0$

Passo 2 : $E_{LN} < E_P$ - $E_{LA} = E_P$

Onde: E_P - Iluminância de projeto;
 E_{LN} - Iluminância da luz natural;
 E_{LA} - Iluminância da luz artificial.

3.4.2. Controlador automático de 3 passos

O controlador de três passos é um interruptor utilizado em luminárias que possuem duas lâmpadas. No primeiro passo as duas lâmpadas estão desligadas, no segundo apenas uma lâmpada da luminária é acesa e ela passa a fornecer 50% do fluxo luminoso total e no terceiro e último passo, as duas lâmpadas são ligadas e a luminária passa a funcionar com seu fluxo máximo.

Passo 1 : $E_P \leq E_{LN}$ - $E_{LA} = 0$

Passo 2 : $0,50.E_P \leq E_{LN} < E_P$ - $E_{LA} = 0,50.E_P$

Passo 3 : $E_{LN} < 0,50.E_P$ - $E_{LA} = E_P$

3.4.3. Controlador automático dimerizável

Existem dois tipos de controladores automáticos dimerizáveis. O primeiro é um controlador de diminuição contínua do fluxo luminoso com a existência de um limite mínimo de fluxo, o que faz com que o sistema de iluminação artificial sempre proporcione uma iluminância mínima ($E_{mín}$). O segundo funciona da mesma maneira que o primeiro, com um adicional, a opção de desligar todo o sistema, fazendo com que não exista nenhuma iluminância gerada pela luz artificial quando esta não é necessária. Segundo **LITTLEFAIR [1998]** o primeiro tipo é inapropriado para os sistemas onde na maioria das horas a iluminância da luz natural (E_{LN}) ultrapassa a iluminância de projeto (E_P), visto que o sistema irá consumir energia desnecessariamente.

a) *Controlador dimerizável sem opção desliga:*

$$\begin{array}{ll} \text{Passo 1 :} & E_P \leq E_{LN} \quad - \quad E_{LA} = E_{\text{mín}} \\ \text{Passo 2 :} & E_{\text{mín}} \leq E_{LN} < E_P \quad - \quad E_{LA} = E_P - E_{LN} \\ \text{Passo 3 :} & E_{LN} < E_{\text{mín}} \quad - \quad E_{LA} = E_P \end{array}$$

b) *Controlador dimerizável com opção desliga:*

$$\begin{array}{ll} \text{Passo 1 :} & E_P \leq E_{LN} \quad - \quad E_{LA} = 0 \\ \text{Passo 2 :} & E_{\text{mín}} \leq E_{LN} < E_P \quad - \quad E_{LA} = E_P - E_{LN} \\ \text{Passo 3 :} & E_{LN} < E_{\text{mín}} \quad - \quad E_{LA} = E_P \end{array}$$

Para estabelecer o tipo de controlador ideal para uma zona, o projetista tem que analisar as características de desempenho de cada técnica de controle e determinar a melhor para a zona. Em alguns casos, a mesma estratégia de controle pode ser usada em todas as zonas da sala; em outros, uma estratégia diferente para cada zona poderá ser a solução que traga os melhores resultados.

Nas zonas de iluminação próximas as janelas, onde os níveis de iluminação são elevados, uma estratégia de controle liga/desliga poderá proporcionar uma economia de energia bem próxima da economia proporcionada pela estratégia dimerizável. No caso das zonas de iluminação mais afastadas das janelas uma estratégia de liga/desliga certamente não trará bons resultados sendo necessário adotar uma estratégia dimerizável.

3.5. CÁLCULO DO PALN

Neste item é demonstrado o procedimento de cálculo do PALN para 3 estratégias de controle:

- Controle automático liga/desliga;
- Controle automático de 3 passos;
- Controle automático dimerizável.

3.5.1. Cálculo do PALN para um sistema de controle automático liga/desliga

Com a estratégia de controle liga/desliga ou interruptor de dois passos o percentual de aproveitamento da luz natural a cada hora analisada se dá somente por substituição da iluminação artificial. O aproveitamento da luz natural por complementação com esta estratégia não é possível, pois não existem passos intermediários entre a emissão do fluxo luminoso total com todas as lâmpadas ligadas e a inexistência de fluxo luminoso artificial, quando nenhuma lâmpada está ligada.

Na estratégia de controle com interruptor de dois passos, a iluminância mínima fornecida pelo sistema é a iluminância de projeto E_P . Quando a iluminância média da luz natural no interior da zona (E_{LN}) for maior ou igual a iluminância de projeto (E_P) o sistema será desligado.

$$\text{Passo 1 : } \quad E_P \leq E_{LN} \quad - \quad E_{LA/1} = 0$$

Reciprocamente, sempre que a iluminância média proporcionada pela luz natural (E_{LN}) for menor que a iluminância de projeto (E_P), o sistema é acionado.

$$\text{Passo 2 : } \quad E_{LN} < E_P \quad - \quad E_{LA/2} = E_P$$

O percentual de aproveitamento da luz natural por substituição para cada condição de céu e para cada dia analisado é a relação que existe entre o número de horas em que a iluminância da luz natural é maior que a iluminância de projeto pelo número total de horas (n) de utilização do ambiente (**EQUAÇÃO 3.4**). No presente estudo a análise é feita no período das 8 às 18 horas, resultando num "n" igual a 11.

$$PALN_s = \frac{\sum_0^n (E_{LN} \geq E_P)}{n} \quad (3.4)$$

A **FIGURA 3.1** mostra como exemplo a planilha de cálculo do PALN em uma zona de iluminação com as seguintes características:

- Estratégia de controle de 2 passos;

- Iluminância de projeto de 500 Lux;
- Três condições de céu (claro; parcial e encoberto);
- Mês de Janeiro;
- Fachada principal orientada para Leste;
- Iluminação unilateral com janela total;
- Utilização do ambiente das 8 h às 18 h.

2 passos - Z1																					
EP 500		Céu Claro				Céu Parcial				Céu Encoberto											
Mês Jan/Nov		ELN	ELN > EP	ELR	ETot	ELN	ELN > EP	ELR	ETot	ELN	ELN > EP	ELR	ETot								
8	3193	1	0	3193	1587	1	0	1587	326	0	500	826									
9	2969	1	0	2969	1924	1	0	1924	566	1	0	566									
10	2412	1	0	2412	1858	1	0	1858	799	1	0	799									
11	1519	1	0	1519	1405	1	0	1405	981	1	0	981									
12	602	1	0	602	822	1	0	822	1078	1	0	1078									
13	497	0	500	997	457	0	500	957	1073	1	0	1073									
14	379	0	500	879	370	0	500	870	966	1	0	966									
15	310	0	500	810	2363	1	0	2363	777	1	0	777									
16	248	0	500	748	1665	1	0	1665	541	1	0	541									
17	217	0	500	717	1138	1	0	1138	303	0	500	803									
18	169	0	500	669	621	1	0	621	109	0	500	609									
PALN		0,45				PALN				0,82				PALN				0,73			

FIGURA 3.1 - Cálculo do PALN para estratégia de controle automático liga/desliga.

Determinado os percentuais de aproveitamento da luz natural por substituição para todas as condições de céu e com os valores de probabilidade de ocorrência de céu claro, parcial e encoberto, calcula-se os percentuais de aproveitamento da luz natural ponderados, utilizando-se a EQUAÇÃO 3.5.

$$PALN_{S,P} = [(PALN_{S,CC} \cdot \tilde{n}_{cc}) + (PALN_{S,CP} \cdot \tilde{n}_{cp}) + (PALN_{S,CE} \cdot \tilde{n}_{ce})] \quad (3.5)$$

Onde: $PALN_{S,P}$ - Percentual de aproveitamento da luz natural por substituição ponderado;

$PALN_{S,CC}$ - Percentual de aproveitamento da luz natural por substituição com céu claro;

$PALN_{S,CP}$ - Percentual de aproveitamento da luz natural por substituição com céu parcial;

$PALN_{S,CE}$ - Percentual de aproveitamento da luz natural por substituição com céu encoberto;

ρ_{cc} - Probabilidade de ocorrência de céu claro;

ρ_{cp} - Probabilidade de ocorrência de céu parcial;

ρ_{ce} - Probabilidade de ocorrência de céu encoberto.

Além do percentual de aproveitamento da luz natural, também é determinado a iluminância média total na zona de iluminação através da **EQUAÇÃO 3.6**:

$$E_{TOT} = E_{LN} + E_{LA} \quad (3.6)$$

Onde: E_{TOT} - Iluminância total no ponto de controle;

E_{LN} - Iluminância da luz natural;

E_{LA} - Iluminância da luz artificial.

Através do conhecimento da iluminância média total em cada hora de utilização da zona, o projetista poderá analisar o desempenho da estratégia adotada e identificar possíveis problemas que ela possa trazer aos usuários do sistema de iluminação.

O percentual de aproveitamento da luz natural anual por substituição ponderado ($PALN_{S,P-ANUAL}$) será a média aritmética dos $PALN_{S,P}$ mensais (**EQUAÇÃO 3.7**).

$$PALN_{S,P-ANUAL} = \frac{\sum_{1}^{12} PALN_{S,P-MENSAL}}{12} \quad (3.7)$$

Onde: $PALN_{S,P-ANUAL}$ - Percentual de aproveitamento da luz natural anual por substituição ponderado;

$PALN_{S,P-MENSAL}$ - Percentual de aproveitamento da luz natural mensal por substituição ponderado.

A FIGURA 3.2 apresenta como exemplo a planilha de cálculo do PALN ponderado para uma determinada zona de iluminação.

	Probabilidade			PALN			Proba x PALN			
	CC	CP	CE	CC	CP	CE	CC	CP	CE	PALNP
Jan	6,56	31,62	61,82	0,45	0,82	0,73	0,03	0,26	0,45	0,74
Fev	8,22	37,93	53,85	0,45	0,82	0,55	0,04	0,31	0,29	0,64
Mar	6,45	35,72	57,83	0,45	0,82	0,55	0,03	0,29	0,32	0,64
Abr	17,06	47,66	35,28	0,45	0,91	0,45	0,08	0,43	0,16	0,67
Mai	14,25	43,06	42,69	0,45	0,73	0,27	0,06	0,31	0,12	0,49
Jun	14,16	36,70	49,14	0,45	0,82	0,09	0,06	0,30	0,04	0,41
Jul	16,91	42,85	40,24	0,45	0,73	0,27	0,08	0,31	0,11	0,50
Ago	7,83	44,60	47,57	0,45	0,91	0,45	0,04	0,41	0,22	0,66
Set	6,88	34,74	58,38	0,45	0,82	0,55	0,03	0,28	0,32	0,63
Out	10,31	27,09	62,60	0,45	0,82	0,55	0,05	0,22	0,34	0,61
Nov	10,42	36,48	53,10	0,45	0,82	0,73	0,05	0,30	0,39	0,73
Dez	12,39	30,50	57,11	0,45	0,91	0,73	0,06	0,28	0,42	0,75

EP 500 PALNP Anual 0,62

FIGURA 3.2 - Cálculo do PALN ponderado para estratégia de controle automático liga/desliga.

Após calcular o percentual de aproveitamento da luz natural anual ponderado de cada zona determina-se o da sala através da EQUAÇÃO 3.8, que leva em consideração a área de cada zona.

$$PALN_{SALA} = \frac{[(PALN_{S,P-ANUAL-1} \cdot A_1) + (PALN_{S,P-ANUAL-2} \cdot A_2) + \dots + (PALN_{S,P-ANUAL-n} \cdot A_n)]}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (3.8)$$

Onde: $PALN_{S,P-ANUAL-1}$, $PALN_{S,P-ANUAL-2}$ e $PALN_{S,P-ANUAL-n}$

São os percentuais de aproveitamento da luz natural anual por substituição ponderado de cada zona;

A_1 , A_2 e A_n - São as áreas de cada zona de iluminação que somadas representam a área total do modelo.

A FIGURA 3.3 mostra o resultado final do cálculo do PALN para a estratégia adotada.

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	EP
	Área 0,2000	Área 0,2000	Área 0,2500	Área 0,3500	500
	PALN	PALN	PALN	PALN	Sala
Jan	0,74	0,20	0,01	0,00	0,19
Fev	0,64	0,27	0,01	0,00	0,19
Mar	0,64	0,19	0,01	0,00	0,17
Abr	0,67	0,28	0,00	0,00	0,19
Mai	0,49	0,21	0,04	0,00	0,15
Jun	0,41	0,14	0,00	0,00	0,11
Jul	0,50	0,22	0,04	0,00	0,15
Ago	0,66	0,23	0,00	0,00	0,18
Set	0,63	0,18	0,01	0,00	0,16
Out	0,61	0,21	0,02	0,00	0,17
Nov	0,73	0,24	0,02	0,00	0,20
Dez	0,75	0,20	0,01	0,00	0,19
	0,62	0,21	0,01	0,00	0,17

FIGURA 3.3 - Cálculo do PALN da sala para estratégia de controle automático liga/desliga.

3.5.2. Cálculo do PALN para um sistema de controle automático de 3 passos

Ao contrário da estratégia de controle automático liga/desliga, onde o aproveitamento da luz natural se dá única e exclusivamente por substituição, aqui o aproveitamento da luz natural ocorre por substituição quando a iluminância média da luz natural for maior que a iluminância de projeto ($E_{LN} \geq E_P$) e por complementação quando a iluminância média da luz natural for menor que a iluminância de projeto, mas possui valores acima da iluminância mínima fornecida pelo sistema ($E_P > E_{LN} \geq E_{mín}$; $E_{mín} = 50\%$ da E_P).

Neste tipo de estratégia será considerada uma nova variável denominada fator de economia (FE). O fator de economia (FE) na estratégia de controle automático de três passos poderá assumir três valores distintos. Quando a iluminância média da luz natural for maior que a iluminância de projeto o sistema de iluminação artificial estará desligado, ou seja, a iluminância

da luz artificial será nula, e o sistema apresentará um fator de economia de energia gasta em iluminação de 100%.

$$\begin{aligned} \text{Passo 1 :} \quad E_P \leq E_{LN} & \quad - \quad E_{LA/1} = 0 \\ & \quad FE_1 = 1,00 \end{aligned}$$

Nas situações em que a iluminância média da luz natural for menor que a iluminância de projeto e maior ou igual a 50% desta, o sistema artificial fornecerá 50% do seu fluxo máximo e apresentará um fator de economia de 50%, ou seja, metade do sistema artificial de iluminação estará desligada.

$$\begin{aligned} \text{Passo 2 :} \quad (0,50 \cdot E_P) \leq E_{LN} < E_P & \quad - \quad E_{LA/2} = 0,50 \cdot E_P \\ & \quad FE_2 = 0,50 \end{aligned}$$

O terceiro e último passo ocorre quando a iluminância média da luz natural é menor que a iluminância mínima que o sistema de iluminação artificial pode fornecer (50% da E_P). Nesta situação o sistema de iluminação artificial funciona com sua capacidade máxima não sendo possível nenhuma economia de energia gasta em iluminação ($FE = 0$).

$$\begin{aligned} \text{Passo 3 :} \quad E_{LN} < (0,50 \cdot E_P) & \quad - \quad E_{LA/3} = E_P \\ & \quad FE_3 = 0 \end{aligned}$$

O percentual de aproveitamento da luz natural total será dado pela **EQUAÇÃO 3.1**, onde o $PALN_S$ é dado pela **EQUAÇÃO 3.4** e o $PALN_C$ é dado pela **EQUAÇÃO 3.9**.

$$PALN_C = \frac{\sum_0^n (0,50 \cdot E_P \leq E_{LN} < E_P)}{n} \cdot FE_2 \quad (3.9)$$

A **FIGURA 3.4** mostra como exemplo a planilha de cálculo do PALN em uma zona de iluminação com as seguintes características:

- Estratégia de controle de 3 passos;

- Iluminância de projeto de 500 Lux;
- Três condições de céu (claro; parcial e encoberto);
- Mês de Janeiro;
- Fachada principal orientada para Leste;
- Iluminação unilateral com janela total;
- Utilização do ambiente das 8 h às 18 h.

3 passos - Z1																							
EP 500		Céu Claro						Céu Parcial						Céu Encoberto									
Mês Jan/Nov		ELN	ELN>EP	ELN>=EP	ELN<=EP	ELA1	ELA2	ETot	ELN	ELN>EP	ELN>=EP	ELN<=EP	ELA1	ELA2	ETot	ELN	ELN>EP	ELN>=EP	ELN<=EP	ELA1	ELA2	ETot	
8	3193	1	0	0	0	0	3193	1587	1	0	0	0	0	1587	326	0	1	0	0	250	576		
9	2969	1	0	0	0	0	2969	1924	1	0	0	0	0	1924	566	1	0	0	0	0	566		
10	2412	1	0	0	0	0	2412	1858	1	0	0	0	0	1858	799	1	0	0	0	0	799		
11	1519	1	0	0	0	0	1519	1405	1	0	0	0	0	1405	981	1	0	0	0	0	981		
12	602	1	0	0	0	0	602	822	1	0	0	0	0	822	1078	1	0	0	0	0	1078		
13	497	0	1	0	0	250	747	457	0	1	0	0	250	707	1073	1	0	0	0	0	1073		
14	379	0	1	0	0	250	629	370	0	1	0	0	250	620	966	1	0	0	0	0	966		
15	310	0	1	0	0	250	560	2363	1	0	0	0	0	2363	777	1	0	0	0	0	777		
16	248	0	0	1	500	0	748	1665	1	0	0	0	0	1665	541	1	0	0	0	0	541		
17	217	0	0	1	500	0	717	1138	1	0	0	0	0	1138	303	0	1	0	0	250	553		
18	169	0	0	1	500	0	669	621	1	0	0	0	0	621	109	0	0	1	500	0	609		
						PALN 0,59						PALN 0,91						PALN 0,82					

FIGURA 3.4 - Cálculo do PALN para estratégia de controle automático de três passos.

Determinados os PALNs para cada uma das condições de céu, procede-se como no primeiro caso (liga/desliga), determinando-se os percentuais de aproveitamento da luz natural ponderados de cada zona utilizando-se a EQUAÇÃO 3.2 para os valores mensais e a EQUAÇÃO 3.7 para determinar o PALN ponderado anual (FIGURA 3.5). Após determinar o PALN_{P-ANUAL} de cada zona, calcula-se o percentual de aproveitamento da sala (PALN_{SALA}) através da EQUAÇÃO 3.8 (FIGURA 3.6).

	Probabilidade			PALN			Proba x PALN			PALNP
	CC	CP	CE	CC	CP	CE	CC	CP	CE	
Jan	6,56	31,62	61,82	0,59	0,91	0,82	0,04	0,29	0,51	0,83
Fev	8,22	37,93	53,85	0,59	0,91	0,68	0,05	0,34	0,37	0,76
Mar	6,45	35,72	57,83	0,59	0,86	0,64	0,04	0,31	0,37	0,71
Abr	17,06	47,66	35,28	0,59	0,91	0,59	0,10	0,43	0,21	0,74
Mai	14,25	43,06	42,69	0,55	0,82	0,45	0,08	0,35	0,19	0,62
Jun	14,16	36,70	49,14	0,59	0,82	0,32	0,08	0,30	0,16	0,54
Jul	16,91	42,85	40,24	0,55	0,82	0,45	0,09	0,35	0,18	0,63
Ago	7,83	44,60	47,57	0,59	0,91	0,59	0,05	0,41	0,28	0,73
Set	6,88	34,74	58,38	0,59	0,86	0,64	0,04	0,30	0,37	0,71
Out	10,31	27,09	62,60	0,59	0,91	0,68	0,06	0,25	0,43	0,73
Nov	10,42	36,48	53,10	0,59	0,91	0,82	0,06	0,33	0,43	0,83
Dez	12,39	30,50	57,11	0,59	0,95	0,82	0,07	0,29	0,47	0,83
EP 500										PALNP Anual 0,72

FIGURA 3.5 - Cálculo do PALN ponderado para estratégia de controle automático de 3 passos.

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Sala
	Área 0,2000	Área 0,2000	Área 0,2500	Área 0,3500	
Jan	0,83	0,34	0,08	0,00	0,25
Fev	0,76	0,40	0,11	0,00	0,26
Mar	0,71	0,30	0,08	0,00	0,22
Abr	0,74	0,37	0,09	0,00	0,25
Mai	0,62	0,29	0,08	0,00	0,20
Jun	0,54	0,25	0,05	0,00	0,17
Jul	0,63	0,30	0,08	0,00	0,20
Ago	0,73	0,32	0,07	0,00	0,23
Set	0,71	0,30	0,08	0,00	0,22
Out	0,73	0,35	0,09	0,00	0,24
Nov	0,83	0,37	0,09	0,00	0,26
Dez	0,83	0,38	0,09	0,00	0,27
0,72	0,33	0,08	0,00	0,23	

FIGURA 3.6 - Cálculo do PALN da sala para estratégia de controle automático de 3 passos.

3.5.3. Cálculo do PALN para um sistema de controle automático dimerizável

Os sistemas de controle automático dimerizáveis são projetados a fim de que o sistema de iluminação artificial forneça à zona de iluminação o mínimo fluxo luminoso. O fluxo luminoso artificial somado ao fluxo luminoso da luz natural produzirá a iluminância de projeto.

Segundo **CHOI e SUNG [2000]**, as características dos reatores eletrônicos dimerizáveis são fatores importantes para alcançar um ótimo desempenho do sistema. Medições realizadas por **CHOI e MISTRICK [1999]** verificaram que os sistemas dimerizáveis com lâmpadas fluorescentes apresentam uma relação linear entre o fluxo luminoso de saída e a potência de entrada a partir de um fluxo luminoso mínimo ($E_{\text{mín}}$) e uma potência de entrada mínima ($P_{\text{mín}}$) até um fluxo luminoso máximo ($E_{\text{máx}}$) com uma potência máxima de entrada ($P_{\text{máx}}$). Esta relação é representada no gráfico da **FIGURA 3.7**.

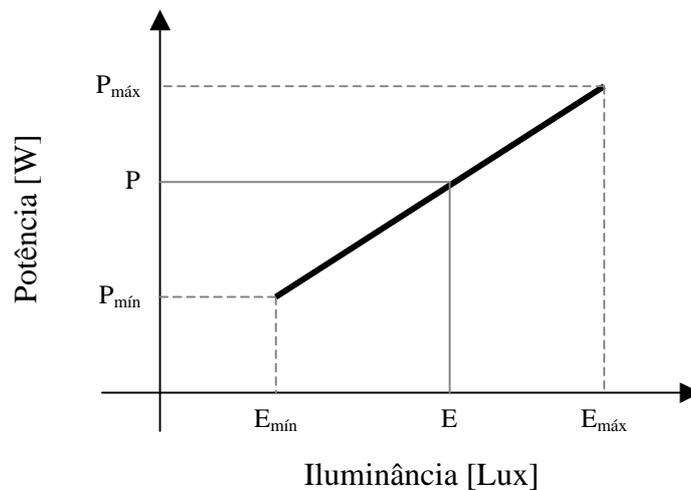


FIGURA 3.7 - Relação linear entre a potência e a iluminância em sistemas dimerizáveis.

Portanto, para que o sistema forneça uma iluminância "E" ele terá que consumir uma potência "P", dada pela **EQUAÇÃO 3.10**, que será um percentual da potência total.

$$P = P_{\text{mín}} + \left[\frac{(P_{\text{máx}} - P_{\text{mín}})}{(E_{\text{máx}} - E_{\text{mín}})} \right] \cdot (E - E_{\text{mín}}) \quad (3.10)$$

Onde :

- P - Potência consumida pelo sistema;
- $P_{\text{mín}}$ - Potência mínima consumida pelo sistema;
- $P_{\text{máx}}$ - Potência máxima consumida pelo sistema;
- E - Iluminância fornecida pelo sistema ($E = E_P - E_{\text{LN}}$);
- $E_{\text{mín}}$ - Iluminância mínima fornecida pelo sistema;
- $E_{\text{máx}}$ - Iluminância máxima fornecida pelo sistema.

Neste tipo de sistema, o fator de economia (FE) de cada hora dependerá da iluminância média da luz natural e de suas características, tais como: potências máxima e mínima e dos níveis de iluminância máximo e mínimo. O fator de economia para um sistema dimerizável é dado pela **EQUAÇÃO 3.11** para valores de iluminância artificial entre a iluminância de projeto e a iluminância mínima que o sistema fornece ($E_{\text{mín}} \leq E_{\text{LA}} < E_P$)

$$FE = 1 - \frac{P_{\text{mín}}}{P_{\text{máx}}} - \left[\frac{(P_{\text{máx}} - P_{\text{mín}})}{(E_{\text{máx}} - E_{\text{mín}})} \right] \cdot \frac{(E_P - E_{\text{LN}} - E_{\text{mín}})}{P_{\text{máx}}} \quad (3.11)$$

Caso a necessidade de iluminação complementar seja menor que o mínimo que o sistema fornece, o fator de economia então é dado pela **EQUAÇÃO 3.12**.

$$FE = 1 - \frac{P_{\text{mín}}}{P_{\text{máx}}} \quad (3.12)$$

Nesta estratégia, como em todas as outras, o aproveitamento da luz natural por substituição acontece quando a iluminância da luz natural é maior ou igual a iluminância de projeto. Para valores de iluminância da luz natural abaixo da iluminância de projeto o aproveitamento da luz natural se dá por complementação e o $PALN_C$ é determinado através da **EQUAÇÃO 3.13**.

$$PALN_C = \frac{\sum_0^n FE_n}{n} \quad (3.13)$$

Onde :

- $PALN_C$ - Percentual de aproveitamento da luz natural por complementação;

- FE_n - Fator de economia da hora analisada;
- n - Número de horas do período analisado.

A FIGURA 3.8 mostra a determinação do PALN para a estratégia de controle automático dimerizável. No exemplo o P_{\min} é 40% do P_{\max} e E_{\min} é 10% da E_p .

Dimerizável - Z1																	
EP 500		Céu Claro				Céu Parcial					Céu Encoberto						
Mês Jan/Nov		ELN	ELN>EP	ELN<EP	ELA	ETot	ELN	ELN>EP	ELN<EP	ELA	ETot	ELN	ELN>EP	ELN<EP	ELA	ETot	
8	3193	1	0,00	0	3193	1587	1	0,00	0	1587	326	0	0,43	174	500		
9	2969	1	0,00	0	2969	1924	1	0,00	0	1924	566	1	0,00	0	566		
10	2412	1	0,00	0	2412	1858	1	0,00	0	1858	799	1	0,00	0	799		
11	1519	1	0,00	0	1519	1405	1	0,00	0	1405	981	1	0,00	0	981		
12	602	1	0,00	0	602	822	1	0,00	0	822	1078	1	0,00	0	1078		
13	497	0	0,60	50	547	457	0	0,60	50	507	1073	1	0,00	0	1073		
14	379	0	0,51	121	500	370	0	0,49	130	500	966	1	0,00	0	966		
15	310	0	0,41	190	500	2363	1	0,00	0	2363	777	1	0,00	0	777		
16	248	0	0,33	252	500	1665	1	0,00	0	1665	541	1	0,00	0	541		
17	217	0	0,29	283	500	1138	1	0,00	0	1138	303	0	0,40	197	500		
18	169	0	0,23	331	500	621	1	0,00	0	621	109	0	0,15	391	500		
PALN					0,67	PALN					0,92	PALN					0,82

FIGURA 3.8 - Cálculo do PALN para estratégia de controle automático dimerizável.

A partir deste ponto, para calcular o percentual de aproveitamento da luz natural para a sala ($PALN_{SALA}$), procede-se como nos casos anteriores.

A aplicação da metodologia de determinação do PALN será em um modelo com características pré-definidas e os dados de disponibilidade de luz natural dentro do mesmo será obtido através de um programa de simulação computacional.

