

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROPAR - PROGRAMA DE PESQUISA
E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA

EFICIÊNCIA
DAS ESTANTES DE LUZ
NAS ABERTURAS

Estudo de quatro casos

JOSÉ ARTHUR FELL

Porto Alegre, 2002

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROPAR - PROGRAMA DE PESQUISA
E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA

EFICIÊNCIA
DAS ESTANTES DE LUZ
NAS ABERTURAS

Estudo de quatro casos

JOSÉ ARTHUR FELL

Dissertação de mestrado apresentada como
requisito parcial para a obtenção do
título de mestre em arquitetura.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Lúcia E. R. Mascaró

Porto Alegre, 2002

CIP – CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

F317e Fell, José Arthur

Eficiência das estantes de luz nas aberturas : estudo de quatro casos / José Arthur Fell; orientação de Lúcia Elvira Raffo de Mascaró. – Porto Alegre : UFRGS, Faculdade de Arquitetura, 2002.

– p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Arquitetura. Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura. Porto Alegre, RS, 2002.

CDU: 628.92
692.82(091)
628.925.004.15

DESCRITORES

Iluminação : Interiores
628.92

Janelas : Luz : História
692.82(091)

Aberturas : Estantes de luz : Eficiência
628.925.004.15

Bibliotecária responsável:

Iara Ferreira de Macedo, CRB- 10/ 430
Margarete Tessainer da Fonseca, CRB-10/ 836

*À meu pai que me ensinou
o valor do conhecimento
e a minha mãe que
me estimulou
a vencer desafios.*

Agradecimentos

À professora Dra. Lúcia E. R. Mascaró que orientou este trabalho norteando-o na busca da qualidade e a torná-lo completo, claro e informativo.

Ao PROPAR – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e a todos os seus membros que ajudaram a ampliar o horizonte de meus conhecimentos.

Ao Professor Dr. Paulo O. Beyer pelo seu auxílio nas questões de conforto térmico.

À Leandro Z. Lara e à sua revisão ortográfica.

À bibliotecária Iara F. de Macedo da FAU-UFRGS pela zelosa atenção aos itens bibliográficos.

Aos colegas de mestrado pela proveitosa convivência.

À todos os amigos que acreditaram em meu esforço e que me deram inestimável apoio nesta jornada.

À minha adorável filha Natália por sua alegria tão valiosa.

Sumário

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xiv
LISTA DE SÍMBOLOS	xv
RESUMO	xvi
ABSTRACT	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Formulação do problema	2
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivos gerais	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. Justificativas	4
1.4. Estrutura do trabalho	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. Evolução das janelas através da história	7
2.1.1. Introdução	7
2.1.2. As aberturas dos primeiros moradores	9
Os caçadores	10
Os pastores-nômades	10
Os agricultores	11
2.1.3. Dominando a iluminação interior	11
2.1.4. Mais luz em Roma e no Gótico	13
2.1.5. Novas janelas do Renascimento e do Barroco	16
2.1.6. Buscando a transparência	19
2.2. Iluminâncias desde as estantes de luz	24

A superfície das estantes.....	24
Iluminâncias	25
Relações entre a estante, o sol e o ambiente	27
2.3. O ganho de carga térmica	28
Propriedades termofísicas	28
A carga térmica na superfície horizontal.....	31
Posição das estantes e luz em relação à fachada.....	33
Estantes de luz inclinadas.....	34
As estantes e as medidas do ambiente	35
2.4. A estante de luz como elemento modular	35
Localização da estante e o eixo da parede	36
2.4.1. Medidas modulares para a estante de luz.....	37
3. ESTUDOS	39
3.1. Objetivo dos estudos realizados.....	40
3.2. Métodos usados	40
3.2.1. Trabalhos de gabinete.....	40
Revisão bibliográfica	40
Escolha dos objetos de estudo.....	41
A) os dois edifícios	41
Edifício à avenida Taquara, 98	41
Edifício à avenida Érico Veríssimo, 690.....	42
B) as quatro maquetes.....	43
Maquete da biblioteca	44
Maquete da sala de aula	45
Maquete da loja comercial	46
Maquete da sala de escritório	47
Ordenamento e processamento dos dados	48
Interpretação	48
Conclusões.....	49
3.2.2. Trabalhos de campo.....	49
Medições <i>in situ</i> do desempenho luminoso dos ambientes dos edifícios Senge e Regency	49
Descrição dos locais.....	50
Edifício do Senge, sala de eventos - 2º andar	51

Edifício do Senge, sala de escritórios - 4º andar	53
Edifício Regency, sala 102 - térreo	54
Métodos e instrumentos usados para realizar a medição	56
Registro fotográfico da medição.....	58
Resultados obtidos.....	59
Edifício do Senge, sala de eventos - 2º andar	59
Curvas isolux para céu encoberto.....	60
Curvas isolux para céu claro.....	62
Elevações.....	63
Edifício do Senge, sala de escritórios - 4º andar	64
Curvas isolux para céu encoberto.....	65
Curvas isolux para céu claro.....	67
Elevações.....	68
Edifício Regency, sala 102 - térreo	69
Curvas isolux para céu encoberto.....	70
Curvas isolux para céu claro.....	71
Elevações.....	72
Análise comparativa das medições das salas.....	73
Medições de iluminâncias em maquetes.....	74
Descrição do local	74
Método e instrumentos usados para realizar a medição	76
Registro fotográfico da medição.....	78
Resultados obtidos.....	78
Maquete da biblioteca	78
As iluminâncias sem estantes de luz	80
Análise do CLD a partir das estantes de luz.....	81
Maquete da sala de aula	83
As iluminâncias sem estantes de luz	83
Análise do CLD a partir das estantes de luz.....	84
Análise do CLD a partir das inclinações das estantes de luz.....	86
Maquete da loja comercial	88
As iluminâncias sem estantes de luz	88
Análise do CLD a partir das estantes de luz.....	89

Análise do CLD a partir das inclinações	
das estantes de luz.....	91
Maquete da sala de escritório.....	93
As iluminâncias sem estantes de luz	93
Análise do CLD a partir das estantes de luz.....	94
Análise do CLD a partir das inclinações	
das estantes de luz.....	96
Medições com abertura normal.....	96
Medições com abertura menor.....	97
3.2.3. Método para dimensionamento das estantes de luz.....	100
A largura.....	100
A altura	102
Tipologias para estantes de luz.....	104
3.2.4. Estudo do ganho térmico	
para um ambiente desde a estante de luz.....	107
Dados para o cálculo da parede externa	109
Dados para o cálculo da estante de luz.....	110
A) estante de polietileno expandido revestida	
(envelopada) com lâmina de alumínio.....	110
Cálculo do ganho de carga térmica	
para superfícies opacas (Q)	111
B) estante de concreto pintada em branco.....	111
Cálculo do ganho de carga térmica	
para superfícies opacas (Q)	111
Trocas de calor através do envidraçamento.....	112
Resumo das cargas térmicas	115
Carga de refrigeração relativa.....	116
4. CONCLUSÃO	118
5. REFERÊNCIAS.....	122

Lista de figuras.

Figura 01 - refletâncias: como forma de se aumentar a iluminância de fundo e de se minimizar o ofuscamento junto às janelas. Fonte: Ilustração do mestrando	7
Figura 02 - forma comum das janelas primitivas - os clerestórios - nas espessas paredes dos templos gregos e das primeiras basílicas cristãs e bizantinas. Fonte: Ilustração do mestrando.....	8
Figura 03 - uma linha tracejada auxiliar delimita as duas zonas do ambiente com iluminação de fontes diferentes: A zona de luz do dia e zona de fundo, com luz artificial suplementar. Fonte: Ilustração do mestrando.....	9
Figura 04 -a caverna era escolhida por suas qualidades de renovação do ar e por sua profundidade; na tenda o que importava era conciliar a habitabilidade com a mobilidade do povo nômade; a cabana tinha maior número de aberturas e maior possibilidade de ventilação e maior sofisticação formal. Fonte: Ilustração do mestrando.....	10
Figuras 05a e 05b - No Egito o clima muito ensolarado levou à criação de elementos por onde a luz do dia era filtrada para o interior dos templos como o de Amon em Karnak. Fonte: Ilustração do mestrando.....	12
Figura 06 - a obstrução solar devida ao beiral. As janelas como superfícies vedantes nas casas orientais. Fonte: Ilustração do mestrando.....	13
Figura 07a e 07b - a iluminação zenital dentro do amplo espaço sem colunas do Panteão e a iluminação de clerestório das basílicas romanas e bizantinas. Fonte: Ilustração do mestrando.....	14
Figura 08 - janela rendilhada em portais e frontões do gótico tardio, como na fachada da Chapelle Royale em Vincennes. Detalhe da rosácea. Fonte: KOCH, 1998.	14
Figura 09 - elementos construtivos góticos. Em Amiens, 1220-69. Fonte: KOCH, 1998.....	15
figura 10 - fachada renascentista de motivos decorativos e com muitas janelas - Louvre - Paris. Janelas recuadas da linha da fachada de forma que fiquem sombreadas Fonte: BECKETT e GODFREY, 1978.....	16
Figura 11 - O estilo barroco na Igreja Abádia de Santa Margarete, Brevnov Fonte: BECKETT e GODFREY, 1978.....	17
Figura 12 - direita: janelas tipo <i>bay window</i> , miradores; esquerda: mansardas e aberturas repetidas, utilização das janelas guilhotina, <i>sachwindow</i> - sec. XVII e XVIII Fonte: CLOAG, 1951.	17
Figura 13 - janelas - medieval de vitral com peitoril interno largo e de guilhotina com peitoril externo largo. Fonte: CLOAG, 1951.	18
Figura 14 - relação abertura/parede: medieval - cheio/vazio, moderna - opaco/transparente. Fonte: ilustração do mestrando.....	19

Figura 15 - Bibliothéque Ste. Geneviève, em Paris; 1850. Fonte: BECKETT e GODFREY, 1978.	20
Figura 16 - Oriel Chambers, em Liverpool, 1865. Fonte: BENEVOLO, 1996	20
Figura 17 - Arranha-céu de vidro desenhado por Mies van der Rohe em 1921. Fonte: BECKETT e GODFREY, 1978.....	20
Figura 18 - Notre-Dame-du-Haut, em Ronchamp, de 1952-54. Fonte: BECKETT e GODFREY, 1978.	22
Figura 19 - Unité d’Habitation em Marselha, de 1947-52, Le Corbusier. Fonte: BECKETT e GODFREY, 1978.....	22
Figura 20 - Fachada com <i>brise</i> para o Banco Boa Vista, Oscar Niemayer, Rio de Janeiro, 1946. Fonte: BENEVOLO, 1996.....	22
Figura 21 - Notre-Dame-du-Haut, em Ronchamp, de 1952-54, Le Corbusier. Fonte: BENEVOLO, 1996.....	22
Figura 22 - Estação Termini em Roma, 1951, fluxo solar de inverno penetrando dentro do grande hall, O fluxo solar direto de verão é barrado pela laje de cobertura que se projeta sobre o pano de vidro. Fonte: BENEVOLO, 1996 e ilustração do mestrando.....	23
Figura 23 - em A: curva isolux para abertura larga; em B: curva isolux para abertura larga com estante de luz. A curva resultante com estante de luz diminui a iluminância na frente junto à abertura e a aumenta no fundo da sala Fonte: gráfico elaborado pelo mestrando com base em MOORE, 1985.....	27
Figura 24 - esq. p/ dir. - solstício verão, equinócios, solstício inverno e equinócios às 7h e às 17h; Altura do ambiente = 1 H. Fonte: ilustração do mestrando.....	27
Figura 25 - esq. p/ dir. - solst. verão, equinócios e solst. Inverno; altura do ambiente = 2.5 H Fonte: ilustração do mestrando.....	27
Figura 26 - refletância (r) da radiação solar, transmitância (T) através do vidro; absortância (α) e emissividade (ε) de calor. Fonte: ilustração do mestrando.....	28
Figura 27 - direcionamento de carga térmica para as pessoas e para o teto, situação de inverno e de verão. Fonte: ilustração do mestrando.....	31
Figura 28 - estantes de luz dupladas para inverno e verão. Fonte: ilustração do mestrando.....	32
Figura 29 - quanto mais alta a estante de luz, mais inclinada pode ela ser, de maneira que sua refletância não incida diretamente sobre a estatura média de um ocupante do espaço. Fonte: ilustração do mestrando.....	34
Figura 30 - relação entre a profundidade do ambiente e a altura da estante de luz. Fonte: ilustração do mestrando.....	35
Figura 31 - sete posições da estante de luz em relação ao eixo da parede. Fonte: ilustração do mestrando. Fonte: ilustração do mestrando.....	36
Figura 32 - as sete posições da estante de luz e o espaço (nicho) resultante que serve de armário, balcão e para aparelhos de ar condicionado. Fonte: ilustração do mestrando.....	37
Figura 33 - modelos de estantes de luz com medidas modulares. Fonte: ilustração do mestrando.....	38
Figura 34 - refletâncias e iluminâncias nas salas dos edifícios e desde os balcões projetados para fora da fachada.	41
Figura 35 - implantação do Edifício Regency	41
Figura 36 - fachada principal do Edifício Regency.....	41
Figura 37 - sala 102 do Edifício Regency, iluminância pelas 13h.	42
Figura 38 - implantação do Edifício do Senge.....	42
Figura 39 - fachada norte do Edifício do Senge.	42

Figura 40 - sala do 4º andar do Edifício do Senge. Iluminâncias de frente e de fundo	43
Figura 41 - as quatro maquetes e a orientação de suas fachadas.....	43
Figura 42 - as dimensões básicas das quatro maquetes.	44
Figura 43 - vista da maquete da biblioteca.....	44
Figura 44 - vista interna da maquete da biblioteca e a mancha de luz.	45
Figura 45 - vista externa da maquete da sala de aula.....	45
Figura 46 - vista interna da maquete da sala de aula e as áreas luminosas na parede do fundo criadas por refletância.	46
Figura 47 - vista externa da fachada da maquete da loja comercial e o piso fortemente iluminado pela penetração da luz do dia.....	46
Figura 48 - vista interna da maquete da loja comercial e as áreas luminosas na parede do fundo sobre o mezanino criadas por refletância.	46
Figura 49 - vista externa da fachada da maquete da loja comercial com estantes de luz.	47
Figura 50 - vista externa da maquete da sala de escritório.....	47
Figura 51 - vista interna da maquete da sala de escritório mostrando a zona de ofuscamento junto à abertura.	47
Figura 52 - vista do envidraçamento do 2º andar do Ed. Senge.....	52
Figura 53 - curva de redução do CLD no 2º andar do Ed. Senge.....	52
Figura 54 - céu claro e céu encoberto no 2º andar do Ed. Senge.....	52
Figura 55 - vidro aberto e vidro fechado no 2º andar do Ed. Senge	52
Figura 56 - vista interna da janela da sala do 4º andar do Edifício do Senge. Vidros abertos e vidros fechados.....	53
Figura 57- vista interna da sala do 4º andar do Edifício do Senge. Dia de céu claro.	54
Figura 58 - vista interna da janela da sala do 4º andar do Edifício do Senge. Dia de céu encoberto.....	54
Figura 59 - a alta transmitância dos vidros da sala 102 do edifício Regency. Acima com céu encoberto e embaixo com céu claro.....	55
Figura 60 - vistas externas da sala 102 do edifício Regency. Acima com céu encoberto e embaixo com céu claro.....	55
Figura 61 - panorâmica interna da sala 102 do edifício Regency com céu encoberto.....	56
Figura 62 - panorâmica interna da sala 102 do edifício Regency com céu claro.....	56
Figura 63 - superfície da marquise do edifício do Senge com o tecido branco.....	57
Figura 64 -peitoril do 2o andar do edifício do Senge com a placa de isopor.....	58
Figura 65 - superfície horizontal externa com chapa de isopor da sala térrea do edifício Regency.	58
Figura 66 -curvas isolux, céu encoberto - 2º andar do edifício do Senge.	60
Figura 67 -curvas isolux, céu encoberto - 2º andar do edifício do Senge.	61
Figura 68 - curvas isolux, céu encoberto - 2º andar do edifício do Senge.....	61
Figura 69 - curvas isolux, céu claro - 2º andar do edifício do Senge.....	62
Figura 70 - curvas isolux, céu claro - 2º andar do edifício do Senge.....	62
Figura 71 - curvas isolux, céu claro - 2º andar do edifício do Senge.....	63
Figura 72 - curva de distribuição transversal da iluminância, céu encoberto - 2o andar Senge	63
Figura 73 - curvas isolux, céu encoberto - 4º andar do edifício do Senge.....	65

Figura 74 - curvas isolux, céu encoberto - 4º andar do edifício do Senge.....	66
Figura 75 - curvas isolux, céu encoberto - 4º andar do edifício do Senge.....	66
Figura 76 - curvas isolux, céu claro - 4º andar do edifício do Senge.....	67
Figura 77 - curvas isolux, céu claro - 4º andar do edifício do Senge.....	67
Figura 78 - curvas isolux, céu claro - 4º andar do edifício do Senge.....	68
Figura 79 - curva de distribuição transversal da iluminância, céu encoberto - 4º andar Senge	68
Figura 80 - curvas isolux, céu encoberto - térreo do edifício Regency.....	70
Figura 81 - curvas isolux, céu encoberto - térreo do edifício Regency.....	71
Figura 82 - curvas isolux, céu claro - térreo do edifício Regency.	71
Figura 83 - curvas isolux, céu claro - térreo do edifício Regency.	72
Figura 84 - curva de distribuição transversal da iluminância - térreo do edifício Regency.....	72
Figura 85 - comparativo das curvas de distribuição transversal da iluminância para céu encoberto e para céu claro nas três salas.....	73
Figura 86 - planta baixa e elevações do local das medições.	75
Figura 87 - imagens estereográficas das obstruções do céu visível e as linhas das trajetórias do sol.	75
Figura 88 - esquema de medição dos ambientes das maquetes.....	76
Figura 89 - deslocamento dos valores expressos nas curvas isolux nas maquetes.....	77
Figura 90 -inclinação da incidência do fluxo luminoso na biblioteca.....	79
Figura 91 - plantas com curvas isolux da maquete da biblioteca.....	79
Figura 92 - incidências de luz e refletâncias desde as estantes de luz e a partir do fluxo solar direto na maquete da biblioteca.	80
Figura 93 - curvas isolux transversais da biblioteca com estantes de luz inclinadas. Céu encoberto.	81
Figura 94 - curvas isolux transversais da biblioteca com estantes de luz inclinadas. Céu claro.....	82
Figura 95 - inclinação da incidência de fluxo luminoso na sala de aula.....	83
Figura 96 - plantas com curvas isolux da maquete da sala de aula.....	83
Figura 97 - incidências de luz e refletâncias desde as estantes de luz e a partir do fluxo solar direto na sala de aula.	84
Figura 98 - curvas isolux transversais da sala de aula com estantes de luz inclinadas. Céu encoberto.	85
Figura 99 - curvas isolux transversais da sala de aula com estantes de luz inclinadas. Céu claro.....	86
Figura 100 - variação angular da rotação da estante de luz sobre o eixo da parede da sala de aula	86
Figura 101 - inclinação da incidência de fluxo luminoso na loja comercial.	88
Figura 102 - plantas com curvas isolux da maquete da loja comercial	88
Figura 103 - incidências de luz e refletâncias desde as estantes de luz e a partir do fluxo solar direto na loja comercial.	89
Figura 104 - curvas isolux transversais da loja comercial com estantes de luz inclinadas. Céu encoberto.	90
Figura 105 - curvas isolux transversais da loja comercial com estantes de luz inclinadas. Céu claro.....	91

Figura 106 - variação angular da rotação da estante de luz na abertura superior e sobre o eixo da parede, e com duas situações de abertura inferior na loja comercial	92
Figura 107 - inclinação da incidência de fluxo luminoso na sala de escritório.....	93
Figura 108 - plantas com curvas isolux da maquete da sala de escritório.	94
Figura 109 - incidências de luz e refletâncias desde as estantes de luz e a partir do fluxo solar direto na sala de escritório.	94
Figura 110 - curvas isolux transversais da sala de escritório com estantes de luz inclinadas. Céu encoberto.	95
Figura 111 - curvas isolux transversais da sala de escritório com estantes de luz inclinadas. Céu claro.....	95
Figura 112 - variação angular da rotação da estante de luz sobre o eixo da parede e projetada para fora. Duas alturas de aberturas na sala de escritório.	96
Figura 113 - modelos espaciais mínimos para o método de definição de estantes de luz Fonte: ilustração do mestrando.	100
Figura 114 - modelos espaciais mínimos, conforme a profundidade do ambiente, para o método de definição de estantes de luz. Fonte: ilustração do mestrando.	101
Figura 115 - modelos espaciais mínimos, conforme a altura do ambiente, para o método de definição de estantes de luz. Fonte: ilustração do mestrando.	102
Figura 116 - possibilidades de refletâncias conforme a relação profundidade X altura do ambiente. Fonte: ilustração do mestrando.	103
Figura 117 - Os três tipos de estantes de luz com possibilidades de inclinação (aqui 15°). Fonte: ilustração do mestrando.	105
Figura 118 - três tamanhos para cada um dos três tipos de estantes de luz Fonte: ilustração do mestrando.	105
Figura 119 - volumetria dos três tipos de estantes de luz. Fonte: ilustração do mestrando.	106
Figura 120 - planta da sala de escritório - Ocupantes: 6 funcionários e 3 eventuais.	107
Figura 121 - elementos para o coeficiente Global de transmissão térmica através das superfícies vedantes. Fonte: FROTA e SCHIFFER, 1995.....	108
Figura 122 - dimensões da abertura e da parede externa da sala de escritório.....	109
Figura 123 - dimensões da estante de luz para a sala de escritório.....	110
Figura 124 - cálculos das cargas térmicas refletidas e emitidas pela estante de luz, transmitidas através do vidro e pela parede - VERÃO - com três situações: estantes para fora, no eixo e para dentro do ambiente. Dados elaborados pelo mestrando.	113
Figura 125 - cálculos das cargas térmicas refletidas e emitidas pela estante de luz, transmitidas através do vidro e pela parede - INVERNO - com três situações: estantes para fora, no eixo e para dentro do ambiente. Dados elaborados pelo mestrando.	114

Lista de tabelas

Tabela 01 - fatores de reflexão solar dos materiais, das superfícies e das cores. Fonte: MASCARÓ, L. e VIANNA, N., 1980.....	25
Tabela 02 - absorvância e emissividade de alguns materiais e pinturas. Fonte: Laboratório Nac. de Engenharia Civil de Lisboa, 1962, referências de GOMES, R. J. e ASHRAE, 1985.....	29
Tabela 03 - Massa específica, condutibilidade e calor específico. Fonte: ABNT, Desempenho térmico das edificações, 1998.....	30
Tabela 04 - comparação da condutibilidade do ar, da água, dos materiais de construção e do metais. Fonte: ABNT, Desempenho térmico das edificações, 1998.	30
Tabela 05 - valores da carga térmica (W/m ²) sobre a superfície horizontal da fachada norte - 30oS - resultante da incidência da radiação solar* direta. Programa ISE - Estimativa de irradiância e iluminância em superfícies exteriores. Fonte: STAHL et al, 1993. (*) radiação solar global incidente sobre o plano horizontal.....	31
Tabela 06 - medidas modulares para a estante de luz. Fonte: elaborada pelo mestrando.....	38
Tabela 07 - Proporções das salas, fator solar dos vidros dos edifícios e CLDs de frente e de fundos. Fonte: elaborada pelo mestrando.....	51
Tabela 08 - resumo da variação de CLD para o 2o andar do edifício do Senge.	60
Tabela 09 - resumo da variação de CLD para o 4o andar do edifício do Senge.....	65
Tabela 10 - resumo da variação de CLD para a sala térrea do edifício Regency.	70
Tabela 11 - CLDs básicos nos ambientes das 4 maquetes.....	77
Tabelas 12 e 13 - CLDs na sala de aula conforme inclinações da estante de luz a cada 15o	87
Tabelas 14 e 15 - CLDs na loja comercial conforme inclinações da estante de luz a cada 15o e com céu claro.....	92 e 93
Tabelas 16 e 17 - CLDs na sala de escritório conforme inclinações da estante de luz a cada 15o com abertura normal.....	97
Tabelas 18 e 19 - CLDs na sala de escritório conforme inclinações da estante de luz a cada 15o com abertura inferior menor.....	98
Tabela 20 - taxas de ganho de calor das pessoas para espaços condicionados. Adaptação da tabela 3 - <i>rates of heat gain from occupants of conditioned spaces</i> . Fonte: ASHRAE, 1997.	108
Tabela 21 - ganho de calor dos equipamentos e objetos envolvidos com o ambiente. Fonte: tabela desenvolvida pelo mestrando.....	108
Tabela 22 - fator solar do vidro - Fonte: FROTA e SCHIFFER, 1995.....	112
Tabela 23 - cargas finais (W) resultantes dos cálculos das figuras 124 e 125 para a sala de escritório. Dados elaborados pelo mestrando.	115
Tabela 24 - conversão das cargas finais, mínimas e máximas, da tabela 23, em Btu/h, para a sala de escritório. Dados elaborados pelo mestrando	116

Lista de símbolos

A	Área	m^2
Ae	Área da estante de luz	m^2
Ars	Fração de área da estante de luz exposta à radiação solar direta	m^2
α	Absortância	
CLD	Coeficiente de luz do dia	%
C	Calor específico	$\text{Kj}(\text{Kg}^\circ\text{C})$
e	Espessura	m
E	Iluminância sobre uma superfície (lumens/ m^2)	lux
E_n	iluminância sobre uma superfície desde uma fonte perpendicular a ela (lumens/ m^2)	lux
ε	Emissividade térmica	W/m^2
Ftsv	Fator solar do vidro	
he, hi	condutâncias térmicas superficiais externa e interna	$\text{W}/\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$
1/he, 1/hi	resistências térmicas superficiais externa e interna	
Igv	Intensidade de radiação solar global sobre uma superfície vertical	W/m^2
Igh	Intensidade de radiação solar global sobre uma superfície horizontal	W/m^2
K	Coeficiente global de transmissão térmica	$\text{W}/\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$
λ	Condutibilidade térmica	$\text{W}/\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$
L	Luminância	lumens
Q	Carga térmica	W
Qr	Radiação solar refletida desde a estante de luz	W/m^2
Qv	Radiação solar através do vidro	W/m^2
Qvr	Radiação solar refletida desde a estante de luz e através do vidro	W/m^2
Qp	Radiação solar através da parede	W/m^2
ρ	Massa específica ou densidade de massa aparente	Kg/m^3
r	Fator de reflexão da radiação solar	
τ	Coeficiente de transparência quanto a radiação solar	

Resumo

Eficiência das estantes de luz nas aberturas Estudo de quatro casos

Essa dissertação preliminarmente estuda a evolução das aberturas na história da arquitetura; as características termofísicas de alguns materiais de construção; a incidência da radiação solar sobre superfícies horizontais; a relação das medidas e posições das estantes de luz com as medidas dos ambientes, com as paredes e com a fachada; a execução industrializada de estantes de luz, utilizando-se de medidas modulares; a utilização de superfícies horizontais nos peitoris das aberturas, na forma de balcões, projetados para fora das fachadas de três salas para escritórios em dois edifícios na cidade de Porto Alegre; e analisa detidamente quatro casos de utilização de estantes de luz nas aberturas através de quatro maquetes, nas quais se mede a iluminância obtida no interior dos ambientes de uma biblioteca, de uma sala de aula, de uma loja comercial térrea e de uma sala comercial. Os resultados são representados em gráficos de curvas isolux. Foi analisado também, na sala de escritório, a contribuição de carga térmica para o ambiente. Verificou-se que as estantes de luz e as superfícies horizontais junto às aberturas contribuem para o aumento de iluminância no interior das salas e que, para cada caso específico, deve-se adotar uma estratégia própria quanto à sua posição, dimensão, repetição e inclinação.

Abstract

Efficiency of light shelves on fenestration

Four cases study

This dissertation preliminarily studies the evolution of fenestration in the history of architecture; the thermophysical characteristics of some construction materials; the incidence of solar radiation over horizontal surfaces; the relation between light shelves measures and positions with room measures, with walls and with facades; the industrialized manufacture of light shelves, using modular measures; the utilization of horizontal surfaces on fenestration windowsills, in a balcony shape, hanging outside the facade of three offices rooms in two buildings in the city of Porto Alegre; and it thoroughly analyses four cases of utilization of light shelves on fenestration through scaled models, in which is measured the illuminance obtained in room interiors of a library, of a classroom, of a ground level commercial shop and of an office room. The results are represented in isolux contours graphics. It was also analyzed, in the office room, the thermal charge contribution to the interior. It was verified that the light shelves and the horizontal surfaces near fenestrations contribute to the internal illuminance increment and that, to each specific case, it must adopt a proper strategy as to its position, dimension, repetition and tilting.

1. Introdução

1.1. Formulação do problema

A partir do século XVIII, inicia-se a moderna elementaridade arquitetônica. De acordo com MARTÍNEZ (2000, p.131-133), nos textos contidos nas lições para a escola politécnica de Paris, o tratadista Durand classificou os objetos de edificação, de suporte ou de vedação como elementos de arquitetura. E, quanto aos espaços formados a partir destes, ele classificou como elementos de composição arquitetônica.

Desta forma, novos elementos de arquitetura tiveram a atenção dos projetistas. Uma vez tipificados, numa organização de cunho didático, esses elementos formavam todos os objetos edificáveis das construções clássicas desde o românico, o gótico e o renascimento; elementos estes que surgiram principalmente das arquiteturas egípcia, grega, romana e, através das primeiras expedições arqueológicas, da arquitetura do extremo oriente. Mais tarde foram incorporados os novos elementos de arquitetura do século XIX na composição das casas campestres, das vilas citadinas e dos prédios de serviço, como as gares de trens e os pavilhões industriais.

A deficiência de iluminância natural nos vários recintos, tanto nos de convivência prolongada, dormitórios e salas íntimas, como nos recintos de convivência transitória, sempre instigou arquitetos e engenheiros na busca de novos elementos de arquitetura ou no aperfeiçoamento de outros. De uma maneira geral é o maior tamanho dos ambientes e um pé-direito pequeno que dificultam a iluminância dos locais profundos.

As estantes de luz e suas superfícies refletantes, horizontais ou inclinadas, junto às aberturas, vêm a contribuir com sua refletância, na busca de melhor iluminação natural para esses ambientes profundos.

Porém deve ser considerado que as estantes de luz junto com elementos zenitais são apenas parte dos elementos necessários para uma solução eficiente na busca de uma iluminância natural adequada e que, numa ação integrada, podem minimizar a necessidade de iluminação artificial.

1.2. Objetivos

Pesquisar as possibilidades das estantes de luz que, como objetos de edificação na composição arquitetônica, cumprem a função de elementos iluminantes junto às aberturas. São elementos que, através de seus aspectos de forma, função e utilidade, transformam-se em um tipo de objeto de edificação com possibilidade de variações modelares.

1.2.1. *Objetivos gerais*

Conforme MARTÍNEZ (2000, p.20), Durand adverte que “os elementos são para a arquitetura o que são as palavras para a linguagem, como as notas para a música, e sem seu perfeito conhecimento é impossível seguir adiante”.

E... “a palavra tipo não representa a imagem de uma coisa a ser copiada ou ser imitada, mas a idéia de um elemento que deva servir como regra para um modelo...”¹.

Uma vez conhecidas as propriedades luminotécnicas de uma estante de luz, como refletância e transmitância de luz, elas podem ser modeladas e tipificadas para fins de classificação e repetição conforme suas utilidades e sujeitas às leis da modulação e aos processos de industrialização.

1.2.2. *Objetivos específicos*

Através da análise de dois prédios de escritórios existentes em Porto Alegre, com elementos de fachada semelhantes às estantes de luz – balcões projetados para fora como apoio para a iluminação fornecida pelas aberturas – estudar a contribuição de radiação solar refletida para o interior das salas de duas maneiras: com a refletância desde a superfície horizontal junto às aberturas e com a refletância desde a superfície horizontal superior revestida de branco dos balcões.

Através do estudo de quatro maquetes que representam uma biblioteca, uma sala de aula, uma loja comercial e uma sala de escritórios, na escala 1:10, analisar a influência da refletância das estantes de luz colocadas nas aberturas em diversas posições e inclinações na iluminação desses locais.

¹ Um dos grandes conceitos sobre tipologia arquitetônica de Quatremère de Quincy, retirado de sua obra *Encyclopédie Méthodique d'Architecture* publicada por volta de 1780 na França.

Na sala de escritório, analisar a contribuição térmica para o interior dos ambientes da radiação solar na estante de luz; das cargas próprias dos equipamentos e dos ocupantes; e das cargas transmitidas através da parede e da abertura.

Estes estudos são mostrados através de plantas e elevações dos ambientes com curvas isolux do CLD – Coeficiente de Luz Diurna – para duas condições de céu, encoberto e claro.

De acordo com MASCARÓ (1991, P.134) o CLD – Coeficiente de Luz Diurna – é a relação (percentual) entre a iluminação diurna num ponto no interior do local, excluída a luz solar direta, e a iluminação exterior simultânea sobre um plano horizontal iluminado pelo total da abóbada celeste característica do lugar.

1.3. Justificativas

Em função do consumo elevado de energia elétrica, da grande disponibilidade de energia solar e de um uso mais racional dos recursos energéticos, torna-se necessário aproveitar a radiação solar para a iluminação natural dos ambientes internos das edificações.

As zonas de fundo de um ambiente usualmente ressentem-se da falta de iluminância adequada para realizar-se tarefas visuais. Para isso, há duas maneiras de se aproveitar a radiação solar: com elementos zenitais e, como no caso aqui apresentado, com as estantes de luz junto às aberturas, ou, ainda, com a combinação de ambos. Pois as estantes de luz, que são uma evolução dos largos peitoris das antigas aberturas de paredes grossas, enviam para o interior dos ambientes por reflexão a radiação solar nela incidente.

Porém o aumento da iluminância de fundo nem sempre se soluciona de forma ideal. Em prédios com repetição de pavimentos, o fundo dos ambientes fica muito distante das aberturas das fachadas e em uma localização sem possibilidades zenitais. Neste caso, pode-se aumentar o pé-direito, a altura da fachada e das aberturas, de forma a se eliminar a sensação de profundidade do ambiente e melhorar a penetração de fluxo luminoso e de refletância desde a estante de luz.

1.4. Estrutura do trabalho

No segundo capítulo se apresenta uma revisão bibliográfica com:

- dados históricos relacionados às aberturas das edificações ao longo dos períodos da arquitetura até os dias atuais;
- conceitos de refletância e iluminância naturais;
- a relação das medidas das estantes de luz com as medidas dos ambientes;
- o ganho térmico que a estante de luz produz no ambiente;
- a estante de luz como objeto modular e repetitivo e sua relação com a parede que contém a janela.

No terceiro capítulo, descreve-se a metodologia utilizada para a análise dos dados pesquisados através de duas etapas distintas de medições de iluminância:

- medições *in situ* em três salas de dois prédios em Porto Alegre;
- medições em quatro maquetes em escala 1:10.

Após apresenta-se os resultados obtidos nestas medições.

Na seqüência, é apresentado e analisado um método, proposto pelo mestrando, para o dimensionamento das estantes de luz em função de sua largura e de sua altura e de acordo com as dimensões dos ambientes. Também são propostos modelos de três tipos de estantes de luz, bem como uma análise do ganho térmico desde a estante de luz e das cargas próprias do ambiente de uma sala de escritório.

No quarto capítulo são apresentadas as conclusões sobre esta pesquisa.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Evolução das janelas através da história

Este capítulo descreve como diferentes povos resolveram, em diferentes épocas, a necessidade de iluminar os ambientes internos de suas edificações.

2.1.1. Introdução

Como se pode ver na figura 01 e em quase todas as formas edilícias, em alguns momentos do passado, algumas tentativas e estratégias junto às aberturas do ambiente podem ter surgido pela necessidade de se ter maior iluminância nos espaços mais distantes da área das aberturas.

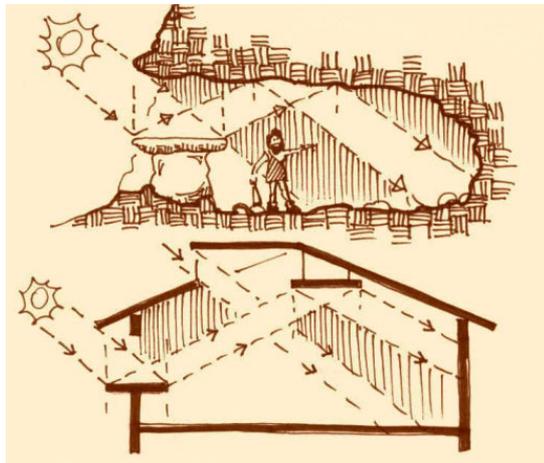


Figura 01 - refletâncias: como forma de se aumentar a iluminância de fundo e de se minimizar o ofuscamento junto às janelas.
Fonte: Ilustração do mestrando.

Nestes exemplos, a incidência luminosa desde uma superfície horizontal qualquer, como um peitoril, junto a uma abertura, pode ser jogada contra um teto ou forro e, no mesmo ângulo, invertida por reflexão, alcançar o fundo do ambiente com intensidade reduzida e suficiente para aumentar a iluminância do fundo do local.

As estratégias de iluminação ao longo da história contribuíram diretamente na formação de elementos

de arquitetura. Neste sentido, também o clima de cada local, bem como a maneira como as pessoas conviviam e se relacionavam com os seus ambientes, foi determinante.

Por muito tempo as aberturas e superfícies vedantes das edificações estiveram totalmente subordinadas à estrutura. Foram evoluindo, a cada período da história, junto com os avanços no fabrico de vidro. Em geral, as aberturas primitivas eram estreitas em função do sistema construtivo à base de pedra, madeira ou barro.

A iluminação zenital foi largamente utilizada desde os antigos egípcios, passando pelos gregos, a fim de se controlar o ofuscamento e a entrada de calor através das aberturas sem vidros (apesar do fabrico de vidro já estar presente desde a 18ª dinastia do Egito em 1500 a.C.) por meio de grelhas na pedra talhada nas paredes altas (como forma de peneirar a luz natural intensa própria do clima local), por meio de buracos no topo da nave central e também com clerestórios no alto, junto ao forro do teto (muito utilizados no alto das naves e entre os arcos botantes das catedrais), que seriam transformados, mais tarde, em mansardas e águas furtadas.

Uma das primeiras estratégias de aberturas, o clerestório (figura 02), situava-se na parte superior ou na meia altura das paredes e também no teto, recebendo a luz zenital, como nos templos e nas basílicas. Estas eram iluminadas, assim, por essas janelas junto às paredes superiores da nave

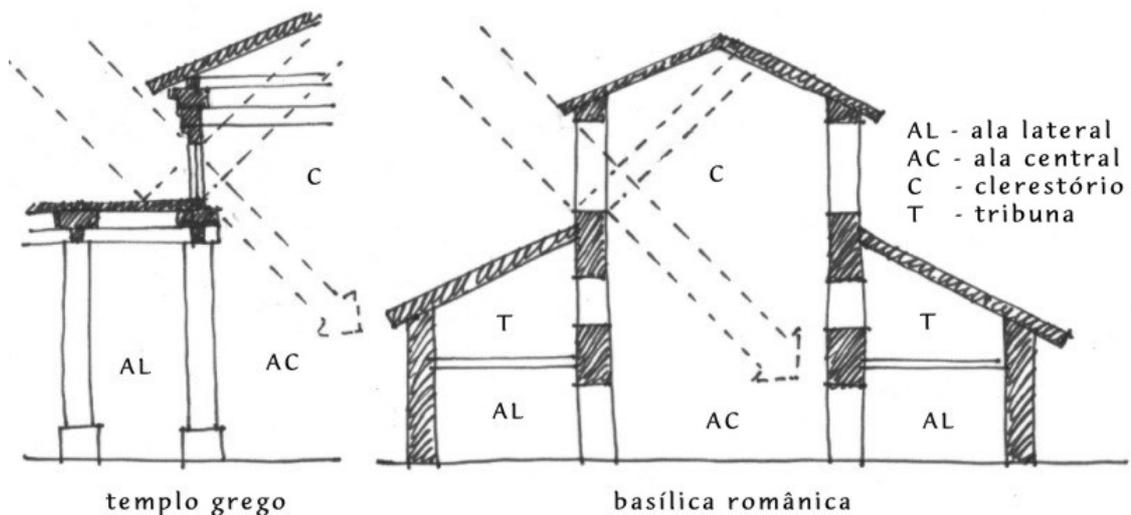


Figura 02 - forma comum das janelas primitivas - os clerestórios - nas expensas paredes dos templos gregos e das primeiras basílicas cristãs e bizantinas. Fonte: ilustração do mestrando.

mais alta e sobre as tribunas (KOCH, 1998, p.122).

Séculos depois, conforme LIM (1978, p.8), os romanos utilizaram o vidro colorido; não tão regularmente plano, pois a mistura derretida era derramada sobre um prato e depois alisada manualmente por cilindros. No mundo cristão, as arquiteturas com vidro começaram na conversão do Imperador Constantino, em Roma. Na Igreja de São Paulo, em 337 d.C., havia vidros abundantes de diversas cores, porém eram foscos e rudemente produzidos. No período romanesco, no séc. X, os vitrais de vidro tingido coloriam a atmosfera.

No início do Gótico, em 1240 d.C., surgem vidros planos, claros e incolores, amplamente disponibilizados na Abadia de Westminster na Inglaterra.

Assim, muitas aberturas puderam ser incorporadas às superfícies vedantes, aumentando o uso de luz natural. Porém a história conta que, ainda que a luz natural fosse abundante, não era na profundidade dos ambientes das habitações nem nos cômodos de comércio e de serviços.

Este tipo de edificações, que começou a se repetir, carecia de iluminâncias suficientes para realizar tarefas visuais junto às paredes de fundo. Uma exceção eram os pavilhões industriais, que, com seu alto pé-direito único, propiciavam a utilização de clerestórios em sequência na linha do telhado.

A prática arquitetônica e as necessidades, como as aqui apresentadas, criaram, ao longo da história, elementos de arquitetura que por vezes se transformaram em elementos tipificados.

Um tipo arquitetônico, segundo o tratadista Quatremère, citado por MAHFUZ (1995, p.76) “é a idéia de um elemento que deve servir de regra para um modelo...”. Por exemplo, para cada tipo de coluna, podem existir vários modelos apropriados conforme a necessidade de apoio para a estrutura das edificações.

Assim, com a chegada da era industrial, veio a possibilidade de se ter ambientes maiores com mais oferta de superfícies envidraçadas nas aberturas das fachadas e dos tetos, bem como ambientes mais profundos com maior iluminação suplementar garantida pela luz artificial a gás e, mais tarde, a eletricidade.

Contudo, é bom lembrar que as aberturas verticais, grandes ou pequenas, tanto aumentam a iluminância dos ambientes como, algumas vezes, criam zonas de ofuscamento em suas imediações.

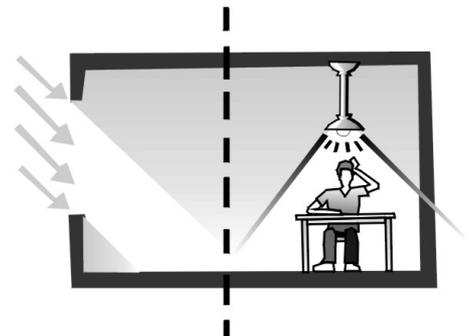


Figura 03 - uma linha tracejada auxiliar delimita as duas zonas do ambiente com iluminação de fontes diferentes: A zona de luz do dia e zona de fundo com luz artificial suplementar. Fonte: ilustração do mestrandu.

2.1.2. As aberturas dos primeiros moradores

Desde os primórdios da humanidade, conforme QUATREMÈRE (1780), houve três tipos básicos de povos, três formas de vida e atividades distintas, que originaram todas as construções: os caçadores, os pastores/nômades e os

agricultores, com seus três arquétipos edilícios – a caverna, a tenda e a cabana, respectivamente – que surgiram através da arte da imitação dos elementos da natureza. Cada um destes povos, com suas maneiras de morar, utilizou uma ou mais aberturas para, primeiramente, ventilar e depois iluminar (fig. 04) como se verá detalhadamente abaixo.



Figura 04 - à esquerda a caverna: eram escolhidas por suas qualidades de renovação do ar e por sua profundidade; no meio a tenda: o que importava aqui era conciliar a habitabilidade com a mobilidade do povo nômade; à direita a cabana: tinha maior número de aberturas e maior possibilidade de ventilação e maior sofisticação formal. Fonte: ilustração do mestrandu.

Os caçadores: Esses povos não possuíam residência fixa, viviam sempre numa mesma região, mas movimentavam-se conforme sua caça ou sua pesca. Viviam em cavernas ou na beira de rios com simplicidade e eram despojados de complexidade construtiva. Suas moradas eram improvisadas: à copa de uma árvore, numa oca de galhos e folhas, numa caverna, num buraco, etc. Pode-se dizer que eram os menos evoluídos. As aberturas de suas habitações, quando não eram as entradas naturais das cavernas e dos refúgios passageiros, eram árdua e minimamente executadas, sendo que nem sempre existia mais de uma abertura para garantir a renovação de ar. A existência de uma abertura adicional aumentava o *status* da moradia, a iluminação e ventilação naturais provinham do acesso principal.

Os pastores-nômades: Habitavam as planícies e estavam sempre em movimento para a troca de pastagens. Com isso, preferiam não utilizar os abrigos naturais ou mesmo executarem abrigos transitórios. Carregavam suas moradas em suas andanças e montavam-nas e desmontavam-nas sempre que necessário. Usavam tendas de pele ou de tecido e, assim, podiam ter maior disponibilidade de aberturas em suas habitações. As aberturas das tendas eram mais bem elaboradas que as simples aberturas das edificações dos povos caçadores. As tendas, por serem leves, deviam possuir aberturas que não provocassem sua desestabilização, através das quais os fortes ventos das

planícies podiam penetrar, sendo que deviam ser estrategicamente posicionadas para que houvesse um controle da circulação do ar em seu interior. A luz direta do sol não entrava na tenda, a não ser de maneira difusa.

Os agricultores: Estes povos trabalhavam o terreno ao seu redor, eram grupos fixados na terra e, por isso, suas construções eram permanentes. A fim de manter estável sua vida, conservar suas provisões e o produto de suas culturas de maneira segura, tinham que construir habitações com maior diversidade espacial, utilizando os elementos mais abundantes da natureza, como a madeira e a pedra. As cabanas possuíam telhados bem inclinados, às vezes mais de um pavimento e sótão, bem como várias aberturas para ventilar o ambiente e secar o produto da colheita. Foram as primeiras formas de habitação largamente utilizadas nos antigos assentamentos. Nessas cabanas, cada vez mais sólidas e protegidas da intempérie, as aberturas adquiriram muitas das formas que deram origem às tipologias hoje utilizadas.

Deve ser lembrado que toda a arquitetura grega vernacular deriva das primeiras cabanas em madeira, imitadas posteriormente, em seus detalhes e formas, na clássica arquitetura de pedra. Ressalta-se que foi a cornija, que se apoia nas arquitraves (que por sua vez, se apoiam nas colunas) que coube o papel de beiral dos telhados que cobrem os templos gregos.