3.6. A FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO

Para obter o PALN é necessário determinar a iluminância que a luz natural proporciona dentro do ambiente, ou seja, a disponibilidade de luz natural no ambiente interno. Entre a grande variedade de programas disponíveis destacam-se os seguintes: CONTROLITE, QUICKLITE,

RADIANCE, SUPERLITE e DOE, todos desenvolvidos pelo Lawrence Berkeley Laboratory, Califórnia, USA; LUMEN Micro desenvolvido pelo Lighting Technologies Inc, Colorado, USA e o programa LIGHTSCAPE, hoje de propriedade da empresa americana Autodesk. Embora estes programas possibilitem determinar a iluminância proporcionada pela luz natural no ambiente interno, eles não permitem a execução da metodologia proposta, em virtude da dificuldade de acesso as informações que seriam necessárias, o que inviabilizaria o processo.

Para aplicar esta metodologia em um número limitado de modelos foi então utilizado o programa computacional LUZSOLAR, que usa um sistema global de referência geográfica denominado Modelo Vetorial Esférico, **CLARO [1998]**. O céu, por sua vez (a abóbada celeste), é caracterizado por um conjunto de luminâncias associadas a cada direção de visualização, inclusive uma posição especificada como a posição do Sol em dada circunstância. Os valores e a distribuição das luminâncias para as diferentes condições de céu (claro, encoberto e parcial) seguem os modelos matemáticos padronizados recomendados pela IES (Illuminating Engineering Society), **REA [1999]**. A simulação da propagação da luz natural no ambiente interno é feita através do algoritmo da Radiosidade.

O programa computacional LUZSOLAR possibilitou a aplicação da metodologia pelo acesso existente ao seu código fonte. Para que o programa computacional LUZSOLAR fosse utilizado como ferramenta de simulação neste trabalho, o professor Anderson Claro introduziu rotinas que possibilitaram a aplicando da metodologia proposta.

Para a obtenção dos PALNs foi desenvolvido o programa computacional LUZPALN. Ao simular um modelo no LUZSOLAR, este apresenta como saída arquivos textos com a iluminância média da luz natural de cada zona de iluminação para as 7 datas que representam o ano e para as três condições de céu (claro, parcial e encoberto). O LUZPALN com da saída de dados do LUZSOLAR aplica a metodologia descrita no item 3.5 para obtenção dos PALNs das zonas de iluminação e da sala.

3.7. O MODELO

O processamento é feito considerando-se um ambiente de características convexas onde não há superposição de superfícies no interior para determinação da visibilidade: é representado por um paralelepípedo ortogonal, dividido em piso, paredes, teto e janelas (situadas apenas nas paredes). A análise é feita apenas para o interior do ambiente. O modelo possui ainda um vetor de orientação da fachada principal, que será utilizado na definição da orientação desta fachada em relação ao norte geográfico.

Os modelos nos quais procura-se compreender o comportamento da luz natural dentro do ambiente são caracterizados pelos seguintes parâmetros:

Posicionamento das janelas: em uma face, em duas faces adjacentes e em duas faces opostas;

Tipos de janelas: 3 tipos diferentes expressos como uma fração da largura da parede, apresentando altura fixa de 1,5 metros.

Cada modelo analisado, caracterizado pelo tipo de janela e sua posição nas paredes do ambiente, têm no programa computacional utilizado, pré-calculados os coeficientes necessários para o cálculo da iluminância no plano de trabalho.

3.7.1. Posicionamento das janelas

Serão simulados três posicionamentos de janelas que caracterizarão o tipo de iluminação do ambiente:

Unilateral: a iluminação natural é feita por janelas colocadas apenas na parede frontal do modelo, apontadas pelo vetor de orientação (**FIGURA 3.9a**);

Adjacentes: a iluminação é feita por janelas colocadas na parede frontal e na lateral adjacente à direita (**FIGURA 3.9b**) da parede frontal;

Oposta: a iluminação é feita por janelas colocadas na parede frontal e na parede posterior do modelo, oposta a frontal (**FIGURA 3.9c**).

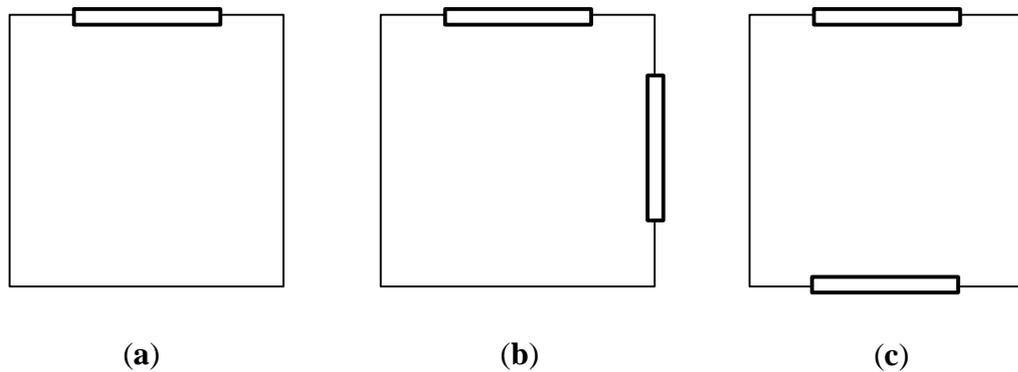


FIGURA 3.9 – Posicionamento das janelas nos modelos.

3.7.2. Tipos de janelas

Todas as janelas são consideradas como tendo um peitoril fixo de 1 metro e uma altura fixa de 1,5 metros, com vidro transparente de 0,86 de transmitância (T_{VIS}), quaisquer que sejam os modelos ou tipos de janelas (**FIGURA 3.10**).

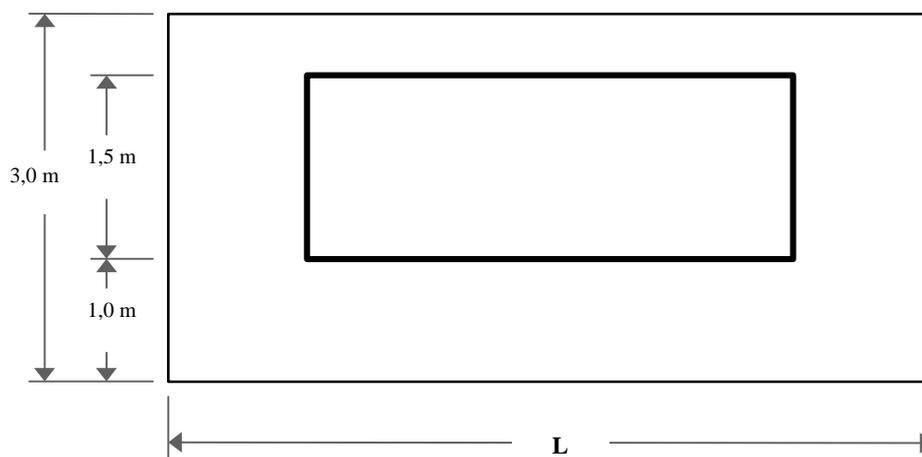


FIGURA 3.10 - Altura e peitoril das janelas nos modelos.

A largura das janelas é relacionada à largura da parede onde se inserem e a quantidade de janelas naquela parede. São os seguintes tipos de janelas e relações dimensionais:

Janela única: apenas uma janela é colocada na parede, com a largura equivalente a metade do vão da parede (**FIGURA 3.11**);

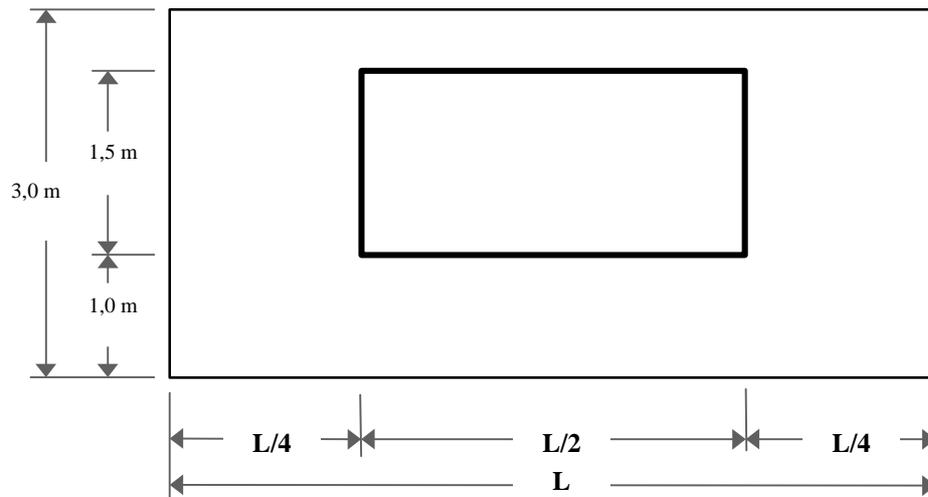


FIGURA 3.11 - Parede com uma única janela (tamanho e posição).

Neste tipo de janela o WWR (*Window to Wall Ratio* – razão da área da janela pela área da parede) é igual a 0,25, ou seja, a área da janela corresponde a 25% da área da parede.

Janela dupla: duas janelas são colocadas na parede, cada uma com $1/3$ do vão da parede, apresentando um WWR igual 33%. O espaçamento entre elas e a parede é igual, ou seja, $1/9$ da largura da parede (**FIGURA 3.12**);

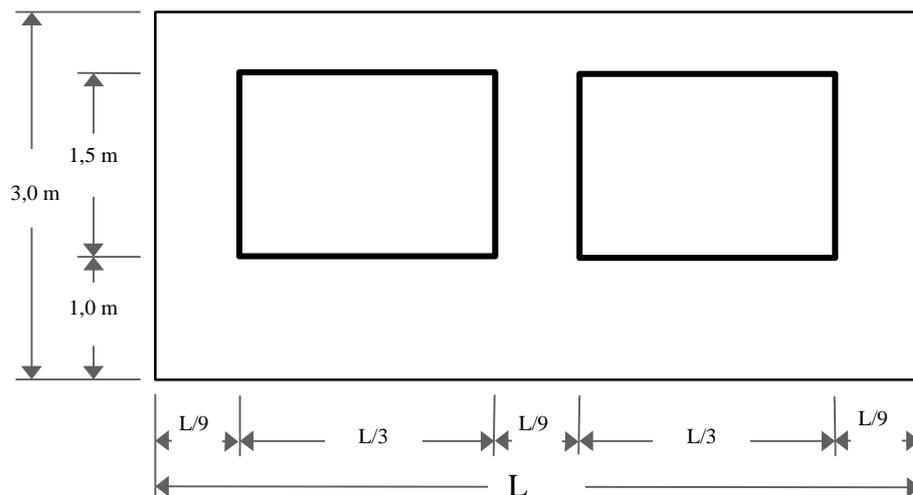


FIGURA 3.12 - Parede com janela dupla (tamanho e posição).

Janela total: a janela tem largura equivalente ao vão da parede onde se insere, apresentando um WWR igual a 50%. (FIGURA 3.13).

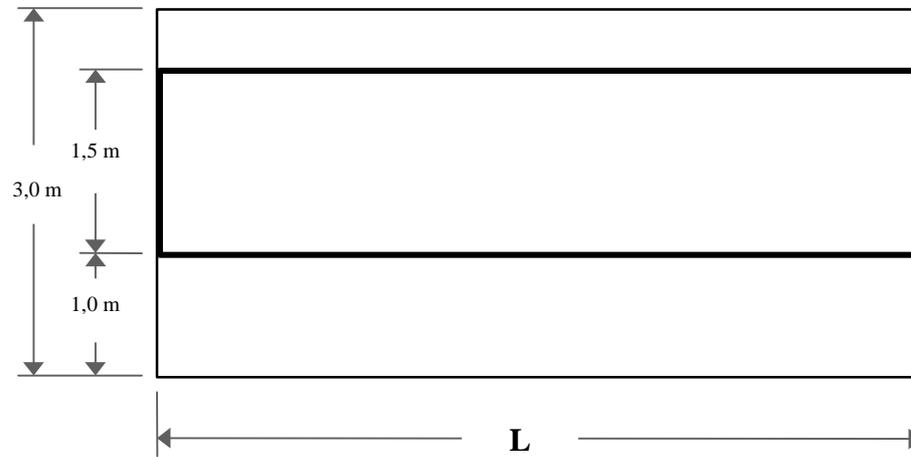


FIGURA 3.13 - Parede com janela total (tamanho e posição).

O tipo de janela é adotado, em um modelo, de forma uniforme para todas as paredes com janela. Os modelos com duas janelas têm, nos tipos adjacentes e opostas, duas janelas em ambas as paredes.

3.7.3. Superfícies internas

A escolha das refletâncias das superfícies internas de um ambiente é muito importante em um projeto de iluminação. Um planejamento adequado das refletâncias do teto, paredes e piso, em um ambiente de trabalho é capaz de proporcionar a seus usuários uma atmosfera agradável, segura e com menos propensão de danos a sua saúde. Este ambiente agradável diminuirá os riscos de fadiga visual evitando assim falhas na execução das tarefas, logo, resultará em um aumento de produtividade, STEFFY [1990].

A utilização de superfícies com altos índices de reflexão poderá melhorar significativamente o rendimento do sistema de iluminação, aumentando o nível de iluminamento geral do ambiente sem que seja necessário aumentar o fluxo luminoso das fontes de luz.

Na **TABELA 3.1** são apresentadas as refletâncias típicas de ambientes de trabalho sugeridas por **STEFFY [1990]**. Ele diz que estes valores são baseados em refletâncias reais e não valores teóricos inatingíveis.

TABELA 3.1 - Refletâncias de superfícies em ambientes de trabalho.

SUPERFÍCIE	REFLETÂNCIA	MATERIAL
Pisos	10 a 20%	Carpete
		Madeira
		Lajota
Tetos	70% ou mais	Gesso
		Tetos pintados com cores claras
Paredes	30 a 50%	Paredes pintadas com cores médias

Fonte: **STEFFY [1990]**.

Com base nas refletâncias sugeridas na **TABELA 3.1**, serão adotados nos modelos simulados os seguintes valores de refletância das superfícies internas:

- Teto - refletância de 70%;
- Paredes - refletância de 50%;
- Piso - refletância de 20%.

3.7.4. Dimensões dos modelos

O presente trabalho está limitado ao estudo de modelos de ambientes retangulares com largura fixa (6 m) e profundidade variável (4; 5; 6; 7; 8; 9 e 10 m). Nestes modelos a largura é medida na parede frontal apontada pelo vetor de orientação. Para 3 tipos de iluminação (unilateral, oposto, adjacente direito), 3 tipos de janelas (janela única, janela dupla e janela total) e 7 dimensões, tem-se um total de 63 modelos.

3.8. A ABÓBADA

Os parâmetros para definição das condições da abóbada referem-se aos seguintes aspectos:

Localização geográfica: representada pela latitude, longitude e altitude do local do projeto.

Orientação do projeto: expressa pelo ângulo de azimute entre o Norte geográfico e o vetor de orientação da fachada principal do projeto.

Os modelos serão simulados para a cidade de Florianópolis-SC (longitude 48°34' - Oeste; latitude 27°35' - Sul; e altitude de 1,83 m), com a fachada principal (fachada que contém a janela) orientada para o Norte (azimute 0°), Leste (azimute 90°), Sul (azimute 180°) e Oeste (azimute 270°).

Com os dados de localização geográfica e orientação do modelo, o programa simulador executa o processamento da abóbada para três condições distintas de céu (claro, parcial e encoberto) e para 7 datas específicas que definem um conjunto de dias típicos representativos do percurso anual do sol, mês a mês:

- 22 de Dezembro;
- 28 de Janeiro (15 de novembro);
- 28 de Fevereiro (15 de Outubro);
- 21 de Março (23 de setembro);
- 15 de Abril (30 de Agosto);
- 15 de Maio (30 de Julho);
- 22 de Junho.

Com estas 7 datas tem-se a caracterização da distribuição de luminâncias do céu ao longo do ano. Para cada uma destas datas, nas horas inteiras de 8 h às 18 h inclusive, serão calculadas as iluminâncias de cada uma das parcelas de um plano de exame situado dentro do modelo simulado.

3.9. PLANO DE EXAME

O plano de exame (**FIGURA 3.14**) é uma superfície horizontal situada a 75 cm do piso do modelo e ocupando toda a extensão de área entre as paredes. O plano de exame é parcelado em unidades de área quadrada de 33 cm x 33cm (para os modelos com profundidade de 4, 5, 6 e 7 metros) ou 50 cm x 50 cm (para os modelos com profundidade de 8, 9 e 10 metros), caracterizados pelas coordenadas do seu ponto central, onde será calculada a iluminância da parcela. O tamanho maior das parcelas dos modelos com 8, 9 e 10 metros tem como finalidade diminuir o tempo de processamento das simulações.

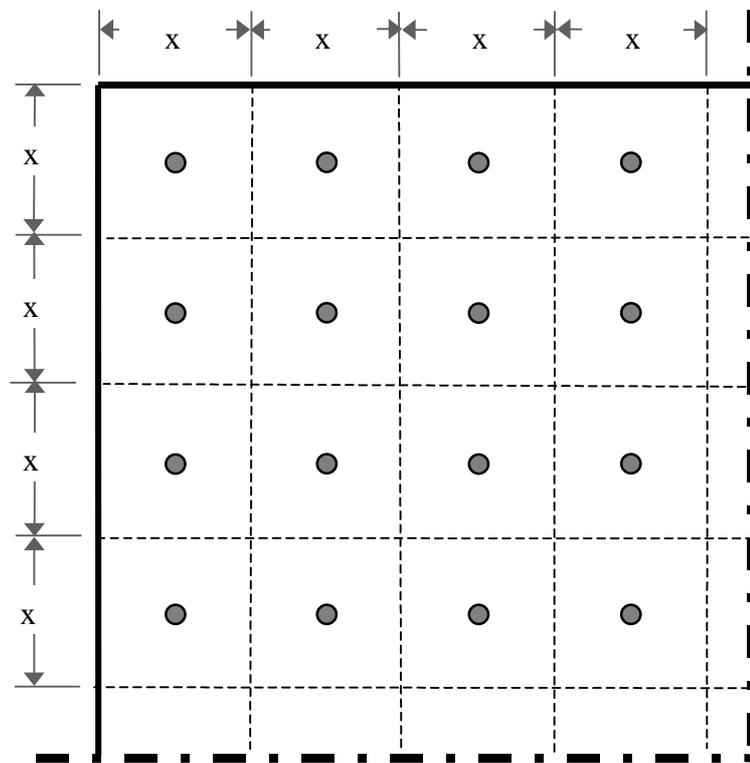


FIGURA 3.14 - Malha de pontos do plano de exame.

3.10. ILUMINÂNCIA DE PROJETO

As iluminâncias de projeto adotadas para a determinação dos PALNs são de 300 Lux, 500 Lux e 1000 Lux. Estes três níveis englobam praticamente todas as atividades estabelecidas

na **NBR 5413 [1992]**, norma brasileira registrada que recomenda os níveis de iluminação para ambientes internos.

3.11. DETERMINAÇÃO DAS ZONAS DE ILUMINAÇÃO NOS MODELOS

O procedimento de determinação das zonas de iluminação nos modelos simulados é realizado da seguinte maneira:

- ❑ A cada hora é determinada a iluminância de cada uma das parcelas do plano de exame (**FIGURA 3.16**);
- ❑ Determinadas as iluminâncias de cada parcela do plano de exame, identifica-se a iluminância mínima ($E_{\text{mín}}$). Se a iluminância mínima for inferior a 50 Lux, assume-se 50 Lux como sendo a iluminância mínima;
- ❑ A iluminância mínima será o ponto de partida para a definição da faixa de cada zona de iluminação. As zonas de iluminação de cada hora simulada terão os seguintes limites: ($E_{\text{mín}}$); ($3xE_{\text{mín}}$); ($9xE_{\text{mín}}$); ($27xE_{\text{mín}}$); ($81xE_{\text{mín}}$) e assim sucessivamente até que seja atingido a iluminância máxima do ambiente (**FIGURA 3.15**);

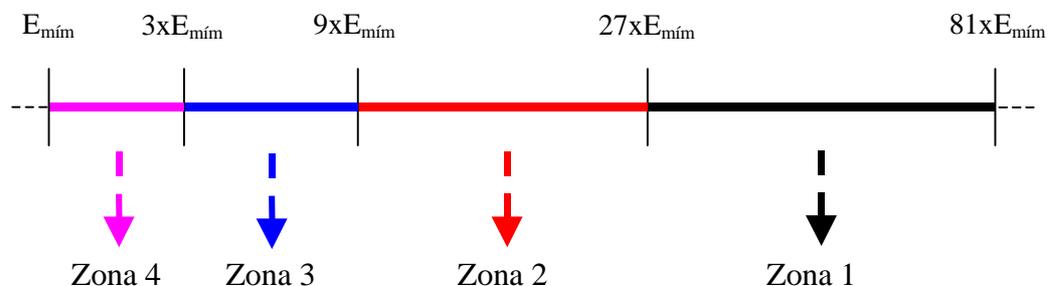


FIGURA 3.15 - Limites das zonas de iluminação.

- Definido o número de zonas da hora simulada e os limites das mesmas, o próximo passo é atribuir a cada parcela do plano de exame a indicação a qual zona a parcela pertence;

Na FIGURA 3.16, tem-se um exemplo da zona atribuída a cada parcela do plano de exame. No exemplo, a iluminância mínima é de 17 Lux e a máxima de 1444 Lux. Para definição dos limites das zonas será assumido um $E_{\text{mín}} = 50$ Lux, resultando nas seguintes zonas de iluminação:

Zona 4 : de 50 a 150 Lux;

Zona 3 : de 151 a 450 Lux;

Zona 2 : de 451 a 1350 Lux;

Zona 1 : de 1351 a 4050 Lux.

As parcelas do plano de exame com iluminâncias inferiores a 50 Lux é atribuído "Zona 0".

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

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

FIGURA 3.16 - Definição das zonas de iluminação das parcelas do plano de exame.

- Identificado a qual zona de iluminação cada parcela pertence em cada uma das horas simuladas, é atribuído à parcela a zona que nela ocorreu com maior frequência. Neste momento tem-se o mapa de distribuição de zonas (FIGURA 3.17) que garantirá uma razão de iluminâncias dentro da zona menor ou igual a 3 ($E_{\text{máx}}/E_{\text{mín}} \leq 3$) na maioria das horas de utilização do ambiente. Na FIGURA 3.17 às parcelas de cor verde indicam que nelas a zona que mais ocorreu foi à zona 1. Nas

parcelas azul claro o que mais ocorreu foi a zona 2, enquanto nas parcelas de cor azul escuro a predominância foi de zona 3 e nas parcelas de cor preto zona 4.

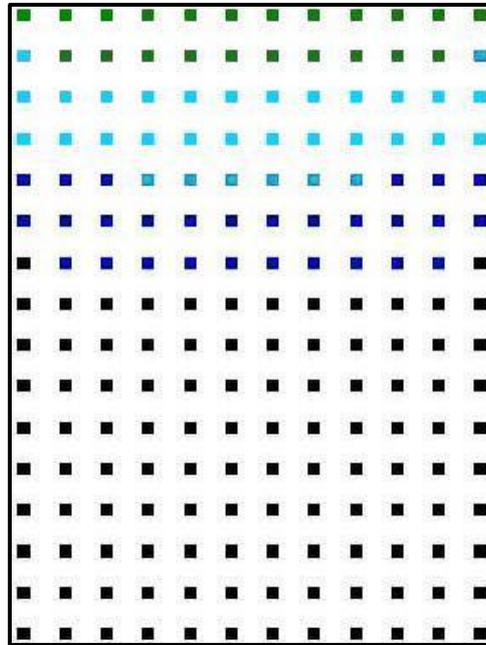


FIGURA 3.17 - Zonas de Iluminação (Modelo 6 x 8; Iluminação Unilateral; Janela Total)

O mapa de zonas de iluminação é gerado para as 3 condições de céu (claro, parcial e encoberto). Com os três mapas então se decide pelo número e distribuição das zonas de iluminação para o modelo simulado.

Deve-se ter em mente que um maior número de zonas em uma sala, possibilitará um melhor controle da iluminação e conseqüentemente uma maior oportunidade de economia de energia. Porém, os custos iniciais podem aumentar com o aumento do número de zonas. Quando uma sala é dividida em um pequeno número de zonas, a redução no desempenho do sistema integrado de iluminação é compensado pela redução nos custos iniciais do sistema. Como em qualquer outro sistema de engenharia, uma combinação de desempenho, custos iniciais, custos operacionais e de manutenção devem ser avaliados a fim de obter a estratégia de controle ótima para a edificação e para o seu proprietário.

Para a determinação das zonas em cada modelo é adotado o seguinte procedimento:

- ❑ De posse dos mapas gerados para as 3 condições de céu (claro, parcial e encoberto) determina-se o número e a distribuição das zonas para o modelo simulado através de um processo visual. Observa-se na **TABELA 2.1** que a ocorrência média de cada tipo de céu é a seguinte:

- ✓ Céu claro : 11%;
- ✓ Céu parcial : 37%;
- ✓ Céu encoberto : 52%.

Como o céu claro ocorre apenas 11% do período, deve-se na definição das zonas de iluminação levar em consideração mais os mapas de céu parcial e céu encoberto, pois estes ocorrem com uma frequência bem maior. A **FIGURA 3.18** exemplifica este procedimento.

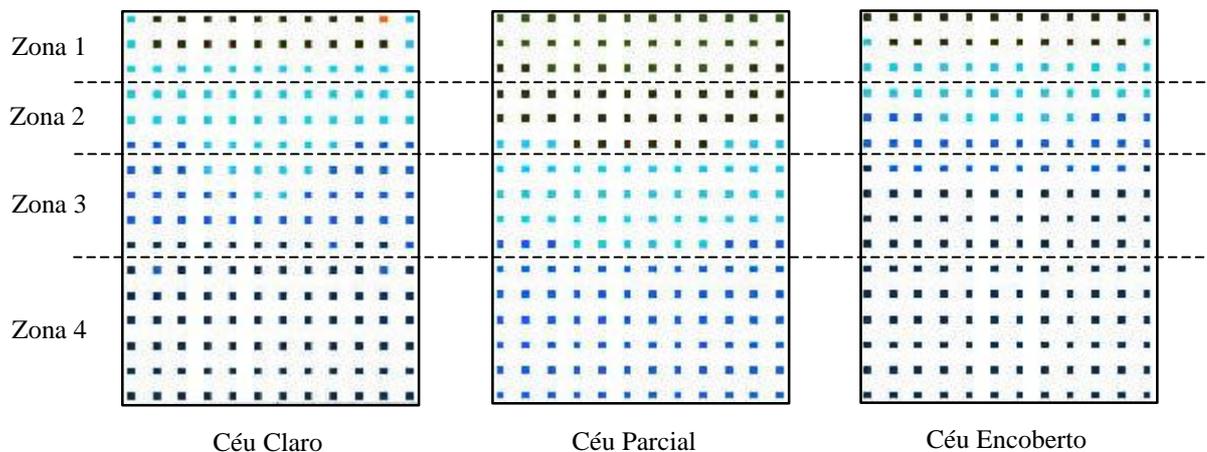


FIGURA 3.18 – Mapas das zonas de Iluminação

(Modelo 6 x 8; Iluminação Unilateral; Janela Total; Orientação Norte)

- ❑ Repete-se o mesmo procedimento no modelo variando-se a profundidade do mesmo e então se determina a profundidade de cada zona como um percentual da profundidade do modelo. A **TABELA 3.2** mostra como exemplo o modelo com iluminação unilateral com janela total tendo a fachada principal orientada para o norte.

TABELA 3.2 – Profundidade das zonas de iluminação.

Zonas	Profundidades													
	4		5		6		7		8		9		10	
	NL	%	NL	%	NL	%	NL	%	NL	%	NL	%	NL	%
1	3	25	4	26	4	22	4	19	3	19	3	17	4	20
2	3	25	3	20	3	17	4	19	3	19	4	22	3	15
3	3	25	4	27	4	22	6	29	4	25	5	28	5	25
4	3	25	4	27	7	39	7	33	6	37	6	33	8	40
Total	12	100	15	100	18	100	21	100	16	100	18	100	20	100

NL – Número linhas de parcelas do plano de exame.