2.1.3. Dominando a iluminação interior

Nas arquiteturas antigas do Egito e da Grécia havia grandes diferenças de iluminância no interior dos espaços das edificações. Quase sempre, a presença de uma janela e conseqüentes áreas iluminadas significavam um lugar especial, ou de culto, dentro dos espaços.

No Egito, segundo LIM (1978, p. 2) já que a madeira era escassa, praticamente toda edificação e seus elementos eram moldados em pedra talhada, sendo que a suave iluminação interior era difundida desde as espessas laterais de pedra das altas aberturas. A presença ofuscante e intensa da luz solar, bem como a inexistência de vegetação nas superfícies externas, minimizaram os tamanhos das aberturas. Estes tamanhos eram também determinados pelas limitações das pedras utilizadas.

A exclusão da luz solar no interior das edificações da região mediterrânea é uma necessidade vital devida ao clima quente, tanto para manter o interior fresco como por razões religiosas e cerimoniais. A luz do dia

requerida para o grande *hall* do templo de Ammon, em Karnak, era amenizada, rebatida e filtrada através de pequenos cortes chanfrados (fig. 05a), de buracos redondos e de lâminas de mármore transparente no teto, ou grelhas de pedra anexadas nas janelas altas, no clerestório, entre as fileiras de colunas (fig. 05b). Essas aberturas foram utilizadas também nos clerestórios paleocristãos. Esta é uma das primeiras estratégias bem sucedidas para o aproveitamento de luz lateral superior sem o inconveniente do ofuscamento presente nesse tipo de clima.

Já a arquitetura dos templos gregos teve poucas aberturas. Orientavam-se sobre o eixo leste-oeste e a alta e estreita porta de entrada à leste era a única fonte de iluminação interior,

que permitia a entrada da luz do amanhecer para iluminar as estátuas, bem como a luz refletida desde o solo e a luz difusa desde a abóbada celeste (MOORE, 1985, p. 5).

Nos povoados em geral, o uso doméstico de janelas parecia depender do *status* social dos ocupantes: simples janelas 'buracos na parede' admitiam luz do dia diretamente para as peças principais, os interiores destas peças eram iluminados pela luz do dia recebida através de janelas clerestórios. Os gregos buscavam o controle da iluminação interna. As casas eram intencionalmente desenhadas com o conhecimento do movimento do sol, de forma que o sol de inverno conseguisse entrar através de uma sala larga e estreita, aberta em direção a um pátio fechado ao sul. Algumas casas eram de dois andares e tinham um pátio interno quase sempre rodeado por um peristilo (colunata rodeando um espaço). Outras casas tinham um andar na fachada sul e dois na fachada norte, de maneira a não bloquear o sol de inverno na parte norte da casa.

No período helênico, as casas gregas para os mais abastados tinham as peças principais recebendo luz do dia através de pequenas aberturas. As fachadas para as ruas eram desprovidas de janelas, provavelmente pelo desejo

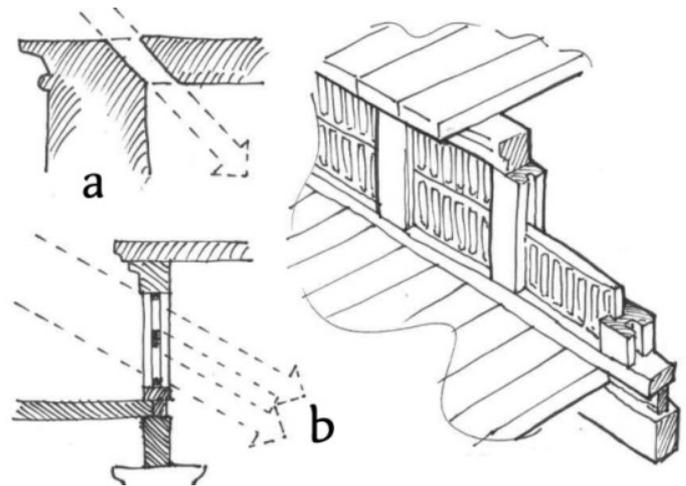


Figura 05a e 05b - No Egito o clima muito ensolarado levou à criação destes elementos por onde a luz do dia era filtrada para o interior dos templos como o de Amon em Karnak.
Fonte: ilustração do mestrandu.

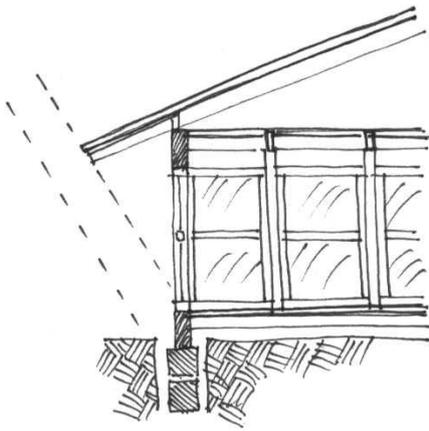


Figura 06 - a obstrução solar devida ao beiral. As janelas como superfícies vedantes nas casas orientais.
Fonte: Ilustração do mestrando.

de privacidade e para evitar o barulho e a poeira vindo das ruas (BECKETT e GODFREY, 1978, P. 118).

No oriente, os projetos das antigas edificações chinesas e japonesas tiveram grande desenvolvimento na fenestração em comparação com outros estilos. De grande importância foi o seu maior número de janelas,

muitas desempenhando o papel de vedação da edificação, permitiu uma melhor iluminação difusa dentro dos ambiente. As edificações

eram construídas principalmente com madeira e tijolos, enquanto pedras eram utilizadas nas fundações. Pátios internos abertos serviam também para melhorar as iluminâncias dos ambientes contíguos. Janelas com esquadrias de tecido tramado transparente encaixavam-se entre as vigas e os montantes de madeira. Utilizavam-se também cortinas móveis em papel de arroz. As aberturas eram protegidas pelos característicos beirais curvos, que controlavam a incidência solar (fig. 06). O uso de beirais era próprio das edificações de madeira, como as cabanas.

Em vários locais e períodos o trabalho com madeira sempre permitiu desenhos com mais arestas e maior leveza que a arquitetura de pedra da tradição maçônica.

2.1.4. *Mais luz em Roma e no Gótico*

Permitida pelas diferenças no clima e também pelo sistema sócio-político, a participação pública na vida social da Roma antiga demandou interiores comparativamente bem iluminados em contraste com a tênue meia-luz dos templos grego-egípcios, onde apenas aos pregadores era permitido penetrar nos interiores. Pode-se dizer que a vida em Roma, ao contrário dos gregos, se realizava mais nos interiores das edificações. Nas casas de banhos, o sol poente penetrava dentro do recinto justo no horário de maior utilização. Os romanos desenvolveram o arco redondo, o teto arqueado e o domo redondo como o do Panteão. Essa estrutura possibilitou um grande interior sem colunas e uma nova forma de se perceber a luminosidade interna, mais

amplamente distribuída. O olho do Panteão foi talvez o melhor exemplo de iluminação zenital (fig. 07a). Essa abertura, em concreto, de 16,46m não apenas diminuiu o peso da estrutura como também facilitou a execução da parte mais difícil da construção. As aberturas nas paredes eram mais largas que as dos gregos. Utilizaram-se painéis de pedras transparentes como a mica e o alabastro e também vidros coloridos.

Tanto a arquitetura romana como a bizantina fizeram uso do vidro, mas não na mesma escala que viria a ser utilizada no Gótico, pois a natureza do material era ainda muito rude para seu uso disseminado. Havia o corte de alabastro, um mármore transparente, em finas lâminas e às vezes unidas com vidro colorido, como na Basílica bizantina de Sta. Sofia em Constantinopla e na Igreja de São Apolinário em Classe, a cidade portuária de Ravena, Itália.

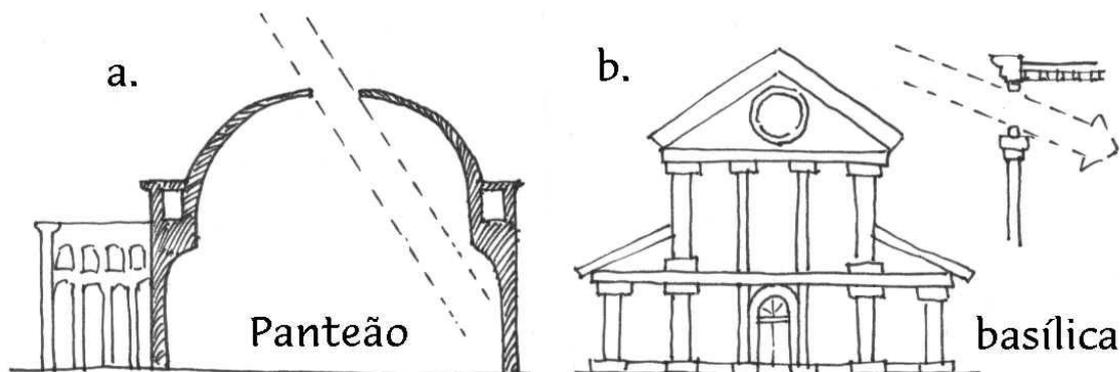


Figura 07a e 07b - a iluminação zenital dentro do amplo espaço sem colunas do Panteão e a iluminação de clerestório das basílicas romanas e bizantinas. Fonte: ilustração do mestrando.

A arquitetura seguiu a tradição romana e continuou a construir mais facilmente pequenas aberturas do tipo clerestório e as transenas (rendilhados de madeira, pedra ou mármore). Ficavam dispostas na clara superfície das paredes maciças, acompanhando a forma das estruturas em arco e logo abaixo das abóbadas curvas.

Alguns autores (LIM, 1978; BECKETT e GODFREY, 1978) afirmam que as portas e as janelas tinham que iluminar os ambientes de forma a

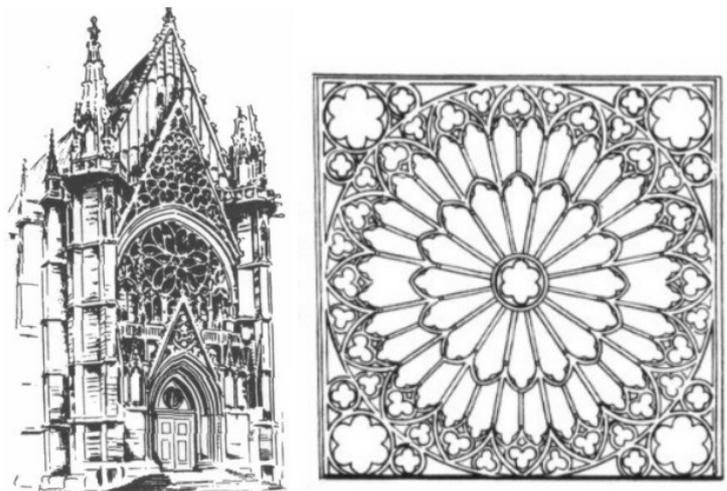


Figura 08 - janela rendilhada em portais e frontões do gótico tardio, como na fachada da Chapelle Royale em Vincennes e detalhe da rosácea. Fonte: KOCH, 1998.

valorizar os afrescos e os mosaicos das paredes. Com o Gótico, surgiam as janelas rendilhadas de rosáceas redondas: eram de pedra, preenchidas com vidro ou com lâminas de mármore e eram elaboradas (fig. 08). Estas janelas redondas, típicas deste período iniciado no século XVII, representam uma evolução da janela circular medieval, conhecida como *oculus* ou os *olhos* do prédio (fig. 07b), colocada no centro do frontão para o poente das igrejas e basílicas. Estas rosáceas são vistas em muitas das catedrais francesas e inglesas do Gótico tardio.

Na França, o desenvolvimento do arco ogival e de uma dezena de diferentes arcos eliminando as abóbodas de planta quadrada e dos suportes destacados externos, os contrafortes e arcobotantes, na intersecção das abóbodas ao longo da nave principal, que são uma característica do gótico, livram as paredes da função suportante e começam a habilitar aberturas com maiores superfícies, com rendilhados complexos e belos e em arco de ponta, bem como uma maior altura do clerestório.

No Gótico, grandes superfícies de vidro estavam disponíveis e a técnica

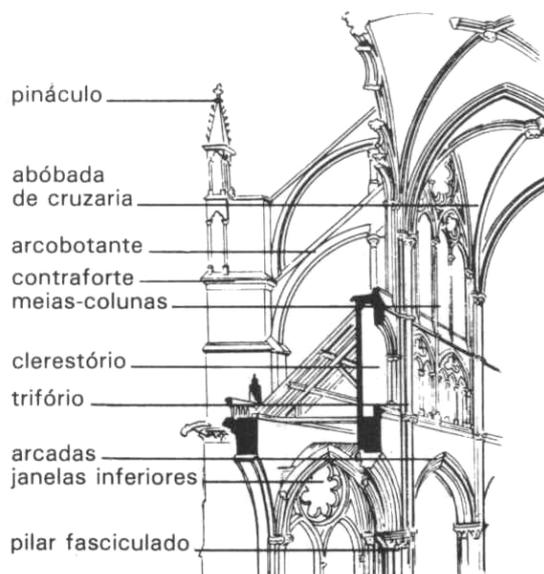


Figura 09 - elementos construtivos góticos.
Em Amiens, 1220-69. Fonte: KOCH, 1998.

de vidro colorido, nos vitrais dos rendilhados, encontrou uma nova e desafiante aplicação. A generosa oferta de vidro colorido desde o século XII e as grandes janelas, bem como a tradição de se estender a planta das grandes edificações sobre o eixo leste-oeste, ampliaram as possibilidades de iluminação nas catedrais. Vidros mais finos e translúcidos, com ou sem tons pastéis, surgiam nas rosáceas e nos variados rendilhados, perdendo a aparência de mosaicos e com

predomínio de figuras. O desenvolvimento da janela gótica na França e na Inglaterra começou com a adoção da janela em ponta de arco, o estilo *Lancet* (fig. 09). No século XIII, na Inglaterra, surgiu o grande estilo *perpendicular*, com seus resistentes montantes e travessas, em pedra nas fachadas das catedrais. No século XIV, na França, foi a vez das *flame-like-windows* ou *flamboyant*.

O último período, entre os Séculos XIV e XV, caracterizou-se por grandes janelas e vidraças para edifícios domésticos, as janelas tornaram-se mais funcionais com o desenvolvimento crescente da caixilharia de madeira e de metal e da maior oferta de vidro, bem como de novos motivos geométricos para os vitrais. Os miradores, precursores das *bay windows*, as vezes com a altura do prédio e por outras vezes acompanhando externamente escadarias, proporcionaram uma nova possibilidade de iluminar os ambientes internos através da penetração contínua da luz do dia em mais de um pavimento.

2.1.5. Novas janelas do Renascimento e do Barroco

Sob a influência de Alberti e Leonardo, no começo do século XVI, o Renascimento se rebelou contra a rigidez formal do Gótico. A antigüidade romana foi o modelo para os humanistas renascentistas, que tinham o homem como medida de todas as coisas.

As paredes renascentistas, mais grossas, escultóricas e ricas em elementos decorativos, resultaram internamente das sobras da forma do

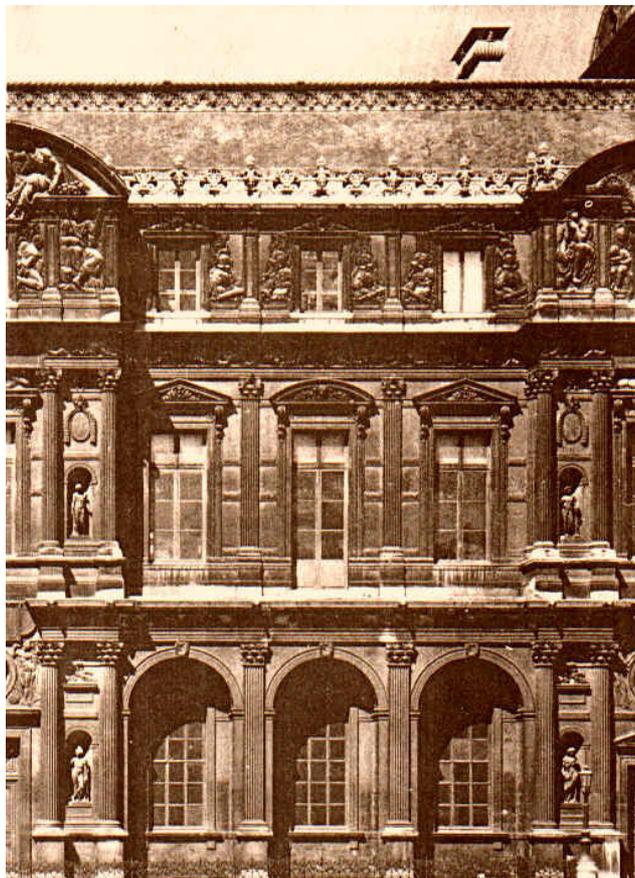


Figura 10 - fachada renascentista de motivos decorativos e com muitas janelas - Louvre - Paris. Janelas recuadas da linha da fachada de forma que fiquem sombreadas.
Fonte: BECKETT e GODFREY, 1978.

espaço criado, ao contrário das paredes góticas, subordinadas aos contrafortes. As janelas tiveram formas e proporções baseadas na escala humana. A harmonia e a proporção visual são percebidas nas fachadas, onde as aberturas, como elementos decorativos, são encimadas por frontões e arcadas e ladeadas por motivos em relevo, marcando o entrespaço. Sobre a influência de Pierre Lescot, foram anexados, nas fachadas do pavilhão sudoeste do Louvre, em Paris, 1546, motivos clássicos e decorativos sob forte influência italiana (fig. 10). Os andares

dos prédios foram simetricamente articulados por fileiras de janelas. A iluminação dos interiores Melhora com maior disponibilidade de janelas e de formas. O Renascimento valoriza a iluminação de seus interiores e assim começou-se a se preocupar mais com a relação entre a profundidade do ambiente e a altura das janelas. Mansardas nos telhados eram amplamente utilizadas.



Figura 11 - O estilo barroco na Igreja Abádia de Santa Margarete, Brevnov.
Fonte: BECKETT e GODFREY, 1978.

recessadas, recuadas da fachada e com largos peitoris e vergas. As janelas podiam ser curvas, ovais ou circulares, como o olho-de-boi da edificação barroca com formas clássicas mais racionais e esculturais: Igreja Abadia de Santa Margarete, Brevnov (figura 11). A luz dos interiores seguiu basicamente os mesmos padrões de distribuição luminosa do período anterior, porém com

Inovações plásticas sobre as linhas renascentistas tomam forma com o surgimento do Barroco, que representa a exaltação das formas, através de uma disposição escultural de côncavos e de convexos. Contudo, é basicamente uma arquitetura fachadista, de efeito teatral e de linhas racionais. Assim, as aberturas para janelas eram quase sempre profundamente

recessadas, recuadas da fachada e com largos peitoris e vergas. As janelas podiam ser curvas, ovais ou circulares, como o olho-de-boi da edificação barroca com formas clássicas mais racionais e esculturais: Igreja Abadia de Santa Margarete, Brevnov (figura 11). A luz dos interiores seguiu basicamente os mesmos padrões de distribuição luminosa do período anterior, porém com resultados mais dramáticos pela excessiva decoração figurativa e alegórica da arte barroca.

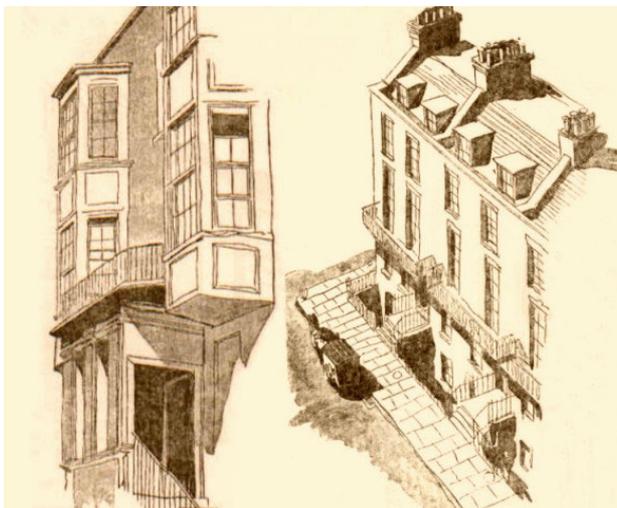


Figura 12 - direita: janelas tipo bay window, miradores; esquerda: mansardas e aberturas repetidas, utilização das janelas guilhotina, sachwindow - sec. XVII e XVIII.
Fonte: CLOAG, 1951.

também uma reação do movimento da contra-reforma do clero católico italiano contra o levante calvinista que destruíra grandes obras católicas em fins do século XVI.

Do século XVII em diante, o vidro se aperfeiçou, e aumentou sua produção enormemente. A

Inglaterra era o grande fabricante e a França, a idealizadora. Na Inglaterra, o simples e enxuto estilo *tudor* foi encorajado, resultante de muitos montantes e travessas, dividindo a janela em um grande número de unidades repetidas – uma reminiscência do estilo perpendicular do período anterior. No século XVIII, no Barroco tardio, reutilizou-se exaustivamente um elemento do gótico: as grandes janelas *bay windows*, muitas vezes abertas desde o chão e protegidas por balaústres e balcões e dispostas entre ordens clássicas ricamente esculpidas. Uma variante destas eram as *bow windows*. Ambas permitiram maior iluminância nos ambientes e eram muito utilizadas também nas lojas de comércio e de varejo, pois serviam como vitrine projetada para fora da fachada. As janelas guilhotinas e as pivotantes emolduram as fileiras de aberturas, bem como as *bay windows* e as mansardas (figura 12). As janelas mansardas eram utilizadas para a iluminação dos cômodos localizados nos vãos do telhado.

Após o início do século XVIII, a janela guilhotina (janela deslizante), formada por um duplo quadrado (fig. 13), surgiu devido a uma crescente preocupação com a ventilação. Neste tempo, em muitas cidades Bretãs, com suas casas

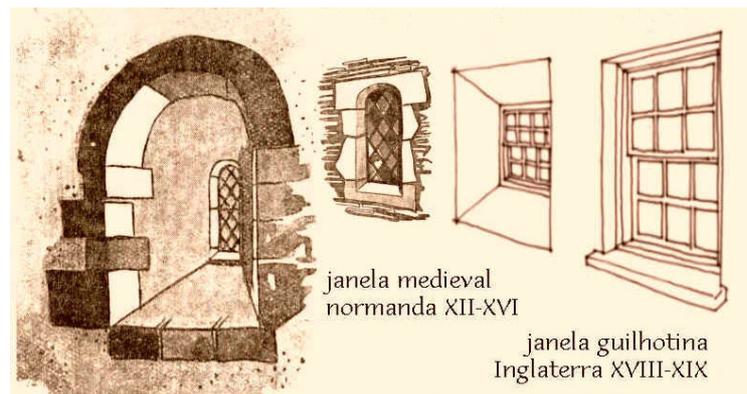


Figura 13 - janela medieval de vitral com peitoril interno largo e de guilhotina com peitoril externo largo.
Fonte: CLOAG, 1951.

com paredes em tijolo à vista como em Dublin, as aberturas diminuía seu tamanho em direção ao parapeito, com as janelas guilhotina rentes às fachadas. Na Escócia, elas eram dispostas recuadas da fachada, em recessos na parede, numa reminiscência de suas origens medievais, quando as aberturas possuíam um largo peitoril, como na figura 13. As aberturas evoluíram para os sistemas de guilhotina e pivotantes, e muitas janelas permaneceram entre grossas paredes devido ao clima frio das regiões da Europa ocidental. Na figura 13, vê-se que o peitoril largo continuou sendo utilizado tanto para o interior como também, muitas vezes, para o lado de fora da janela. O peitoril, a verga e as laterais são inclinados de forma a refletir difusamente a luz do dia para o interior dos ambientes. O efeito luminoso, através das posições dos peitoris em relação a janela, é distinto, pois:

normalmente, quando a janela era de vitral, o peitoril ficava para dentro a fim de que a luz batesse nos vidros, e, assim, se formasse o efeito luminoso colorido e decorativo. Quando a janela era a de guilhotina e com vidros comuns, o peitoril era projetado para fora de maneira a se proteger a superfície de vidro das intempéries. O clima rigoroso de inverno fazia com que se continuasse a utilizar este tipo de abertura.