- Determinada a profundidade de cada zona como um percentual da profundidade do modelo calcula-se então a profundidade percentual média das zonas de iluminação (**TABELA 3.3**);

TABELA 3.3 – Profundidade média das zonas de iluminação.

Zonas	Profundidades							Profundidade Média [%]
	4	5	6	7	8	9	10	
1	25	26	22	19	19	17	20	20
2	25	20	17	19	19	22	15	20
3	25	27	22	29	25	28	25	25
4	25	27	39	33	37	33	40	35

Os valores de profundidade média em percentual da **TABELA 3.3** são os adotados para definir a profundidade de cada zona no modelo de 6m de largura, com iluminação unilateral tendo sua janela de vão total orientada para o norte. Tomando como exemplo o modelo de 6 m de largura e 8 m de profundidade tem-se a distribuição de zonas conforme a **FIGURA 3.19**.

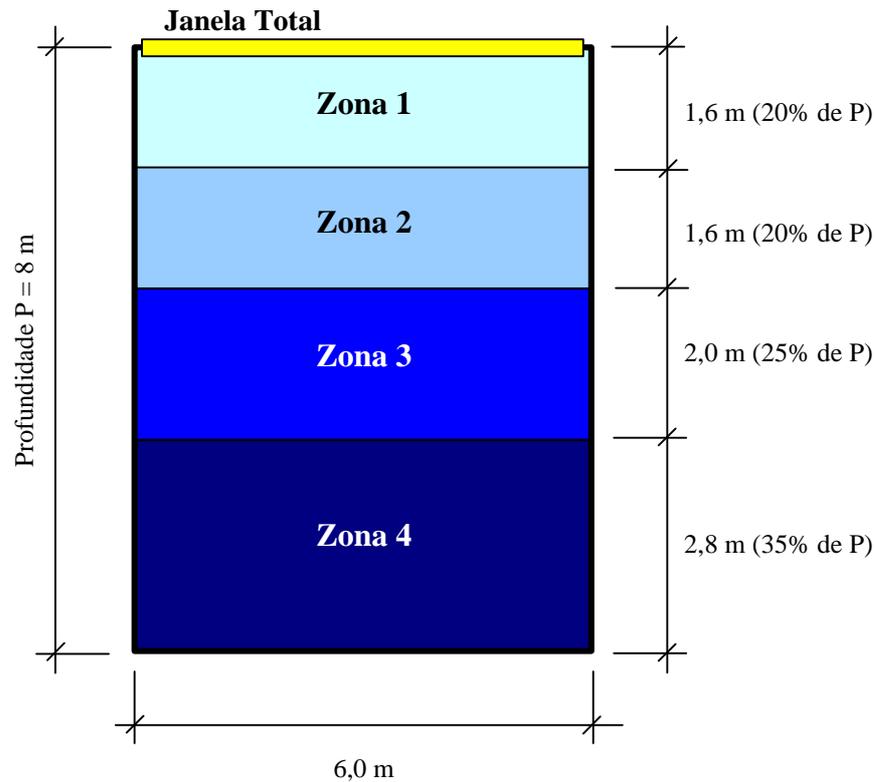


FIGURA 3.19 – Zonas de Iluminação

(Modelo 6 x 8; Iluminação Unilateral; Janela Total; Orientação Norte)

O modelo utilizado para descrever o procedimento de determinação das zonas de iluminação foi o que possuía a iluminação natural entrando através de uma única parede do ambiente (parede frontal). Para os modelos com iluminação oposta e adjacente a rotina é exatamente a mesma, o que mudará serão o número e a configuração das zonas de iluminação.

3.12. ILUMINÂNCIA MÉDIA DA LUZ NATURAL

A entrada da radiação solar direta dentro das zonas de iluminação faz com que as parcelas do plano de exame que são atingidas por ela apresentem níveis de iluminância elevados. Estes níveis elevados além de desnecessários, distorcem a iluminância média da zona. Com o objetivo de eliminar estes níveis de iluminância elevados, utilizou-se de um artifício: sempre que a iluminância média da zona de iluminação ultrapassasse 3000 Lux, a simulação era refeita mudando-se as características da janela, trocando-se o vidro claro ($T_{VIS} = 0,86$) por um vidro

difuso ($T_{VIS} = 0,40$), que distribuiria de maneira mais uniforme a luz em todo o ambiente. O objetivo deste artifício foi a simulação de um elemento de controle na janela.

Depois de definido o modelo e realizadas as simulações no mesmo, é feita uma análise nos dados obtidos para verificar qual a potencialidade de economia de energia que existe quando se faz o aproveitamento da luz natural associado a estratégias de controle da luz artificial. Esta análise é apresentada no capítulo seguinte.

3.13. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A apresentação dos valores dos PALNs encontrados para os modelos será feita para as 2268 situações (3 tipos de iluminação; 3 tipos de Janelas; 4 orientações da fachada principal; 3 estratégias de controle automático da iluminação artificial; 3 iluminâncias de projeto e 7 profundidades de sala).

No caso dos PALNs obtidos para cada zona de iluminação, os mesmo serão apresentados por faixas de valores: acima de 10%, 30%, 50% e 70%, em virtude da grande quantidade de simulações realizadas (3024 para modelos com iluminação unilateral, 2268 para modelos com iluminação oposta e 3024 para modelos com iluminação adjacente).

Capítulo 4

Análise e Discussão dos Resultados

4.1. INTRODUÇÃO	80
4.2. ZONAS DE ILUMINAÇÃO	80
4.2.1. Modelo com iluminação unilateral.....	80
4.2.2. Modelo com iluminação oposta	82
4.2.3. Modelo com iluminação adjacente.....	85
4.3. PERCENTUAL DE APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL (PALN).....	89
4.3.1. PALN nos modelos com iluminação unilateral e controle automático liga/desliga.....	89
4.3.2. PALN nos modelos com iluminação unilateral e controle automático de 3 passos	96
4.3.3. PALN nos modelos com iluminação unilateral e controle automático dimerizável.....	102
4.3.4. Estratégias de controle automático nos modelos com iluminação unilateral.....	110
4.3.5. PALN nos modelos com iluminação oposta e controle automático liga/desliga	112
4.3.6. PALN nos modelos com iluminação oposta e controle automático de 3 passos	118
4.3.7. PALN nos modelos com iluminação oposta e controle automático dimerizável....	124
4.3.8. Estratégias de controle automático nos modelos com iluminação oposta	132
4.3.9. PALN nos modelos com iluminação adjacente e controle automático liga/desliga.....	134
4.3.10. PALN nos modelos com iluminação adjacente e controle automático de 3 passos	140
4.3.11. PALN nos modelos com iluminação adjacente e controle automático dimerizável.....	146
4.3.12. Estratégias de controle automático nos modelos com iluminação adjacente.....	155
4.4. COMPARAÇÃO ENTRE OS TIPOS DE ILUMINAÇÃO	157

4.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nas simulações nos modelos (Iluminação Unilateral, Iluminação Oposta e Iluminação Adjacente). Primeiramente as simulações foram realizadas para determinação das zonas de iluminação para as quatro orientações (Norte, Leste, Sul e Oeste). Determinadas as zonas de iluminação o passo seguinte foi determinar os PALN's para as zonas de iluminação e para o modelo variando-se as estratégias de controle (liga/desliga, 3 passos e dimerizável) e os níveis de iluminamento (300 Lux, 500 Lux e 1000 Lux).

4.2. ZONAS DE ILUMINAÇÃO

Nesta seção é mostrado o resultado da aplicação da metodologia proposta para obtenção das zonas de iluminação em modelos com iluminação unilateral, oposta e adjacente.

4.2.1. Modelo com iluminação unilateral

A configuração das zonas de iluminação nos modelos com iluminação unilateral é apresentada na **FIGURA 4.1**; e na **FIGURA 4.2** um exemplo de mapa de zonas gerado pelo LuzSolar. Este tipo de iluminação determina a criação de 4 zonas de iluminação paralelas à parede que contém a janela possuindo profundidades variáveis. A **TABELA 4.1** mostra a variação no tamanho das zonas de iluminação quando a fachada principal do modelo muda sua orientação (Norte, Leste, Sul e Oeste).

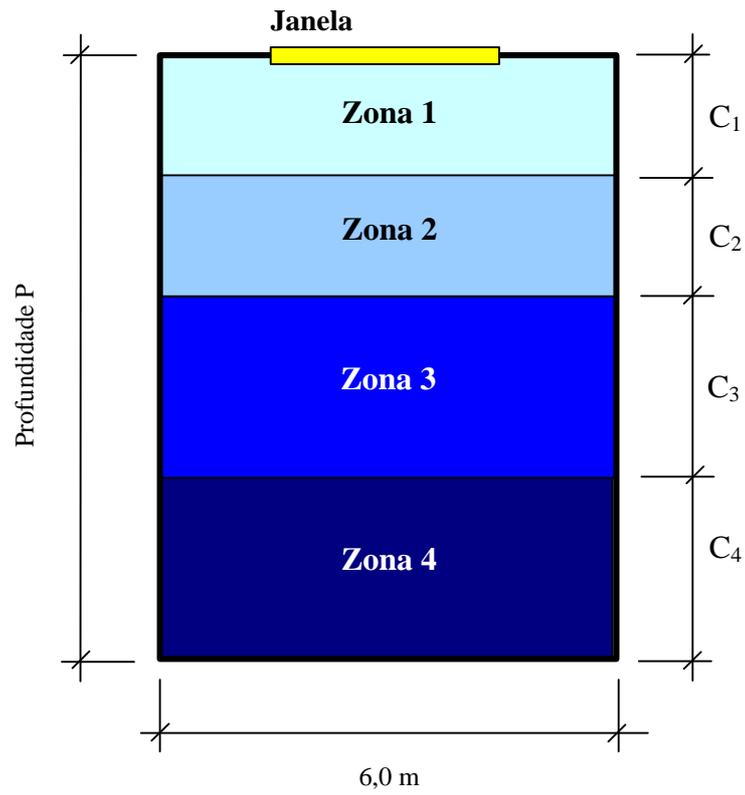


FIGURA 4.1 - Zonas de Iluminação nos modelos com iluminação unilateral.

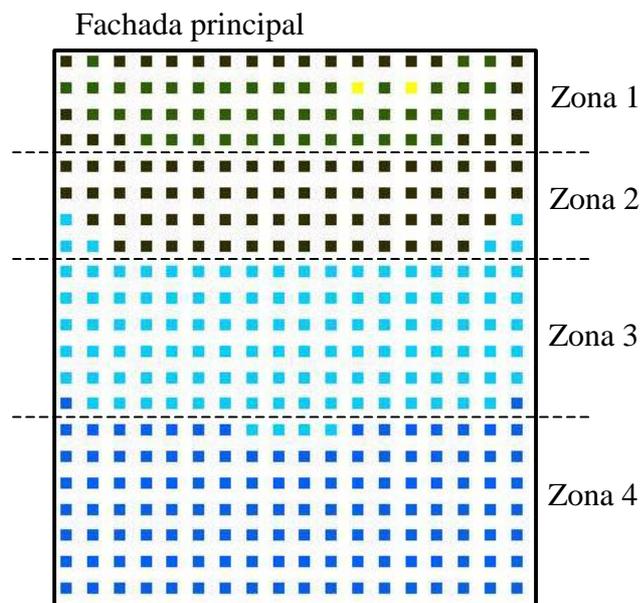


FIGURA 4.2 - Mapa de zonas de iluminação.
(Modelo 6 x 7; Iluminação Unilateral; Janela Total; Norte)

TABELA 4.1 - Tamanho das zonas de iluminação nos modelos com iluminação unilateral.

Modelos com	Profundidade da	Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
Janela Única WWR = 0,25	C ₁	20	20	20	20
	C ₂	20	20	20	20
	C ₃	30	30	25	30
	C ₄	30	30	35	30
Janela Dupla WWR = 0,33	C ₁	20	20	20	20
	C ₂	20	20	20	20
	C ₃	25	25	25	25
	C ₄	35	35	35	35
Janela Total WWR = 0,50	C ₁	20	20	20	20
	C ₂	20	20	20	20
	C ₃	25	25	25	25
	C ₄	35	35	35	35

Conforme pode ser visto na **TABELA 4.1** a orientação da fachada principal não tem influência na configuração das zonas quando o ambiente apresenta iluminação unilateral. Nos modelos com janela dupla e janela total a configuração foi exatamente igual para todas as zonas. No modelo com janela única houve uma pequena diferença no tamanho das zonas de iluminação 3 e 4 (as mais afastadas da abertura de iluminação) quando o modelo teve a sua fachada principal orientada para o Sul. A zona 3 apresentou um tamanho de 5% da profundidade do modelo a menos e conseqüentemente a zona 4 teve um acréscimo de 5% da profundidade do modelo.

4.2.2. Modelo com iluminação oposta

A **FIGURA 4.3** mostra a distribuição de zonas de iluminação nos modelos com iluminação oposta. Quando a iluminação natural é feita através de janelas colocadas em paredes opostas, ocorrem 3 zonas de iluminação paralelas às paredes que contém as aberturas. Conforme pode ser visto na **FIGURA 4.4** o mapa de zonas para este tipo de iluminação mostra que as zonas

próximas às janelas apresentam características semelhantes, diferentes da zona central. Para este caso, a nomenclatura é a seguinte:

- ❑ Zona 1A (zona de iluminação próxima à fachada principal);
- ❑ Zona 2 (zona de iluminação no centro do modelo);
- ❑ Zona 1B (zona de iluminação próxima à parede oposta a fachada principal).

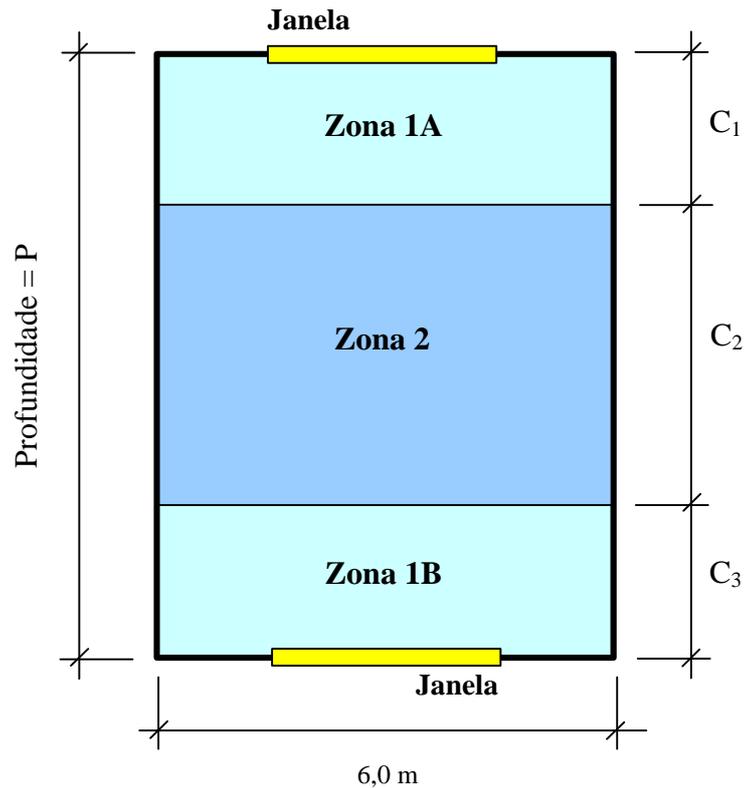


FIGURA 4.3 - Zonas de Iluminação nos modelos com iluminação oposta.

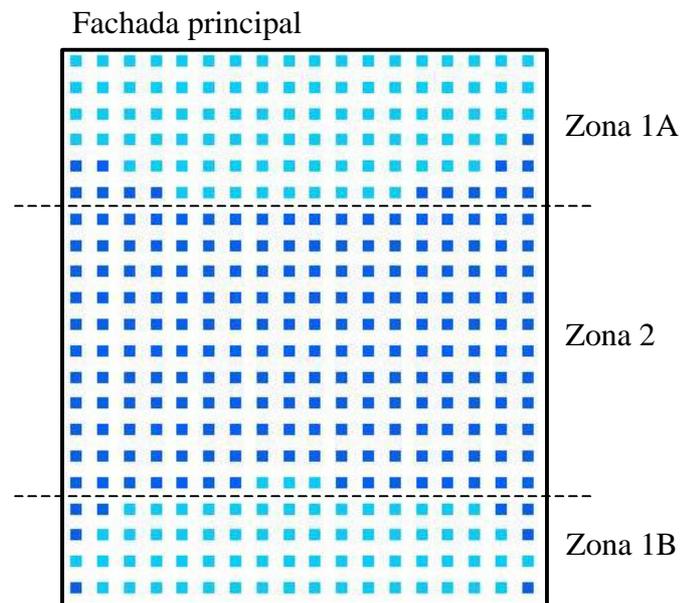


FIGURA 4.4 - Mapa de zonas de Iluminação.

(Modelo 6 x 7; Iluminação Oposta; Janela Total; Norte)

Na **TABELA 4.2** pode-se ver o tamanho destas zonas quando é modificada a orientação da fachada principal.

TABELA 4.2 - Tamanho das zonas de iluminação nos modelos com iluminação oposta.

Modelos com	Profundidade da	Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
Janela Única (WWR = 0,25) x 2	C ₁	30	30	25	30
	C ₂	45	40	45	40
	C ₃	25	30	30	30
Janela Dupla (WWR = 0,33) x 2	C ₁	30	25	25	25
	C ₂	45	50	45	50
	C ₃	25	25	30	25
Janela Total (WWR = 0,50) x 2	C ₁	30	25	25	25
	C ₂	45	50	45	50
	C ₃	25	25	30	25

Como no caso da iluminação unilateral a configuração de zonas com iluminação oposta sofre pequenas modificações em função da orientação da fachada principal.

Uma característica observada na **TABELA 4.2** é que a zona central do modelo possui aproximadamente o dobro do tamanho das zonas extremas.

4.2.3. Modelo com iluminação adjacente

A **FIGURA 4.5** mostra a distribuição de zonas de iluminação nos modelos com iluminação adjacente. Quando a luz natural entra no ambiente através de janelas colocadas em paredes adjacentes, a configuração das zonas de iluminação se dá de maneira diferente dos outros dois casos anteriores (unilateral e oposta). Enquanto nos modelos com iluminação unilateral e oposta as zonas são paralelas à parede da fachada principal, aqui se tem uma das zonas perpendicular à fachada principal, ou seja, paralela à janela adjacente (**FIGURA 4.6**).

Neste caso também existem zonas de iluminação com características semelhantes e a nomenclatura adotada é a seguinte:

- Zona 1A (zona de iluminação próxima à fachada principal);
- Zona 1B (zona de iluminação próxima à parede adjacente à fachada principal);
- Zona 2;
- Zona 3.

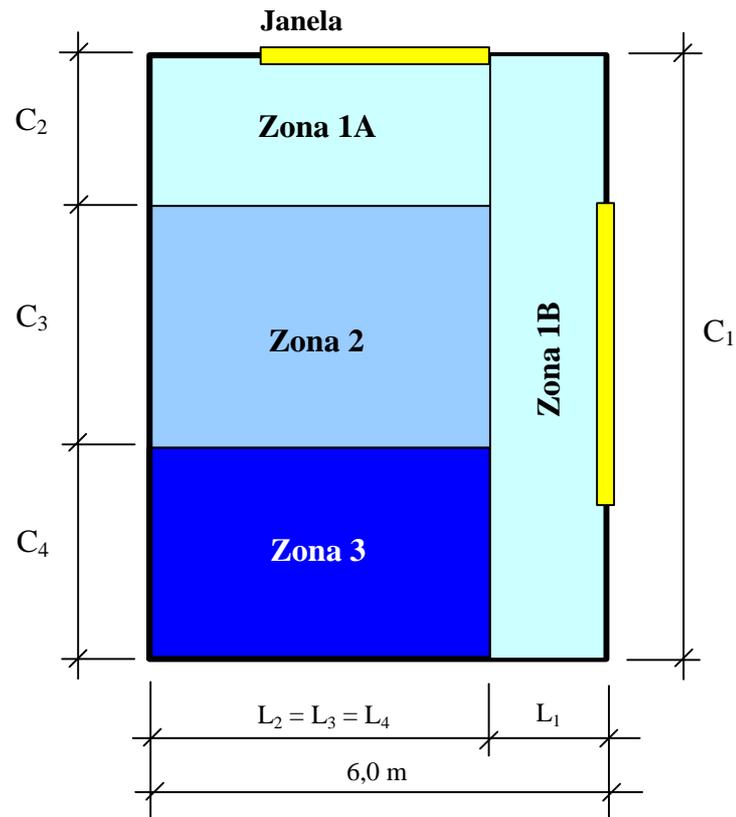


FIGURA 4.5 - Zonas de Iluminação nos modelos com iluminação adjacente.

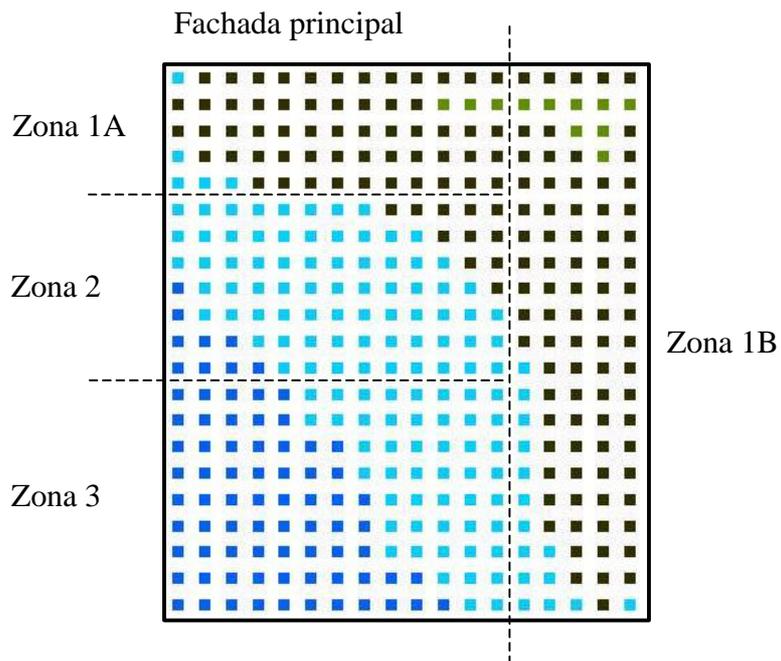


FIGURA 4.6 - Mapa de Zonas de Iluminação.
(Modelo 6 x 7; Iluminação Adjacente; Janela Total; Norte)

A **TABELA 4.3** mostra a influência da orientação da fachada principal na configuração das zonas de iluminação dos modelos com iluminação adjacente. Neste caso, a orientação da fachada principal também não modifica a distribuição das zonas. A Zona 1B se mantém constante praticamente em todas as orientações e tipos de janelas, com exceção do modelo com janela única quando sua fachada principal é orientada para o Sul. Nas demais zonas de iluminação (Zona1A, Zona 2 e Zona3) a diferença no comprimento e na largura nunca foi superior a 5% dos respectivos comprimento e largura do modelo.

TABELA 4.3 - Tamanho das zonas de iluminação nos modelos com iluminação adjacente.

Modelos com Janelas em Paredes Adjacentes	Zonas de Iluminação	Orientação da Fachada Principal							
		Norte		Leste		Sul		Oeste	
		C	L	C	L	C	L	C	L
Janela Única (WWR = 0,25) x 2	Zona 1A	25	75	25	75	25	80	25	75
	Zona 1B	100	25	100	25	100	20	100	25
	Zona 2	40	75	40	75	40	80	40	75
	Zona 3	35	75	35	75	35	80	35	75
Janela Dupla (WWR = 0,33) x 2	Zona 1A	25	75	25	75	25	75	20	75
	Zona 1B	100	25	100	25	100	25	100	25
	Zona 2	40	75	40	75	40	75	40	75
	Zona 3	35	75	35	75	35	75	40	75
Janela Total (WWR = 0,50) x 2	Zona 1A	25	75	25	75	20	75	20	75
	Zona 1B	100	25	100	25	100	25	100	25
	Zona 2	35	75	35	75	40	75	40	75
	Zona 3	40	75	40	75	40	75	40	75

Obs: C [% da Profundidade “P” do Modelo] e L [% de 6m]

4.3. PERCENTUAL DE APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL (PALN)

Determinadas as zonas de iluminação, a próxima etapa é a obtenção dos PALNs dos modelos variando-se a estratégia de controle da iluminação artificial, os níveis de iluminamento e a orientação da fachada principal.

4.3.1. PALN nos modelos com iluminação unilateral e controle automático liga/desliga

Conforme foi visto no item 4.2.1 para este tipo de iluminação o ambiente é dividido em 4 zonas de iluminação (**FIGURA 4.1**). As **TABELAS A.1, A.2 e A.3** do anexo A mostram os valores dos PALNs para os modelos com janela única, dupla e total respectivamente, em função dos níveis de iluminação (300 Lux, 500 Lux e 1000 Lux) e da orientação da fachada principal.

Analisando os resultados das **Tabelas A.1, A.2 e A.3** observa-se que para este tipo de iluminação a orientação da fachada principal tem pequena influência nos valores do PALN apresentando uma diferença máxima de 10% que vai diminuindo a partir do aumento da profundidade do modelo e do nível de iluminamento, chegando a uma diferença mínima de 1%. Considerando todas as profundidades e níveis de iluminamento, a orientação da fachada principal pode influenciar em média 4% no valor do PALN, com a orientação Norte apresentando os maiores valores do PALN e a Sul os mais baixos.

Pode-se verificar também nas **TABELAS A.1, A.2 e A.3** do anexo A uma diferença máxima dos PALNs de 2% para algumas profundidades entre as orientações Leste e Oeste. Isto se deve ao fato do programa LuzSolar trabalhar com a hora local (longitude 48°34' - cidade de Florianópolis) e não a hora solar. Ao simular com longitude 0° (meridiano de referência – Greenwich) esta diferença não ocorre.

A **FIGURA 4.7** mostra a variação do PALN em um modelo com iluminação unilateral e janela única orientada para o Norte. Observa-se, no gráfico, que à medida que a profundidade do modelo aumenta, o valor do PALN diminui. Isto se deve ao fato de que nos modelos mais profundos existe pequena ou nenhuma redução na carga de iluminação artificial nas zonas 3 e 4.

Quando o parâmetro analisado é a iluminância de projeto nota-se que quanto menor ela for, maiores são as oportunidades de economia de energia gasta em iluminação. Isto ocorre porque baixas iluminâncias de projeto são facilmente fornecidas pela luz natural, possibilitando o desligamento da iluminação artificial.

A variação do PALN com uma iluminância de projeto de 1000 Lux é pouco influenciada pela profundidade do modelo em uma estratégia de controle liga/desliga se o modelo possui janela única. Como a iluminância é muito alta, a luz natural não consegue substituir a iluminação artificial nas zonas 2, 3 e 4. Nesta situação ocorre redução do número de horas de acionamento da luz artificial somente na zona 1.

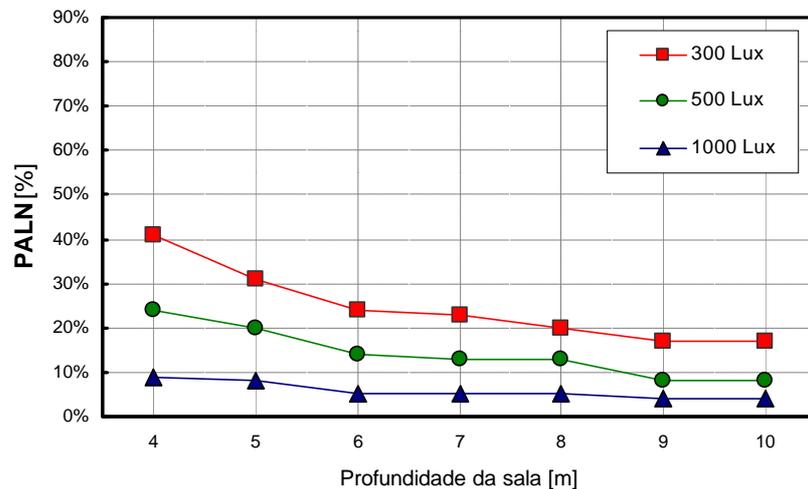


FIGURA 4.7 - PALN dos modelos.