2.1.6. Buscando a transparência



Figura 14 - relação abertura/parede:
Medieval - cheio/vazio;
Moderna - opaco/transparente.
Fonte: ilustração do mestrando.

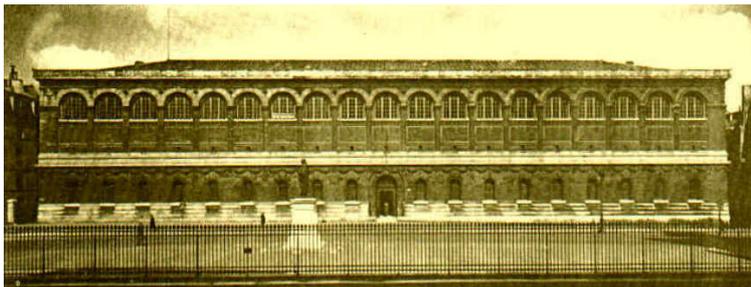
Por muito tempo, a janela esteve ligada à idéia de *buraco de luz* ou de *buraco de vento* (em inglês *wind hole*; daí *window*, janela) que correspondia à relação cheio/vazio das superfícies vedantes. Essa relação, conforme MARTINEZ (2000, p. 134-138), das superfícies vedantes (invólucro do objeto construído) evoluiu desde o barroco até o século XIX para uma relação opacas/transparentes, onde temos tanto as aberturas como as paredes integradas, formando, juntas, a superfície de vedação da edificação, o que era antes só conferido às espessas paredes e muradas.

Abrir uma abertura, além de iluminar, pôde então significar, muitas vezes, fechar, vedar ou bloquear com envidraçamento e transparências (fig 14).

A composição arquitetônica, através dos elementos de arquitetura e de sua relação física com o espaço, determinou maior ou menor iluminância nos ambientes. Durante centenas de anos, os elementos das ordens clássicas dominaram a paisagem edificada, na qual havia mais exclusão da luz do dia do que sua inclusão nos ambientes. Isto foi adiado até que surgissem as novas possibilidades estruturais do Gótico e dos últimos séculos pré-modernos, quando se liberaram as paredes da função portante e se aumentou a superfície das janelas em benefício de ambientes mais bem iluminados.

Com o advento das estruturas de ferro e vidro, aliadas aos avanços da utilização do concreto e de outros materiais, propiciou-se uma nova relação de vedação da edificação. Estes elementos determinaram diferentes possibilidades para se envolver uma edificação, como nos *palácios de cristal* para as exposições internacionais, nas grandes metrópoles europeias em fins do século XIX.

Retendo elementos de tradição e convenção, porém inovando racionalmente através de novos materiais e estruturas, o estilo Neoclássico preferiu a monumentalidade articulada e simétrica, bem como a regularidade das proporções obtidas através da parcimônia, das medidas e dos cálculos. Seu aspecto exterior é caracterizado pela revitalização das ordens com o frontão grego e as fachadas com colunas, pilastras, cornijas e sucessões de aberturas no intercolúnio. Esta arquitetura tinha boas estratégias de iluminação natural, como fachada de grandes clerestórios arqueados do prédio da *Bibliothèque Ste. Geneviève*, em Paris



da *Bibliothèque Ste. Geneviève*, em Paris (fig.15).



Há grande utilização do ferro e do vidro nas construções, como no prédio da Oriel Chambers de Peter Ellis, em Liverpool, de 1865 (fig 16). Tem-se, então, uma nova composição em planta com vãos de grandes luzes e continuidade espacial com maior oferta de captação da luz do dia.

Exemplos são as grandes estruturas de ferro e vidro, transparentes, para jardins de inverno, para estações e gares ferroviárias, para mercados públicos, para bibliotecas, para museus e para os grandes *palácios de cristal*.

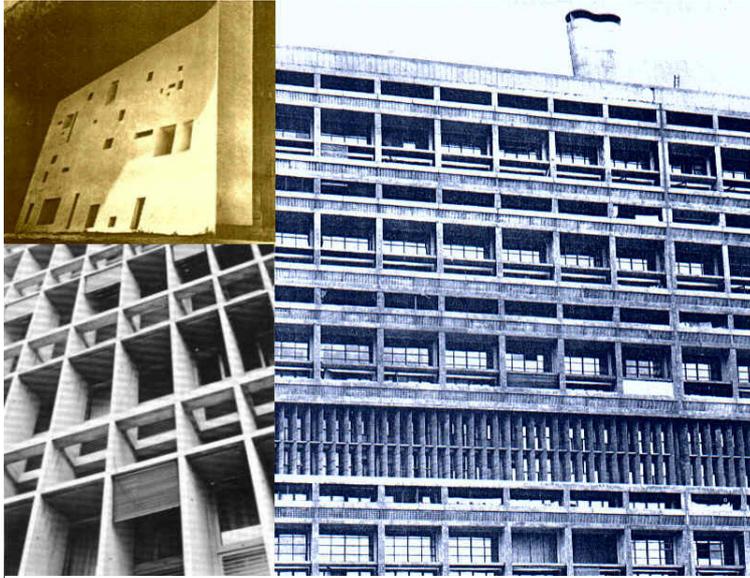
Acima, figura 15 - *Bibliothèque Ste. Geneviève*, em Paris; 1850. Fonte: BECKETT e GODFREY, 1978; Embaixo à direita, figura 16 - Oriel Chambers, em Liverpool, 1865. Fonte: BENEVOLO, 1996; Embaixo à esquerda, figura 17 - arranha-céu de vidro desenhado por Mies van der Rohe em 1921. Fonte: BECKETT e GODFREY, 1978.

No final do séc. XIX, as aberturas, que se tornam objetos de arte com o estilo Art Nouveau, também chamado, conforme o lugar, de Jugendstil, Liberty, Modern Style e outros, ganham motivos decorativos e miméticos da fauna e da flora com maior liberdade de formas curvas, através do ferro moldado e retorcido. Portas, janelas verticais e horizontais são reestilizadas ao mesmo tempo em que se domina mais a oferta de iluminação zenital, em ambientes distantes das aberturas verticais, nas residências dos prédios citadinos.

No começo do século XX, novos paradigmas formais propunham uma arquitetura que se libertasse de aspectos barrocos e pitorescos que ainda existiam nas edificações do século XIX e que tivesse especialização funcional em uma forma mais racional e com superfícies mais planas e lisas. Tais paradigmas eram, na verdade, frutos do purismo geométrico da Escola de Chicago e da Bauhaus e acabariam por resultar no Movimento Moderno. A iluminação natural se beneficiou disso, pois os espaços internos estavam sendo projetados de maneira que a superfície envolvente da edificação moderna valorizasse a luz do dia através de maior transparência e de maior número de janelas e aberturas, bem como do aumento de suas superfícies. Os arquitetos Sullivan, Gropius, Oud e Mies (fig. 17), entre outros, utilizaram habilmente esses elementos projetuais modernos em seus estudos para edifícios públicos, para escolas e para edifícios de escritórios, com o uso do ferro e do vidro junto com a alvenaria, compondo o que seria chamado de Estilo Internacional, que com variações mais estilizadas, como o Art Decô, permaneceria praticamente o mesmo em todos os cantões até o fim da Segunda Guerra quando se recomençaria a se pensar em novos valores.

O Estilo Internacional amadurece e transforma o que é moderno, inspirando-se nas variações estilísticas do passado, praticamente reeditando os princípios de Durand, pois abandona um pouco a ênfase formal do modernismo e retoma princípios góticos e renascentistas, muito em função da reconstrução das cidades européias, incorporando elementos e composições conforme a conveniência e a necessidade.

As aberturas e paredes desempenhariam uma relação mais técnica, buscando o controle do ganho de calor desde a incidência da radiação solar direta na estrutura do prédio e através das aberturas. É o caso do estilo escultórico de Le Corbusier, com seu repertório pessoal de elementos de arquitetura, como o *brise* (*brisé-soleil*, quebra-sol ou pára-sol), na Casa



Acima à esquerda, figura 18 - Notre-Dame-du-Haut, em Ronchamp, de 1952-54 e à direita, figura 19 - Unité d'Habitation em Marselha, de 1947-52, Le Corbusier. Fonte: BECKETT e GODFREY, 1978;
Embaixo à esquerda, figura 20 - Fachada com *brise* para o Banco Boa Vista, Oscar Niemayer, Rio de Janeiro, 1946. Fonte: BENEVOLO, 1996

Oscar Niemayer (fig. 20), e semelhante também aos *brises* do Ministério da Educação e da Saúde no Rio de Janeiro, 1937-43, da equipe de Costa e Niemayer. Os *brises* possuem a vantagem de controlar o excesso de luz solar incidente, porém não representam um elemento arquitetônico que favoreça o envio da luz até o fundo dos ambientes servidos. Geralmente esses elementos modernistas proporcionam boa iluminância apenas dentro da região próxima às janelas e ao piso interno.

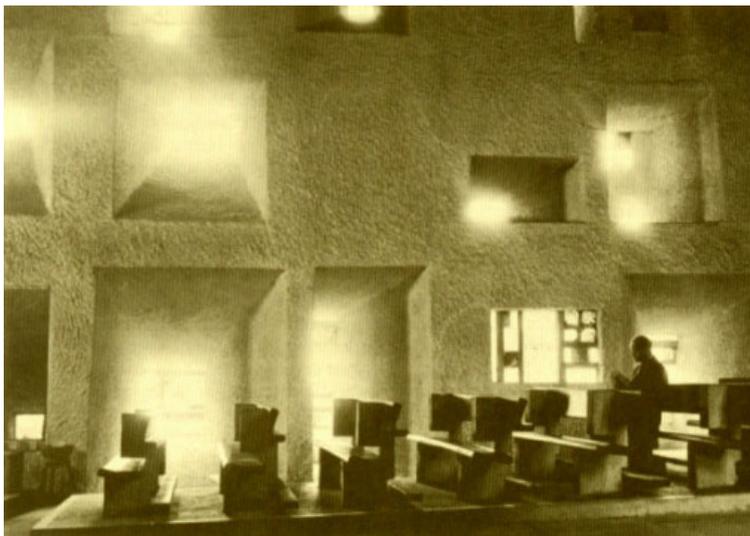


Figura 21 - Notre-Dame-du-Haut, em Ronchamp, de 1952-54, Le Corbusier. Fonte: BENEVOLO, 1996.

dispostos conforme sua subordinação aos aspectos de iluminação dramática do interior da monumental capela (fig. 18). O efeito luminoso que Le Corbusier

Curutchet, em La Plata, de 1949, ou na Unité d'Habitation em Marselha, de 1947-52 (fig 19). Nestas, ele usou uma proteção em forma de *brises* horizontais e verticais, uma grelha, na frente de um pano de amplas aberturas de vidro; semelhante aos *brises* da fachada do prédio modernista do Banco Boa Vista no Rio de Janeiro (1943), de

Em outro projeto, a capela *brutalista* Notre-Dame-du-Haut, em Ronchamp, de 1952-54, Le Corbusier usou grossas e altas paredes com aspectos de muradas e verdadeiros buracos, janelas semelhantes a dutos,

quis dar dentro da capela em Ronchamp tornou-se possível graças à espessura de uma das paredes, com aproximadamente três metros. As janelas nessa parede funcionam como poços de luz horizontais, fazendo com que a iluminação no interior seja totalmente difusa, pois a radiação solar direta incide sobre as laterais e o peitoril das aberturas, sendo depois refletida e distribuída no interior do ambiente, de maneira punctiforme, já que as aberturas são separadas uma das outras (fig. 21).

A galeria da Estação Termini em Roma, 1948-50, com características

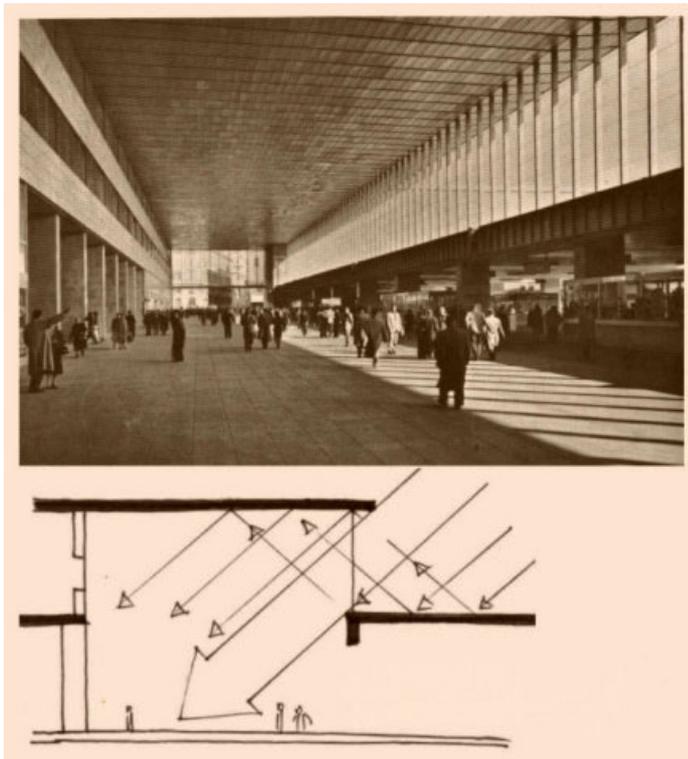


Figura 22 - Estação Termini em Roma, 1951, fluxo solar de inverno penetrando dentro do grande hall, o fluxo solar direto de verão é barrado pela laje de cobertura que se projeta sobre o pano de vidro. Fonte: BENEVOLO, 1996 e ilustração do mestrando

modernistas, tornou-se um ícone dos paradigmas da transparência fachadista. Os arquitetos colocaram em toda a superfície vertical superior, sobre a laje de cobertura do setor lateral, uma pele de vidro que deixa entrar, para dentro do grande hall, a luz solar direta e a luz refletida da superfície horizontal da laje de cobertura durante o inverno e que bloqueia, de certa forma, a luz solar direta de verão através da projeção da laje de cobertura sobre o pano de vidro (figura 22).

O estudo da história da arquitetura mostra, portanto, que o homem sempre fez uma relação entre a forma de suas edificações e sua necessidade de luz. E que, devido ao processo evolutivo, vários elementos, como os *brises*, foram criados. As estantes de luz, na busca de se refletir a radiação para o interior dos ambientes, também tem seu lugar junto às aberturas.

2.2. Iluminâncias desde as estantes de luz

Uma estante de luz é um elemento arquitetônico, quase sempre horizontal, incorporado às aberturas, em forma de peitoris ou soleiras. Tem como função refletir o fluxo luminoso incidente da radiação solar para o interior dos ambientes. Podem ser duplas, triplas e assim sucessivamente; podem ter inclinações voltadas tanto para dentro como para fora dos ambientes e ser executadas e revestidas de diversos materiais e cores.

A estratégia de utilização desses elementos numa composição arquitetônica leva em consideração os critérios a seguir:

- orientação solar da fachada;
- ângulo do fluxo luminoso incidente em relação a superfície das estantes, que muda conforme à hora dia, o mês do ano e a orientação da fachada;
- refletâncias das estantes;
- profundidade de penetração do fluxo luminoso refletido no ambiente;
- distribuição da iluminância natural resultante no interior do ambiente;
- carga térmica resultante do fluxo luminoso que incide sobre a estante de luz e penetra no ambiente.

A SUPERFÍCIE DAS ESTANTES

Uma vez que a estante reflete luz para dentro do ambiente, ela adquire um comportamento que varia de acordo com as características de sua superfície. Uma superfície clara e lisa ou espelhada reflete mais do que uma superfície escura e rugosa. Ao se combinar a isto o quão lisa ou rugosa pode ser uma superfície, tem-se, então, várias combinações. Note-se que as superfícies lisas permitem maior transmissão de calor por convecção do que as superfícies rugosas.

De acordo com MOORE (1985, p. 21), existem três situações básicas de refletância: *especular* – refletida em uma única direção, desde uma superfície espelhada ou polida como vidro e pedra polida –, *difusa* – refletida igualmente em várias direções, desde uma superfície opaca ou rugosa, como uma parede (esse tipo de superfície é a mais comum de se encontrar em vários componentes das construções) –, e *semi-difusa* – refletida de maneira desuniforme e em várias direções, desde uma superfície irregular de dois tipos:

lisa, porém com contrastes de cores, como as pedras coloridas e com relevo fragmentado, como as superfícies das pedras irregulares.

Há pouca diferença entre as dois últimos tipos de superfícies, mas muita entre esses dois e o primeiro. Normalmente encontramos mais as superfícies difusas e semi-difusas, ou seja, rugosas e irregulares, porém as opções para superfícies de efeito espelhado começam a se multiplicar com a consagrada utilização dos revestimentos de placas de pedra polida e à medida que novos revestimentos metálicos e tintas vão surgindo.

Na tabela 01, pode-se avaliar o quanto refletem diversos materiais, superfícies e cores. Estes dados representam um dos critérios nas escolha dos componentes para a execução de uma estante de luz ou de qualquer outro elemento da edificação.

Tabela 01 - fatores de reflexão solar dos materiais, das superfícies e das cores.
Fonte: MASCARÓ e VIANNA, 1980.

%	Materiais	%	Superfícies	%	Cores-Tons
90-95	Gesso branco	85-100	Sup. Brancas	81-95	Branco
80-85	Papel branco	80-90	Espelhos	71-72	Marfim/pérola
80	Núvens	60-90	Esmalte	60-68	Cremes
25-60	Cantaria	55-95	Aço inox	35-70	Rosas
55	Concreto aparente	70-85	Sup. muito claras	25-70	Beges/amarelos
13-48	Tijolos	50-70	Sup. claras	25-60	Cinzas
45	Mármore branco	60-70	Alumínio polido	20-50	Castanhos
40	Granito	60-65	Cromo	12-60	Verdes
35-38	Cal	30-50	Sup. pouco claras	5-55	Azuis
30	Cerâmica vermelha	15-30	Sup. escuras	10-35	Vermelhos
25	Vegetação média	0-15	Sup. muito escuras	4-8	Pretos
7-20	Terra				
18	Macadam				
17	Granolite				
13	Pedregulho				
13	Madeira clara				
7-12	Madeira escura				
7	Asfalto s/ poeira				
6	Grama escura				
3-5	Tronco de árvore				
2	Tecido escuro				
2-1	Veludo preto				

ILUMINÂNCIAS

Deve-se considerar o ângulo de incidência da luz solar sobre a superfície da estante de luz, pois, ainda conforme MOORE (1985, p. 37) “ a luz que é normal a um plano de referência contribui com mais iluminância que uma luz que é oblíqua com o plano de referência; um ângulo de incidência luminosa de 45° reduz a iluminância normal para 30% devido ao efeito co-seno...”, ou seja, há uma perda de 70% da iluminância a 90° com a superfície de referência. Quando deixa de existir a incidência ortogonal, ao plano

receptor, a iluminância perde intensidade conforme aumenta o cosseno do ângulo, ou seja, a intensidade luminosa é inversamente proporcional ao cosseno do seu ângulo com a superfície receptora.

Entende-se, com isso, e de acordo com o projeto de norma Iluminação Natural – Parte 4, da ABNT (1997), que a iluminância incidente é igual a iluminância normal multiplicada pelo co-seno do ângulo de incidência que se afasta do ângulo normal.

$$E = E_n \cdot \cos \alpha$$

Uma vez refletida, a iluminância se distribui no interior do ambiente de acordo com sua profundidade e com as refletâncias nas superfícies interiores. Conforme a distribuição do fluxo luminoso (*ever-larger area effect*), tem-se em uma superfície a diminuição do fluxo luminoso (*lux*) incidente, proporcional ao aumento da distância entre a fonte emissora e a superfície receptora. Pode-se comparar esse fluxo luminoso à dispersão de gotas de água de um *sprinkler*, ou seja, a cada vez que se afasta o *sprinkler* da superfície receptora, tem-se uma redução da densidade de gotas sobre esta superfície. Essa redução aumenta na razão do inverso da distância ao quadrado. Se aumentarmos a distância de 1 para 2, teremos um resultado de ¼ da iluminância inicial.

Distância:	1	2	3	4	5	n	...
Lumem/m ² :	1/1	1/4	1/9	1/16	1/25	1/n ²	...

Entende-se melhor a distribuição de iluminância em um ambiente através de uma representação gráfica com curvas isolux traçadas em plantas ou em elevações (figura 23). A unidade de medida desta representação gráfica é o CLD (Coeficiente da Luz do Dia). A partir das descrições de MOORE (1985, p.79) e MASCARÓ (1991, p.134), o CLD pode ser descrito como uma relação percentual entre a iluminância em um ponto de um plano horizontal no interior de um ambiente (E_P) (excluída a luz direta do sol) e a iluminância total e simultânea em um plano horizontal sob a abóboda celeste desobstruída (E_E).

$$CLD = (E_P / E_E) \cdot 100$$

Pode-se perceber, na figura 23, o comportamento da iluminância no interior do ambiente através da utilização de elementos junto à abertura. A colocação de uma estante de luz reflete a radiação solar para o interior do ambiente e minimiza o ofuscamento próximo à abertura. As estantes de luz permitem uma melhor distribuição da luz, mais uniforme. Estrategicamente posicionadas e dimensionadas, podem contribuir para a redução de luz artificial no fundo dos ambientes.

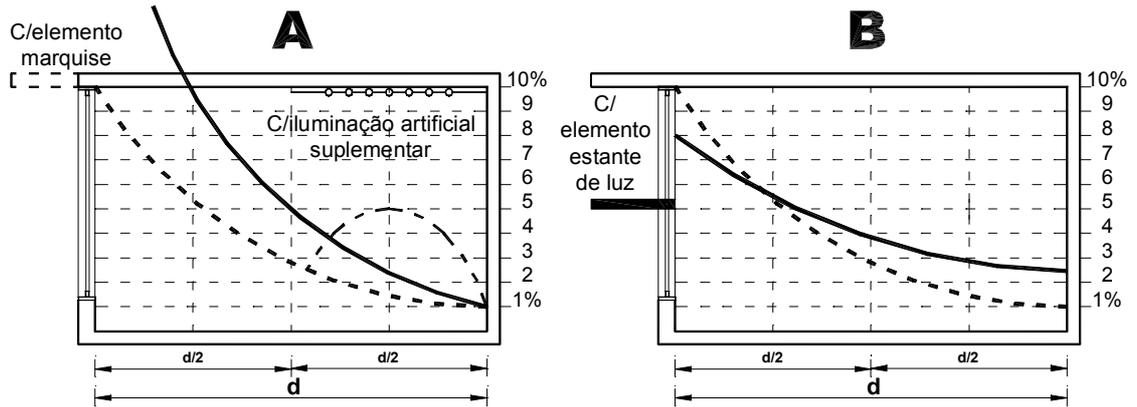


Figura 23 - gráfico A: curva isolux para abertura larga. Gráfico B: curva isolux para abertura larga com estante de luz. A curva resultante com estante de luz diminui a iluminância na frente junto à abertura e a aumenta no fundo da sala.

Fonte: gráfico elaborado pelo mestrando com base em MOORE, 1985.

A seguir serão analisadas algumas relações básicas entre a estante, a fachada e o eixo da parede.

RELAÇÕES ENTRE A ESTANTE, O SOL E O AMBIENTE

Nas figuras 24 e 25, observa-se, para a latitude 30° S e na fachada norte, a incidência da radiação solar sobre a estante de luz e sua reflexão para dentro do ambiente, com duas referências de alturas entre a superfície da estante de luz e o forro do ambiente: $1 H$ e $2.5 H$. A comparação das figuras demonstra aspectos que devem ser previstos nas estratégias para estantes de luz. Considera-se aqui que a estante de luz está na altura de um plano de trabalho ou de um peitoril de janela, mais ou menos em $1.00m$.