(Iluminação Unilateral; Janela Única; Controle liga/desliga; Fachada Norte, Florianópolis)

As **TABELAS 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7** mostram quando a adoção de uma estratégia de controle automático liga/desliga pode trazer economia de energia elétrica gasta em iluminação artificial nas zonas superior a 10%, 30%, 50% e 70% respectivamente.

As **TABELAS 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7** mostram que para iluminâncias de projeto de 1000 Lux o PALN será sempre nulo nas zonas 3 e 4 quando adotada uma estratégia de controle automático liga/desliga. Ficará entre 10% e 29% na zona 2 desde que o modelo tenha uma janela total e na zona 1 terá um PALN entre 10% e 29% para todos os tipos de janelas.

Para iluminâncias de projeto de 500 Lux as zonas 3 e 4 continuam apresentando PALNs nulos com a utilização da estratégia de controle automático liga/desliga. A zona 2 passa a apresentar PALNs entre 10% e 29% para modelos com janela única e dupla e entre 30% e 49% para modelos janela total. A zona 1, PALNs de 30% a 49%, para modelos com janela única e de 50% a 69% para modelos com janelas dupla e total.

Quando a iluminância de projeto é de 300 Lux a zona 4 apresenta PALNs nulos. A zona 3 apresenta PALNs entre 10% e 29%. A zona 2, apresenta PALNs entre 30% e 49% e a zona 1 PALNs que variam de 50% a 69% para modelos com janela única e superiores a 70% quando o modelo apresenta janela dupla ou total.

Através da análise das **TABELAS 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7** pode-se verificar que uma estratégia de controle automático liga/desliga não deverá ser aplicada na zona 4 de um ambiente com iluminação unilateral, pois não poderá proporcionar economia de energia elétrica gasta em iluminação.

TABELA 4.4 - Adoção da estratégia de controle automático **liga/desliga** nas zonas para ambientes com iluminação **unilateral** proporcionando **PALN ≥ 10%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação			
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
300	4	Light Gray	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	5	Light Gray	Light Gray	Light Gray	Dark Gray
	6	Light Gray	Light Gray	Light Gray	Black
	7	Light Gray	Light Gray	Light Gray	
	8	Light Gray	Light Gray	Dark Gray	
	9	Light Gray	Light Gray		
	10	Light Gray	Light Gray		
500	4	Light Gray	Light Gray	Light Gray	Black
	5	Light Gray	Light Gray	Light Gray	
	6	Light Gray	Light Gray	Black	
	7	Light Gray	Light Gray	Black	
	8	Light Gray	Light Gray		
	9	Light Gray	Dark Gray		
	10	Light Gray	Dark Gray		
1000	4	Light Gray	Light Gray	Black	
	5	Light Gray	Light Gray		
	6	Light Gray	Black		
	7	Light Gray	Black		
	8	Light Gray	Black		
	9	Light Gray	Black		
	10	Light Gray	Black		

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.5 - Adoção da estratégia de controle automático **liga/desliga** nas zonas para ambientes com iluminação **unilateral** proporcionando **PALN ≥ 30%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação			
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
300	4	Light Gray	Light Gray	Light Gray	
	5	Light Gray	Light Gray	Dark Gray	
	6	Light Gray	Light Gray		
	7	Light Gray	Light Gray		
	8	Light Gray	Light Gray		
	9	Light Gray	Dark Gray		
	10	Light Gray	Dark Gray		
500	4	Light Gray	Light Gray		
	5	Light Gray	Light Gray		
	6	Light Gray	Dark Gray		
	7	Light Gray	Black		
	8	Light Gray	Black		
	9	Light Gray			
	10	Light Gray			
1000	4	Black			
	5	Black			
	6	Black			
	7	Black			
	8	Black			
	9	Black			
	10	Black			

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.6 - Adoção da estratégia de controle automático **liga/desliga** nas zonas para ambientes com iluminação **unilateral** proporcionando **PALN ≥ 50%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação			
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
300	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
500	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
1000	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				

Legenda:

- Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
- Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
- Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.7 - Adoção da estratégia de controle automático **liga/desliga** nas zonas para ambientes com iluminação **unilateral** proporcionando **PALN ≥ 70%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação			
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
300	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
500	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
1000	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				

Legenda:

- Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
- Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
- Somente com Janela Total - WWR = 0,50

4.3.2. PALN nos modelos com iluminação unilateral e controle automático de 3 passos

Através das TABELAS A.4, A.5 e A.6 do anexo A verifica-se que ocorreu um aumento nos valores dos PALNs, mas a influência da fachada nestes valores tem as mesmas características do caso em que a estratégia adotada foi o controle automático liga/desliga. A máxima diferença foi de 10% para a sala com menor profundidade e menor iluminância de projeto. A menor ocorreu para a sala mais profunda e iluminância máxima e foi de 1%, apresentando uma diferença média de 5% entre as orientações Norte e Sul.

Embora os valores do PALN tenham aumentado com a mudança de estratégia conforme se verifica na FIGURA 4.8, o seu comportamento com relação ao tamanho da sala e os níveis de iluminação permanecem os mesmos observados quando a estratégia de controle adotada é a liga/desliga.

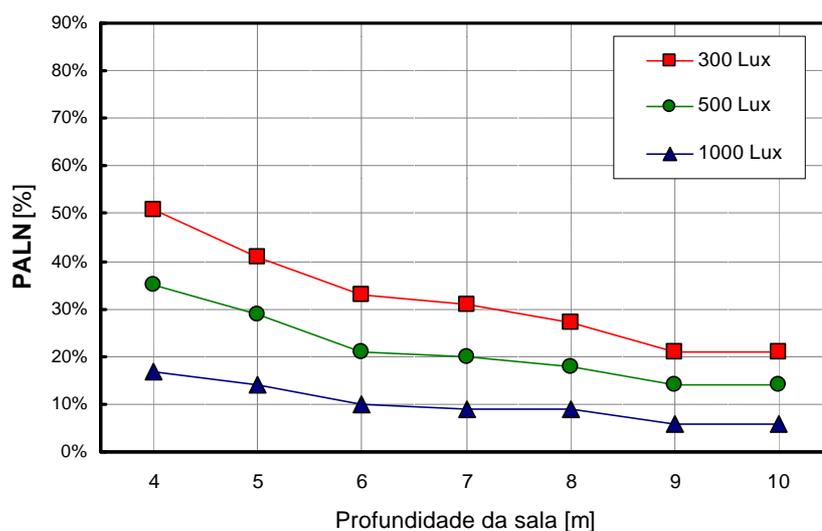


FIGURA 4.8 - PALN dos modelos.

(Iluminação Unilateral; Janela Única; Controle de 3 passos; Fachada Norte, Florianópolis)

As TABELAS 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11 mostram quando a adoção de uma estratégia de controle automático de 3 passos pode trazer economia de energia elétrica gasta em iluminação artificial nas zonas superior a 10%, 30%, 50% e 70% respectivamente.

Através das TABELAS 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11 verifica-se que para modelos que necessitam de uma iluminância de 1000 Lux e possuem iluminação unilateral, a estratégia de controle

automático de 3 passos não é capaz de reduzir o consumo de energia gasta em iluminação através do aproveitamento da luz natural nas zonas 3 e 4. Na zona 2 o PALN fica entre 10% e 29% para todos os tipos de janelas. Na zona 1, o PALN varia entre 30% e 49% para janela única e janela dupla, atingindo valores entre 50% e 69% quando o modelo possui uma janela total.

Se a iluminância de projeto é de 500 Lux os PALNs na zona 4 são nulos quando a estratégia de controle automático é de 3 passos. Na zona 3, pode-se obter PALNs de 10% a 29% desde que o modelo possua janela dupla ou total. Na zona 2, o PALN já atinge valores de 10% a 29% para modelos com janela única e de 30% a 49% quando o modelo possui uma janela dupla ou total. Na zona 1, o PALN varia de 50% a 69% quando o modelo possui janela única ou dupla, podendo ser superior a 70% quando o modelo possuir uma janela total.

Para iluminâncias de projeto de 300 Lux a estratégia de controle automático de 3 passos apresenta PALNs entre 10% e 29% nas zonas 3 e 4. Na zona 2, o PALN varia de 30% a 49%. Na zona 1 esta estratégia proporciona PALNs superiores a 70%.

A análise das **TABELAS 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11** mostrou que a estratégia de controle automático de 3 passos, como a estratégia liga/desliga, apresenta PALNs nulos na zona 4 do modelo com iluminação unilateral e iluminância de projeto de 500 Lux ou superior. Para iluminância de projeto de 300 Lux a estratégia de controle automático de 3 passos proporciona PALNs entre 10% e 29% na zona 4, valores que não são alcançados com um controle liga/desliga.

TABELA 4.8 - Adoção da estratégia de controle automático **3 passos** nas zonas para ambientes com iluminação **unilateral** proporcionando **PALN ≥ 10%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação			
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
300	4	□	□	□	□
	5	□	□	□	□
	6	□	□	□	□
	7	□	□	□	■
	8	□	□	□	□
	9	□	□	■	□
	10	□	□	■	□
500	4	□	□	□	□
	5	□	□	□	■
	6	□	□	■	□
	7	□	□	■	□
	8	□	□	■	□
	9	□	□	□	□
	10	□	□	□	□
1000	4	□	□	□	□
	5	□	□	■	□
	6	□	□	□	□
	7	□	□	□	□
	8	□	□	□	□
	9	□	■	□	□
	10	□	■	□	□

Legenda:

- Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
- Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
- Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.9 - Adoção da estratégia de controle automático **3 passos** nas zonas para ambientes com iluminação **unilateral** proporcionando **PALN ≥ 30%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação			
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
300	4	Light Gray	Light Gray	Light Gray	Black
	5	Light Gray	Light Gray	Light Gray	
	6	Light Gray	Light Gray	Black	
	7	Light Gray	Light Gray	Black	
	8	Light Gray	Light Gray		
	9	Light Gray	Light Gray		
	10	Light Gray	Light Gray		
500	4	Light Gray	Light Gray	Dark Gray	
	5	Light Gray	Light Gray	Black	
	6	Light Gray	Light Gray		
	7	Light Gray	Dark Gray		
	8	Light Gray	Dark Gray		
	9	Light Gray			
	10	Light Gray			
1000	4	Light Gray	Dark Gray		
	5	Light Gray	Black		
	6	Light Gray			
	7	Light Gray			
	8	Light Gray			
	9	Light Gray			
	10	Light Gray			

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.10 - Adoção da estratégia de controle automático **3 passos** nas zonas para ambientes com iluminação **unilateral** proporcionando **PALN ≥ 50%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação			
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
300	4	Light Gray	Light Gray	Black	
	5	Light Gray	Light Gray		
	6	Light Gray	Dark Gray		
	7	Light Gray	Dark Gray		
	8	Light Gray	Black		
	9	Light Gray			
	10	Light Gray			
500	4	Light Gray	Light Gray		
	5	Light Gray	Black		
	6	Light Gray			
	7	Light Gray			
	8	Light Gray			
	9	Light Gray			
	10	Light Gray			
1000	4	Black			
	5	Black			
	6	Black			
	7	Black			
	8	Black			
	9				
	10				

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.11 - Adoção da estratégia de controle automático **3 passos** nas zonas para ambientes com iluminação **unilateral** proporcionando **PALN ≥ 70%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação			
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
300	4	■	■		
	5	■	■		
	6	■			
	7	■			
	8	■			
	9	■			
	10	■			
500	4	■			
	5	■			
	6	■			
	7	■			
	8	■			
	9	■			
	10	■			
1000	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				

Legenda:

- Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
- Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
- Somente com Janela Total - WWR = 0,50

4.3.3. PALN nos modelos com iluminação unilateral e controle automático dimerizável

As **TABELAS A.7, A.8 e A.9** do anexo A apresentam os PALNs quando a estratégia de controle adotada para controlar a iluminação artificial é um sistema dimerizável automático, onde verifica-se um aumento com relação as duas estratégias anteriores. Analisando-se estas tabelas verifica-se que a orientação da fachada pode modificar o valor do PALN de 9% a 2%. O valor máximo de 9% verifica-se nos modelos com menor profundidade e menor iluminância de projeto e o mínimo de 2% para os modelos mais profundos com a iluminância de projeto mais elevada. Num sistema com iluminação unilateral e controle dimerizável a orientação da fachada principal influencia em média em 5% nos valores dos PALNs, tendo um máximo na fachada Norte e mínimo na fachada Sul.

A **FIGURA 4.9** mostra a variação do PALN em função da profundidade da sala e da iluminância de projeto adotada para um modelo com janela única.

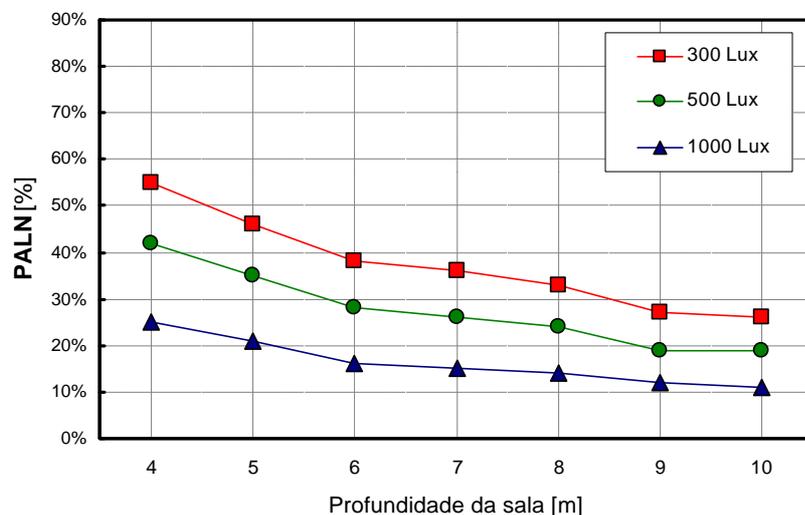


FIGURA 4.9 - PALN dos modelos.

(Iluminação Unilateral; Janela Única; Controle dimerizável; Fachada Norte, Florianópolis)

As **TABELAS 4.12, 4.13, 4.14 e 4.15** mostram quando a adoção de uma estratégia de controle automático dimerizável pode trazer economia de energia elétrica gasta em iluminação artificial nas zonas superior a 10%, 30%, 50% e 70% respectivamente.

Na análise das **TABELAS 4.12, 4.13, 4.14 e 4.15** verifica-se que a zona 4 apresenta PALNs nulos quando a iluminância de projeto é de 1000 Lux. Na zona 3, a estratégia de controle automático dimerizável proporciona PALNs entre 10% e 29% quando o modelo possui janela dupla ou total. O PALN varia de 10% a 29% na zona 2 para modelos com janela única, atingindo valores entre 30% e 49% quando o modelo possui janela dupla ou total. Na zona 1 o PALN varia de 30% a 49% para modelos com janela única, chegando a valores entre 50% e 69% nos modelos com janela dupla e total.

Quando a iluminância de projeto é de 500 Lux o PALN atinge valores entre 10% e 29% nas zonas 3 e 4, quando é adotado uma estratégia de controle automático dimerizável. Na zona 2, o PALN atinge valores de 30% a 49%. Para a zona 1 o PALN varia de 50% a 69% nos modelos com janela única, podendo atingir valores superiores a 70% para modelos com janela dupla ou total.

Se a iluminância de projeto é de 300 Lux o PALN varia de 10% a 29% na zona 4 para um controle dimerizável. Na zona 3, o PALN varia de 10% a 29% nos modelos com janela única, podendo atingir valores de 30% a 49% se o modelo possuir janela dupla ou total. Na zona 3, o PALN proporcionado por um controle dimerizável varia de 50% a 69%. Na zona 1, o PALN é sempre superior a 70%.

TABELA 4.12 - Adoção da estratégia de controle automático **dimerizável** nas zonas para ambientes com iluminação **unilateral** proporcionando **PALN ≥ 10%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação			
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
300	4	Light Gray	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	5	Light Gray	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	6	Light Gray	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	7	Light Gray	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	8	Light Gray	Light Gray	Light Gray	Dark Gray
	9	Light Gray	Light Gray	Light Gray	Black
	10	Light Gray	Light Gray	Light Gray	White
500	4	Light Gray	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	5	Light Gray	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	6	Light Gray	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	7	Light Gray	Light Gray	Light Gray	Black
	8	Light Gray	Light Gray	Light Gray	White
	9	Light Gray	Light Gray	Dark Gray	White
	10	Light Gray	Light Gray	Black	White
1000	4	Light Gray	Light Gray	Light Gray	Dark Gray
	5	Light Gray	Light Gray	Light Gray	Black
	6	Light Gray	Light Gray	Dark Gray	White
	7	Light Gray	Light Gray	Dark Gray	White
	8	Light Gray	Light Gray	Black	White
	9	Light Gray	Light Gray	White	White
	10	Light Gray	Light Gray	White	White

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.13 - Adoção da estratégia de controle automático **dimerizável** nas zonas para ambientes com iluminação **unilateral** proporcionando **PALN ≥ 30%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação			
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
300	4	Light Gray	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	5	Light Gray	Light Gray	Light Gray	Black
	6	Light Gray	Light Gray	Dark Gray	
	7	Light Gray	Light Gray	Dark Gray	
	8	Light Gray	Light Gray	Black	
	9	Light Gray	Light Gray		
	10	Light Gray	Light Gray		
500	4	Light Gray	Light Gray	Light Gray	Black
	5	Light Gray	Light Gray	Dark Gray	
	6	Light Gray	Light Gray	Black	
	7	Light Gray	Light Gray		
	8	Light Gray	Light Gray		
	9	Light Gray	Dark Gray		
	10	Light Gray	Dark Gray		
1000	4	Light Gray	Light Gray	Black	
	5	Light Gray	Light Gray		
	6	Light Gray	Black		
	7	Light Gray	Black		
	8	Light Gray			
	9	Light Gray			
	10	Light Gray			

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.14 - Adoção da estratégia de controle automático **dimerizável** nas zonas para ambientes com iluminação **unilateral** proporcionando **PALN ≥ 50%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação			
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
300	4	Light Gray	Light Gray	Light Gray	
	5	Light Gray	Light Gray	Black	
	6	Light Gray	Light Gray		
	7	Light Gray	Light Gray		
	8	Light Gray	Dark Gray		
	9	Light Gray			
	10	Light Gray			
500	4	Light Gray	Light Gray		
	5	Light Gray	Dark Gray		
	6	Light Gray	Black		
	7	Light Gray	Black		
	8	Light Gray			
	9	Light Gray			
	10	Light Gray			
1000	4	Dark Gray			
	5	Dark Gray			
	6	Black			
	7	Black			
	8	Black			
	9	Black			
	10	Black			

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.15 - Adoção da estratégia de controle automático **dimerizável** nas zonas para ambientes com iluminação **unilateral** proporcionando **PALN ≥ 70%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação			
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
300	4	■	■		
	5	■	■		
	6	■			
	7	■			
	8	■			
	9	■			
	10	■			
500	4	■	■		
	5	■			
	6	■			
	7	■			
	8	■			
	9	■			
	10	■			
1000	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				

Legenda:

- Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
- Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
- Somente com Janela Total - WWR = 0,50

Após analisar as **TABELAS 4.4 a 4.15**, que mostram o PALN nas zonas dos modelos com iluminação unilateral, para as três estratégias de controle automático (liga/desliga, 3 passos e dimerizável) e três iluminâncias de projeto (300 Lux, 500 Lux e 1000 Lux) pode-se chegar as seguintes constatações:

- ❑ A zona 4 apresenta PALNs nulos quando a iluminância de projeto é de 1000 Lux, para as três estratégias de controle automático;
- ❑ Para iluminância de projeto de 500 Lux, somente uma estratégia de controle dimerizável poderá proporcionar economia de energia elétrica através do aproveitamento da luz natural na zona 4. Neste caso, o PALN apresenta valores de 10% a 29%;
- ❑ A estratégia de controle de 3 passos só proporciona PALNs não nulos na zona 4 se a iluminância for de 300 Lux (PALNs entre 10% e 29%);
- ❑ Na zona 3, os PALNs variam de 10% a 29%, sendo nulos para o controle liga/desliga com iluminâncias de projeto de 500 e 1000 Lux e controle de 3 passos com iluminância de projeto de 1000 Lux;
- ❑ Na zona 2, os PALNs variam de 10% a 29% para iluminâncias de projeto de 1000 Lux, de 30% a 49% para iluminâncias de 500 lux e 1000 lux, podendo atingir valores de 50% a 69% se a estratégia de controle automático for um controle dimerizável e a iluminância de projeto for de 300 Lux;
- ❑ Na zona 1, quando a iluminância de projeto é de 1000 Lux o PALN varia de 10% a 29% para um controle liga/desliga, de 30% a 49% para um controle de 3 passos e de 50% a 69% para um controle dimerizável. Para iluminâncias de 500 lux o PALN varia de 30% a 49% para o controle liga/desliga, de 50% a 69% para o controle de 3 passos e maior ou igual a 70% para o controle dimerizável. Para iluminância de 300 Lux as três estratégias apresentam PALNs maiores ou iguais a 70% na zona 1.

A **TABELA 4.16** apresenta os PALNs nas zonas de iluminação dos ambientes com iluminação unilateral para três iluminâncias de projeto (300 Lux, 500 Lux e 1000 Lux), três estratégias de controle automático (liga/desliga, 3 passos e dimerizável) e três tipos de janelas (única, dupla e total).

TABELA 4.16 - PALN das zonas de iluminação dos modelos com iluminação unilateral na cidade de Florianópolis.

Zonas de Iluminação	PALN [%]	Iluminância de Projeto [Lux]								
		300			500			1000		
		Estratégias de Controle			Estratégias de Controle			Estratégias de Controle		
		L/D	3 passos	DIM	L/D	3 passos	DIM	L/D	3 passos	DIM
Zona 1	10 - 29							U - D - T		
	30 - 49				U - D				U - D	U
	50 - 69	U			T	U - D	U		T	D - T
	70	D - T	U - D - T	U - D - T		T	D - T			
Zona 2	10 - 29				U - D	U		U - D - T	U - D - T	U
	30 - 49	U - D - T	U - D - T		T	D - T	U - D - T			D - T
	50 - 69			U - D - T						
	70									
Zona 3	10 - 29	U - D - T	U - D - T	U		D - T	U - D - T			D - T
	30 - 49			D - T						
	50 - 69									
	70									
Zona 4	10 - 29		U - D - T	U - D - T			U - D - T			
	30 - 49									
	50 - 69									
	70									

Obs: **U** - Modelos com janela única (WWR = 0,25); **D** - Modelos com janela dupla (WWR = 0,33); **T** - Modelos com janela total (WWR = 0,50)

As células em branco indicam que nenhum dos três tipos de janelas é capaz de reduzir o consumo de energia elétrica gasta em iluminação artificial através do aproveitamento da luz natural.

4.3.4. Estratégias de controle automático nos modelos com iluminação unilateral

Na **FIGURA 4.10** verifica-se a influência da estratégia de controle da iluminação artificial nos valores do PALN. Pode-se verificar pelo gráfico que a estratégia liga/desliga apresenta os menores valores do PALN e a dimerizável os mais elevados.

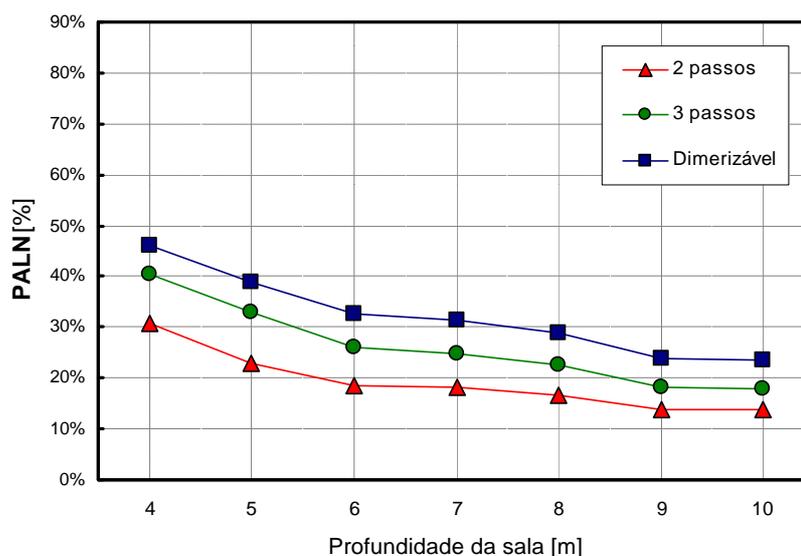


FIGURA 4.10 - PALN dos modelos.

(Iluminação Unilateral; Janela Dupla; Iluminância de Projeto 500 Lux; Norte, Florianópolis)

Na **TABELA 4.17** é apresentada a proporção da economia gerada por uma estratégia de controle automático da iluminação artificial com relação a outra em modelos com iluminação unilateral. Por exemplo: para uma iluminância de projeto de 500 Lux em um modelo com janela total uma estratégia liga/desliga proporciona 65% da economia que seria gerada caso fosse aplicada uma estratégia dimerizável.

A **TABELA 4.18** mostra qual seria o ganho em pontos percentuais no valor do PALN caso houvesse uma troca na estratégia de controle da iluminação artificial. Por exemplo: ao aplicar uma estratégia liga/desliga em um modelo com janela dupla e iluminância de projeto de 500 Lux consegue-se um PALN de 18%. Ao se trocar a estratégia liga/desliga pela dimerizável existe um acréscimo de 13%, logo o PALN será de 31% (18% + 13%). Embora o sistema dimerizável apresente-se como a melhor solução só uma análise de custo/benefício poderia indicar a melhor estratégia.

TABELA 4.17 - Proporção de economia de energia das estratégias de controle automático em ambientes com iluminação unilateral na cidade de Florianópolis.

Tipo de Janela	Iluminância de Projeto [Lux]	Proporção de economia [%]			
		L/D	3 passos	3 passos	Dim
Janela Única (WWR = 0,25)	300		77	84	65
	500		67	77	51
	1000		58	60	35
Janela Dupla (WWR = 0,33)	300		80	87	69
	500		74	80	59
	1000		58	69	40
Janela Total (WWR = 0,50)	300		82	88	73
	500		78	84	65
	1000		60	74	45

TABELA 4.18 - Acréscimo do PALN através da mudança de estratégia de controle automático da iluminação artificial em ambientes com iluminação unilateral na cidade de Florianópolis.

Tipo de Janela	Iluminância de Projeto [Lux]	Acréscimo do PALN para mudança de estratégia de controle [%]			
		L/D	3 passos	3 passos	Dim
Janela Única (WWR = 0,25)	300		7	6	13
	500		6	6	12
	1000		4	6	10
Janela Dupla (WWR = 0,33)	300		7	6	13
	500		7	6	13
	1000		5	6	11
Janela Total (WWR = 0,50)	300		7	6	13
	500		7	6	13
	1000		6	6	12
Médias			6	6	12

4.3.5. PALN nos modelos com iluminação oposta e controle automático liga/desliga

Os modelos com iluminação oposta foram divididos em 3 zonas de iluminação conforme mostra a **FIGURA 4.3**. As **TABELAS A.10, A.11 e A.12** do anexo A apresentam os valores dos PALNs para este tipo de iluminação, com estratégia de controle liga/desliga.