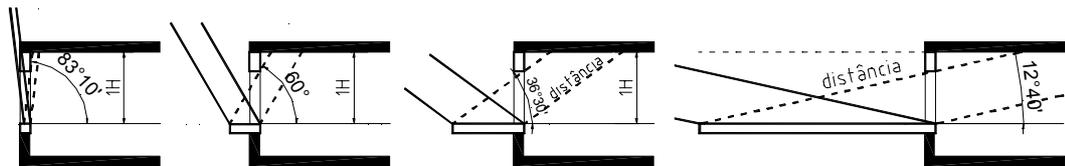


Figura 24 - esq. p/ dir. - solstício de verão, equinócios, solstício de inverno e equinócios às 7h e às 17h. altura do ambiente = $1 H$, fachada norte. Fonte figs. 24 e 25: ilustração do mestrando.

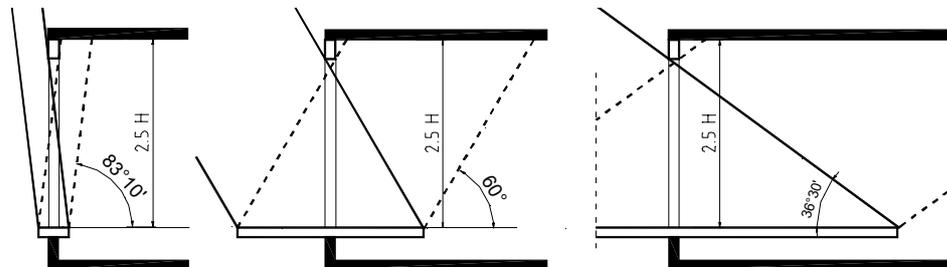


Figura 25 - esq. p/ dir. - solst. verão, equinócios e solst. Inverno; altura do ambiente = $2.5 H$, fachada norte.

A análise destas figuras serve para se avaliar a relação entre o ambiente e as refletâncias. Pode-se pré-determinar como refletir a luz natural para o

ambiente conforme a altura do ambiente, a largura e a posição da estante de luz e também de acordo com a iluminância requerida internamente.

Entre as figuras 24 e 25, observa-se que a largura da estante de luz pode ser proporcional à altura do ambiente, já que um ambiente mais alto possui espaço maior para a dispersão da refletância de uma grande estante de luz.

As figuras também se atêm à relação da largura da estante de luz com a intensidade da radiação solar conforme a altitude do sol e orientação das fachadas. Geralmente para incidências do fluxo solar em ângulos menores, como menor iluminância, é viável a execução de estantes de luz com maior superfície de reflexão como no exemplo à direita da figura 24.

2.3. O ganho de carga térmica

PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS

As estantes de luz nas janelas dos edifícios ganham carga térmica, dependendo da incidência de radiação solar. Seus materiais a absorvem e depois emitem calor para o ambiente. A absorção e a emissão de calor conforme figura 26, dependem da densidade dos materiais, da capacidade de conduzir calor e de sua capacidade térmica. Transmitância de radiação é uma característica própria dos materiais transparentes ou translúcidos.

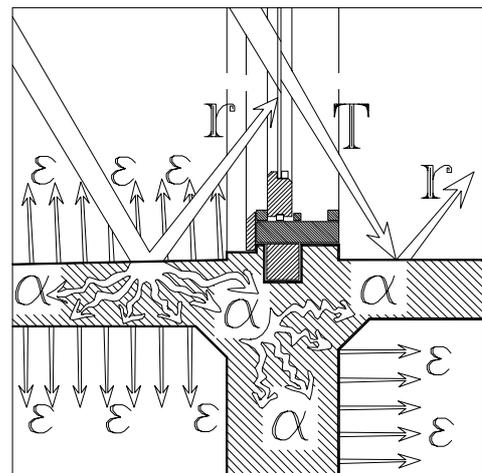


Figura 26 - refletância (r) da radiação solar, transmitância (T) através do vidro; absortância (α) e emissividade (ϵ) de calor: Fonte: ilustração do mestrandu.

Conforme a tabela 02, as superfícies metálicas apresentam baixos valores de emissividade à temperatura ambiente e, no caso do alumínio polido, pequena absortância, por possuir altas perdas por convecção com o ar circundante, pois a radiação se acumula e se dissipa velozmente. Esta é a razão pela qual, muitas vezes, é utilizado como revestimentos de superfícies externas, de maneira a reduzir a emissão e a absorção de energia por radiação e conseqüentemente aumentar a resistência térmica do elemento construtivo.

Assim, os revestimentos de chapas metálicas, apesar da alta densidade, podem ganhar e perder calor num delta muito pequeno entre sua absortância

e sua emissividade. O concreto e o reboco tem emissividades semelhantes, porém absorvências diferentes. O concreto e as pedras, por terem densidades maiores, conforme tabela 03, e serem menos porosos, absorvem calor mais rapidamente que os rebocos e, assim, têm resistência térmica menor.

Tabela 02 - absorvência e emissividade de alguns materiais e pinturas. Fonte: Laboratório Nac. de Engenharia Civil de Lisboa, 1962, referências de GOMES, R. J. e ASHRAE, 1985.

MATERIAL	α	ε
Concreto	0.65-0.80	0.85-0.95
Tijolo à vista		
Pedra escura		
Pedra clara		
Reboco claro		
Vidro comum de janela	0.05	0.90-0.95
METAIS	α	ε
Alumínio polido	0.10-0.40	0.02-0.04
Alumínio oxidado	0.40-0.65	0.20-0.30
Aço polido		
Ferro galvanizado		
Zinco oxidado		0.11
PINTURAS	α	ε
branca	0.12-0.18	0.89-0.97
amarela	0.30-0.48	0.74-0.95
vermelha	0.74	0.96
verde	0.73	0.95
preta	0.97	0.96
tinta de alumínio	0.30-0.50	0.40-0.60

Já a lâmina de vidro, através de sua alta transmitância, absorve muito pouco a radiação solar e a emite quase toda. Isso corresponde a uma baixa resistência térmica apesar da alta densidade e de valores medianos de condutibilidade e capacidade térmica.

A resistência térmica de um material é proporcional à capacidade térmica (calor específico) e inversamente proporcional à sua densidade (massa específica) e à sua condutibilidade. Pois quanto mais leve e poroso e menos denso é um material, maior é sua capacidade, resistência e inércia térmicas e menor sua condutibilidade: os materiais celulares sintéticos, expandidos e isolantes, como elementos vedantes, são mais resistentes termicamente, ao contrário dos materiais mais pesados, como os metais, os concretos e as pedras, que possuem maior massa específica, maior condutibilidade e menor capacidade térmica. Na tabela 04, pode-se perceber principalmente a grande condutibilidade térmica da água, comparada com a do ar. Os materiais mais

utilizados na construção, quando úmidos, aumentam sua condutibilidade e diminuem sua resistência térmica.

Tabela 03 - Massa específica, condutibilidade e calor específico,
Fonte: ABNT, Desempenho térmico das edificações, 1998.

Material		ρ (Kg/m ³)	λ (W/m °C)	C (KJ (KG °C)
Isolantes térmicos	Poliestireno expandido	25-40	0.035	1.42
	Lã de vidro	10-100	0.045	0.70
	Poliuretano extrudado	30-40	0.030	1.67
Madeiras	Compensado naval	350-550	0.12-0.12	2.30
	Laminados e aglomerados	200-1000	0.058-0.20	
	Carvalho, freijó, pinho, cedro e pinus	300-750	0.12-0.23	1.34
Argamassas		600-2100	0.40-1.15	0.84-1.00
Revestimentos	cerâmicos	1000-2000	0.70-1.05	0.84
	Basalto	2700-3000	1.6	
	ardósia	2000-2800	2.20	
	Granito	2300-2900	3.0	
	Mármore	>2600	2.9	
Chapa de vidro comum		2700	1.1	
Chapas	Acrílico	1200-1400	0.20	-
	Polycarbonato	1200	0.23	
	Fibrocimento	1400-2200	0.65-0.95	
Concretos	Com argila expandida	400-1800	0.17-1.05	1.00
	Com pozolana	1000-1600	0.35-0.52	
	cavernoso	1700-2100	1.40	
	normal	2200-2400	1.75	
metais	Aço, ferro fundido	7800	55	0.46
	Alumínio	2700	230	0.88
	Cobre	8900	380	0.38
	zinco	7100	112	

As estantes de luz que vierem a ser feitas em materiais como concreto, tijolo e reboco, ou madeira, terão sua condutibilidade térmica, no mínimo, dobrada quando úmidas, a menos que sejam impermeabilizadas. Contudo, seria ideal utilizar-se das espumas sintéticas, dos expandidos e dos isolantes, por terem pouca massa específica, junto com baixa condutibilidade e revestidas com uma lâmina de baixa emissividade, como o alumínio polido, por exemplo, que é um bom refletor.

Tabela 04 - comparação da condutibilidade do ar, da água, dos materiais de construção e do metais.
Fonte: ABNT, Desempenho térmico das edificações, 1998.

condutibilidade térmica (λ)	
Do Ar = 0.025 W/m °C	Da Água = 0.600 W/m °C
Mat. Constr. = 0.03<->3.0 W/m °C	Metais = 55<->380 W/m °C

Os metais praticamente não apresentam teores de umidade, mas são naturalmente bons condutores de calor. Entretanto, podem ser utilizados para envolver a superfície de uma estante de luz, pois, dessa maneira, em forma de

finas lâminas, tornam-se boas escolhas para o revestimento de estantes de luz, uma vez que sua espessura mínima e sua superfície polida têm baixas absorvância e emissividade térmica, o que dificulta o armazenamento térmico.

A CARGA TÉRMICA NA SUPERFÍCIE HORIZONTAL

A radiação solar recebida apresenta características distintas conforme a estação. A partir da tabela 05, onde aparecem as médias de carga térmica incidente na superfície horizontal, pode-se considerar que as estantes devem ser vistas de forma diferenciada nestas duas épocas do ano.

Tabela 05 - valores da carga térmica (W/m^2) sobre a superfície horizontal da fachada norte - $30^\circ S$ - resultante da incidência da radiação solar* direta. Programa ISE - Estimativa de irradiância e iluminância em superfícies exteriores. Fonte: STAHL et al, 1993.
(*) radiação solar global incidente sobre o plano horizontal.

ABÓBODA CLARA - altitude 10m - entorno urbano claro							
Inverno (junho)				Verão (dezembro)			
hora	direta	difusa	Global (Igh) *	hora	direta	difusa	Global (Igh) *
6-18	-	-	-	6-18	132.22	44.95	177.17
7-17	1.97	3.00	4.97	7-17	351.30	61.16	412.46
8-16	124.2	42.18	166.44	8-16	584.11	71.40	655.51
9-15	285.68	54.77	340.45	9-15	798.16	75.02	873.18
10-14	424.41	62.21	486.62	10-14	969.82	73.96	1043.78
11-13	516.09	65.92	582.01	11-13	1080.79	72.29	1153.08
12	548.04	66.96	615.00	12	1119.16	71.48	1190.64
ABÓBODA PARC. NUBL.			12:00	I	599.14	V	1176.69
ABÓBODA ENCOBERTA			global		107.08		189.90

No inverno, seria conveniente que a estante de luz fosse mais baixa para que mais fluxo luminoso pudesse penetrar no ambiente à altura das pessoas, bem como que se recebesse mais carga térmica desde o exterior. Já no verão, melhor seriam estantes de luz mais elevadas, a fim de que não se permitisse a radiação solar incidindo diretamente sobre as pessoas mas que fosse refletida até o forro, minimizando-se, assim, a carga térmica desde

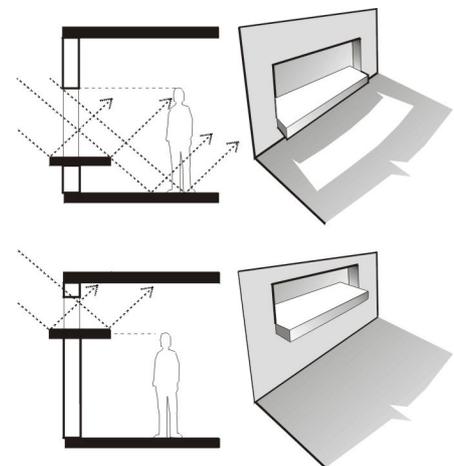


Figura 27 - direcionamento de carga térmica para as pessoas e para o teto, situação de inverno e de verão. Fonte: ilustração do mestrandu.

o exterior e garantindo a exaustão do ar quente acumulado junto ao forro dos ambientes (figura 27).

De qualquer forma, quando se tem aberturas altas, efetiva-se um procedimento físico: a ventilação higiênica de um ambiente, que permite fazer a troca do ar mais aquecido, aprisionado junto ao forro dos ambientes. Uma vez que essa camada de ar quente é retido consegue sair pela abertura alta, modifica-se a pressão interna do ambiente, e entra o ar mais frio, renovando o ar do ambiente.

Para essa estratégia, caberia propor-se uma situação de abertura e

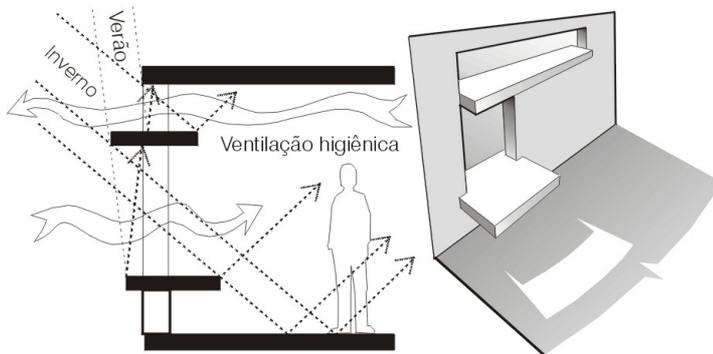


Figura 28 - estantes de luz dupladas para inverno e verão.
Fonte: ilustração do mestrando.

estante que cumpram tanto com as possibilidades de inverno como de verão.

Para isso, poderia-se propor o exemplo da figura 28, onde há uma abertura com desenho em forma de um 'L' e com uma dupla de

estantes: uma alta e larga e outra baixa e estreita. A estante mais baixa poderia ser estreita no sentido da abertura, com altura útil maior, porém mais comprida no sentido do vão da sala, para que o sol de inverno penetrasse mais profundamente no ambiente. A estante mais alta seria larga no sentido da abertura para poder-se captar mais luz já que ela teria menor altura útil. Com o uso desse exemplo, pode-se obter dois tipos de efeitos:

- 1) Primeiramente, consegue-se controlar a incidência da radiação solar sobre a superfície horizontal durante o verão e garanti-la no inverno.
- 2) Em segundo lugar, consegue-se, abrindo-se a abertura estreita durante o inverno, uma coleta maior de ar quente que vem das superfícies horizontais exteriores que venham a se aquecer nas horas quentes do dia. Aprisiona-se, eventualmente, esse ar aquecido com o fechamento das aberturas superiores.

No verão, poderia adotar-se o contrário, com a larga abertura superior aberta, para que o ar aquecido superior pudesse sair, mantendo-se, assim, o ar frio que entra com a diferença de pressão interna.

POSIÇÃO DAS ESTANTES DE LUZ EM RELAÇÃO À FACHADA

Esta situação das estantes de luz sobre o peitoril de uma abertura possibilita localizá-la de três maneiras sobre o eixo da parede: projetada para fora, no eixo e para dentro. Ao se anexar a estante de luz para que se projete para o exterior da edificação, situação B da figura 30, eleva-se a iluminância no interior do ambiente em relação a uma situação sem estantes de luz. À medida que se coloca a estante mais para dentro, para que seu eixo fique alinhado com o eixo da parede, situação C, reduz-se a iluminância interna do ambiente em relação a iluminância sem estantes. Posicionando-se a estante mais para dentro ainda, para que se projete totalmente para o interior do ambiente, situação D, alcança-se maior redução de iluminância no ambiente, pois a estante, assim, recebe menor fluxo solar direto e cria uma zona maior de sombra na parte da frente do interior do ambiente. Essa estratégia de projeto é muito útil, pois permite que se consiga, principalmente, maior iluminância nas partes do fundo do ambiente.

É necessário dizer que a estante de luz posicionada mais para fora do ambiente é mais eficiente para se obter a luz de fundo, pois sua superfície fica totalmente exposta à radiação solar direta refletindo, nesse caso, enorme fluxo luminoso para o interior do ambiente.

Ao colocar-se a estante mais para dentro do ambiente, tem-se menor incidência solar em sua superfície e menor refletância. Então, quanto maior for a projeção para dentro do ambiente menor será sua contribuição para o iluminância interior. E o contrário também se dá, quanto menor for sua projeção para dentro do ambiente, maior será sua contribuição para o iluminância interna.

Então, pode-se dizer resumidamente que, de maneira geral, as posições das estantes em relação ao eixo da parede e ao ambiente faz com que:

mais para fora = mais ofuscamento: mais luz de fundo

mais para dentro = menos ofuscamento : menos luz de fundo

A comparação acima mostra que, no caso de uma posição intermediária, pode-se conseguir maior equilíbrio das iluminâncias. Porém, em cada edificação, na qual se venha a estudar detalhadamente os resultados quanto ao posicionamento e formas das estantes de luz, podem surgir novas possibilidades e resultados específicos.

As regras acima são gerais, comuns a várias situações e não devem ser utilizadas *a priori*, numa abordagem específica, mas servem como indicadores básicos.

Contudo existem artificios que podem ser anexados ao problema, como as estantes de luz pivotantes (móveis em relação ao eixo da parede), que podem ser, em alguns casos, mais eficientes que as fixas já que refletem, em uma seqüência de inclinações, os raios solares.

ESTANTES DE LUZ INCLINADAS

A grande altura do sol no verão faz com que o fluxo solar penetre pouco dentro de um ambiente, porém pode ser considerada a possibilidade da utilização de estantes de luz inclinadas e de estantes pivotantes, ou seja, com possibilidades de serem móveis ao longo de um eixo horizontal, como uma forma de compensação angular, para enviar mais luz para dentro do ambiente no verão. Na figura 29, pode-se ver que quanto mais alto o peitoril mais inclinadas para dentro podem ser as estantes de luz a fim de refletir a

luz-do-dia até o fundo de um ambiente, cuidando para não se criar incidência direta sobre as pessoas e suas atividades. Como elementos refletoras, funcionarão, sempre e estrategicamente anguladas, de acordo com a altura e a posição do sol, bem como com a orientação da fachada, com a profundidade e a altura do ambiente. O uso de estantes pivotantes pode controlar mais eficientemente o sol ao longo das estações, considerando que durante o inverno, nos meses de sol mais baixo e de menor iluminância, ele penetra naturalmente mais profundamente nos ambientes, dispensando a inclinação das estantes para dentro.

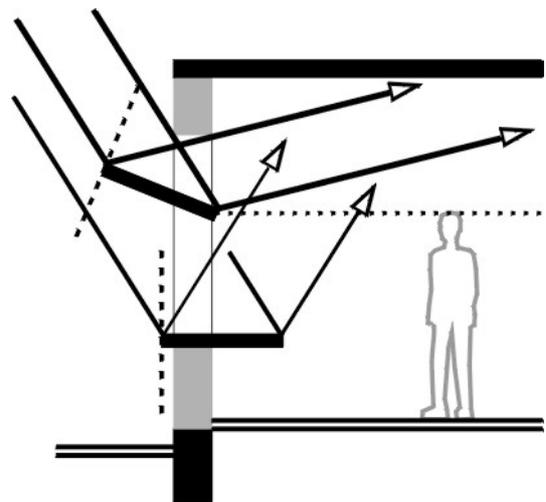


Figura 29 - quanto mais alta, a estante de luz mais inclinada pode ela ser, de maneira que sua refletância não incida diretamente sobre a estatura média de um ocupante do espaço. Fonte: ilustração do mestrando.

A ESTANTE E AS MEDIDAS DO AMBIENTE

A relação entre as estantes de luz e os ambientes necessita de uma metodologia que considere a profundidade dos espaços.

De uma maneira geral, um ambiente profundo carece, quase sempre, de iluminância adequada no centro e no fundo sem aberturas, enquanto que junto às suas janelas tem uma iluminância de intensidade muitas vezes inconveniente e ofuscante, devida à penetração da luz solar direta. Já, um espaço pequeno e curto é praticamente todo iluminado pelo fluxo solar direto e necessita de estratégias que minimizem a alta iluminância.

Um método de dimensionamento de estantes de luz deve fazer também a relação entre os espaços e duas de suas dimensões: a profundidade e a altura. E pode-se entender a profundidade como largura ou como comprimento, dependendo da orientação das fachadas e das aberturas.

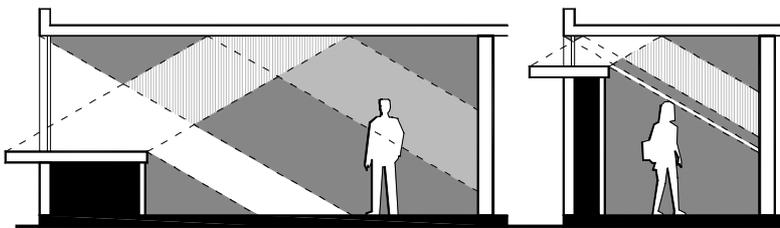


Figura 30 - relação entre a profundidade do ambiente e a altura da estante de luz. Fonte: ilustração do mestrando.

A relação entre a altura e a profundidade do ambiente faz com que as refletâncias desde as estantes de luz se aproximem ou se

afastem do centro e do fundo do ambiente. Conforme a figura 30, estantes de luz com peitoris de alturas diferentes ajustam-se à maior ou à menor profundidade do ambiente para que os ofuscamentos sobre as pessoas sejam controlados.

2.4. A estante de luz como elemento modular

A coordenação modular permite uma organização na execução e na justaposição dos elementos que compõem as edificações através das medidas de cada elemento, que devem ser ajustadas para uma combinação com todos os demais elementos. Com isso, consegue-se que não haja desperdícios; podem ser industrializados na forma de pré-moldados ou pré-fabricados.

Através da união desses elementos iniciais, surgem os elementos finais na forma de residências, pavilhões, edifícios, praças, pontes, e tantos outros, que se transformam nas edificações do ambiente construído e que são originados

no mercado fornecedor. Resultam das necessidades de organização, de eficiência construtiva e de redução dos gastos financeiros.

Essas ações (operações) devem realizar-se organizadamente dentro de um território, ou seja, conforme MANDOLEZI (1978, p. 3), dentro do contexto operativo da edificação.

As estantes de luz podem tornar-se elementos modulares incorporados às fachadas dos edifícios para melhorar as iluminâncias nos interiores dos ambientes e, quando bem projetadas, contribuir com o caráter da edificação.

LOCALIZAÇÃO DA ESTANTE E O EIXO DA PAREDE

Existem sete situações básicas com diferentes relações entre a estante de luz e o eixo da parede, de todas resultam espaços limitados pelas medidas da estante e funcionam como uma reserva de espaço interno sobre ela e para o ambiente (figura 31).

Três delas, modelos 1, 2 e 3, têm na parte de baixo da estante e internamente ao ambiente (*i*) um

espaço que pode servir como nicho ou armário; nas outras três, modelos 4, 5 e 6, forma-se uma reentrância externa (*e*) para equipamentos ou aparelhos de ar-condicionado; e no modelo 7, a estante de luz, alinhada com o eixo da parede, tem em sua parte inferior dois nichos: um interno e um externo.

As situações 1, 2 e 3 da figura 32 mostram o resultado do arranjo entre a estante, a esquadria em cima e a parede embaixo: um nicho para o interior do ambiente, o qual pode ser utilizado como armário ou depósito. Já nas situações 4, 5 e 6, por possuírem uma parede no lado interno, o arranjo entre as partes define que a parede de fechamento para dentro do ambiente deixa uma base exterior para o apoio de possível equipamento ou aparelho de ar-condicionado.

Uma fachada com saliências, como, por exemplo, as sacadas, balcões projetados para fora ou as estantes de luz, recebe sombra destes elementos e diminui sua superfície exposta ao sol direto.

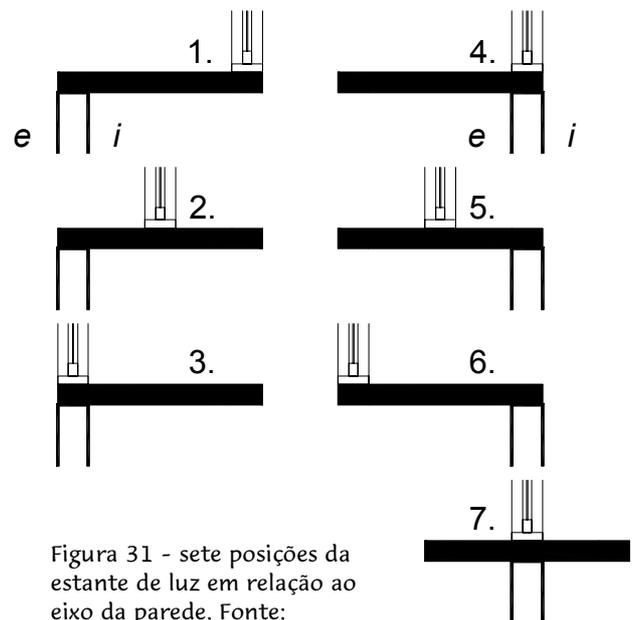


Figura 31 - sete posições da estante de luz em relação ao eixo da parede. Fonte: ilustração do mestrando.

Desta forma, a estante de luz proporciona dois efeitos: projeta sombra na superfície da fachada e envia a luz para o interior do ambiente. Pode-se também minimizar o ofuscamento na periferia interna à abertura com o eixo da janela deslocado mais para dentro do ambiente em relação à superfície da estante de luz, situações 1,2,4,5 e 7 da figura 32.

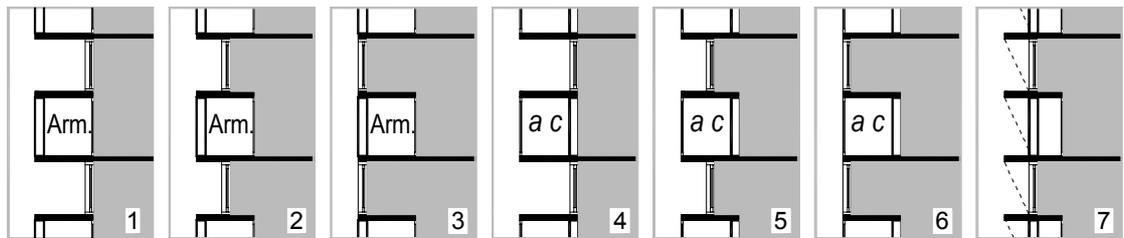


Figura 32 - as sete posições da estante de luz e o espaço (nicho) resultante que serve de armário, balcão e para aparelhos de ar condicionado. Fonte: ilustração do mestrando.

2.4.1. Medidas modulares para a estante de luz

As medidas modulares são utilizadas nos projetos arquitetônicos e nos canteiros de obras, como, por exemplo, o módulo do tijolo maciço aparente para fachadas em tijolo à vista, que é de 2,3M lineares (1M é igual a 10cm), ou seja, ao longo da linha da parede. Geralmente este tijolo mede 5,5x10,5x23cm. Existem pequenas variações nesta medida conforme a qualidade da matéria prima e a origem do produto. Já o tijolo maciço comum, de menor qualidade, tem um módulo linear aproximado de 2M. Suas medidas são 4,5x9x20,5cm. Outra medida modular linear comum é a do bloco de concreto, que é de 4M, que mede 20x20x40cm.

Falta um padrão modular mais uniforme dentro do mercado produtor de material de construção. As medidas modulares são uma tentativa de se encontrar essa uniformidade comum num mercado globalizado, dividido entre polegadas e centímetros, e de se facilitar a pré-execução dos modelos de uma mesma linha de produto com tamanhos diferentes e com uma relação modular comum. A medida 1M é utilizada em elementos construtivos pequenos: tijolos, telhas e revestimento de pisos e paredes, louças de banheiro, acessórios. É considerada aqui neste estudo, já que a estante cobre vãos de janelas, uma medida modular maior, compatível com alguns elementos utilizados no mercado da construção.

A tabela 06 começa com 5M e segue com múltiplos dessa medida até a máxima de 30 M (3.00m). Esta medida modular inicial foi escolhida apenas

para efeito de análise de medidas para estantes de luz pré-fabricadas. Até porque não existe ainda um consenso nacional definitivo de medidas modulares na fabricação de janelas e de elementos para alvenaria. Outras medidas, como as medidas dos tijolos, por exemplo, poderiam servir de referência em uma outra análise.

Tabela 06 - medidas modulares para a estante de luz. Fonte: elaborada pelo mestrando.

Comprimentos (M)	Larguras (M)			
	5	7.5	10	15
5	5x5	7.5x5	10x5	15x5
10	5x10	7.5x10	10x10	15x10
15	5x15	7.5x15	10x15	15x15
20	5x20	7.5x20	10x20	15x20
30	-	-	10x30	15x30

Esta proposta de diferentes tamanhos de estantes pré-fabricadas possibilita o encaixe de várias peças com comprimentos variáveis, conforme o vão das aberturas. Por exemplo, pode-se combinar estantes de luz justapostas, no comprimento do vão de uma abertura, com as seqüências: 5M+5M, 5M+10M, 5M+ 20M, 5M+30M, 10M+15M, 10M+30M, M+30M,... 20M+30M (e conforme exigências de mercado para novas medidas). Há também a possibilidade da utilização de meio módulo (0.5 M), como em 7.5 M. A partir de 30M, a pré-fabricação de modelos aumenta consideravelmente algumas exigências de transporte, manuseio e estocagem. Estes estudos sobre as estantes de luz, - capítulos 2.2, 2.3 e 2.4 - encontram rebatimento nas medições do capítulo 3, bem como no capítulo 3.2.3, com a apresentação de um método para o dimensionamento de estantes de luz.

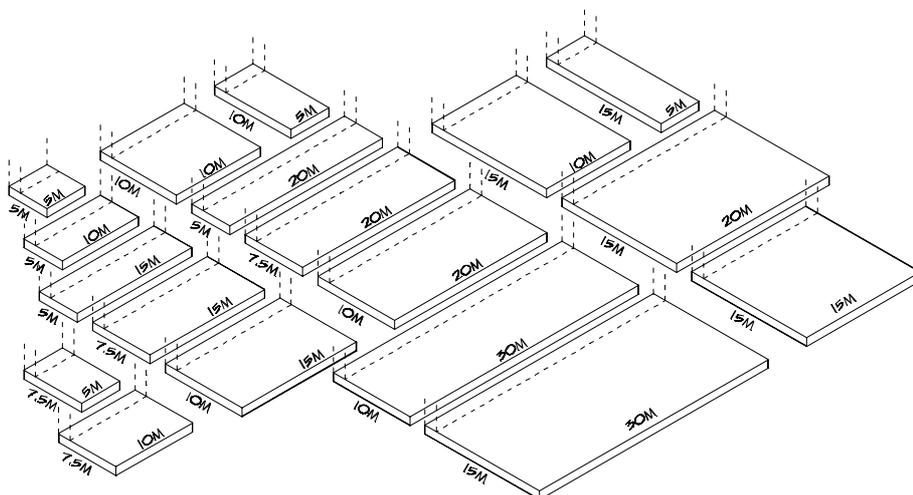


Figura 33 - modelos de estantes de luz com medidas modulares. Fonte: ilustração do mestrando.

3. Estudios

3.1. Objetivo dos estudos realizados

Tendo como objetivo a análise de iluminâncias dentro dos ambientes e desde as estantes de luz, fez-se necessário aplicar dois tipos de análises.

Estudou-se primeiramente três salas em dois edifícios, na área urbana da cidade de Porto Alegre, R.S., que possuem na fachada junto às aberturas um elemento arquitetônico com efeito de refletância semelhante à das estantes de luz e, em segundo lugar, fez-se a análise de iluminâncias, com e sem estantes de luz, em quatro maquetes em escala 1:10.

3.2. Métodos usados

Os estudos realizados para esta dissertação foram de dois tipos: trabalhos de gabinete, onde foram feitas uma revisão de bibliografia e a escolha dos objetos de estudo, e os trabalhos de campo onde foram executadas as medições do desempenho de iluminâncias nos objetos de estudo.

3.2.1. *Trabalhos de gabinete*

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Foi analisada inicialmente a evolução das aberturas e de seus elementos. Em relação às estantes de luz, foram estudados as refletâncias conforme a superfície da estante de luz; o ganho de calor da estante de luz desde a incidência de radiação solar e sua transferência para o ambiente; as relações com as dimensões dos ambientes – profundidade e altura –; sua localização na fachada; bem como as possibilidades de pré-fabricação, utilizando medidas modulares.

ESCOLHA DOS OBJETOS DE ESTUDO

A) Os dois edifícios

Dois prédios situados em Porto Alegre possuem elementos análogos às estantes de luz. Ambos os prédios possuem, em suas fachadas principais, balcões projetados para fora, fazendo, às vezes, de peitoril e de espaço interno para armário ou nicho para a colocação de equipamento de ar condicionado.

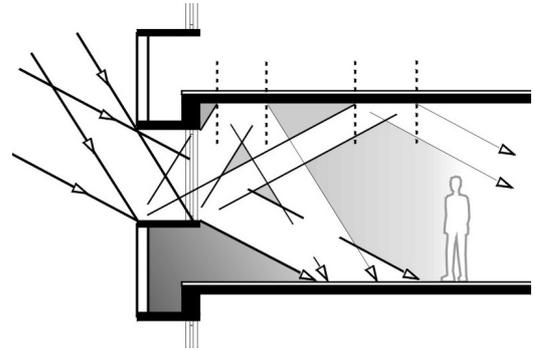


Figura 34 - refletâncias e iluminâncias nas salas dos dois edifícios e desde os balcões projetados para fora das fachadas.

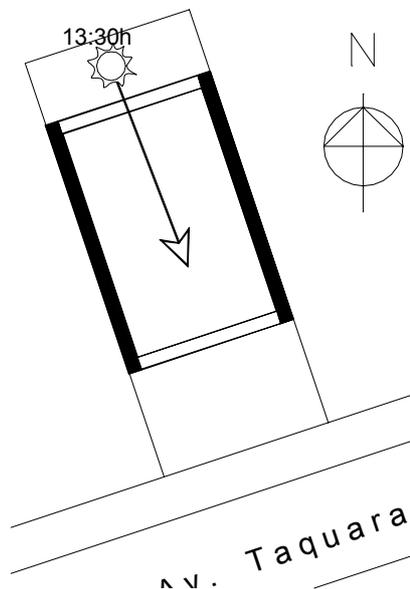


Figura 35: acima - implantação do Edifício Regency. Figura 36: abaixo - fachada principal do Ed. Regency



(principal) e noroeste (posterior) de ponta a ponta, entre os balcões projetados

O programa dos dois prédios mostra as possibilidades da utilização de elementos de fachada junto às aberturas, que tanto protegem as aberturas da incidência direta da luz do dia como proporcionam um aspecto utilitário na forma de balcão destacado da fachada e suportando a janela. O balcão compõe a fachada, marcando os pavimentos tipos. O fluxo luminoso que incide sobre esses balcões-peitoris é enviado para o interior do ambiente – figura 34 – da mesma forma que nas estantes de luz.

Estes prédios possuem fachadas semelhantes e sempre que um prédio apresenta acentuado relevo nas fachadas, beneficia-se inicialmente de menor quantidade de radiação solar recebida.

EDIFÍCIO À AVENIDA TAQUARA, 98

O Edifício Regency destina-se a escritórios e consultórios, com quatro salas por pavimento, duas na frente e duas atrás. As salas têm o mesmo desenho geral. Tem fachada frontal a sudeste, possui 4 pavimentos tipos, cobertura e garagem no subsolo em declive.

As aberturas rasgam as fachadas sudeste



Figura 37 - sala 102 do Edifício Regency, iluminância pelas 13h.

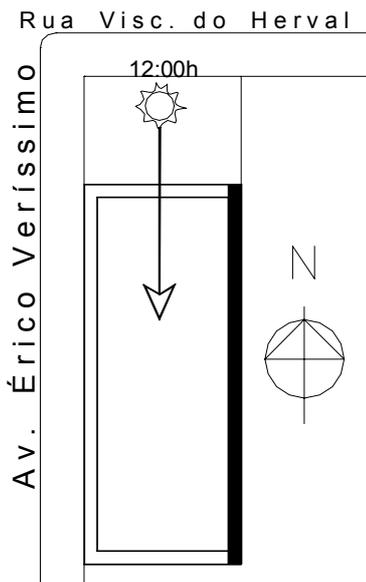


Figura 38: acima - implantação do Edifício do Senge. Figura 39: abaixo - fachada norte do Edifício do Senge.



para fora. As fachadas e os balcões são revestidos de mármore escuro e abrigam, no interior dos ambientes, espaço para aparelho de ar condicionado e armários baixos – figuras 35 e 36. Estas duas fachadas, de orientações opostas, apresentam diferentes características de iluminâncias. Na fachada principal, incide praticamente apenas fluxo luminoso difuso desde a abóbada celeste, assim as medições são feitas na sala 102 de fundos do térreo onde há incidência direta da radiação solar. Os vidros, esverdeados, possuem alta transmissividade. Na figura 37, pode-se perceber a iluminância da sala 102 por volta das 13h.

EDIFÍCIO À AV. ÉRICO VERÍSSIMO, 690

O edifício está orientado ao norte com a rua Visconde do Herval, acesso principal, e a oeste com a avenida Érico Veríssimo. Possui um pavimento térreo com acesso ao saguão, com cafeteria, e aos elevadores, quatro pavimentos tipos e garagem no térreo e junto à avenida lateral – figuras 38 e 39.

Este edifício destina-se aos escritórios do SENGE – Sindicato dos Engenheiros do R.S. e possui quatro salas por pavimento, com diferentes funções e desenhos. As aberturas, também aqui, rasgam as fachadas entre os balcões, semelhantes aos do Edifício Regency, e são projetados para fora, revestidos de pastilhas cerâmicas vitrificadas com tonalidade marrom castor.

As fachadas norte e oeste beneficiam-se do fluxo solar direto e os vidros têm fator solar em torno de 0.66.

O envidraçamento de baixa transmitância faz com que se tenha uma grande diferença de iluminâncias entre as zonas junto às aberturas e o fundo do ambiente. Na figura 40, pode-se ver a baixa iluminância no fundo da sala e o ofuscamento criado pelo fluxo luminoso solar junto à janela.



Figura 40 - sala do 4º andar do Edifício do Senge. Iluminâncias de frente e de fundo

B) As quatro maquetes

São modelos em escala, 1:10, feitos para o estudo das iluminâncias desde as estantes de luz, de quatro distintas tipologias edilícias com ambientes internos de diferentes tamanhos.

Para a construção das maquetes das salas e das estantes de luz, utilizaram-se chapas de papel ondulado duplo com uma face branca, com espessura de aproximadamente 5 mm (utilizadas industrialmente como matéria prima de embalagens resistentes). Internamente a superfície é branca. Como piso, utilizou-se chapa de madeira aglomerada, pintada com verniz incolor para simular um piso polido claro.

As medições tiveram início na maquete da biblioteca (1), em seguida continuaram na sala de aula (2), na loja comercial (3) e, por último, na sala de escritório

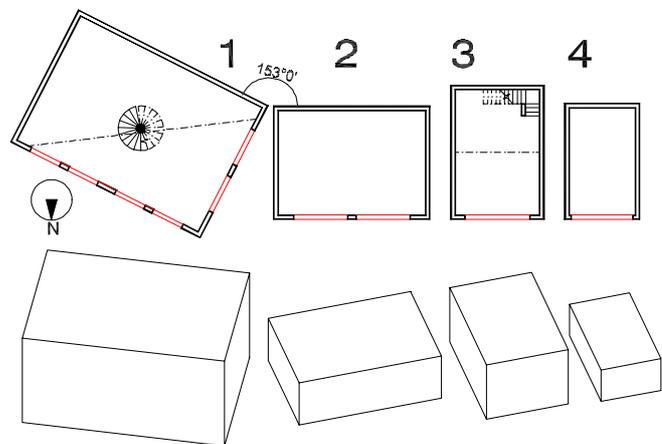
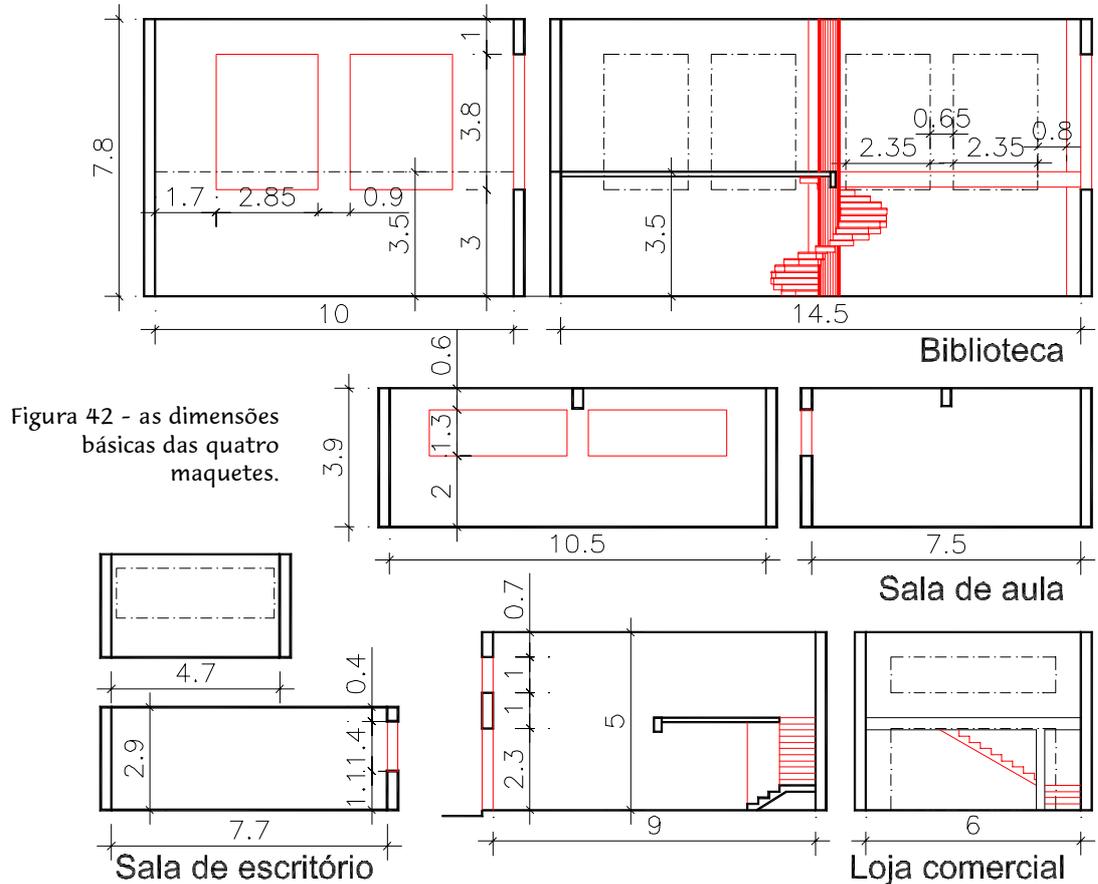


Figura 41 - as quatro maquetes e a orientação de suas fachadas.

(4). Ou seja, da maior maquete para a menor (figura 41). Na figura 42, são mostradas as formas e dimensões básicas dos ambientes simulados nas maquetes.



MAQUETE DA BIBLIOTECA (figuras 43 e 44) – As razões da escolha desse ambiente foram duas: bibliotecas funcionam bem em ambientes amplos, altos e com mezaninos e precisam muito de boa qualidade de luz. Esta maquete foi feita com medidas generosas (7.80m de altura) para poderem ser inseridos dois



Figura 43 - vista da maquete da biblioteca.

pavimentos com pé direito alto. Suas medidas: 10.00m x 14.50m. As fotos foram tomadas em torno das 12h, desde o noroeste. A maquete foi orientada

de maneira que o sol do meio dia incidisse sobre duas fachadas. Na figura 44, vê-se a mancha de luz no piso desde as aberturas da maquete.

Na visualização do espaço interno, estão o mezanino e a escada helicoidal e, ao lado da mancha luminosa, pode-se ver um luxímetro a 8cm de altura do piso, bem como o comportamento ofuscante da radiação solar dentro do ambiente e como as refletâncias entre as superfícies internas acontecem.



Figura 44 - vista interna da maquete da biblioteca e a mancha de luz.

MAQUETE DA SALA DE AULA (figuras 45 e 46) – Com janelas altas, peitoril de 2.00m, comprimento de 10.50m, largura de 7.50m e altura de 3.90m, este ambiente é uma sala ampla.

Por ter aberturas ao longo de seu comprimento, a distribuição das iluminâncias é uniforme, com ênfase nas proximidades das aberturas, ao contrário da sala de biblioteca, que possui uma distribuição mais irregular em função das amplas aberturas em duas fachadas e de seu mezanino que se projeta diagonalmente.

O ofuscamento criado pela luz do dia junto às aberturas deve ser evitado numa sala de aula, independente das alturas da janela. A maneira mais prática de se evitar isto é a utilização de elementos horizontais sobre as janelas.

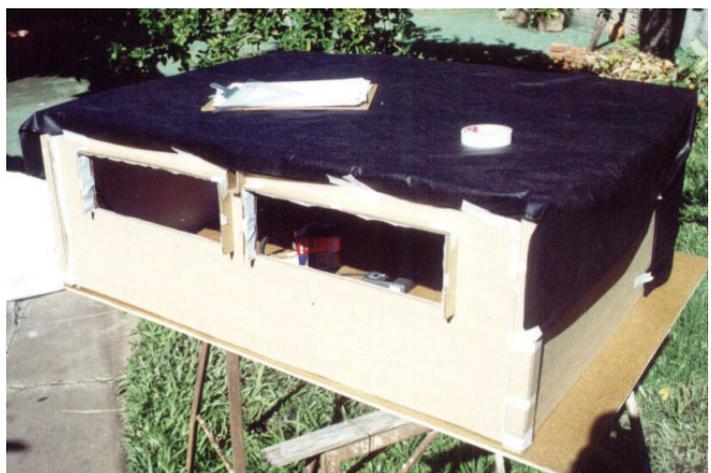


Figura 45 - vista externa da maquete da sala de aula.

Porém, já que aqui se está analisando as estantes de luz, utilizou-se um peitoril alto de 2.00 m para que se pudesse, através delas, tanto bloquear o ofuscamento, parcial ou totalmente, como enviar refletâncias para dentro do ambiente.

Na figura 45, tem-se uma vista da maquete da sala de aula com a fachada das aberturas orientada para norte mostrando a mancha luminosa desde as aberturas. Numa vista interna da sala, figura 46, se

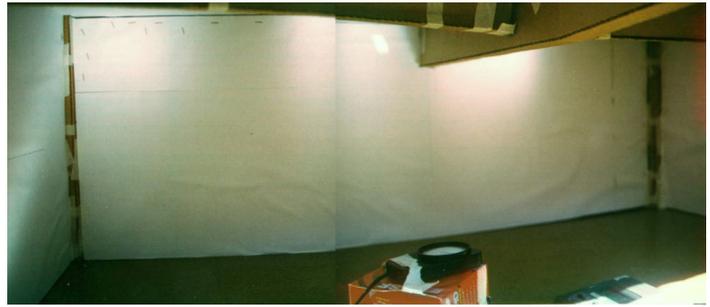


Figura 46 - vista interna da maquete da sala de aula e as áreas luminosas na parede do fundo criadas por refletância.

vê, em primeiro plano, o luxímetro utilizado nas medições e, mais ao fundo, a parede com duas manchas de luz, resultado da refletância desde a mancha de luz no piso junto às aberturas. Essas manchas de luz podem ser controladas, intensificando-as ou reduzindo-as com a utilização das estantes de luz.