Através de uma análise nos valores das **TABELAS A.10, A.11 e A.12**, observa-se que a máxima diferença é de 10% no valor do PALN. Esta diferença ocorre no modelo com 9 metros de profundidade, janela dupla e iluminância de projeto de 500 Lux. Nas demais combinações de profundidade, tipo de janela e iluminância de projeto verifica-se uma influência bem menor da orientação da fachada principal sobre o valor do PALN, chegando até mesmo a não modificá-lo. Para modelos com iluminação oposta e controle automático liga/desliga a orientação da fachada principal tem uma influência média de 2% nos valores do PALN, ocorrendo entre as orientações Norte e Leste.

O gráfico da **FIGURA 4.11** mostra o mesmo comportamento na variação do PALN que ocorre quando o modelo tem iluminação unilateral. Aqui com iluminação oposta existe uma zona central que possui baixos níveis de iluminância proporcionados pela luz natural. Aplicando-se uma estratégia de controle automático liga/desliga, onde para qualquer valor de iluminância da luz natural abaixo da iluminância de projeto o sistema fica totalmente ligado, salas profundas com iluminância de projeto elevada mantém as luzes da zona central (Zona 2) permanentemente ligadas, reduzindo o valor do PALN da sala.

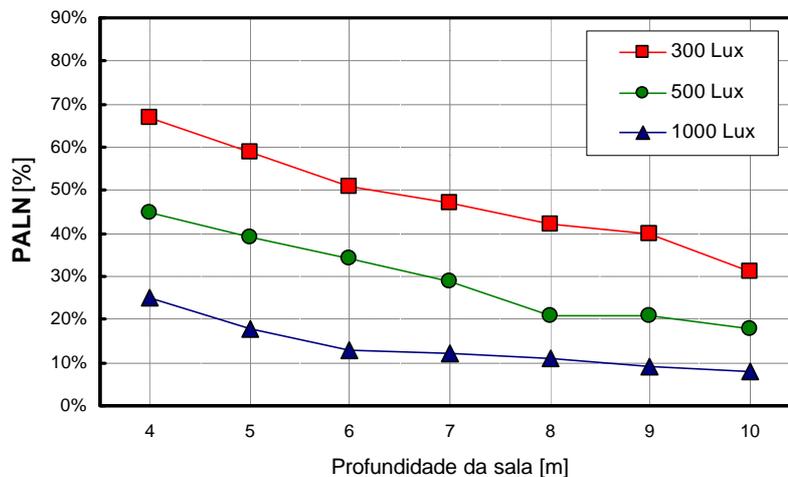


FIGURA 4.11 - PALN dos modelos.

(Iluminação Oposta; Janela Única; Controle liga/desliga; Fachada Norte; Florianópolis)

As **TABELAS 4.19, 4.20, 4.21 e 4.22** apresentam a estimativa de redução do consumo nas zonas de iluminação quando é aplicada uma estratégia liga/desliga num ambiente com iluminação oposta.

Nas **TABELAS 4.19, 4.20, 4.21 e 4.22** pode-se verificar que para uma iluminância de projeto de 1000 Lux a estratégia de controle automático liga/desliga não consegue fazer aproveitamento da luz natural na zona 2 para economizar energia elétrica gasta em iluminação artificial. Nas zonas 1A e 1B, o controle liga/desliga proporciona PALNs entre 10% e 29% nos modelos com janela única ou dupla e de 30% a 49% quando a janela é total.

Para iluminâncias de projeto de 500 Lux o PALN na zona 2 varia de 10% a 29% para todos os tipos de janelas. Nas zonas 1A e 1B, o PALN fica entre 30% e 49% para modelos com janela única e de 50% a 69% nos modelos com janela dupla ou total.

Ao se reduzir a iluminância de projeto para 300 Lux o PALN na zona 2 fica entre 10% e 29% quando o modelo tem janela única e de 30% a 49% para o modelo com janela dupla ou total. Nas zonas 1A e 1B, o PALN varia de 50% a 69% nos modelos com janela única e acima de 70% quando o modelo possui janela dupla ou total.

TABELA 4.19 - Adoção da estratégia de controle automático **liga/desliga** nas zonas para ambientes com iluminação **oposta** proporcionando **PALN ≥ 10%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação		
		Zona 1A	Zona 1B	Zona 2
300	4	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	5	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	6	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	7	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	8	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	9	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	10	Light Gray	Light Gray	Dark Gray
500	4	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	5	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	6	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	7	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	8	Light Gray	Light Gray	Dark Gray
	9	Light Gray	Light Gray	Dark Gray
	10	Light Gray	Light Gray	Black
1000	4	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	5	Light Gray	Light Gray	Dark Gray
	6	Light Gray	Light Gray	Black
	7	Light Gray	Light Gray	White
	8	Light Gray	Light Gray	White
	9	Light Gray	Light Gray	White
	10	Light Gray	Light Gray	White

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.20 - Adoção da estratégia de controle automático **liga/desliga** nas zonas para ambientes com iluminação **oposta** proporcionando **PALN ≥ 30%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação		
		Zona 1A	Zona 1B	Zona 2
300	4	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	5	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	6	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	7	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	8	Light Gray	Light Gray	Dark Gray
	9	Light Gray	Light Gray	Black
	10	Light Gray	Light Gray	Black
500	4	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	5	Light Gray	Light Gray	Dark Gray
	6	Light Gray	Light Gray	Dark Gray
	7	Light Gray	Light Gray	Black
	8	Light Gray	Light Gray	White
	9	Light Gray	Light Gray	White
	10	Light Gray	Dark Gray	White
1000	4	Dark Gray	Dark Gray	Black
	5	Dark Gray	Black	White
	6	Black	Black	White
	7	Black	Black	White
	8	Black	White	White
	9	Black	White	White
	10	Black	White	White

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.21 - Adoção da estratégia de controle automático **liga/desliga** nas zonas para ambientes com iluminação **oposta** proporcionando **PALN \geq 50%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação		
		Zona 1A	Zona 1B	Zona 2
300	4	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	5	Light Gray	Light Gray	Dark Gray
	6	Light Gray	Light Gray	Black
	7	Light Gray	Light Gray	
	8	Light Gray	Light Gray	
	9	Light Gray	Light Gray	
	10	Light Gray	Light Gray	
500	4	Light Gray	Light Gray	Black
	5	Dark Gray	Dark Gray	Black
	6	Dark Gray	Dark Gray	
	7	Dark Gray	Dark Gray	
	8	Dark Gray	Black	
	9	Black	Black	
	10	Black	Black	
1000	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.22 - Adoção da estratégia de controle automático **liga/desliga** nas zonas para ambientes com iluminação **oposta** proporcionando **PALN ≥ 70%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação		
		Zona 1A	Zona 1B	Zona 2
300	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
500	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
1000	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			

Legenda:

- Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
- Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
- Somente com Janela Total - WWR = 0,50

4.3.6. PALN nos modelos com iluminação oposta e controle automático de 3 passos

Ao mudar a estratégia de controle da iluminação artificial de liga/desliga para uma de 3 passos ocorre um aumento nos valores do PALN e a orientação da fachada principal passa a ter menos influência sobre eles, conforme pode ser verificado nas **TABELAS A.13, A.14 e A.15** do anexo A.

Neste tipo de estratégia de controle a orientação da fachada principal representa uma mudança máxima no valor do PALN de 6% sendo nula na maioria dos casos. Em média, a orientação da fachada principal altera o PALN em 2% (orientação Norte e Leste).

Na **FIGURA 4.12** observa-se que os valores do PALN são maiores que os da **FIGURA 4.11** (controle liga/desliga), mas apresentam a mesma diminuição a medida que a profundidade e a iluminância de projeto aumentam.

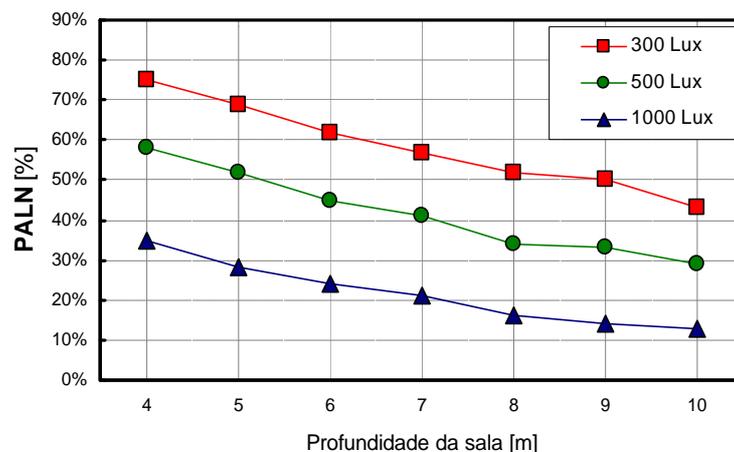


FIGURA 4.12 - PALN dos modelos.

(Iluminação Oposta; Janela Única; Controle de 3 passos; Fachada Norte; Florianópolis)

As **TABELAS 4.23, 4.24, 4.25 e 4.26** apresentam a estimativa de redução do consumo nas zonas de iluminação quando é aplicada uma estratégia de controle de 3 passos num ambiente com iluminação oposta.

Quando o controle é de 3 passos, nos modelos com iluminação oposta, verifica-se que se o mesmo possuir uma janela total o PALN varia de 10% a 29% na zona 2, para iluminância de

projeto de 1000 Lux. Nas zonas 1A e 1B, o PALN atinge valores de 10% a 29% quando o modelo possui janela única e de 30 a 49% quando o modelo possui janela dupla ou total.

Para iluminâncias de projeto de 500 Lux, a estratégia de controle automático de 3 passos apresenta PALNs na zona 2 de 10% a 29% nos modelos com janela única e de 30% a 49% quando a janela é dupla ou total. Nas zonas 1A e 1B, o PALN varia de 30% a 49% nos modelos com janela única, de 50% a 69% nos modelos com janela dupla e superior a 70% nos de janela total.

Quando a iluminância de projeto é de 300 Lux, a zona 2 apresenta PALNs de 30% a 49% para uma estratégia de controle automático de 3 passos. Nas zonas 1A e 1B o PALN varia de 50% a 69% para modelos com janela única. Para janelas dupla ou total o PALN atinge valores iguais ou superiores a 70%.

TABELA 4.23 - Adoção da estratégia de controle automático de **3 passos** nas zonas para ambientes com iluminação **oposta** proporcionando **PALN ≥ 10%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação		
		Zona 1A	Zona 1B	Zona 2
300	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
500	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
1000	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.24 - Adoção da estratégia de controle automático de **3 passos** nas zonas para ambientes com iluminação **oposta** proporcionando **PALN ≥ 30%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação		
		Zona 1A	Zona 1B	Zona 2
300	4	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	5	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	6	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	7	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	8	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	9	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	10	Light Gray	Light Gray	Black
500	4	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	5	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	6	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	7	Light Gray	Light Gray	Dark Gray
	8	Light Gray	Light Gray	Black
	9	Light Gray	Light Gray	White
	10	Light Gray	Light Gray	White
1000	4	Light Gray	Light Gray	Dark Gray
	5	Light Gray	Light Gray	Black
	6	Light Gray	Light Gray	White
	7	Light Gray	Light Gray	White
	8	Light Gray	Dark Gray	White
	9	Dark Gray	Dark Gray	White
	10	Dark Gray	Black	White

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.25 - Adoção da estratégia de controle automático de **3 passos** nas zonas para ambientes com iluminação **oposta** proporcionando **PALN ≥ 50%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação		
		Zona 1A	Zona 1B	Zona 2
300	4	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	5	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	6	Light Gray	Light Gray	Dark Gray
	7	Light Gray	Light Gray	Black
	8	Light Gray	Light Gray	White
	9	Light Gray	Light Gray	White
	10	Light Gray	Light Gray	White
500	4	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	5	Light Gray	Light Gray	Black
	6	Light Gray	Light Gray	White
	7	Light Gray	Light Gray	White
	8	Light Gray	Dark Gray	White
	9	Light Gray	Dark Gray	White
	10	Dark Gray	Dark Gray	White
1000	4	Black	Black	White
	5	Black	Black	White
	6	Black	Black	White
	7	White	White	White
	8	White	White	White
	9	White	White	White
	10	White	White	White

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.26 - Adoção da estratégia de controle automático de **3 passos** nas zonas para ambientes com iluminação **oposta** proporcionando **PALN ≥ 70%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação		
		Zona 1A	Zona 1B	Zona 2
300	4	Light Gray	Light Gray	Dark Gray
	5	Light Gray	Light Gray	Black
	6	Light Gray	Light Gray	
	7	Light Gray	Light Gray	
	8	Dark Gray	Dark Gray	
	9	Dark Gray	Dark Gray	
	10	Dark Gray	Dark Gray	
500	4	Dark Gray	Dark Gray	Black
	5	Dark Gray	Black	
	6	Black	Black	
	7	Black	Black	
	8	Black		
	9	Black		
	10			
1000	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

4.3.7. PALN nos modelos com iluminação oposta e controle automático dimerizável

Os PALNs proporcionados pela aplicação de uma estratégia de controle automática dimerizável em modelos com iluminação oposta são apresentados nas **TABELAS A.16, A.17 e A.18** do anexo A.

Quando o controle aplicado é um dimerizável, a orientação da fachada principal modifica os PALNs no máximo em 3%, chegando a ser nula em muitas combinações de tipo de janela, iluminância de projeto e profundidade do modelo. Na média a orientação da fachada tem uma influência de 1% no PALN.

A **FIGURA 4.13** apresenta a variação do PALN quando a estratégia adotada é um controle automático dimerizável.

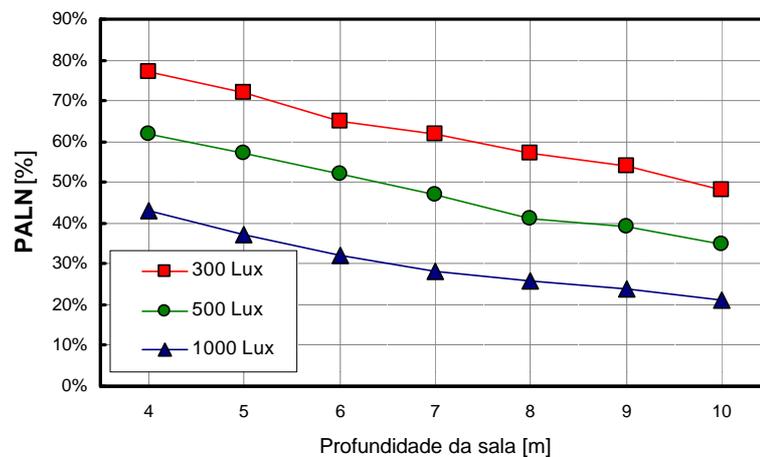


FIGURA 4.13 - PALN dos modelos.

(Iluminação Oposta; Janela Única; Controle dimerizável; Fachada Norte; Florianópolis)

As **TABELAS 4.27, 4.28, 4.29 e 4.30** apresentam em que condições uma estratégia de controle dimerizável pode reduzir o consumo de energia gasta em iluminação acima de 10%, 30%, 50% e 70%.

Verifica-se nas **TABELAS 4.27, 4.28, 4.29 e 4.30** que quando a iluminância de projeto é de 1000 Lux e a estratégia é controle automático dimerizável, a zona 2 apresenta PALNs entre

10% e 29% para todos os tipos de janelas. Nas zonas 1A e 1B o PALN varia de 30% a 49% nos modelos com janela única e dupla, atingindo valores entre 50% e 69% quando a janela é total.

Para iluminância de projeto de 500 Lux, o PALN da zona 2 varia de 30% a 49%. Nas zonas 1A e 1B, o PALN varia de 50% a 69% para janela única e dupla. Para janela total o valor do PALN é igual ou maior a 70%.

Se a iluminância de projeto for de 300 Lux, a estratégia de controle automático dimerizável, consegue na zona 2, PALNs entre 30% e 49% para janela única e de 50% a 69% para janela dupla ou total. Nas zonas 1A e 1B o PALN será igual ou superior a 70% para uma estratégia de controle automático dimerizável.

TABELA 4.27 - Adoção da estratégia de controle automático **dimerizável** nas zonas para ambientes com iluminação **oposta** proporcionando **PALN ≥ 10%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação		
		Zona 1A	Zona 1B	Zona 2
300	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
500	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
1000	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.28 - Adoção da estratégia de controle automático **dimerizável** nas zonas para ambientes com iluminação **oposta** proporcionando **PALN ≥ 30%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação		
		Zona 1A	Zona 1B	Zona 2
300	4	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	5	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	6	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	7	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	8	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	9	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	10	Light Gray	Light Gray	Dark Gray
500	4	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	5	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	6	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	7	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	8	Light Gray	Light Gray	Dark Gray
	9	Light Gray	Light Gray	Dark Gray
	10	Light Gray	Light Gray	White
1000	4	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	5	Light Gray	Light Gray	Dark Gray
	6	Light Gray	Light Gray	Black
	7	Light Gray	Light Gray	White
	8	Light Gray	Light Gray	White
	9	Light Gray	Light Gray	White
	10	Light Gray	Light Gray	White

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.29 - Adoção da estratégia de controle automático **dimerizável** nas zonas para ambientes com iluminação **oposta** proporcionando **PALN \geq 50%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação		
		Zona 1A	Zona 1B	Zona 2
300	4	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	5	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	6	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	7	Light Gray	Light Gray	Dark Gray
	8	Light Gray	Light Gray	Black
	9	Light Gray	Light Gray	White
	10	Light Gray	Light Gray	White
500	4	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	5	Light Gray	Light Gray	Dark Gray
	6	Light Gray	Light Gray	Black
	7	Light Gray	Light Gray	White
	8	Light Gray	Light Gray	White
	9	Light Gray	Light Gray	White
	10	Light Gray	Dark Gray	White
1000	4	Dark Gray	Dark Gray	Black
	5	Dark Gray	Black	White
	6	Black	Black	White
	7	Black	Black	White
	8	Black	Black	White
	9	Black	White	White
	10	White	White	White

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.30 - Adoção da estratégia de controle automático **dimerizável** nas zonas para ambientes com iluminação **oposta** proporcionando **PALN ≥ 70%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação		
		Zona 1A	Zona 1B	Zona 2
300	4	Light Gray	Light Gray	Light Gray
	5	Light Gray	Light Gray	Black
	6	Light Gray	Light Gray	White
	7	Light Gray	Light Gray	White
	8	Light Gray	Light Gray	White
	9	Dark Gray	Dark Gray	White
	10	Dark Gray	Dark Gray	White
500	4	Dark Gray	Dark Gray	Black
	5	Dark Gray	Dark Gray	White
	6	Dark Gray	Black	White
	7	Black	Black	White
	8	Black	Black	White
	9	Black	White	White
	10	Black	White	White
1000	4	White	White	White
	5	White	White	White
	6	White	White	White
	7	White	White	White
	8	White	White	White
	9	White	White	White
	10	White	White	White

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

As **TABELAS 4.19** a **4.30** mostram os PALNs nas zonas dos modelos com iluminação oposta, para as três estratégias de controle automático (liga/desliga, 3 passos e dimerizável) e três iluminâncias de projeto (300 Lux, 500 Lux e 1000 Lux). A análise destas tabelas permite dizer:

- ❑ Só será possível reduzir o consumo de energia elétrica gasta em iluminação através do aproveitamento da luz natural na zona 2, para iluminâncias de projeto de 1000 Lux, se for adotada uma estratégia de controle automático de 3 passos e o modelo possuir uma janela total ou dimerizável para todos os tipos de janelas. Nestas condições o PALN varia de 10% a 29%;
- ❑ Para iluminância de projeto de 500 Lux o PALN varia de 10% a 29% para uma estratégia de controle automático liga/desliga chegando a percentuais de 30% a 49% quando é adotada uma estratégia dimerizável na zona 2;
- ❑ Quando a iluminância de projeto é de 300 Lux o PALN fica entre 30% e 49% na zona 2 para as estratégias de controle automático liga/desliga e 3 passos. Se a estratégia adotada for um controle dimerizável, o PALN varia de 30% a 69%;
- ❑ Nas zonas 1A e 1B o PALN varia de 10% a 29% para iluminância de projeto de 1000 Lux e estratégia de controle liga/desliga. Se a estratégia for de 3 passos ou dimerizável o PALN passa para valores de 30% a 49%;
- ❑ Para iluminâncias de projeto de 500 Lux o PALN varia de 50% a 69% para as três estratégias de controle nas zonas 1A e 1B;
- ❑ Quando a iluminância de projeto é de 300 Lux o PALN possui valores iguais ou superior 70% nas zonas 1A e 1B.

A **TABELA 4.31** apresenta os PALNs nas zonas de iluminação dos ambientes com iluminação oposta para três iluminâncias de projeto (300 Lux, 500 Lux e 1000 Lux), três estratégias de controle automático (liga/desliga, 3 passos e dimerizável) e três tipos de janelas (única, dupla e total).

TABELA 4.31 - PALN das zonas de iluminação dos modelos com iluminação oposta na cidade de Florianópolis.

Zonas de Iluminação	PALN [%]	Iluminância de Projeto [Lux]								
		300			500			1000		
		Estratégias de Controle			Estratégias de Controle			Estratégias de Controle		
		L/D	3 passos	DIM	L/D	3 passos	DIM	L/D	3 passos	DIM
Zona 1A	10 - 29							U - D	U	
	30 - 49				U	U		T	D - T	U - D
	50 - 69	U	U		D - T	D	U - D			T
	70	D - T	D - T	U - D - T		T	T			
Zona 1B	10 - 29							U - D	U	
	30 - 49				U	U		T	D - T	U - D
	50 - 69	U	U		D - T	D	U - D			T
	70	D - T	D - T	U - D - T		T	T			
Zona 2	10 - 29	U			U - D - T	U			T	U - D - T
	30 - 49	D - T	U - D - T	U		D - T	U - D - T			
	50 - 69			D - T						
	70									

Obs: **U** - Modelos com janela única (WWR = 0,25); **D** - Modelos com janela dupla (WWR = 0,33); **T** - Modelos com janela total (WWR = 0,50)

As células em branco indicam que nenhum dos três tipos de janelas é capaz de reduzir o consumo de energia elétrica gasta em iluminação artificial através do aproveitamento da luz natural.

4.3.8. Estratégias de controle automático nos modelos com iluminação oposta

A **FIGURA 4.14** mostra a influência das estratégias de controle no valor do PALN. Observa-se, no gráfico, que a mudança de estratégia de controle proporciona uma diferença no valor do PALN que se mantém praticamente constante para as diversas profundidades.

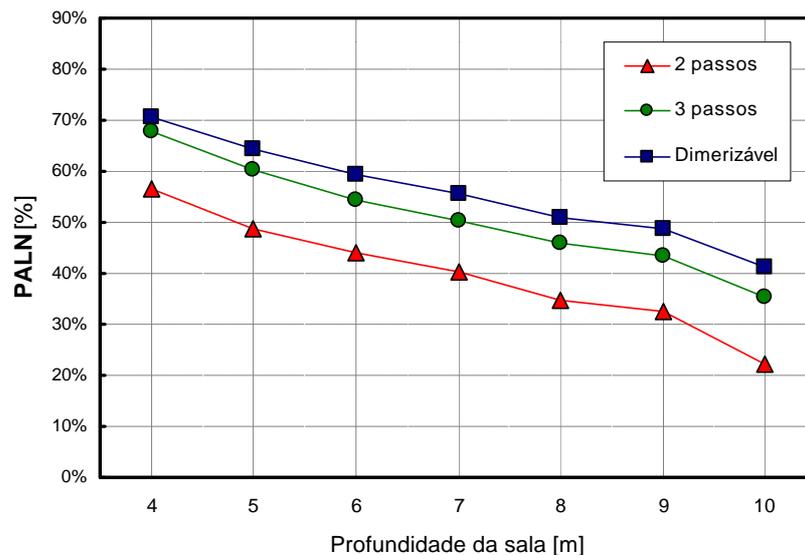


FIGURA 4.14 - PALN dos modelos.

(Iluminação oposta; Janela Dupla; Iluminância de Projeto 500 Lux; Norte; Florianópolis)

A proporção de economia de energia elétrica gasta em iluminação proporcionada por uma estratégia de controle em relação a outra estratégia é apresentada na **TABELA 4.32**. Percebe-se, nesta tabela, que a estratégia liga/desliga apresenta valores de PALN mais próximos da estratégia dimerizável, do que acontecia quando o modelo tinha iluminação unilateral.

A **TABELA 4.33** apresenta quanto aumentaria o PALN se a estratégia de controle da iluminação artificial fosse trocada. Em média, uma troca de controle liga/desliga para um controle de 3 passos aumenta o PALN em 10,4%; de 3 passos para dimerizável em 5,5% e da liga/desliga para a dimerizável existe um acréscimo de 15,9%.

TABELA 4.32 - Proporção de economia de energia das estratégias de controle automático em ambientes com iluminação oposta na cidade de Florianópolis.

Tipo de Janela	Iluminância de Projeto [Lux]	Proporção de economia [%]			
		L/D	3 passos	3 passos	Dim
Única (WWR = 0,25) x 2	300	82	93	77	
	500	69	87	61	
	1000	64	70	44	
Dupla (WWR = 0,33) x 2	300	88	95	83	
	500	77	91	70	
	1000	63	79	49	
Total (WWR = 0,50) x 2	300	91	96	88	
	500	83	94	78	
	1000	65	85	56	

TABELA 4.33 - Acréscimo do PALN através da mudança de estratégia de controle automático da iluminação artificial em ambientes com iluminação oposta na cidade de Florianópolis.

Tipo de Janela	Iluminância de Projeto [Lux]	Acréscimo do PALN para mudança de estratégia de controle [%]			
		L/D	3 passos	3 passos	Dim
Única (WWR = 0,25) x 2	300	11	4	15	
	500	13	6	19	
	1000	9	9	18	
Dupla (WWR = 0,33) x 2	300	8	4	12	
	500	12	5	17	
	1000	12	7	19	
Total (WWR = 0,50) x 2	300	6	3	9	
	500	10	4	14	
	1000	13	7	20	
Médias		10,4	5,5	15,9	

4.3.9. PALN nos modelos com iluminação adjacente e controle automático liga/desliga

Quando o modelo possui iluminação adjacente, ele é dividido em 4 zonas de iluminação conforme a **FIGURA 4.5**. As **TABELAS A.19, A.20 e A.21** do anexo A apresentam os valores do PALN quando a estratégia de controle adotada é um sistema liga/desliga automático.

Para o tipo de iluminação adjacente, a orientação da fachada principal pode apresentar diferenças no PALN de até 14 pontos percentuais (acréscimos de 14%) quando a estratégia de controle é um sistema liga/desliga. As maiores diferenças ocorrem nas salas mais profundas e entre as orientações Norte e Leste. Isto ocorre porque o modelo apresenta a janela adjacente a direita. Quando a fachada principal é orientada para o Leste, a janela adjacente fica voltada para o Sul, a orientação que apresenta as mais baixas iluminâncias da luz natural. A mínima influência da orientação da fachada no valor do PALN é de 3%, tendo em média uma diferença de 7%.

A **FIGURA 4.15** mostra a variação do PALN quando o modelo tem iluminação natural através de janelas adjacentes. Neste tipo de iluminação, a profundidade da sala tem menos influência sobre os valores do PALN do que no caso da iluminação unilateral e oposta. Isto se deve ao fato que a janela na parede adjacente aumenta a medida que a profundidade do modelo aumenta, mantendo constante a razão área da janela sobre a área da parede (WWR).

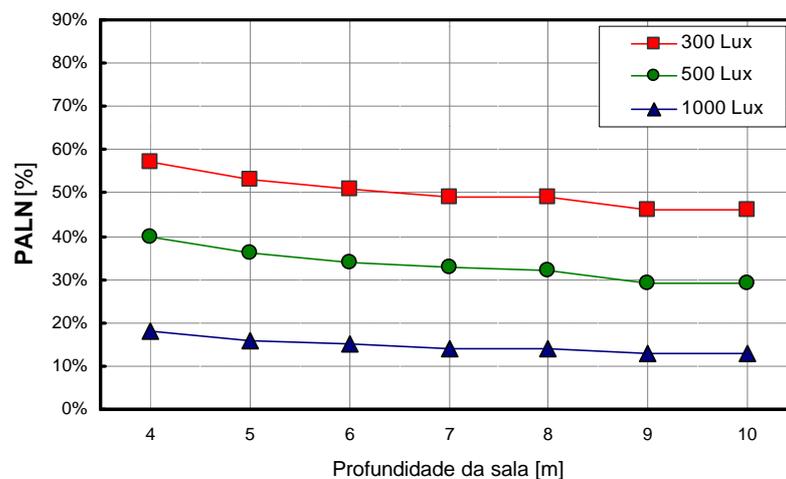


FIGURA 4.15 - PALN dos modelos.

(Iluminação adjacente; Janela Única; Controle liga/desliga; Fachada Norte; Florianópolis)

As **TABELAS 4.34, 4.35, 4.36 e 4.37** mostram em que zonas a estratégia liga/desliga pode gerar economias acima de 10%, 30%, 50% e 70%.

Para iluminância de projeto de 1000 Lux e estratégia de controle automático liga/desliga, o PALN da zona 3 é nulo em um modelo com iluminação natural através de janelas colocadas em paredes adjacentes. Na zona 2, o PALN pode atingir valores de 10% a 29% desde que o ambiente possua uma janela total. Nas zonas 1A e 1B, o PALN atinge valores de 30% a 49% para todos os tipos de janelas.

Se a iluminância de projeto é de 500 Lux é possível obter PALNs entre 10% e 29% com uma estratégia de controle liga/desliga na zona 3 desde que o ambiente possua janela dupla ou total. Na zona 2, o PALN varia de 30% a 49% para todos os tipos de janela. Nas zonas 1A e 1B dos modelos com janela única e dupla o PALN varia de 50% a 69%. Para janela total o PALN é igual ou maior a 70% nas zonas 1A e 1B quando a iluminância de projeto é de 500 Lux e a estratégia de controle é um sistema automático liga/desliga.

Na zona 3 o PALN varia de 10% a 29% nos modelos com janela única e de 30% a 49% nos modelos com janela dupla ou total quando a iluminância de projeto é de 300 Lux. Na zona 2 o PALN varia de 30% a 49%. Nas zonas 1A e 1B o PALN apresenta valores iguais ou superior a 70% para todos os tipos de janelas quando é adotada uma estratégia de controle automático liga/desliga.

TABELA 4.34 - Adoção da estratégia de controle automático **liga/desliga** nas zonas para ambientes com iluminação **adjacente** proporcionando **PALN ≥ 10%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação			
		Zona 1A	Zona 1B	Zona 2	Zona3
300	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
500	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
1000	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.35 - Adoção da estratégia de controle automático **liga/desliga** nas zonas para ambientes com iluminação **adjacente** proporcionando **PALN ≥ 30%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação			
		Zona 1A	Zona 1B	Zona 2	Zona3
300	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
500	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
1000	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.36 - Adoção da estratégia de controle automático **liga/desliga** nas zonas para ambientes com iluminação **adjacente** proporcionando **PALN ≥ 50%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação			
		Zona 1A	Zona 1B	Zona 2	Zona3
300	4	■	■	■	
	5	■	■	■	
	6	■	■	■	
	7	■	■	■	
	8	■	■	□	
	9	■	■	□	
	10	■	■	□	
500	4	■	■	■	
	5	■	■	□	
	6	■	■	□	
	7	■	■	□	
	8	■	■	□	
	9	■	■	□	
	10	■	■	□	
1000	4	■	■	□	
	5	■	■	□	
	6	□	■	□	
	7	□	■	□	
	8	□	■	□	
	9	□	□	□	
	10	□	□	□	

Legenda:

- Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
- Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
- Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.37 - Adoção da estratégia de controle automático **liga/desliga** nas zonas para ambientes com iluminação **adjacente** proporcionando **PALN ≥ 70%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação			
		Zona 1A	Zona 1B	Zona 2	Zona3
300	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
500	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
1000	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				

Legenda:

- Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
- Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
- Somente com Janela Total - WWR = 0,50

4.3.10. PALN nos modelos com iluminação adjacente e controle automático de 3 passos

As TABELAS A.22, A.23 e A.24 do anexo A apresentam os valores do PALN quando a estratégia de controle adotada é um sistema automático de 3 passos. Observa-se nestas tabelas que a maior influência que a orientação da fachada principal gera no PALN é de 12%. Em média um modelo que tem sua fachada principal orientada para o Norte apresenta um acréscimo de 7 pontos percentuais no valor do PALN quando comparado com o mesmo modelo orientado para o Leste.

Na FIGURA 4.16 pode-se ver a variação do PALN para iluminação adjacente e estratégia de controle automático de 3 passos. O gráfico da FIGURA 4.16 é semelhante ao da FIGURA 4.15 (estratégia liga/desliga), apenas apresentando valores maiores para o PALN.

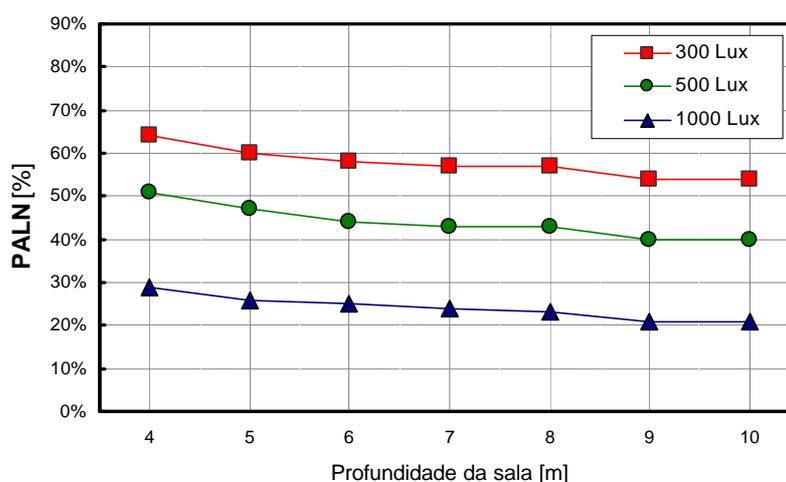


FIGURA 4.16 - PALN dos modelos.

(Iluminação adjacente; Janela Única; Controle de 3 passos; Fachada Norte; Florianópolis)

As TABELAS 4.38, 4.39, 4.40 e 4.41 mostram em que zonas o controle automático de 3 passos pode reduzir o consumo de energia elétrica gasta em iluminação mais do que 10%, 30%, 50% e 70%.

Para iluminância de projeto de 1000 Lux é possível obter PALNs entre 10% e 29% na zona 3 nos modelos com janela total, através da aplicação de uma estratégia de controle de 3 passos. Na zona 2, o PALN varia de 10% a 29% para todos os tipos de janelas. Na zona 1B o

PALN varia de 30% a 49% nos ambientes com janela única e de 50% a 69% nos ambientes com janela dupla ou total. Para a zona 1B o PALN varia de 30% a 49% nos ambientes com janela única, atingindo valores de 50% a 69% se o ambiente possuir dupla ou janela total. Na zona 1A, o PALN varia de 30% a 49% nos ambientes com janela única ou dupla e de 50% a 69% se o tipo de janela for total.

Se a iluminância de projeto for de 500 Lux a zona 3 apresenta PALNs de 10% a 29% nos ambientes com janela única ou dupla para uma estratégia de controle automático de 3 passos. Para janela total o PALN varia de 30% a 49% na zona 3 dos ambientes com iluminação adjacente. Na zona 2 o PALN varia de 30% a 49% para todos os tipos de janelas. Nas zonas 1A e 1B com janela única, o PALN varia de 50% a 69% e de 70% ou maior se a janela for dupla ou total.

Para iluminância de projeto de 300 Lux a zona 3 apresenta PALN de 30% a 49% para a estratégia de controle de 3 passos para todos os tipos de janelas. Na zona 2, o PALN varia de 30% a 49% nos ambientes com janela única e de 50% a 69% se o ambiente possuir janela dupla ou total. Nas zonas 1A e 1B o PALN é sempre igual ou superior a 70% para todos os tipos de janelas.

TABELA 4.38 - Adoção da estratégia de controle automático de **3 passos** nas zonas para ambientes com iluminação **adjacente** proporcionando **PALN ≥ 10%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação			
		Zona 1A	Zona 1B	Zona 2	Zona3
300	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
500	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
1000	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.39 - Adoção da estratégia de controle automático de **3 passos** nas zonas para ambientes com iluminação **adjacente** proporcionando **PALN ≥ 30%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação			
		Zona 1A	Zona 1B	Zona 2	Zona3
300	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
500	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
1000	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.40 - Adoção da estratégia de controle automático de **3 passos** nas zonas para ambientes com iluminação **adjacente** proporcionando **PALN ≥ 50%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação			
		Zona 1A	Zona 1B	Zona 2	Zona3
300	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
500	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
1000	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.41 - Adoção da estratégia de controle automático de **3 passos** nas zonas para ambientes com iluminação **adjacente** proporcionando **PALN $\geq 70\%$** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação			
		Zona 1A	Zona 1B	Zona 2	Zona3
300	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
500	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
1000	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

4.3.11. PALN nos modelos com iluminação adjacente e controle automático dimerizável

Os valores do PALN nos modelos com iluminação adjacente e estratégia de controle automático dimerizável são apresentados nas **TABELAS A.25, A.26 e A.27** do anexo A.

Com a estratégia de controle dimerizável diminui a influência da orientação da fachada principal sobre os valores do PALN. A maior diferença é de 9 pontos percentuais e a média de 6 pontos percentuais.

A **FIGURA 4.17** mostra a variação do PALN quando a estratégia de controle é um sistema dimerizável. A variação do PALN com a profundidade é semelhante ao que acontece quando a estratégia é liga/desliga ou 3 passos.

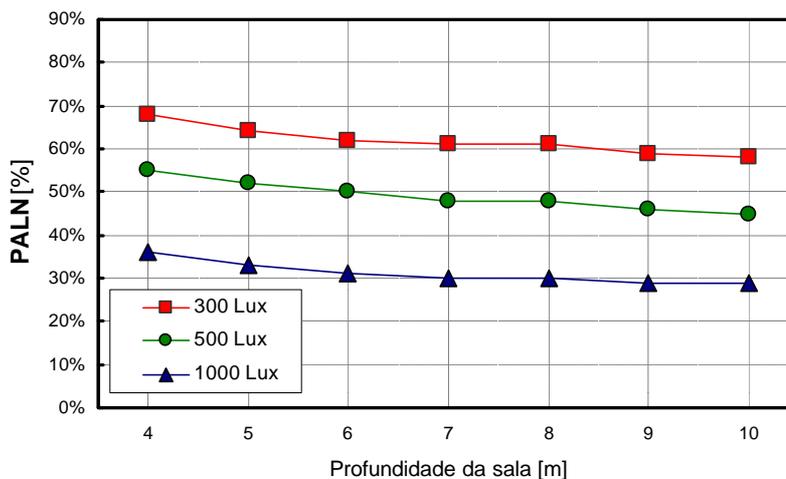


FIGURA 4.17 - PALN dos modelos.

(Iluminação adjacente; Janela Única; Controle dimerizável; Fachada Norte; Florianópolis)

As **TABELAS 4.42, 4.43, 4.44 e 4.45** mostram em que zonas o controle automático dimerizável diminui o consumo de energia elétrica gasta em iluminação mais do que 10%, 30%, 50% e 70%.

Ao se aplicar uma estratégia de controle automático dimerizável em um ambiente com iluminação adjacente, consegue-se PALNs entre 10% e 29% na zona 3 quando a iluminância de projeto é de 1000 Lux. Na zona 2, o PALN varia de 10% a 29% para os ambientes com janela

única ou dupla e de 30% a 49% se o ambiente possuir janela total. Nas zonas 1A e 1B o PALN atinge valores de 30% a 49% nos ambientes com janela única e de 50% a 69% se o ambiente possuir janela dupla ou total.

Para iluminâncias de projeto de 500 Lux a estratégia de controle automático dimerizável apresenta PALNs entre 10% e 29% na zona 3 quando o ambiente possui janela única. Se a janela é dupla ou total o PALN da zona 3 fica entre 30% e 49%. Na zona 2, o PALN assume valores de 30% a 49% para todos os tipos de janelas. Nas zonas 1A e 1B o PALN fica entre 50% e 69% para ambientes com janela única sendo igual ou superior a 70% se o ambiente possuir janela dupla ou total.

Se a iluminância de projeto for de 300 Lux o PALN atinge valores de 30% a 49% na zona 3 para todos os tipos de janelas. Na zona 2, também para todos os tipos de janelas, o PALN varia entre 50% e 69%. Nas zonas 1A e 1B o PALN é igual ou superior a 70% para todos os tipos de janela.

TABELA 4.42 - Adoção da estratégia de controle automático **dimerizável** nas zonas para ambientes com iluminação **adjacente** proporcionando **PALN ≥ 10%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação			
		Zona 1A	Zona 1B	Zona 2	Zona3
300	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
500	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
1000	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.43 - Adoção da estratégia de controle automático **dimerizável** nas zonas para ambientes com iluminação **adjacente** proporcionando **PALN ≥ 30%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação			
		Zona 1A	Zona 1B	Zona 2	Zona3
300	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
500	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
1000	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.44 - Adoção da estratégia de controle automático **dimerizável** nas zonas para ambientes com iluminação **adjacente** proporcionando **PALN ≥ 50%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação			
		Zona 1A	Zona 1B	Zona 2	Zona3
300	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
500	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
1000	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

TABELA 4.45 - Adoção da estratégia de controle automático **dimerizável** nas zonas para ambientes com iluminação **adjacente** proporcionando **PALN ≥ 70%** na cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	Zonas de Iluminação			
		Zona 1A	Zona 1B	Zona 2	Zona3
300	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
500	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
1000	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				

Legenda:

-  Todos os tipos de Janelas - WWR = 0,25; WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Dupla e Total - WWR = 0,33; WWR = 0,50
-  Somente com Janela Total - WWR = 0,50

As **TABELAS 4.34 a 4.45** mostram os PALNs nas zonas dos modelos com iluminação adjacente, para as três estratégias de controle automático (liga/desliga, 3 passos e dimerizável) e três iluminâncias de projeto (300 Lux, 500 Lux e 1000 Lux). A análise destas tabelas permite dizer que:

- ❑ Só será possível reduzir o consumo de energia elétrica gasta em iluminação através do aproveitamento da luz natural na zona 3, para iluminâncias de projeto de 1000 Lux, se for adotada uma estratégia de controle automático de 3 passos e o modelo possuir uma janela total ou dimerizável para todos os tipos de janelas. Nestas condições o PALN varia de 10% a 29%;
- ❑ Na zona 3 de um ambiente com iluminação adjacente e iluminância de projeto é de 500 Lux, o PALN varia de 10% a 29% quando é adotada uma estratégia de controle automático liga/desliga e de 30% a 49% quando o controle é um sistema automático dimerizável;
- ❑ Para iluminâncias de projeto de 300 Lux o PALN varia entre 30% e 49% na zona 3, quando o ambiente possui janela dupla ou total, para as três estratégias de controle. Se a janela é única, somente as estratégias de controle automático e de 3 passos conseguem PALNs entre 30% e 49%. Para a estratégia de controle liga/desliga o PALN varia entre 10% e 29% na zona 3;
- ❑ Se a iluminância de projeto for de 1000 Lux, a zona 2 só terá redução da carga de iluminação através do aproveitamento da luz natural com uma estratégia de controle liga/desliga se o ambiente possuir uma janela total, variando de 10% a 29%. Para as estratégias de controle automático de 3 passos e dimerizável o PALN varia de 10% a 29% para todos os tipos de janelas;
- ❑ Com uma iluminância de projeto de 500 Lux consegue-se PALNs entre 30% e 49% na zona 2, para os três tipos de janelas e as três estratégias de controle;
- ❑ Para iluminância de 300 Lux o PALN varia de 30% a 49% na zona 2 quando é adotada uma estratégia de controle automático liga/desliga e de 50% a 69% se a estratégia de controle automático for de 3 passos ou dimerizável;
- ❑ Nas zonas 1A e 1B o PALN varia entre 30% e 49% quando a iluminância de projeto é de 1000 Lux e a estratégia adotada é um controle automático liga/desliga. Se a estratégia adotada for um controle automático de 3 passos ou dimerizável o PALN ficará na faixa dos 50% a 69% nos modelos de janela dupla e total;

- ❑ Para iluminância de projeto de 500 Lux o PALN varia de 50% a 69% nas Zonas 1A e 1B quando o ambiente possui janela única e apresenta valores iguais ou superior a 70% se o ambiente possuir janela dupla ou total;
- ❑ Para iluminância de projeto de 300 Lux o PALN será sempre igual ou superior a 70% para os três tipos de janelas e as três estratégias de controle automático.

A **TABELA 4.46** apresenta os PALNs nas zonas de iluminação dos ambientes com iluminação adjacente para três iluminâncias de projeto (300 Lux, 500 Lux e 1000 Lux), três estratégias de controle automático (liga/desliga, 3 passos e dimerizável) e três tipos de janelas (única, dupla e total).

TABELA 4.46 - PALN das zonas de iluminação dos modelos com iluminação adjacente na cidade de Florianópolis.

Zonas de Iluminação	PALN [%]	Iluminância de Projeto [Lux]								
		300			500			1000		
		Estratégias de Controle			Estratégias de Controle			Estratégias de Controle		
		L/D	3 passos	DIM	L/D	3 passos	DIM	L/D	3 passos	DIM
Zona 1A	10 - 29									
	30 - 49							U - D - T	U - D	U
	50 - 69				U - D	U	U		T	D - T
	70	U - D - T	U - D - T	U - D - T	T	D - T	D - T			
Zona 1B	10 - 29									
	30 - 49							U - D - T	U	U
	50 - 69				U - D	U	U		D - T	D - T
	70	U - D - T	U - D - T	U - D - T	T	D - T	D - T			
Zona 2	10 - 29							T	U - D - T	U - D
	30 - 49	U - D - T	U		U - D - T	U - D - T	U - D - T			T
	50 - 69		D - T	U - D - T						
	70									
Zona 3	10 - 29	U			D - T	U - D	U		T	U - D - T
	30 - 49	D - T	U - D - T	U - D - T		T	D - T			
	50 - 69									
	70									

Obs: **U** - Modelos com janela única (WWR = 0,25); **D** - Modelos com janela dupla (WWR = 0,33); **T** - Modelos com janela total (WWR = 0,50)

As células em branco indicam que nenhum dos três tipos de janelas é capaz de reduzir o consumo de energia elétrica gasta em iluminação artificial através do aproveitamento da luz natural.

4.3.12. Estratégias de controle automático nos modelos com iluminação adjacente

Na **FIGURA 4.18** pode-se ver o valor do PALN para as 3 estratégias de controle (liga/desliga, 3 passos e dimerizável). A diferença nos valores do PALN entre as estratégias se mantém praticamente constante para modelos de diferentes profundidades.

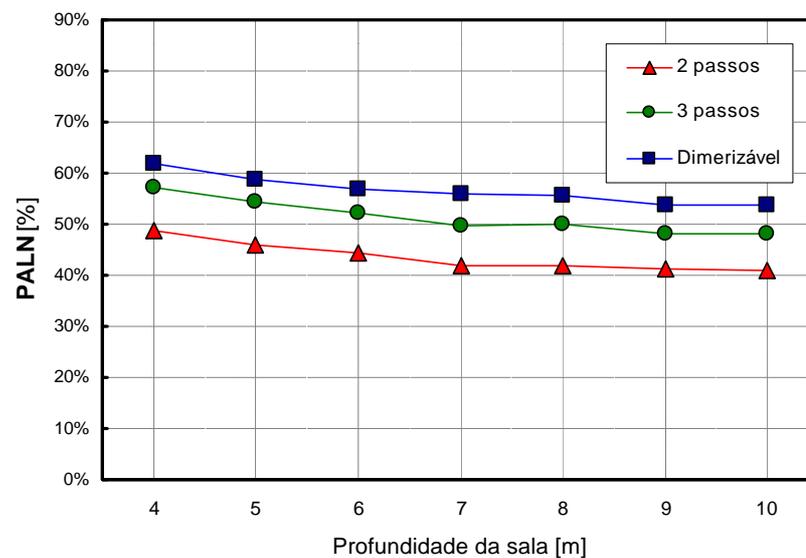


FIGURA 4.18 - PALN dos modelos.

(Iluminação adjacente; Janela Dupla; Iluminância de Projeto 500 Lux; Norte; Florianópolis)

A **TABELA 4.47** mostra a relação percentual da economia de energia gasta em iluminação de uma estratégia com relação a outra. Neste tipo de iluminação a estratégia liga/desliga apresenta valores próximos do controle dimerizável, chegando a 86%.

A **TABELA 4.48** mostra o acréscimo no valor do PALN que ocorre quando se troca de estratégia de controle. Em média, uma troca de controle liga/desliga para um controle de 3 passos aumenta o PALN em 9,6%; de 3 passos para dimerizável em 5,8% e da liga/desliga para a dimerizável o acréscimo é de 15,4%.

TABELA 4.47 - Proporção de economia de energia das estratégias de controle automático em ambientes com iluminação adjacente na cidade de Florianópolis.

Tipo de Janela	Iluminância de Projeto [Lux]	Proporção de economia [%]			
		L/D	3 passos	3 passos	Dim
Única (WWR = 0,25) x 2	300	87	93	81	
	500	76	89	68	
	1000	61	77	47	
Dupla (WWR = 0,33) x 2	300	89	94	84	
	500	85	91	77	
	1000	59	84	49	
Total (WWR = 0,50) x 2	300	89	96	86	
	500	89	93	83	
	1000	69	88	61	

TABELA 4.48 - Acréscimo do PALN através da mudança de estratégia de controle automático da iluminação artificial em ambientes com iluminação adjacente na cidade de Florianópolis.

Tipo de Janela	Iluminância de Projeto [Lux]	Acréscimo do PALN para mudança de estratégia de controle [%]			
		L/D	3 passos	3 passos	Dim
Única (WWR = 0,25) x 2	300	9	5	14	
	500	11	6	17	
	1000	9	8	17	
Dupla (WWR = 0,33) x 2	300	8	5	13	
	500	10	6	16	
	1000	11	7	18	
Total (WWR = 0,50) x 2	300	8	3	11	
	500	9	5	14	
	1000	12	7	19	
Médias		9,6	5,8	15,4	

4.4. COMPARAÇÃO ENTRE OS TIPOS DE ILUMINAÇÃO

Para fazer uma comparação entre os tipos de iluminação foram selecionados os modelos com a mesma abertura de iluminação. O modelo com iluminação unilateral e janela total (**FIGURA 4.19a**) com profundidade de 6 m possui abertura de iluminação do mesmo tamanho dos modelos com iluminação oposta (**FIGURA 4.19b**) e adjacente (**FIGURA 4.19c**) com janela única e também com profundidade de 6 m.

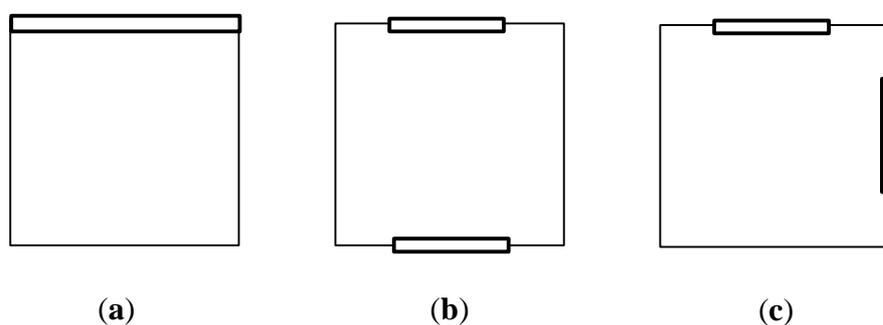


FIGURA 4.19 - Tipos de iluminação (unilateral; oposta e adjacente).

As **TABELAS 4.49, 4.50, 4.51 e 4.52** mostram a relação percentual da economia de energia gasta em iluminação de um tipo de iluminação com relação ao outro, para as orientações Norte, Leste, Sul e Oeste respectivamente.

TABELA 4.49 - Proporção da economia de energia proporcionada pelos diferentes tipos de iluminação para ambiente de 6 m x 6 m com a fachada principal orientada para o Norte na cidade de Florianópolis.

Estratégia de controle	Iluminância de Projeto [Lux]	Proporção de economia [%]		
		Adjacente Oposta	Unilateral Oposta	Unilateral Adjacente
Liga/desliga	300	100	73	73
	500	100	71	71
	1000	115	85	73
3 passos	300	94	73	78
	500	98	73	75
	1000	104	71	68
Dimerizável	300	95	77	81
	500	96	73	76
	1000	97	78	81

TABELA 4.50 - Proporção da economia de energia proporcionada pelos diferentes tipos de iluminação para ambiente de 6 m x 6 m com a fachada principal orientada para o Leste na cidade de Florianópolis.

Estratégia de controle	Iluminância de Projeto [Lux]	Proporção de economia [%]		
		Adjacente Oposta	Unilateral Oposta	Unilateral Adjacente
Liga/desliga	300	76	60	79
	500	74	60	81
	1000	83	83	100
3 passos	300	80	63	79
	500	77	60	78
	1000	78	65	83
Dimerizável	300	84	69	82
	500	81	68	84
	1000	84	74	88

TABELA 4.51 - Proporção da economia de energia proporcionada pelos diferentes tipos de iluminação para ambiente de 6 m x 6 m com a fachada principal orientada para o Sul na cidade de Florianópolis.

Estratégia de controle	Iluminância de Projeto [Lux]	Proporção de economia [%]		
		Adjacente Oposta	Unilateral Oposta	Unilateral Adjacente
Liga/desliga	300	88	58	66
	500	88	59	67
	1000	92	77	83
3 passos	300	89	62	70
	500	89	62	70
	1000	83	63	75
Dimerizável	300	91	69	76
	500	88	65	74
	1000	88	66	75

TABELA 4.52 - Proporção da economia de energia proporcionada pelos diferentes tipos de iluminação para ambiente de 6 m x 6 m com a fachada principal orientada para o Oeste na cidade de Florianópolis.

Estratégia de controle	Iluminância de Projeto [Lux]	Proporção de economia [%]		
		Adjacente Oposta	Unilateral Oposta	Unilateral Adjacente
Liga/desliga	300	85	62	72
	500	86	60	70
	1000	83	92	110
3 passos	300	89	64	72
	500	85	60	71
	1000	83	67	80
Dimerizável	300	90	69	77
	500	89	68	77
	1000	90	74	82

Analisando os valores das **TABELAS 4.49, 4.50, 4.51 e 4.52** verifica-se que o sistema de iluminação oposta é o que apresenta os maiores percentuais de economia. A diferença nos valores dos PALNs proporcionados pelos 3 tipos de iluminação depende da iluminância de projeto, da estratégia de controle da iluminação artificial e da orientação da fachada principal. Realizando-se uma média geral, verifica-se que uma iluminação unilateral no modelo com 6 m de profundidade proporciona 69% da economia gerada pelo aproveitamento da luz natural através de uma iluminação oposta. Ao comparar com a iluminação adjacente esta diferença diminui, fazendo com que o PALN de um sistema de iluminação unilateral chegue a 78% da iluminação adjacente.

A outra comparação que pode ser feita dentro dos modelos simulados é de um sistema de iluminação unilateral com janela total ($WWR = 0,50$) e sistema de iluminação oposta com janela única ($2 \times WWR = 0,25$). A **TABELA 4.53** mostra os valores médios para todas as profundidades.