MAQUETE DA LOJA COMERCIAL (figuras 47 e 48) – Com 5.00m de pé-direito e um segundo pavimento ao fundo de um ambiente de 6.00m x 9.00m, essa maquete representa uma típica loja comercial térrea. É um ambiente com grande penetração de luz do dia já que possui grandes aberturas na sua fachada, quase sempre como vitrines, que acarretam grande ofuscamento em suas imediações. Seu segundo pavimento também se beneficia de grande iluminância já que, das duas aberturas frontais, uma é mais alta, do tipo clerestório², e praticamente junto ao forro do teto.



Figura 47 - vista externa da fachada da maquete da loja comercial e o piso fortemente iluminado pela penetração da luz do dia.



Figura 48 - vista interna da maquete da loja comercial e as áreas luminosas na parede do fundo sobre o mezanino criadas por refletância.

² Tipo de abertura alta e repetida em linha, muito comum nas basílicas e catedrais da idade média, ver figura 07, é uma reminiscência das diminutas aberturas e grelhas na pedra, altas, dos antigos egípcios (fig. 05).

Na figura 47, tem-se uma vista de frente da maquete, onde se vê o piso quase todo iluminado pela radiação solar incidente. Figura 48, tomada interna da loja, mostrando as manchas de luz no fundo do ambiente, junto ao mezanino da loja, resultado da refletância desde a grande mancha de luz sobre o piso nas imediações das aberturas. E na figura 49, está a fachada modificada pela colocação de estantes de luz nas duas aberturas de modo que a abertura inferior ganhe peitoril. Obs.: o forro do mezanino é branco.



Figura 49 - vista externa da fachada da maquete da loja comercial com estantes de luz.

MAQUETE DA SALA DE ESCRITÓRIO (figuras 50 e 51) – Esta é a menor das maquetes construídas. É uma sala de escritório comum. Tem 4.70m x 7.70m e 2.90m de pé-direito e possui uma larga janela, com peitoril de 1.10m, em toda a extensão de sua fachada. Esta ampla abertura auxilia para que se alcancem bons índices de iluminância no fundo do ambiente.



Figura 50 - vista externa da maquete da sala de escritório.

Por ser um dos objetos de estudos mais simples, aproveitou-se para se fazer medições mais diversificadas que nas maquetes anteriores. Nesta, as medições geraram um quantidade maior de resultados e de tabelas comparativas.



Figura 51 - vista interna da maquete da sala de escritório mostrando a zona de ofuscamento junto à abertura.

Na figura 50, da maquete de sala de escritórios, tem-se uma vista da fachada frontal com a abertura. A vista interna, na figura 51, desde o fundo do ambiente da maquete num dia de céu claro, mostra a mancha de luz nas imediações da abertura.

ORDENAMENTO E PROCESSAMENTO DOS DADOS

Tanto para as três salas dos edifícios Regency e do Senge como para as quatro maquetes, foi feita a compilação dos resultados obtidos para cada ambiente, tanto para céu encoberto como para céu claro.

As medições nos edifícios: nas salas do edifício do Senge, foram feitas com as janelas com vidros abertos e fechados; no edifício Regency, foram feitas medições somente com os vidros fechados já que eles têm boa transmitância. Acrescentou-se também nas superfícies horizontais escuras dos balcões junto às janelas, para todas as salas medidas, placas de isopor branco ou uma grande faixa de tecido branco a fim de alterar substancialmente a refletância.

Nas maquetes: organizaram-se as medições primeiramente sem estantes de luz, que serviram de base comparativa. Posteriormente, organizaram-se medições com estantes de luz em várias posições em relação ao eixo da fachada, com estantes de luz de diferentes tamanhos e com inclinações variadas e diferenciadas conforme a maquete.

INTERPRETAÇÃO

Os dados das medições foram transformados em gráficos de curvas isolux, na forma de plantas baixas e elevações. A partir deles, fez-se a análise comparativa para se poder tirar conclusões próximas da realidade das medições.

A essa análise das estantes de luz foi acrescentado um estudo (método gráfico) para o dimensionamento das estantes de luz conforme a altura e a largura dos ambientes e uma proposição modelar para três tipos de estantes de luz conforme sua posição em relação às fachadas.

Foi analisada também a contribuição térmica das estantes de luz. Essa simulação foi feita através de cálculos matemáticos de cargas térmicas, incluindo os equipamentos e os ocupantes do ambiente, mais a carga da

estante de luz devida à incidência direta da radiação solar sobre sua superfície e o acúmulo de calor nos materiais que a compõem. Para essa análise, foram feitos cálculos para dois tipos de estante de luz conforme o material: uma estante de poliestireno revestido de alumínio e outra de concreto pintado de branco.

CONCLUSÕES

A revisão bibliográfica, os objetos de estudo e o método utilizado propiciaram uma compreensão da contribuição da estante de luz para o ambiente da edificação.

Em uma primeira análise, pode-se demonstrar que a arquitetura evoluiu tecnológica e culturalmente na medida em que se desenvolveram os seus elementos e os procedimentos construtivos da edificação. Além disso, as aberturas e as janelas sempre se propiciaram das novas possibilidades e necessidades de uso e do aperfeiçoamento de novos materiais.

Com a coleta de dados através das medições *in situ*, foi possível organizá-los de forma gráfica e comparativa e se determinar a quantidade de iluminância enviada para o interior dos ambientes conforme a posição e a inclinação das estantes e luz.

Os trabalhos de campo permitiram que se chegasse a conclusões e comparações entre as várias possibilidades de utilização das estantes de luz junto às aberturas e janelas.

3.2.2. *Trabalhos de campo*

MEDIÇÕES *IN SITU* DO DESEMPENHO LUMINOSO DOS AMBIENTES DOS EDIFÍCIOS SENGE E REGENCY

Os dois prédios, de mesma tipologia e de modelos semelhantes, se diferem quanto ao envidraçamento utilizado. Como se verá nas análises dos gráficos gerados através das medições *in loco* e de tabela a seguir. No edifício Regency, seu envidraçamento claro e esverdeado permite uma alta transmitância de luz com maiores variações de iluminâncias entre as zonas das aberturas e os fundos das salas. No edifício Senge, seu envidraçamento pardo e de baixa transmitância faz com que ocorra menor variação de iluminâncias entre as zonas próximas às aberturas e o fundo das salas. Foram

destacados alguns aspectos quanto ao envidraçamento, às alturas do sol, aos pavimentos, às dimensões do espaço e às aberturas bem como um resumo das medições das salas.

DESCRIÇÃO DOS LOCAIS

O coeficiente do envidraçamento das salas do edifício do Senge, que é de aproximadamente 0.66⁽³⁾, barra boa parte da luz do dia. O baixo fator solar destes vidros é evidente. Verificou-se isto no contraste produzido entre a sombra dos vidros e a luz solar direta sobre as placas de isopor colocadas no balcão externo, na sala do 4º andar, em dia de sol claro.

Na sala térrea do edifício Regency, vê-se que muito pouca diferença entre as partes de vidro fechado e de vidro aberto, tanto para condições de céu claro como para dias de céu encoberto. Em ambas as condições de céu, a radiação atravessa sem dificuldades o claro e esverdeado envidraçamento. O coeficiente do envidraçamento do Regency está em torno de 0.85 a 0.95.

Na tabela 07, pode-se ver que a baixa altura do sol e um vidro claro criam grande variação de iluminâncias, enquanto que grandes alturas do sol e vidro mais escuro causam justamente o efeito contrário. Nas medições do edifício do Senge, o sol estava a aproximadamente 60º de altura (equinócio de outono).

Nas medições do edifício Regency, o sol estava mais baixo, a aproximadamente 47º de altura, de maneira que o sol penetrava mais na sala térrea, bem como se tinha maior refletância dentro de seu ambiente, desde os pisos, paredes e objetos do pátio externo. Internamente, na mancha de luz solar direta, junto às suas aberturas, verificou-se uma iluminância equivalente a 70% da externa e, para céu encoberto, 30%. E por ser uma sala profunda, ocorreu uma menor uniformidade da distribuição de luz e, assim, maiores diferenças entre frente e fundos e, de uma maneira geral, maiores iluminâncias que nas salas do edifício do Senge que, por serem menos profundas, possuem menores variações de frente e de fundos.

Já no 2º andar do edifício do Senge, conseguiu-se iluminância de fundos semelhante à do edifício Regency em função de suas duas paredes envidraçadas.

Na tabela 07, verifica-se um comparativo dos CLDs de frente e de fundos, para dias de céu claro e de céu encoberto, para as salas dos prédios

do Senge e Regency com os vidros fechados conforme as medições efetuadas. O pé-direito baixo das salas dificulta a penetração do fluxo da luz do dia até o fundo dos ambientes. Essa situação é geral nas edificações de nossas cidades e pode ser comprovada na sala do 4º andar do edifício do Senge, que possui a menor iluminância de fundos.

Tabela 07 - Proporções das duas salas, fator solar dos vidros dos dois edifícios e CLDs de frente e de fundos. Fonte: elaborada pelo mestrando.

ALTURA DO SOL	60° (MARÇO)		55° (ABRIL)		47° (MAIO)	
PRÉDIO	EDIFÍCIO DO SENGE				ED. REGENCY	
PAVIMENTO	4º A		2º A		Térreo	
Pé direito (m)	2.75		2.75		2.60	
Proporções da sala: Altura x comprimento	1 x 3		1 x 3		1 x 4.3	
Paredes com aberturas	1		2		1	
FATOR SOLAR DO VIDRO	0.66				0.85 - 0.95	
CLDs (%) (obs.: na frente = após a mancha de luz)						
LOCALIZAÇÃO	frente	fundos	frente	fundos	frente	fundos
Céu claro	0.5	0.027	0.6	0.1	3.2	0.27
Céu encoberto	1.45	0.09	1.0	0.15	8.5	0.28

Edifício do Senge, sala de eventos - 2º andar

A iluminância recomendada para a tarefa visual de leitura (200-230 lux) encontra-se, nos dias encobertos, junto às zonas das aberturas e, nos dias de céu claro, junto ao fundo do ambiente.

Nesta sala, vista desde os fundos (figura 52), apesar de sua ampla superfície envidraçada, não se consegue boa distribuição de iluminâncias. Isso demonstra que a altura dos ambientes é também importante para uma melhor iluminância, pois quanto mais baixa a altura do ambiente menor será a relação superfície envidraçada X superfície do ambiente. As relações altura X profundidade, como as desta sala (4x1), e seu envidraçamento escuro se traduzem na baixa iluminância de fundos.

³ Conforme padronização adotada pelos fabricantes de vidro no Brasil indicando o Fator Solar dos Vidros (transmitância).



Figura 52 - vista do envidraçamento do 2º andar do Ed. Senge

A figura 53 ilustra essa diferença de iluminância entre frente e fundos. Na imagem a curva mostra a redução do CLD. Já na figura 54, estão as diferentes iluminâncias para céu claro e para céu encoberto.

A figura 55 mostra duas situações, ambas sob céu claro, em ambas se tem o clareamento da marquise exterior às aberturas.

Na imagem da direita, o envidraçamento com folha basculante e peitoril de vidro está com suas folhas abertas, permitindo maior entrada da radiação solar refletida desde a marquise até o interior e o forro. Enquanto que na imagem da direita, com as folhas basculantes fechadas, vê-se um forro menos iluminado pela refletância externa, em

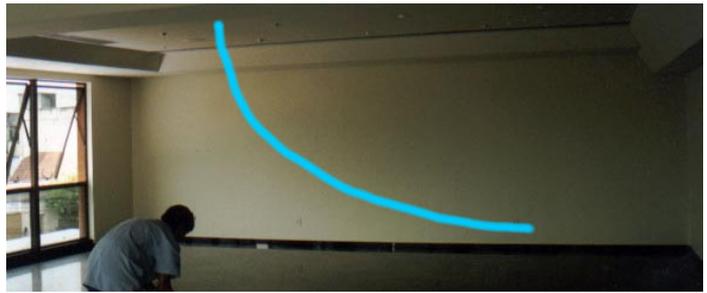


Figura 53 - curva de redução do CLD no 2º andar do Ed. Senge



Figura 54 - céu claro e céu encoberto no 2º andar do Ed. Senge



Figura 55 - vidro aberto e vidro fechado no 2º andar do Ed. Senge

função do baixo fator solar dos vidros.

Edifício do Senge, sala de escritórios - 4º andar

A iluminância recomendada para a tarefa visual de leitura (200-230 lux)) encontra-se mais próxima às aberturas em ambas as condições de céu. Esta sala certamente não apresenta iluminâncias adequadas à realização da tarefa visual.

Nos dias de céu encoberto, encontra-se essa faixa 200-230 na primeira quarta parte junto às zonas das aberturas, que demonstra a baixa transmitância do vidro e a pequena superfície transparente da abertura. Já para os dias de céu claro, encontra-se a faixa 200-230 desde o meio da sala até o fundo. De qualquer forma, este ambiente, cuja impressão visual é a de um lugar muito baixo e comprido, conseguiu grandes variações graças ao clareamento do peitoril escuro do balcão sobre a abertura, com as chapas de isopor. Em dias de céu encoberto, a iluminância é muito baixa no fundo da sala, em relação à encontrada na frente da sala.

A iluminância é alta junto às janelas e fica reduzida assim que avança para o interior da sala, situação que fica mais evidente ainda na condição de céu claro.

Nota-se na figura 56 que a refletância da luz do dia, desde as chapas de isopor, clareou o forro do teto. Percebe-se também a redução da iluminância causada pela utilização de vidros escuros de fator solar em torno de 0.66 e a diferença de iluminância entre os vidros abertos e os fechados.



Figura 56 - vista interna da janela da sala do 4º andar do Edifício do Senge. Vidros abertos e vidros fechados.

A alta refletância tanto do peitoril externo como do forro junto às aberturas para céu claro (figura 57) ilumina a zona imediatamente junto à abertura. Como pode-se comprovar, em gráficos de curva isolux, junto dessa

região, há uma grande concentração de iluminância que diminui ainda na primeira quarta parte da sala e que diminui drasticamente até o fundo da sala, principalmente em dia de céu encoberto, o que se observa na figura 58, em que essa região de fundos fica muito aquém duma situação razoável de iluminância.



Figura 57- vista interna da sala do 4º andar do Edifício do Senge. Dia de céu claro.



Figura 58 - vista interna da janela da sala do 4º andar do Edifício do Senge. Dia de céu encoberto.

Edifício Regency, sala 102 - térreo

Essa sala não apresenta uma variação de iluminância significativa em relação a vidros fechados e vidros abertos, em função da grande transmitância luminosa do envidraçamento (figura 59), portanto foram desnecessários os gráficos para vidros fechados.

A grande refletância externa, desde os muros e piso do pátio, garante uma boa iluminância interna.

Essa sala no edifício Regency apresenta o problema de ofuscamento nos dias de céu claro no período das 11h até as 14h30min. Sua orientação para noroeste faz com que a insolação se mantenha até o início da tarde em franca

incidência sobre as aberturas da sala. Apesar de haver apenas uma fachada com aberturas, a sala beneficia-se desse fluxo luminoso intenso.

Deve-se salientar que a sala 101, do lado esquerdo, tem menos iluminação, pois está junto ao prédio lindeiro de grande porte, que projeta sombras.

Aqui a iluminância recomendada para a tarefa visual de leitura (200-230 lux), em condições de céu encoberto, encontra-se quase no meio da sala e em dias de céu claro no fundo. Esta sala possui iluminâncias adequadas à tarefa visual de leitura. Tanto nos dias de céu encoberto com nos dias de céu claro, fluxo luminoso penetra bem na sala.

Apesar de não haver grande diferença de pé-direito entre as salas dos dois edifícios e de aqui termos 15cm a menos, este ambiente possui uma boa relação entre sua largura e sua profundidade.

Há pouca diferença de iluminância de frente entre as situações sem chapas de isopor e com chapas de isopor uma vez que a luz do dia atravessa sem muitas perdas o envidraçamento. O considerável aumento do CLD nos fundos desta sala deve-se ao fato de que a radiação solar refletida alcança o fundo do espaço e pelo sol estar com menos altura.

Na figura 60, encontram-se duas vistas externas das aberturas da sala térrea do Edifício Regency, onde se observa, primeiramente com céu claro, um



Figura 59 - a alta transmitância dos vidros da sala 102 do edifício Regency. Acima com céu encoberto e embaixo com céu claro.



Figura 60 - vistas externas da sala 102 do edifício Regency. Acima com céu encoberto e embaixo com céu claro.

dia de contrastes e com céu encoberto, um dia de luz difusa e parelha. Vê-se também a alta transmitância do vidro de leve tonalidade esverdeada em ambas as condições de céu.

Tanto na figura 61, para céu encoberto, como na figura 62, para céu claro, vê-se que a luz do dia cria, com intensidades diferentes, uma zona de ofuscamento próxima às aberturas.



Figura 61 - panorâmica interna da sala 102 do edifício Regency com céu encoberto.



Figura 62 - panorâmica interna da sala 102 do edifício Regency com céu claro.

Nesta sala 102 do edifício Regency, a luz natural é bem distribuída, comparada à sala do 4º andar do edifício do Senge. Pode-se perceber zonas bem iluminadas na parede do fundo. Na figura 61, com uma condição de céu encoberto, verifica-se essa iluminância de fundo na parede onde em muitas situações é comum se encontrar baixas iluminâncias.

MÉTODO E INSTRUMENTOS USADOS PARA REALIZAR A MEDIÇÃO

As medições foram feitas tanto para dias de céu encoberto como para dias de céu claro considerando três variáveis induzidas:

1. com as janelas fechadas, ou seja, com as folhas pivotantes horizontais do envidraçamento fechadas;
2. com as folhas pivotantes das janelas abertas;

3. com as folhas pivotantes das janelas abertas e com a sobreposição de um elemento clareador sobre a superfície horizontal externa à janela. Isto tem o propósito de aumentar a refletância.

No 2º andar do edifício do Senge, foi utilizado tecido e, nas outras salas, 4º andar do edifício do Senge e sala térrea do Edifício Regency, chapas de isopor.

Como o envidraçamento na sala 102 do edifício Regency possui alta transmitância, fez-se nela medições apenas com vidros fechados.

Assim, são seis gráficos para cada uma das salas do edifício do Senge, três para céu claro e três para céu encoberto, e quatro para a sala do edifício Regency, duas para céu encoberto e duas para céu claro, resultando em dezesseis plantas com curvas isolux e as respectivas elevações com a representação dessas curvas isolux.

A diferença de refletância entre o tecido e as chapas de isopor fica em torno de 10%, a favor das chapas. Porém, visto que a superfície refletora da marquise do 2º andar do Senge é muito larga e que ela rodeia ambas as testadas da sala e que há nas fachadas uma grande superfície envidraçada, essa diferença pouco influencia nos resultados alcançados.

Para se registrar as iluminâncias, utilizou-se um luxímetro digital portátil de três escalas: x1, X10 e x100.

Posicionou-se o luxímetro a uma altura de 80cm, altura média de uma plano de trabalho, em vários pontos, eqüidistantes entre si, no interior das salas e de forma que resultasse uma grade de pontos medidos.

OBS.: foram feitas várias medições extras, como forma de aferir os resultados, em vista de modificações na luz do dia ao longo de uma jornada de medição e conseqüentes oscilações da iluminância interna.

Na figura 63, pode-se ver o tecido branco, sintético, fibroso e de aspecto marmorizado, utilizado sobre a larga marquise de cerâmica esmaltada escura que se projeta desde o segundo pavimento do edifício do Senge. Esta solução foi necessária para que se encontrasse uma condição diferente de refletância desde a superfície escura da marquise. Na figura 64, vê-se a chapa de isopor sobre o largo peitoril que se projeta externamente à janela da sala do segundo andar do edifício do



Figura 63 - superfície da marquise do edifício do Senge com o tecido branco.

Senge. Esta interferência também foi necessária para que se encontrasse uma diferente condição de refletância desde a superfície do peitoril.

Tanto no ambiente do 2º andar como neste ambiente do 4º andar, apesar da refletância do isopor ser um pouco maior, se constata pequenas variações de iluminância, relacionadas ao clareamento das superfícies horizontais. Não são tão expressivas quanto o contraste entre as escuras superfícies horizontais e o branco sobre elas.

Na figura 65, apresenta-se a chapa de isopor sobre o largo peitoril de pedra polida, quase preta, externo à janela, da sala térrea do Edifício Regency. Esta interferência, diferentemente das outras salas, teve a contribuição das superfícies do pátio externo à sala.

De uma maneira geral, apesar do clareamento das superfícies horizontais externas, as grandes variações de iluminância internas são expressivas apenas nas imediações das aberturas. E aqui na sala térrea, observa-se que, apesar da maior iluminância geral de fundo, também não há aumento sensível das iluminâncias internas.

REGISTRO FOTOGRÁFICO DA MEDIÇÃO

As fotografias tiradas nos locais e durante as medições estão dispostas ao longo do texto para ilustrar o trabalho realizado. As fotografias serviram também para, através da leitura do fotômetro da máquina fotográfica, se ter uma idéia prévia das iluminâncias dos ambientes ao se compararem as fotometrias externas e internas aos ambientes.

Utilizou-se uma Canon-EOS, modelo Rebel-XS, com lente EF35-80mm, f4.0-5.6 e diâmetro 52mm. Este equipamento, que se salienta entre as demais máquinas fotográficas semiprofissionais existentes no mercado, possui uma boa resposta na obtenção de imagens e utiliza filme 135. Algumas imagens



Figura 64 - peitoril do 2º andar do edifício do Senge com a placa de isopor.



Figura 65 - superfície horizontal externa com chapa de isopor da sala térrea do edifício Regency.

panorâmicas são montagens digitais. Todas as fotografias foram digitalizadas por um *scanner* Genius, modelo Colorpage Vivid Pro II.

RESULTADOS OBTIDOS

Nas tabelas 08, 09 e 10, respectivas a cada uma das salas, aparece um resumo dos CLDs de frente e de fundo como maneira de se analisar as variações de iluminância a partir das interferências nas superfícies horizontais junto às janelas.

Estes CLDs de frente e de fundo, nestas salas, correspondem a dois pontos, marcados em vermelho nas plantas com curvas isolux. O ponto da frente está a uma distância da janela de modo que fique fora das eventuais manchas solares existentes em dias de céu claro. O outro ponto está à aproximadamente 0.50 m da parede do fundo.