TABELA 4.53 - Proporção da economia de energia proporcionada pela iluminação unilateral com relação a iluminação oposta com $WWR = 0,50$ na cidade de Florianópolis.

Estratégia de controle	Iluminância de Projeto [Lux]	Proporção de economia [%]			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
Liga/desliga	300	72	62	61	64
	500	85	72	70	75
	1000	81	85	72	91
3 passos	300	72	63	62	64
	500	76	65	64	66
	1000	83	75	71	82
Dimerizável	300	76	69	68	70
	500	78	69	68	71
	1000	78	72	70	74

A iluminação unilateral proporciona em média 72% da economia proporcionada por um sistema com iluminação oposta com mesma área de janela. O PALN de um sistema de

iluminação unilateral se aproxima mais do PALN de um sistema com iluminação oposta, quando a orientação da fachada principal é Norte e a iluminância de projeto aumenta. Para uma orientação da fachada Sul e diminuindo a iluminância de projeto, o PALN de um sistema com iluminação unilateral se afasta cada vez mais do PALN gerado por uma iluminação através de janelas opostas.

Capítulo 5

Conclusões e Recomendações

5.1. INTRODUÇÃO	163
5.2. AS ZONAS DE ILUMINAÇÃO	164
5.3. IMPLICAÇÕES DO ZONEAMENTO NO PROJETO LUMINOTÉCNICO	168
5.4. PERCENTUAL DE APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL (PALN).....	168
5.5. LIMITAÇÕES DO TRABALHO	172
5.6. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	172

5.1. INTRODUÇÃO

A eficiência energética dos sistemas de iluminação está relacionada com duas variáveis: o tempo de utilização e a potência instalada do sistema artificial. A potência instalada pode ser reduzida através da substituição dos equipamentos de pouca eficiência (lâmpadas incandescentes e fluorescentes com reatores convencionais) por outros de alta eficiência (lâmpadas fluorescentes com reatores eletrônicos), mas quando se busca redução do tempo de utilização a melhor solução é o aproveitamento da luz natural.

Os sistemas automáticos de controle de passo e os dimerizáveis em resposta à luz natural apresentam-se como uma opção a ser utilizada na integração dos sistemas de iluminação natural e artificial. Estes sistemas são capazes de reduzir o tempo de utilização do sistema artificial e conseqüentemente diminuem o consumo de energia gasta em iluminação.

Neste trabalho é apresentada uma metodologia que permite estimar o potencial de economia de energia elétrica gasta em iluminação através do aproveitamento da luz natural associado a sistemas automáticos de controle da luz artificial. Esta estimativa se dá através da variável chamada de PALN (Percentual de Aproveitamento da Luz Natural). O PALN, além de estimar a quantidade de energia que pode ser economizada através do aproveitamento da luz natural, também permite a comparação entre diversas estratégias de controle da iluminação artificial. Para obtenção do PALN, o ambiente é dividido em zonas de iluminação que são caracterizadas por áreas que apresentam uma distribuição de iluminâncias com características similares. O PALN é então calculado para cada zona de iluminação e para 3 condições de céu (claro, parcial e encoberto). Finalmente calcula-se o PALN ponderado do ambiente que leva em consideração a área de cada zona de iluminação e a probabilidade de ocorrência de cada tipo de céu.

A metodologia proposta foi implementada computacionalmente e aplicada em 63 modelos. Os modelos estudados possuem largura fixa de 6 m e profundidade variável de 4 m a 10 m. São caracterizados por 3 tipos de iluminação (unilateral, oposta e adjacente) e 3 tipos de janelas (única - WWR = 0,25, dupla - WWR = 0,33 e total - WWR = 0,50). Para as refletâncias internas foram adotados os seguintes valores: 20% para o piso; 50% para as paredes e 70% para o teto.

Definidos os modelos o passo seguinte foi compreender o comportamento da luz natural dentro dos mesmos. Para isso os modelos foram simulados utilizando-se o programa computacional LuzSolar (CLARO [1998]), que permite obter a disponibilidade de luz natural ao longo do ano. O LuzSolar permitiu, num primeiro momento, identificar as zonas de iluminação, que neste trabalho são caracterizadas por regiões do modelo onde a razão entre a iluminância máxima e mínima é inferior ou igual a 3. O ambiente é dividido em zonas de iluminação permitindo que a iluminação artificial de cada um delas tenha um controle independente. Como os modelos apresentam tamanhos diferentes o comprimento de cada zona de iluminação foi determinado como um percentual da profundidade.

Definidas as zonas de iluminação, o programa LuzSolar é executado novamente para determinar a iluminância média proporcionada pela luz natural em cada delas. A iluminância média é determinada a uma altura de 75 cm do piso e para 3 condições de céu (claro, parcial e encoberto). Com a iluminância média da luz natural em cada zona de iluminação é possível então determinar o PALN (percentual de aproveitamento da luz natural) do modelo.

O PALN foi então determinado para cada modelo variando-se a estratégia de controle da iluminação artificial (liga/desliga, 3 passos e dimerizável), a iluminância de projeto (300 Lux, 500 Lux e 1000 Lux) e a orientação da fachada principal (Norte, Leste, Sul e Oeste). Para a determinação do PALN foi criado o programa computacional LuzPALN. Este programa, a partir da iluminância média de cada zona para cada tipo de céu, da probabilidade de ocorrência de céu, da iluminância de projeto e das áreas das zonas de iluminação, calcula o PALN de cada zona e do modelo para as 3 estratégias de controle.

5.2. AS ZONAS DE ILUMINAÇÃO

As simulações mostraram que a distribuição de zonas dentro dos modelos é função do tipo de iluminação (unilateral, oposta e adjacente), tendo a orientação da fachada principal e o tipo de janela, pequena influência sobre o tamanho das mesmas (variação máxima de 5% da profundidade do modelo).

Os modelos com iluminação unilateral foram divididos em 4 zonas de iluminação paralelas à parede que contém a janela. As zonas de iluminação têm o seu comprimento definido como uma fração da profundidade do modelo. Realizando uma média dos valores obtidos para todas as profundidades pode-se dizer que para ambientes com iluminação unilateral a configuração de zonas é a mostrada na **FIGURA 5.1**:

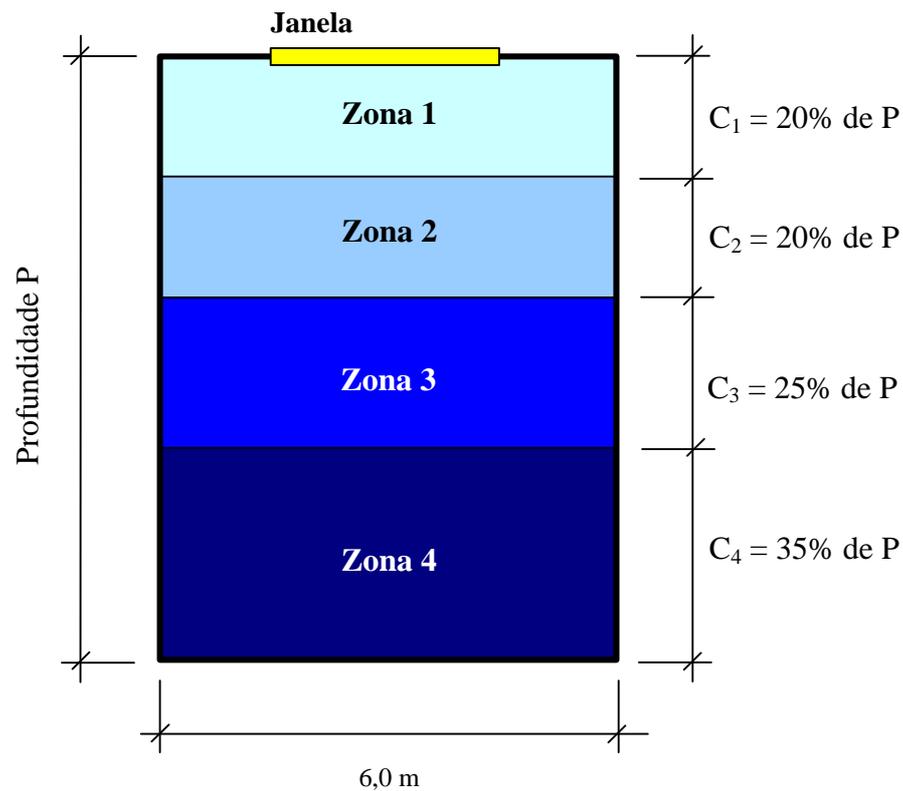


FIGURA 5.1 - Configuração de Zonas de Iluminação para ambientes com iluminação unilateral.

Conforme pode ser observado na **FIGURA 5.1** as zonas de iluminação 3 e 4 são as que apresentam a maior extensão, mas foram as zonas que apresentaram os menores níveis de iluminância da luz natural, pois estão mais afastadas da janela.

Para iluminação oposta o ambiente foi dividido em 3 zonas de iluminação. Embora existam pequenas diferenças no tamanho das zonas para este modelo em função da orientação da fachada principal e do tipo de janela, um valor médio para o tamanho das zonas de iluminação é mostrado na **FIGURA 5.2**:

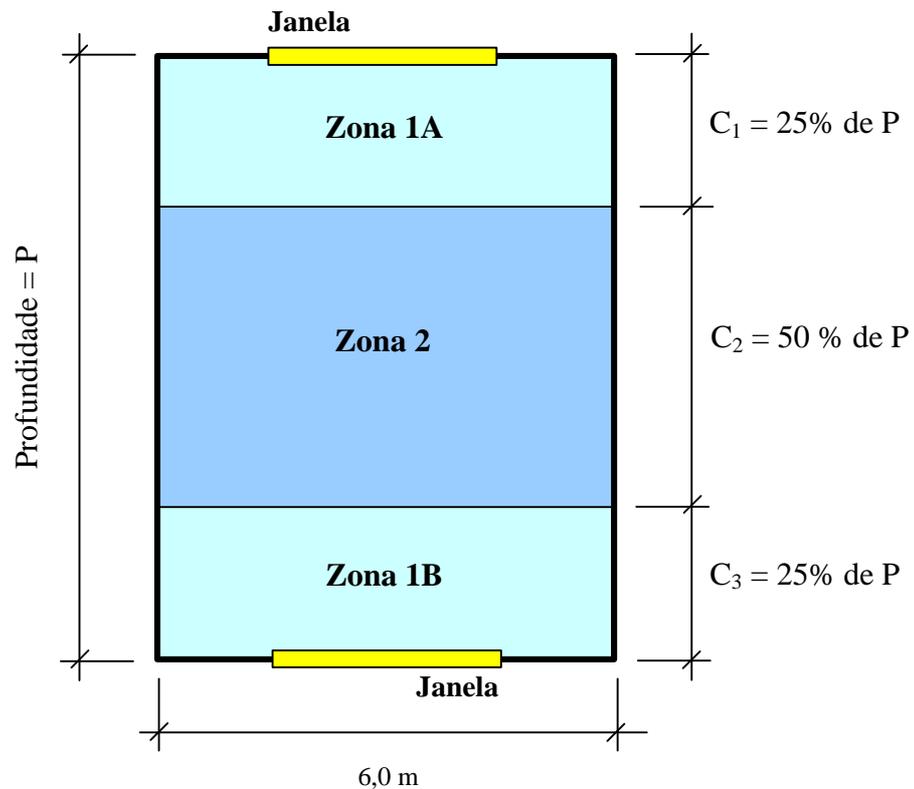


FIGURA 5.2 - Configuração de Zonas de Iluminação para ambientes com iluminação oposta.

Para este tipo de iluminação a maior zona é a 2. Ela apresenta os menores níveis de iluminância proporcionado pela luz natural e seu tamanho é o dobro do tamanho das zonas 1A e 1B. As zonas 1A e 1B são assim chamadas por apresentarem características semelhantes na distribuição da luz natural.

Quando o sistema de iluminação natural é através de janelas adjacentes a configuração das zonas de iluminação é diferente dos outros dois sistemas (unilateral e oposta). Com iluminação adjacente surge uma zona de iluminação perpendicular à parede da fachada principal e 3 zonas paralelas. A **FIGURA 5.3** mostra os valores médios de tamanho de zonas para ambientes com iluminação adjacente:

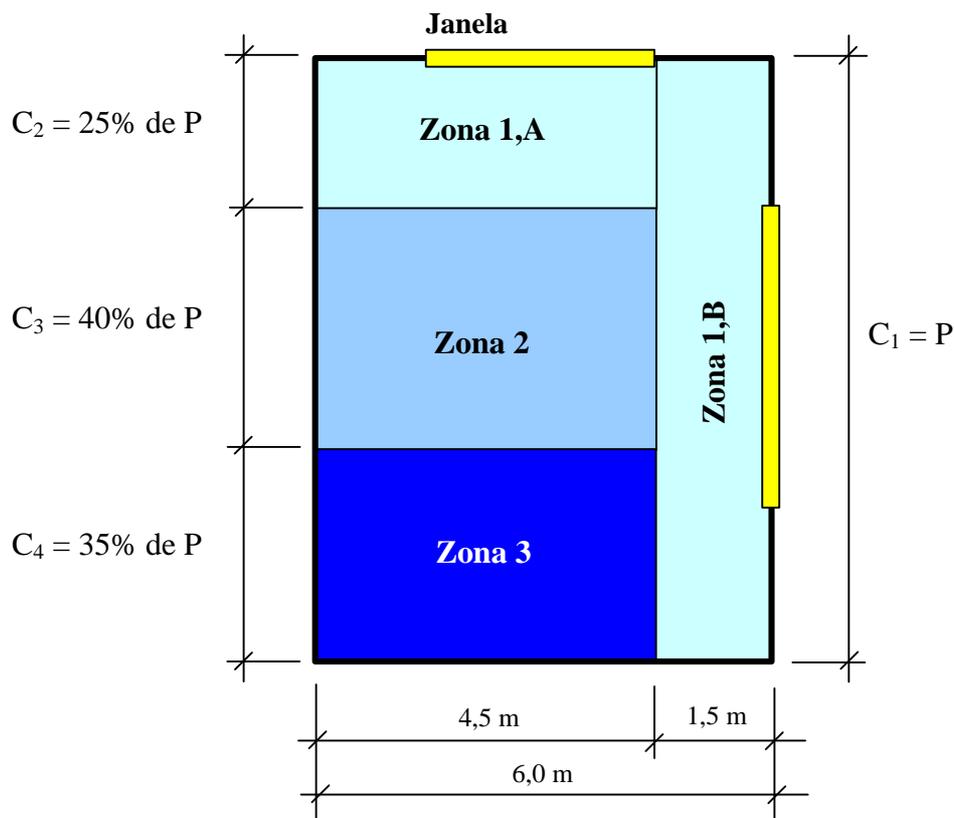


FIGURA 5.3 - Configuração de Zonas de Iluminação para ambientes com iluminação adjacente.

A iluminação natural através de janelas adjacentes cria duas zonas com características semelhantes, as zonas 1A e 1B. Aqui, como nos modelos anteriores, as maiores zonas são as que ficam mais afastadas das janelas e as que apresentam os menores níveis de luz natural.

Na identificação das zonas de iluminação pode-se perceber que o número e a distribuição dentro do ambiente possuem relação direta com a localização do sistema de aberturas e não com a disponibilidade de luz natural (céu claro, parcial e encoberto). Um modelo simulado para céu claro apresenta a mesma distribuição de zonas de iluminação quando simulado para céu parcial e céu encoberto, embora a iluminância proporcionada por estas fontes naturais dentro do ambiente seja diferente. As zonas de iluminação não estão relacionadas com a magnitude da iluminância proporcionada pela luz natural, mas na forma de como ela é distribuída dentro do ambiente.

5.3. IMPLICAÇÕES DO ZONEAMENTO NO PROJETO LUMINOTÉCNICO

Para que se obtenha uma iluminação de qualidade e energeticamente eficiente, esta deve ser planejada obedecendo a critérios técnicos. A ferramenta utilizada para atingir este objetivo é o projeto luminotécnico, sendo o método dos lumens o mais simples e o mais conhecido entre os profissionais de iluminação. Sabendo-se que a concepção do ambiente é um dado fundamental para a qualidade da iluminação, o arquiteto e o projetista luminotécnico devem trabalhar em conjunto desde as fases iniciais do projeto arquitetônico. O projetista luminotécnico na busca de um sistema de iluminação energeticamente eficiente terá que levar em consideração não somente as fontes artificiais, mas também a presença da luz natural no ambiente.

Com o objetivo de melhor aproveitar a luz natural o projetista luminotécnico terá que dimensionar o sistema de iluminação artificial dividindo o ambiente em zonas de iluminação. O projeto luminotécnico agora não será mais uma simples aplicação do método dos lumens, que determina uma distribuição uniforme de luminárias dentro do ambiente, esta distribuição terá que ser uniforme também dentro das zonas de iluminação, formando um conjunto uniforme quando as lâmpadas de todas as zonas de iluminação estão ligadas (iluminação noturna).

Tomando como exemplo um modelo com iluminação unilateral que deverá ser dividido em 4 zonas de iluminação conforme a **FIGURA 5.1**: ao realizar o projeto luminotécnico, pelo método dos lumens, tem-se um fluxo luminoso total que deverá ser fornecido pelo sistema de iluminação artificial, logo as luminárias colocadas nas zonas 1, 2, 3 e 4 deverão fornecer respectivamente, 20%, 20%, 25% e 35% do fluxo luminoso total.

5.4. PERCENTUAL DE APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL (PALN)

O potencial de economia de energia elétrica gasta em iluminação artificial proporcionado pela luz natural em cada zona e no ambiente está relacionado com a iluminância de projeto, com a estratégia de controle do sistema artificial, com o tipo de iluminação natural, tipo de janela e com a profundidade do ambiente.

Quanto menor é a iluminância de projeto, maior é o potencial de economia de energia elétrica gasta em iluminação. Isto ocorre porque uma iluminância de projeto de pequeno valor é facilmente fornecida pela luz natural, fazendo com que o sistema artificial permaneça desligado por mais tempo, proporcionando assim uma maior economia de energia.

O sistema liga/desliga é o que proporciona o menor PALN das 3 estratégias simuladas neste trabalho. Com ele não se consegue iluminâncias intermediárias do sistema artificial entre a iluminância máxima (ligado) e o totalmente escuro (desligado). Este sistema tem utilização indicada nas zonas onde a iluminância da luz natural ultrapassa a iluminância de projeto na maioria do tempo de utilização do espaço.

Através do controlador automático de 3 passos pode-se obter PALNs mais elevados. Isto ocorre porque o sistema artificial pode ter 50% da sua capacidade desligada quando a luz natural fornece níveis de iluminação entre 50% e 100% da iluminância de projeto.

O sistema dimerizável é o que proporciona o maior PALN das 3 estratégias analisadas. Isto acontece porque ele faz com que o sistema artificial forneça o fluxo luminoso exato capaz de produzir uma iluminância que somada a iluminância produzida pela luz natural resulta na iluminância de projeto. Ele tem um melhor desempenho sobre os outros sistemas principalmente nas zonas em que a luz natural não consegue fornecer a iluminância de projeto, mas uma parcela desta.

Um outro fator que também interfere no potencial de economia da luz natural é o tipo de iluminação (unilateral, oposta e adjacente). Dentro dos modelos estudados pode-se verificar que o sistema de iluminação unilateral é o que apresenta a menor potencialidade de aproveitamento da luz natural. O sistema de iluminação unilateral e janela total ($WWR = 0,50$) proporciona em média 72% do PALN que seria proporcionado por um sistema de iluminação oposta e janela única ($2 \times WWR = 0,25$).

A profundidade do modelo também influencia o valor do PALN do ambiente. Nos ambientes mais profundos a luz natural não consegue proporcionar iluminâncias elevadas no fundo da sala, resultando numa maior utilização do sistema de iluminação artificial nas zonas mais afastadas das janelas.

O tipo de janela também vai interferir no valor do PALN em função do tamanho da abertura de iluminação natural. À medida que a abertura de iluminação aumenta, maior é a admissão de luz no espaço e maior será a oportunidade de reduzir a carga de iluminação artificial.

O modelo com janela única ($WWR = 0,25$), iluminância de projeto de 1000 Lux, profundidade de 10 m e estratégia de controle liga/desliga é o que apresenta o menor PALN, sendo este de 3%. O maior PALN é 65% e ocorre quando o modelo tem janela total ($WWR = 0,50$), iluminância de projeto de 300 Lux, profundidade de 4 m e estratégia de controle dimerizável.

Os valores máximos e mínimos do PALN para iluminação oposta e adjacente acontecem com a mesma combinação de parâmetros do caso da iluminação unilateral. Quando a iluminação é com janelas opostas, o mínimo PALN é de 6% e o máximo de 87%. Para janelas adjacentes o PALN varia de 10% a 78%.

Na troca da estratégia de controle liga/desliga para uma de 3 passos, de uma de 3 passos para uma dimerizável existe um acréscimo no valor do PALN. Este acréscimo é função do tipo de iluminação, do tipo de janela, iluminância de projeto e da profundidade do modelo. Realizando uma média geral pode-se dizer que:

$$\begin{aligned} \text{PALN}_{3 \text{ PASSOS}} &= \text{PALN}_{\text{LIGA/DESLIGA}} + 9\% \\ \text{PALN}_{\text{DIM}} &= \text{PALN}_{3 \text{ PASSOS}} + 6\% \\ \text{PALN}_{\text{DIM}} &= \text{PALN}_{\text{LIGA/DESLIGA}} + 15\% \end{aligned}$$

A medida que a iluminância de projeto aumenta, o PALN gerado por uma estratégia liga/desliga se afasta cada vez mais do PALN proporcionado por uma estratégia de controle dimerizável. Isto acontece porque para iluminâncias elevadas a luz natural não consegue substituir a iluminação artificial que é a característica do sistema liga/desliga. Como no sistema dimerizável ocorre economia por complementação e não apenas por substituição do sistema artificial, consegue-se com esta estratégia de controle PALNs mais elevados.

Através da análise dos PALNs que ocorreram nas zonas de iluminação pode-se chegar as seguintes conclusões:

- ❑ Nos ambientes com iluminação unilateral o PALN para uma iluminância de projeto de 1000 Lux será sempre nulo na zona 4 para as três estratégias de controle;
- ❑ A estratégia de controle de 3 passos só apresentará PALNs não nulos na zona 4 de um ambiente com iluminação unilateral para iluminâncias de projeto de 300 Lux;
- ❑ A zona 3 dos ambientes com iluminação unilateral apresenta PALN nulo para estratégia de controle automático de 2 passos e iluminâncias de projeto de 500 Lux e 1000 Lux, também sendo nulo para estratégia de controle automático de 3 passos e iluminância de projeto de 1000 Lux;
- ❑ As zonas 1 de um ambiente com iluminação unilateral apresentam PALNs iguais ou superiores a 70% quando a iluminância de projeto é de 300 Lux e o tipo de janela é dupla ou total;
- ❑ A zona 2 de um ambiente com iluminação oposta apresenta PALN nulo quando a iluminância de projeto é de 1000 Lux e a estratégia adotada é um controle automático liga/desliga;
- ❑ As zonas 1A e 1B de um ambiente com iluminação oposta apresentam PALNs iguais ou superiores a 70% quando a iluminância de projeto é de 300 Lux e o tipo de janela é dupla ou total;
- ❑ Para iluminância de projeto de 1000 Lux em um ambiente com iluminação adjacente a estratégia de controle automático liga/desliga não consegue reduzir o consumo de energia elétrica gasta em iluminação na zona 3;
- ❑ As zonas 1A e 1B de um ambiente com iluminação adjacente apresentam PALNs iguais ou superiores a 70% quando a iluminância de projeto é de 300 Lux;
- ❑ Nos ambientes com iluminação oposta, os PALNs mais elevados ocorrem em 50% da área do ambiente (zonas 1A e 1B). Nos ambientes com janelas adjacentes em 43,75% da área do ambiente (zonas 1A e 1B) e nos ambientes com iluminação unilateral os PALNs mais elevados ocorrem em apenas 20% da área do ambiente (zona 1). Isto é que faz com que a iluminação oposta apresente os maiores PALNs e a unilateral os menores.

Pode-se verificar nesta pesquisa que a luz natural tem uma grande potencialidade de redução da energia elétrica gasta em iluminação artificial. Embora a estratégia de controle

dimerizável apresente os melhores resultados, somente uma análise custo/benefício poderá mostrar o sistema mais indicado para cada situação.

Deve-se observar que a metodologia proposta foi implementada computacionalmente oferecendo resultados teóricos. Numa situação real provavelmente os valores dos PALNs serão menores. Embora a metodologia forneça apenas um referencial teórico, este serve como ponto de partida na tomada de decisões de projetos de iluminação integrados (iluminação natural e artificial). O projetista poderá decidir quanto ao tipo de iluminação, tipo de janela e estratégia de controle da iluminação artificial na busca de projetos de iluminação integrados energeticamente eficientes.

5.5. LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Os resultados da aplicação da metodologia proposta apresentados neste trabalho, são representativos somente para a cidade de Florianópolis (longitude 48°34' -Oeste; latitude 27°35' – Sul), pois a disponibilidade de luz natural e a probabilidade de ocorrência de céu aqui utilizados foram obtidos para esta cidade.

5.6. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Alguns aspectos que não foram tratados nesta pesquisa são sugeridos para trabalhos futuros:

Na metodologia:

- ❑ Considerar no cálculo do PALN uma zona morta (a iluminância na qual o sistema é desligado deve ser maior do que a iluminância na qual o sistema será ligado, isto evita o liga/desliga das lâmpadas para valores de iluminância perto da iluminância de projeto);

- Implementar na ferramenta computacional uma rotina de simulação da iluminação artificial;
- Verificar a influência da luz artificial de uma zona sobre as outras zonas de iluminação.

Na aplicação da metodologia:

- Verificar a influência das refletâncias do teto, paredes e piso, no tamanho e configuração das zonas de iluminação e nos valores do PALN;
- Verificar a influência do pé direito no tamanho e configuração das zonas;
- Adotar estratégias de controle diferentes nas zonas de iluminação de um mesmo ambiente.

Geral:

- Implantar as estratégias de controle em ambientes reais e comparar a economia obtida com os valores oriundos da aplicação da metodologia proposta;
- Fazer uma análise custo/benefício das estratégias de controle da iluminação artificial;
- Integrar a metodologia proposta a outros pacotes computacionais que fazem a avaliação energética dos ambientes.

Referências Bibliográficas

ABNT. Proposta de Norma para Iluminação Natural. Parte 2: **Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural**. ABNT, 1997.

AMARAL, Maria das Graças Velho do. **Iluminação Natural: Revisão da legislação construtiva de Florianópolis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 1999.

ASSAF, L.; CISINT, C. **Un procedimiento para mensurar la contribucion energetica efectiva del alumbrado natural en edificios**. Revista de la Asociacion Argentina de Luminotecnia (AADL) v. 3. n. 55. 1996.

BAKER, N.; FANCHIOTTI, A. & STEEMERS, K. **Daylighting in Architecture: A European Reference Book**. Commission of the European Communities, James & James Ltd., 1993.

BAPTISTA, L. F. **Sensoriamento de ambientes**. Revista Lumière - Eletricidade & Iluminação. Ano 3, n. 29, p. 34-42. Setembro de 2000.

BEN. **Balanco Energético Nacional**. Ministério de Minas e Energia. Secretária de Energia. Departamento Nacional de Política Energética. 2002.

BREKKE, B., HANSEN, E. H. **Energy saving in lighting installations by the utilization of daylight**. In: 2nd European Conference on Energy-Efficient Lighting. Arnhem, the Netherlands. 26 - 29 September 1993, p. 875-886. 1993.

BOYCE, P. R. **Observations of the manual switching of lighting**. Lighting Research & Technology. v. 12, n. 4. p. 195-205, 1980.

BOYCE, P. R. **Why daylight?**. In: International Daylighting Conference 98. 10-13 May 1998, Ottawa, Ontario, Canada. p. 359-366. 1998.

CABÚS, Ricardo. **Análise do desempenho luminoso de sistemas de iluminação zenital em função da distribuição de luminâncias**. Florianópolis, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, 1997.

CHOI, A. S. , MISTRICK, R. G. **Analysis of daylight responsive dimming system performance.** Building and Environment. V. 34, p. 231-243, 1999.

CHOI, A. S. , SUNG, M. K. **Development of a daylight responsive dimming system and preliminary evaluation of system performance.** Building and Environment. V. 35, p. 663-676, 2000.

CIBSE. **Code for interior lighting.** The chartered Institution of Building Services Engineers. London, Great Britain: Multiplex Techniques Ltd, St Mary Cray, Kent, 1994. 286p.

CLARO, Anderson. **Modelo vetorial esférico para radiação aplicado à iluminação natural.** Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC, Florianópolis, 1998.

DILLOUÏE, CRAIG.(1998). **Manual vs. dimming control.**

<http://www.archlighting.com/technology/dimming.html>

DIN 5034 - Part 1 (1983). **Daylight in Interiors; General requirements.** Deutsche Industrie Norm.

DIN 5035 - Part 2 (1983). **Artificial lighting of Interiors; Guideline values for workplaces.** Deutsche Industrie Norm.

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

EMBRECHTS, R., BELLEGEM, C. V. **Increased energy savings by individual light control.** In: 4th European Conference on Energy-Efficient Lighting. Copenhagen, Denmark, p. 179-181. 1997.

ESCUYER, S.; BERRUTTO, V.; FONTOYNONT, M. **Testing in real offices of daylight responsive lighting control systems: A review of recent articles.** In: 2nd European Conference on Energy Performance and Indoor Climate in Buildings and 3rd International Conference on

Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings. Lyon, France, 19-21 November 1998, p. 181-188. 1998.

GHISI, E. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina.** Florianópolis, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, 1997.

GLENNIE, W. L., THUKRAL, I., REA, M. S. **Lighting control: Feasibility demonstration of a new type of system.** Lighting Research and Technology. v. 24, n. 4. p. 235-242, 1992.

GODOY, P. **A nova abordagem da luz.** In: 6^o ENIE. Encontro Nacional de Instalações Elétricas, 1998, São Paulo. p. 217-227. 1998.

HUNT, D. R. G. **The use of artificial lighting in relation to daylight levels and occupancy.** Building and Environment. v. 14, p. 21-33, 1979.

IIDA, Itiro. **Ergonomia: Projeto e Produção.** 4^a reimpressão. São Paulo: Editora E. Blücher, 1997. 465p. Cap. 13, p.250-272: Ambiente: Iluminação e cores.

IWATA, T.; MIYAKE, T.; SAKAMOT, S.; YOSHIMURA, K.; KIMURA, K. **Experimental Study on the Integrated lighting system with daylighting and artificial light based on the subjective response and energy saving.** In: 4th European Conference on Energy-Efficient Lighting. Copenhagen, Denmark, v. 2. p. 255-259. 1997.

JANNUZZI, G. M. **Uso Eficiente de Energia na Iluminação no Brasil.** In: I CONFERÊNCIA PANAMERICANA DE ILUMINAÇÃO. São Paulo: Associação Brasileira da Indústria da Iluminação. 278 p. p. 74-82. 1992.

JENNINGS, Judith D., RUBINSTEIN, Francis M., DiBARTOLOMEO, Dennis et al. **Comparison of control options in private offices in an advanced lighting controls testbed.** Journal of the Illuminating Engineering Society. v. 29, n. 2, summer 2000. p. 39-60, 2000.

LAMBERTS, R. (1998). **Simulação de retrofit de edificações de escritório**. 6º ENIE - Encontro Nacional de Instalações Elétricas. Congresso e Feira.

LITTLEFAIR, Paul J. **Predicting lighting energy use under daylight linked lighting controls**. Building Research & Information. v. 26, n. 4. p. 208-222, 1998.

LOE, D. L. ROWLANDS, E. **The art and science of lighting: A strategy for lighting design**. Lighting Research and Technology. v. 28, n. 4. p. 153-164, 1996.

LRC. **Photosensors: Light-sensing devices that control output from electric lighting systems**. National Lighting Product Information Program. v. 6, n. 1. 1998.

MANICCIA, Dorene, RUTLEDGE, Burr, REA, Mark S. Et al. **Occupant use of manual lighting controls in private offices**. Journal of the Illuminating Engineering Society. v. 28, n. 2, summer 1999. p. 42-56, 1999.

MASCARÓ, L. R. **Normas estabelecendo requisitos mínimos de habitabilidade para habitação de interesse social- sub-área Iluminação Natural**. UFRGS, Faculdade de Arquitetura, 1981.

MILLS, E.; BORG, N. **Rethinking Light Levels**: IAEEEL newsletter 1/98, issue no. 20, v. 7. p. 4-7. 1998.

MOORE, F. (1993). **Environmental Control Systems - heating cooling lighting**. McGraw-Hill, Inc. Printed in Singapore, 1993. 427p. Cap. 25, p.343-358: Electric Lighting: Components.

MORROW, W.; VARGAS, M.; PETERSON, D. et al. **The quest for the ideal office control system**. Rensselaer Polytechnic Institute. Lighting futures. v. 3, n. 3. 1998.
<http://www.lrc.rpi.edu/Futures/LF-OfficeLighting/index.html>

NBR 5413. **Iluminâncias de interiores**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1992.

NE'EMAN, Eliyahu. **Daylight availability database for energy efficient integration with electric light**. Journal of the Illuminating Engineering Society. v. 27, n. 2, summer 1998. p. 59-66, 1998.

O'CONNOR, Jennifer, LEE, Eleanor, RUBINSTEIN, Francis et al. **Tips for daylighting with windows**. LBNL - 39945. Califórnia, U.S. Lawrence Berkeley National Laboratory. 1997.

PEREIRA, Fernando O. R. **Iluminação Natural no Ambiente Construído**. Gramado, RS. Curso de Iluminação Natural no Ambiente Construído. III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. ANTAC, 1995.

PEREIRA, Fernando O. R. **Iluminação**. Curso de Especialização de Engenharia de Segurança do Trabalho. Universidade Federal de Santa Catarina. 76p. 1995.

REA, Mark S., RUTLEDGE, Burr, MANICCIA, Dorene. **Beyond daylight dogma**. In: International Daylighting Conference 98. 10-13 May 1998, Ottawa, Ontario, Canada. p. 215-222. 1998.

REA, Mark (Editor): **IES Lighting Handbook**, 9th Edition, IESNA, New York/USA, 1999.

ROBBINS, C. L. **Daylighting: design and analysis**. Van Nostrand Reinhold Company. New York, United States of America, 1986.

SCHALIN, B. **The use of distributed Intelligent Control in Energy Efficient Lighting Systems**. In: 2nd European Conference on Energy-Efficient Lighting. Arnhem, the Netherlands. 26 - 29 September 1993, p. 212-222. 1993.

SLATER, A., BORDASS, B., HEASMAN, T. **Give people control of lighting controls**. International Association for Energy-Efficient Lighting (IAEEL). Newsletter 3/96, p. 7-8. 1996.

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) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, 1995.

SOUZA, Roberta Vieira Gonçalves de. **Iluminação Natural em Edificações: Cálculo de Iluminâncias Internas - desenvolvimento de ferramenta simplificada**. Florianópolis, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, 1997.

STEFFY, G. R.. **Architectural lighting design**. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1990, 202p.

TREGENZA, P. R. **The luminance of cloud layers**. In: Proc. European Conference on Energy Performance and Indoor Climate in Building, Lyon, França. v. 4, p. 1361-1366. 1994.

ULLAH, M. B. **International daylight measurement programme – Singapore data III: Building energy savings through daylighting**. Lighting Research and Technology. v. 28, n. 2. p. 83-87, 1996.

VEITCH, J. A., NEWSHAM, G. R. **Lighting quality and energy-efficiency effects on task performance, mood, health, satisfaction, and comfort**. Journal of the Illuminating Engineering Society. v. 27, n. 1. p. 107-129, 1998.

YONEMURA, Gary T. **Criteria for recommending lighting levels**. Lighting Research & Technology. v. 13, n 3. p. 113-129, 1981.

ZONNEVELDT, L. RUTTEN, A. J. F. **The electronic control of lighting**. In: 2nd European Conference on Energy-Efficient Lighting. Arnhem, the Netherlands. 26 - 29 September 1993, p. 151-157. 1993.

Anexo

ANEXO: Percentual de Aproveitamento da Luz Natural (PALN) dos modelos para 3 tipos de iluminação (Unilateral, Oposta e Adjacente), 3 tipos de janelas (Única, Dupla e Total) e 3 estratégias de controle (liga/desliga, 3 Passos e Dimerizável) para a cidade de Florianópolis.

TABELA A.1 - PALN dos modelos com iluminação **unilateral** e **janela única** com estratégia de controle automático **Liga/Desliga** da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN [%]			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	41	35	31	37
	5	31	27	24	28
	6	24	20	19	22
	7	23	19	18	21
	8	20	18	17	19
	9	17	14	13	14
	10	17	14	13	14
500	4	24	21	18	23
	5	20	15	14	17
	6	14	12	11	13
	7	13	11	11	12
	8	13	11	10	12
	9	8	7	7	8
	10	8	7	7	8
1000	4	9	6	7	8
	5	8	5	6	6
	6	5	4	4	4
	7	5	3	4	4
	8	5	4	4	4
	9	4	3	3	3
	10	4	3	3	3

TABELA A.2 - PALN dos modelos com iluminação **unilateral** e **janela dupla** com estratégia de controle automático **Liga/Desliga** iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN [%]			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	45	40	38	40
	5	38	32	30	32
	6	29	28	23	28
	7	28	23	22	24
	8	26	21	20	22
	9	21	20	16	21
	10	21	17	16	18
500	4	31	25	23	25
	5	23	19	19	20
	6	19	17	15	18
	7	18	15	15	16
	8	17	14	14	15
	9	14	14	10	14
	10	14	11	10	11
1000	4	11	9	10	9
	5	9	6	8	8
	6	7	6	6	6
	7	8	6	6	6
	8	7	5	5	6
	9	6	5	5	5
	10	6	4	5	5

TABELA A.3 - PALN dos modelos com iluminação **unilateral** e **janela total** com estratégia de controle automático **Liga/Desliga** da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN [%]			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	53	47	48	47
	5	45	38	39	37
	6	37	33	29	34
	7	34	28	28	30
	8	30	25	25	25
	9	24	23	20	23
	10	23	20	20	22
500	4	40	31	33	31
	5	32	24	26	25
	6	24	21	20	21
	7	23	18	19	19
	8	21	17	17	18
	9	17	16	14	17
	10	17	14	14	15
1000	4	18	13	16	13
	5	15	10	13	11
	6	11	10	10	11
	7	11	8	9	9
	8	10	7	8	7
	9	6	7	6	7
	10	6	5	6	6

TABELA A.4 - PALN dos modelos com iluminação **unilateral** e **janela única** com estratégia de controle automático de **3 passos** da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	51	46	41	48
	5	41	36	32	37
	6	33	27	26	29
	7	31	26	25	28
	8	27	23	22	25
	9	21	18	17	19
	10	21	18	17	19
500	4	35	31	27	32
	5	29	24	21	25
	6	21	17	16	19
	7	20	17	16	18
	8	18	15	14	17
	9	14	12	11	12
	10	14	12	11	12
1000	4	17	13	14	15
	5	14	10	10	11
	6	10	8	8	9
	7	9	8	7	8
	8	9	7	7	8
	9	6	5	5	6
	10	6	5	5	6

TABELA A.5 - PALN dos modelos com iluminação **unilateral** e **janela dupla** com estratégia de controle automático de **3 passos** da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	54	49	48	50
	5	47	41	39	42
	6	37	36	31	36
	7	37	30	29	31
	8	33	27	27	29
	9	26	25	21	26
	10	25	21	20	22
500	4	40	35	33	36
	5	33	27	27	29
	6	26	24	21	26
	7	25	21	20	22
	8	23	19	18	20
	9	18	18	14	18
	10	18	15	14	16
1000	4	21	16	17	17
	5	16	13	13	14
	6	13	11	10	12
	7	13	10	10	11
	8	12	9	9	10
	9	10	9	7	10
	10	10	7	7	8

TABELA A.6 - PALN dos modelos com iluminação **unilateral** e **janela total** com estratégia de controle automático de **3 passos** da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	60	55	56	55
	5	53	47	48	47
	6	45	41	38	41
	7	42	36	36	38
	8	38	32	32	33
	9	30	29	25	29
	10	28	25	25	26
500	4	48	41	43	41
	5	41	34	34	34
	6	33	29	28	29
	7	31	26	26	26
	8	27	23	23	24
	9	22	21	18	22
	10	21	18	18	19
1000	4	29	22	25	22
	5	23	18	19	19
	6	17	15	15	16
	7	17	13	14	14
	8	16	12	13	13
	9	11	11	10	12
	10	11	10	10	10

TABELA A.7 - PALN dos modelos com iluminação **unilateral** e **janela única** com estratégia de controle automático **dimerizável** da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	55	51	46	53
	5	46	42	39	43
	6	38	34	33	35
	7	36	32	31	34
	8	33	29	28	31
	9	27	23	22	25
	10	26	23	22	24
500	4	42	38	34	39
	5	35	30	28	32
	6	28	24	23	26
	7	26	23	22	25
	8	24	21	20	23
	9	19	16	15	17
	10	19	17	15	17
1000	4	25	21	20	23
	5	21	17	17	18
	6	16	14	13	15
	7	15	13	13	14
	8	14	12	12	13
	9	12	10	9	10
	10	11	10	9	10

TABELA A.8 - PALN dos modelos com iluminação **unilateral** e **janela dupla** com estratégia de controle automático **dimerizável** da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	58	54	53	55
	5	52	46	45	48
	6	43	42	37	42
	7	41	37	35	37
	8	38	33	32	35
	9	32	30	26	31
	10	31	27	25	28
500	4	46	41	40	42
	5	39	35	33	36
	6	33	31	27	32
	7	31	27	26	29
	8	29	25	24	26
	9	24	23	19	24
	10	23	20	19	21
1000	4	28	24	24	25
	5	24	20	20	21
	6	19	18	17	19
	7	19	16	16	17
	8	17	15	14	15
	9	14	14	12	14
	10	14	12	12	12

TABELA A.9 - PALN dos modelos com iluminação **unilateral** e **janela total** com estratégia de controle automático **dimerizável** da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	65	60	61	60
	5	58	52	53	52
	6	50	47	45	47
	7	47	42	42	43
	8	43	38	38	39
	9	36	34	31	35
	10	34	31	30	32
500	4	54	47	49	47
	5	46	40	41	41
	6	38	36	34	36
	7	37	32	32	33
	8	33	29	29	30
	9	28	27	23	27
	10	27	24	23	24
1000	4	35	29	32	30
	5	30	25	27	25
	6	25	23	21	23
	7	23	20	21	20
	8	21	18	19	18
	9	16	16	15	17
	10	16	14	14	15

TABELA A.10 - PALN dos modelos com iluminação **oposta** e **janela única** com estratégia de controle automático **Liga/Desliga** da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN [%]			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	67	67	67	67
	5	59	60	59	60
	6	51	55	50	55
	7	47	49	47	49
	8	42	41	42	41
	9	40	36	40	36
	10	31	32	31	32
500	4	45	48	45	48
	5	39	43	39	43
	6	34	35	34	35
	7	29	24	29	24
	8	21	21	21	21
	9	21	20	20	19
	10	18	17	18	17
1000	4	25	19	25	19
	5	18	14	18	14
	6	13	12	13	12
	7	12	09	12	8
	8	11	7	11	7
	9	9	7	9	7
	10	8	6	8	6

TABELA A.11 - PALN dos modelos com iluminação **oposta** e **janela dupla** com estratégia de controle automático **Liga/Desliga** da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN [%]			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	74	76	74	76
	5	67	67	67	67
	6	60	59	60	59
	7	57	57	57	57
	8	52	52	52	52
	9	49	44	49	44
	10	43	41	43	40
500	4	57	59	57	59
	5	49	50	49	50
	6	44	45	44	45
	7	40	39	40	39
	8	35	29	35	29
	9	33	23	33	23
	10	22	21	22	21
1000	4	30	29	30	30
	5	25	19	25	19
	6	18	13	18	14
	7	15	13	15	13
	8	15	12	15	11
	9	13	10	13	9
	10	12	10	12	9

TABELA A.12 - PALN dos modelos com iluminação **oposta** e **janela total** com estratégia de controle automático **Liga/Desliga** da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN [%]			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	82	82	82	82
	5	76	76	76	76
	6	69	68	69	69
	7	63	63	63	64
	8	59	59	59	59
	9	57	55	57	56
	10	54	54	54	53
500	4	69	70	69	70
	5	62	62	62	62
	6	54	53	53	54
	7	49	50	49	50
	8	44	44	44	45
	9	40	34	41	34
	10	35	30	35	30
1000	4	41	44	41	43
	5	37	36	37	35
	6	29	25	29	23
	7	21	19	21	19
	8	17	16	17	16
	9	17	14	17	14
	10	17	13	17	13

TABELA A.13 - PALN dos modelos com iluminação **oposta** e **janela única** com estratégia de controle automático de **3 passos** da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN [%]			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	75	75	75	75
	5	69	70	69	70
	6	62	65	61	64
	7	57	58	57	58
	8	52	52	52	53
	9	50	49	50	49
	10	43	45	43	45
500	4	58	60	58	60
	5	52	56	52	56
	6	45	48	45	48
	7	41	40	41	40
	8	34	34	34	35
	9	33	32	33	32
	10	29	27	29	27
1000	4	35	34	35	34
	5	28	29	28	28
	6	24	23	24	24
	7	21	16	21	16
	8	16	14	16	14
	9	14	13	14	13
	10	13	12	13	12

TABELA A.14 - PALN dos modelos com iluminação **oposta** e **janela dupla** com estratégia de controle automático de **3 passos** da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN [%]			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	80	81	80	81
	5	75	75	75	75
	6	69	69	69	69
	7	66	66	66	66
	8	59	61	59	61
	9	56	53	56	53
	10	52	51	52	50
500	4	68	70	68	70
	5	60	61	60	61
	6	55	55	55	55
	7	50	50	50	50
	8	46	43	46	43
	9	43	38	44	38
	10	35	35	35	35
1000	4	43	45	43	45
	5	37	34	37	34
	6	31	29	31	29
	7	28	26	28	26
	8	25	20	25	20
	9	22	17	22	17
	10	17	16	17	16

TABELA A.15 - PALN dos modelos com iluminação **oposta** e **janela total** com estratégia de controle automático de **3 passos** da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN [%]			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	85	86	85	86
	5	81	81	81	81
	6	77	75	77	76
	7	72	71	72	72
	8	67	68	66	67
	9	64	62	64	62
	10	60	59	60	59
500	4	76	77	76	77
	5	71	71	71	71
	6	64	63	64	64
	7	59	60	59	60
	8	53	53	53	56
	9	50	46	50	46
	10	46	44	46	44
1000	4	55	57	55	57
	5	49	49	49	49
	6	41	39	41	39
	7	35	34	35	34
	8	30	30	30	31
	9	28	24	28	24
	10	25	22	25	22

TABELA A.16 - PALN dos modelos com iluminação **oposta** e **janela única** com estratégia de controle automático **dimerizável** da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN [%]			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	77	77	77	77
	5	72	73	72	73
	6	65	68	65	68
	7	62	63	62	63
	8	57	56	57	57
	9	54	54	54	54
	10	48	49	48	49
500	4	62	64	62	64
	5	57	60	57	59
	6	52	53	52	53
	7	47	46	47	46
	8	41	41	41	41
	9	39	39	39	39
	10	35	35	35	35
1000	4	43	41	43	41
	5	37	36	37	36
	6	32	31	32	31
	7	28	27	28	27
	8	26	24	26	24
	9	24	23	24	23
	10	21	20	21	20

TABELA A.17 - PALN dos modelos com iluminação **oposta** e **janela dupla** com estratégia de controle automático **dimerizável** da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN [%]			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	82	82	82	82
	5	77	77	77	77
	6	72	71	72	71
	7	68	69	68	68
	8	64	64	64	64
	9	61	59	61	58
	10	57	56	57	56
500	4	71	72	70	72
	5	65	65	64	65
	6	59	60	59	59
	7	56	56	56	56
	8	51	49	51	49
	9	49	43	48	42
	10	41	40	41	40
1000	4	49	50	49	50
	5	44	42	44	42
	6	37	35	37	35
	7	35	33	35	33
	8	31	29	31	29
	9	29	26	29	26
	10	27	25	27	25

TABELA A.18 - PALN dos modelos com iluminação **oposta** e **janela total** com estratégia de controle automático **dimerizável** da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN [%]			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	86	87	86	87
	5	83	83	83	83
	6	78	78	78	78
	7	74	74	74	75
	8	70	70	70	71
	9	67	66	67	66
	10	65	64	65	64
500	4	78	79	78	79
	5	73	73	74	73
	6	67	66	67	67
	7	63	64	63	64
	8	59	59	58	58
	9	55	52	55	52
	10	51	49	51	49
1000	4	59	60	59	61
	5	55	54	55	54
	6	48	46	48	45
	7	42	41	42	41
	8	37	36	37	38
	9	34	32	34	32
	10	32	30	32	30

TABELA A.19 - PALN dos modelos com iluminação **adjacente** e **janela única** com estratégia de controle automático **Liga/Desliga** da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN [%]			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	57	49	51	55
	5	53	44	47	49
	6	51	42	44	47
	7	49	41	44	45
	8	49	41	42	45
	9	46	39	40	44
	10	46	39	40	43
500	4	40	28	34	36
	5	36	29	31	33
	6	34	26	30	30
	7	33	26	29	29
	8	32	25	27	28
	9	29	24	26	27
	10	29	23	26	27
1000	4	18	10	15	13
	5	16	08	13	11
	6	15	10	12	10
	7	14	10	11	09
	8	14	10	12	10
	9	13	10	11	10
	10	13	10	11	10

TABELA A.20 - PALN dos modelos com iluminação **adjacente** e **janela dupla** com estratégia de controle automático **Liga/Desliga** iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN [%]			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	63	59	59	63
	5	58	54	54	59
	6	55	49	51	54
	7	54	49	51	52
	8	54	49	49	52
	9	53	47	48	51
	10	53	47	48	50
500	4	49	41	40	43
	5	46	38	38	41
	6	44	35	36	38
	7	42	34	35	35
	8	42	34	35	36
	9	41	31	32	35
	10	41	31	32	34
1000	4	23	18	18	19
	5	20	13	18	17
	6	19	13	16	15
	7	17	12	14	13
	8	17	12	14	13
	9	16	12	13	13
	10	16	11	13	12

TABELA A.21 - PALN dos modelos com iluminação **adjacente** e **janela total** com estratégia de controle automático **Liga/Desliga** da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN [%]			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	68	65	68	69
	5	65	61	64	65
	6	63	57	61	62
	7	61	55	60	58
	8	59	54	59	57
	9	57	51	55	55
	10	57	50	54	55
500	4	58	50	55	55
	5	54	43	49	49
	6	52	41	45	44
	7	52	40	44	43
	8	51	39	44	43
	9	50	36	42	42
	10	49	36	42	41
1000	4	35	25	30	27
	5	31	21	26	24
	6	27	18	24	20
	7	27	17	23	19
	8	27	17	23	18
	9	24	15	20	17
	10	24	15	20	17

TABELA A.22 - PALN dos modelos com iluminação **adjacente** e **janela única** com estratégia de controle automático de **3 passos** da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN [%]			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	64	58	60	63
	5	60	55	56	59
	6	58	52	54	57
	7	57	51	54	55
	8	57	51	53	54
	9	54	49	52	53
	10	54	49	51	53
500	4	51	41	47	49
	5	47	40	42	45
	6	44	37	40	41
	7	43	36	38	40
	8	43	36	38	40
	9	40	34	36	38
	10	40	34	36	38
1000	4	29	20	24	25
	5	26	20	22	22
	6	25	18	20	20
	7	24	18	20	19
	8	23	18	20	19
	9	21	17	19	18
	10	21	16	19	18

TABELA A.23 - PALN dos modelos com iluminação **adjacente** e **janela dupla** com estratégia de controle automático de **3 passos** iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN [%]			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	70	66	67	70
	5	66	61	62	66
	6	62	58	59	62
	7	61	57	59	59
	8	61	57	58	59
	9	59	55	56	59
	10	59	54	56	58
500	4	57	52	51	55
	5	54	48	49	53
	6	52	45	46	48
	7	50	44	45	46
	8	50	43	44	45
	9	48	41	42	45
	10	48	41	42	44
1000	4	36	30	29	31
	5	33	26	28	29
	6	32	24	26	27
	7	30	23	25	24
	8	30	23	24	24
	9	29	21	23	24
	10	29	21	23	23

TABELA A.24 - PALN dos modelos com iluminação **adjacente** e **janela total** com estratégia de controle automático de **3 passos** da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN [%]			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	75	73	75	76
	5	72	69	71	72
	6	69	65	68	69
	7	68	64	67	66
	8	67	63	67	66
	9	65	61	64	65
	10	65	60	64	64
500	4	66	60	63	64
	5	61	54	58	59
	6	59	51	55	55
	7	58	50	54	53
	8	57	48	53	52
	9	55	46	51	51
	10	55	45	51	51
1000	4	47	38	42	41
	5	42	32	38	36
	6	40	30	34	32
	7	39	29	33	31
	8	39	28	33	30
	9	37	26	31	30
	10	37	25	31	30

TABELA A.25 - PALN dos modelos com iluminação **adjacente** e **janela única** com estratégia de controle automático **dimerizável** da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN [%]			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	68	63	65	67
	5	64	60	61	63
	6	62	57	59	61
	7	61	55	59	59
	8	61	56	57	59
	9	59	54	56	58
	10	58	54	56	58
500	4	55	47	51	53
	5	52	46	48	49
	6	50	43	46	47
	7	48	42	45	46
	8	48	43	44	46
	9	46	40	43	44
	10	45	40	43	44
1000	4	36	28	32	32
	5	33	28	29	30
	6	31	26	28	28
	7	30	26	27	27
	8	30	26	28	28
	9	29	25	27	26
	10	29	25	27	26

TABELA A.26 - PALN dos modelos com iluminação **adjacente** e **janela dupla** com estratégia de controle automático **dimerizável** iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN [%]			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	73	70	70	73
	5	69	66	67	70
	6	66	63	64	66
	7	65	62	63	64
	8	65	62	63	64
	9	64	60	61	63
	10	64	58	61	63
500	4	62	57	56	60
	5	59	53	54	57
	6	57	50	52	54
	7	56	50	51	52
	8	56	49	50	51
	9	54	47	48	51
	10	54	47	48	50
1000	4	42	37	37	38
	5	39	33	35	36
	6	37	31	33	34
	7	36	30	32	32
	8	36	30	32	32
	9	34	29	30	31
	10	34	28	30	31

TABELA A.27 - PALN dos modelos com iluminação **adjacente** e **janela total** com estratégia de controle automático **dimerizável** da iluminação artificial para a cidade de Florianópolis.

Iluminância de Projeto [Lux]	Profundidade do Modelo [m]	PALN [%]			
		Orientação da Fachada Principal			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
300	4	77	75	77	78
	5	75	72	74	75
	6	72	69	71	72
	7	71	68	71	69
	8	70	66	70	69
	9	69	64	67	68
	10	68	64	67	68
500	4	69	64	67	68
	5	66	59	63	63
	6	63	56	60	59
	7	62	55	59	58
	8	62	54	58	57
	9	60	52	56	57
	10	60	52	56	56
1000	4	52	44	48	46
	5	48	40	44	43
	6	45	37	41	39
	7	45	36	40	38
	8	44	35	40	37
	9	42	33	37	37
	10	42	33	37	36