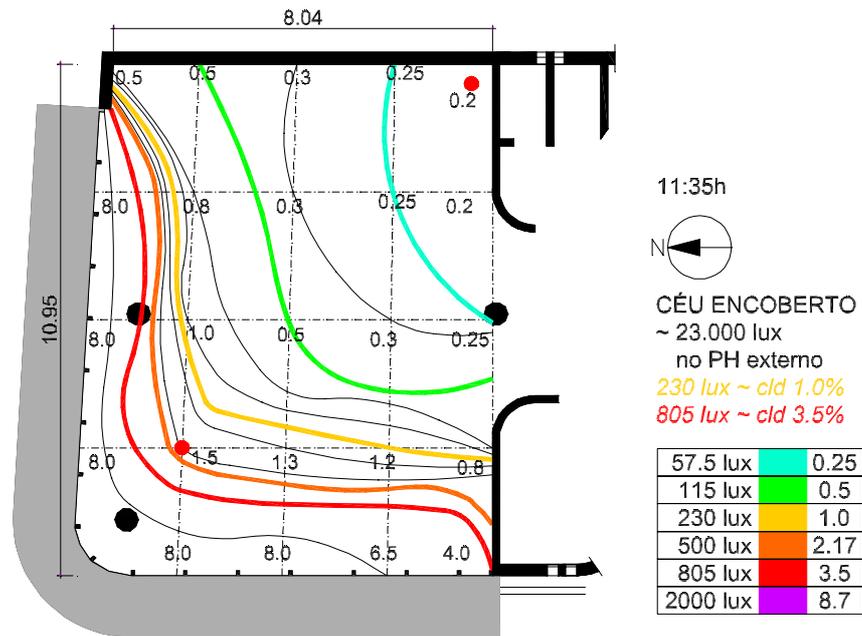
Edifício do Senge, sala de eventos - 2º andar

Através das medições, ficou constatado que, em função das interferências junto à janela, a iluminância no fundo e na frente variaram de maneira semelhante, sendo que na frente se verificou uma variação maior, ou seja:

Para céu encoberto: na frente, o CLD aumentou de 1.0% para 1.7% e, no fundo da sala, aumentou de 0.15% para 0.25%. Isto significa que a iluminância interna próxima à janela aumentou 70% e, no fundo, 66%.

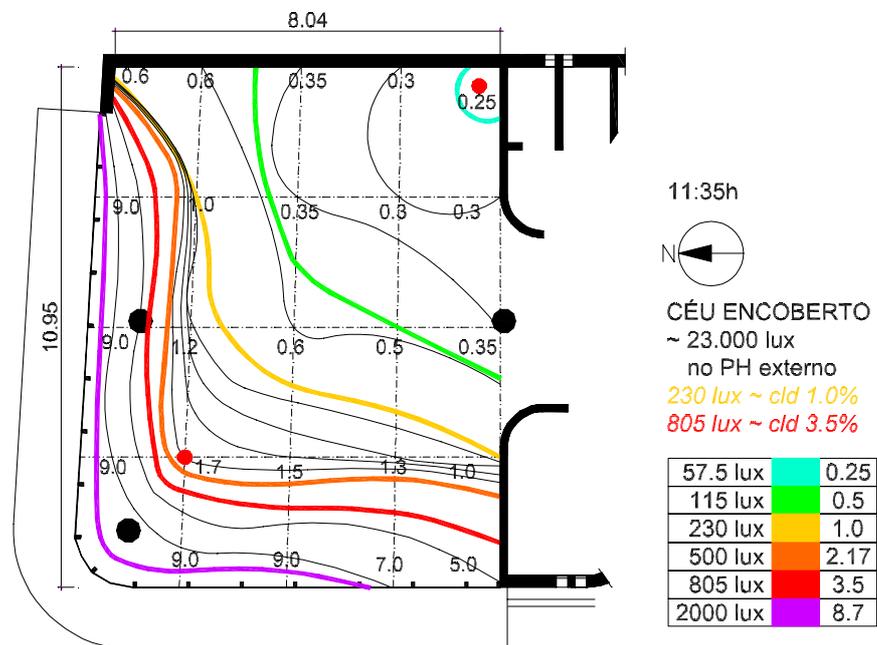
Para céu claro: em função das interferências junto à janela, a variação de iluminância foi maior que em dias de céu encoberto. Na frente, o CLD aumentou de 0.6% para 1.3% e, no fundo da sala, aumentou de 0.1% para 0.2%. A iluminância interna próxima à janela aumentou 116%, e a iluminância no fundo da sala aumentou 100%.

Com CLDs tão baixos no fundo da sala para ambas as condições de céu, verificou-se, entretanto, que, com o clareamento da marquise e com céu claro, se conseguiu uma iluminância no fundo da sala de 200 lux (CLD 0.2%), que corresponde a um nível mínimo para a atividade visual de leitura. Com céu encoberto, a iluminância de fundo é sempre baixa, alcançando apenas 57.5 lux (CLD 0.25%). Conforme a situação da janela e da marquise, com céu encoberto, a curva isolux 1.0 (230 lux) move-se muito pouco dentro da sala, contudo, verifica-se um bom deslocamento da curva isolux 0.25 (57.5 lux)



COM VIDROS ABERTOS

Figura 67 - curvas isolux, céu encoberto - 2º andar do edifício do Senge.

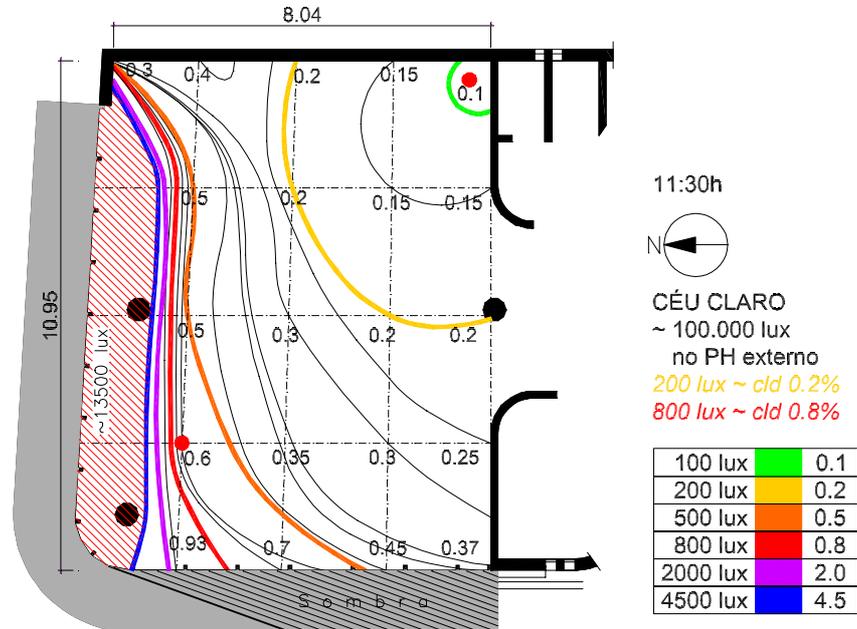


COM VIDROS ABERTOS E COM PANO DE TECIDO BRANCO SOBRE A MARQUISE JUNTO À JANELA.

Figura 68 - curvas isolux, céu encoberto - 2º andar do edifício do Senge.

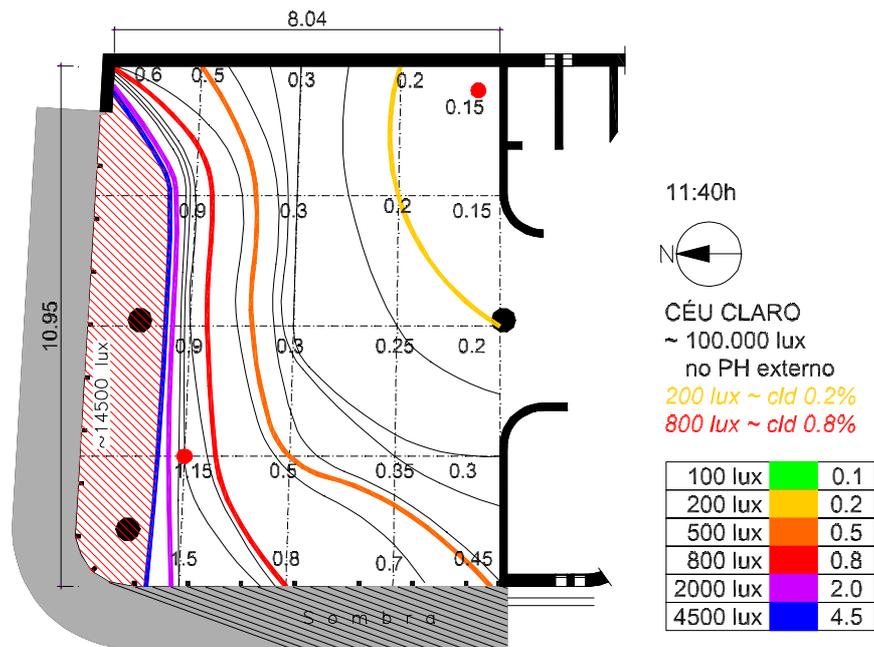
CURVAS ISOLUX PARA CÉU CLARO:

2º ANDAR ED. SENGE	Altura do Sol: 60º	Período: MAR/ABR/ 2000
-----------------------	--------------------	---------------------------



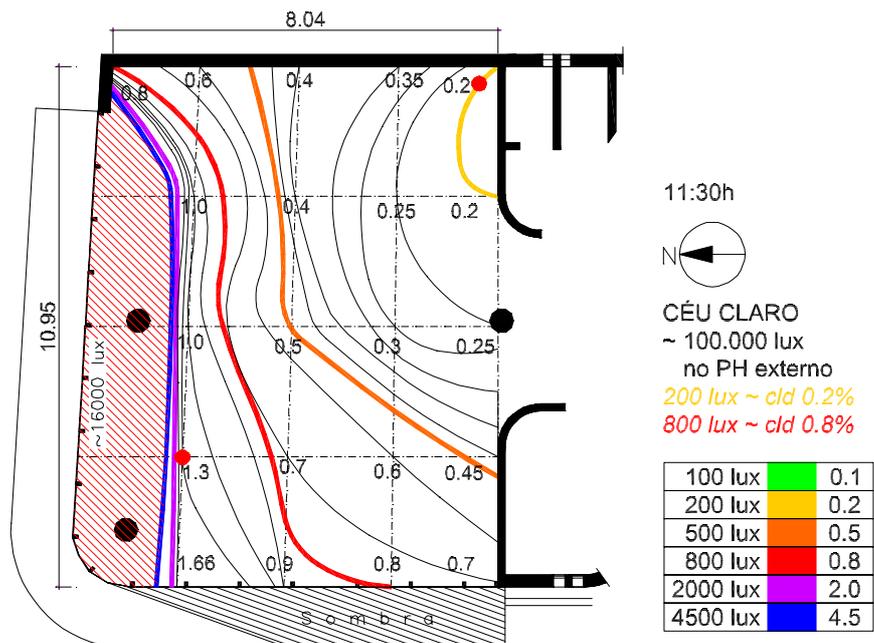
COM VIDROS FECHADOS

Figura 69 - curvas isolux, céu claro - 2º andar do edifício do Senge.



COM VIDROS ABERTOS

Figura 70 - curvas isolux, céu claro - 2º andar do edifício do Senge.



COM VIDROS ABERTOS E COM PANO DE TECIDO BRANCO
SOBRE A MARQUISE JUNTO À JANELA.

Figura 71 - curvas isolux, céu claro - 2º andar do edifício do Senge.

ELEVAÇÕES:

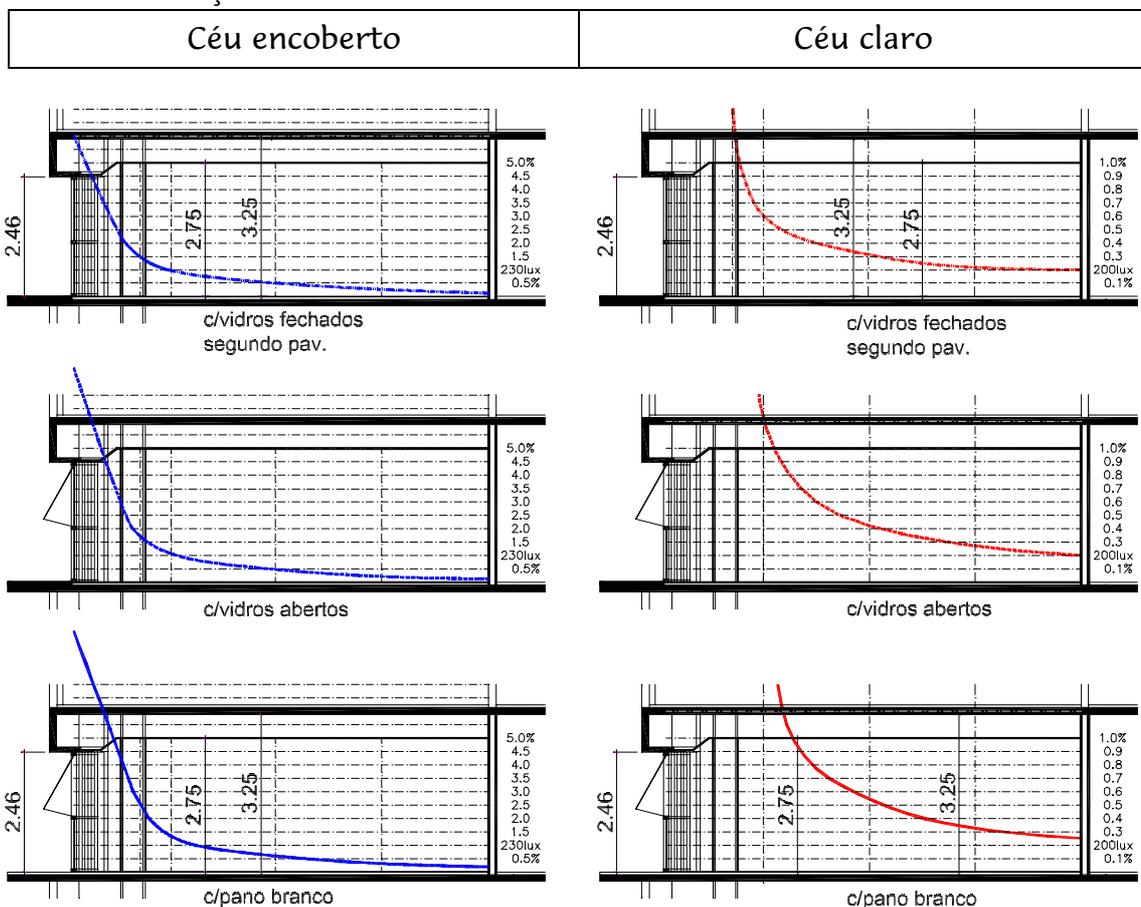


Figura 72 - curva de distribuição transversal da iluminância, céu encoberto - 2º andar Senge

Edifício do Senge, sala escritórios - 4º andar

Através das medições, ficou constatado que, na sala do 4º andar, em função das interferências junto à janela, a iluminância variou de maneira semelhante ao 2º andar já que o envidraçamento possui a mesma transmitância. Porém, devido às dimensões desta sala houve, principalmente em dias de céu claro, iluminâncias baixíssimas no fundo do ambiente, com grandes contrastes em relação à frente do ambiente:

Para céu encoberto: na frente, o CLD aumentou de 1.45% para 2.0% e, no fundo da sala, aumentou de 0.09% para 0.14%. Isto significa que a iluminância interna, próxima à janela, aumentou 38%, e no fundo, 55%.

Para céu claro: em função das interferências junto à janela, a variação de iluminância aqui também foi maior que em dias de céu encoberto. Na frente, o CLD aumentou de 0.5% para 1.0% e, no fundo da sala, aumentou de 0.027% para 0.063%. Ou seja, a iluminância interna próxima à janela aumentou 100% e a iluminância, no fundo da sala, aumentou 130%.

Os CLDs mais baixos no fundo da sala aparecem neste ambiente.

Com céu encoberto, a iluminância mínima para uma atividade visual de leitura de 230 lux (CLD 1.0%) fica até a primeira quarta parte da sala.

Já com céu claro, conseguiu-se apenas um avanço deste nível de iluminância, 220 lux (CLD 0.2%), até o meio da sala.

É uma sala difícil de se iluminar natural e eficientemente, pois é profunda, e a área de sua janela não transmite iluminância suficiente.

No meio da sala:

Também nesta sala, as maiores variações no meio do ambiente são em dias de céu claro:

Para céu encoberto: CLD variando de 0.3 para 0.47% (69 para 108 lux).

Para céu claro: CLD variando de 0.07 para 0.21% (77 para 210 lux).

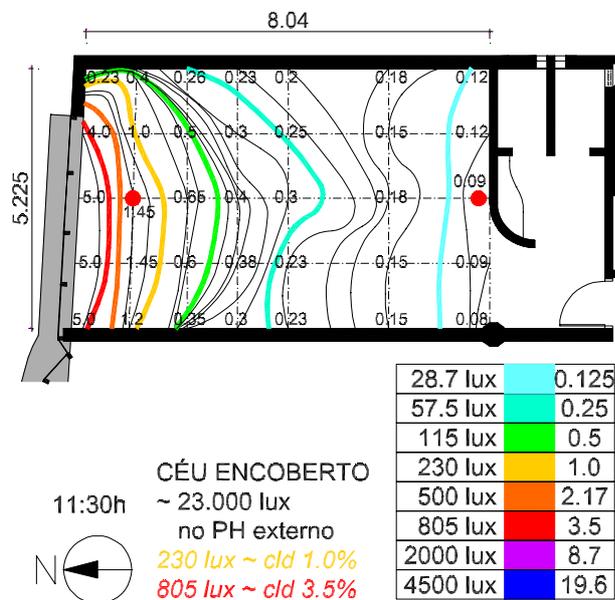
Ao contrário da sala do 2º andar, aqui não se tem amplas janelas, e a relação entre sua pequena largura e sua profundidade faz com que a luz do dia não consiga, na melhor das hipóteses, alcançar, em bons níveis de iluminância, a região compreendida entre o meio e o fundo da sala. E apesar da variação da fraca iluminância de fundo, para céu claro, ter sido significativa, pouco se pode esperar para este modelo de ambiente a partir de interferências junto à sua abertura.

Tabela 09 - resumo da variação de CLD para o 4º andar do edifício do Senge.

ABR-MAI-2000					
situação		CÉU ENCOBERTO ~23.000 lux		CÉU CLARO ~110.000 lux	
		Frente (*)	Fundos	Frente (*)	Fundos
Janelas fechadas		1.45	0.09	0.5	0.027
Janelas abertas	S/clareamento	1.85	0.11	0.75	0.04
	C/clareamento	2.0	0.14	1.0	0.063
LOCALIZAÇÃO DA ILUMINÂNCIA 200-230 LUX - atividade visual de leitura					
ATÉ A PRIMEIRA QUARTA PARTE DO AMBIENTE			DA PRIMEIRA QUARTA PARTE ATÉ O FUNDO DO AMBIENTE		
(*) CLD médio a 1.00 m da janela					

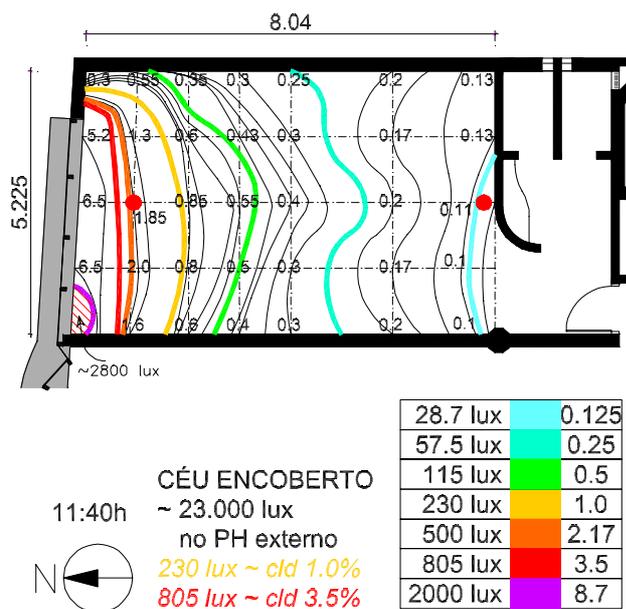
CURVAS ISOLUX PARA CÉU ENCOBERTO:

4º ANDAR ED. SENGE	Altura do Sol 55°	Período: ABR/MAI/2000
-----------------------	-------------------	--------------------------



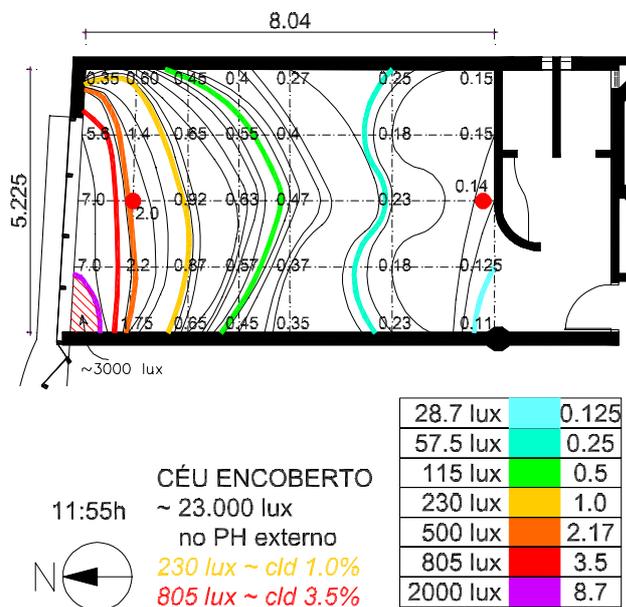
COM VIDROS FECHADOS

Figura 73 - curvas isolux, céu encoberto - 4º andar do edifício do Senge.



COM VIDROS FECHADOS

Figura 74 - curvas isolux, céu encoberto - 4º andar do edifício do Senge.

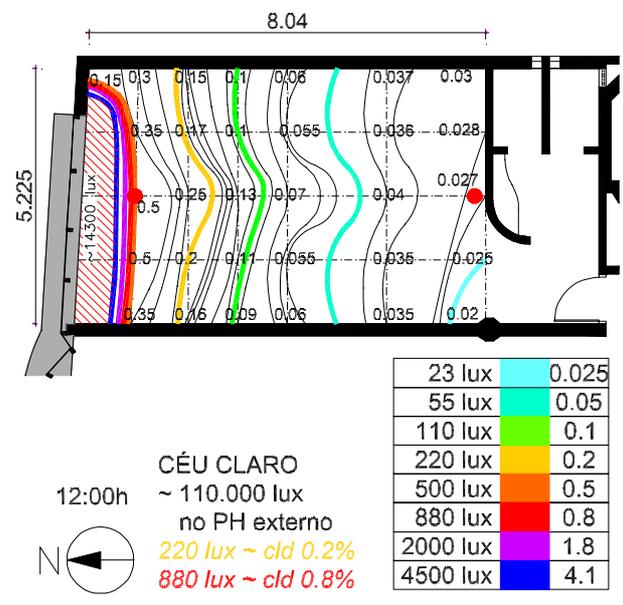


COM VIDROS ABERTOS E COM CHAPA DE ISOPOR SOBRE O PEITORIL EXTERNO JUNTO À JANELA.

Figura 75 - curvas isolux, céu encoberto - 4º andar do edifício do Senge.

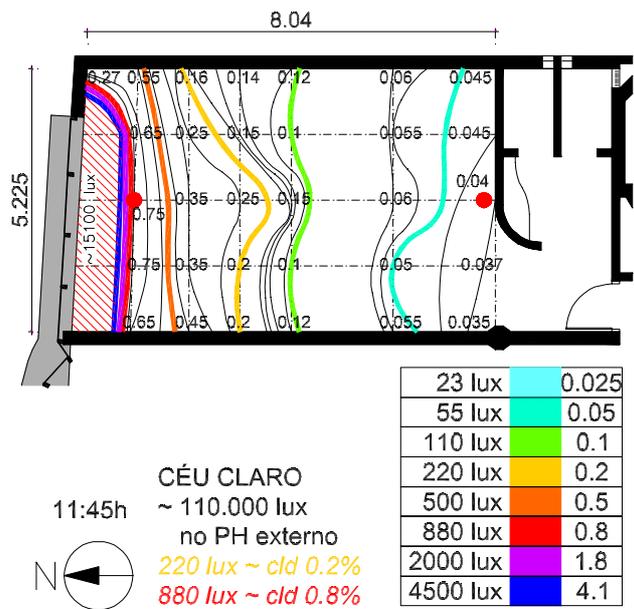
CURVAS ISOLUX PARA CÉU CLARO:

4º ANDAR ED. SENGE	Altura do Sol 55°	Período: ABR/MAI/2000
-----------------------	-------------------	--------------------------



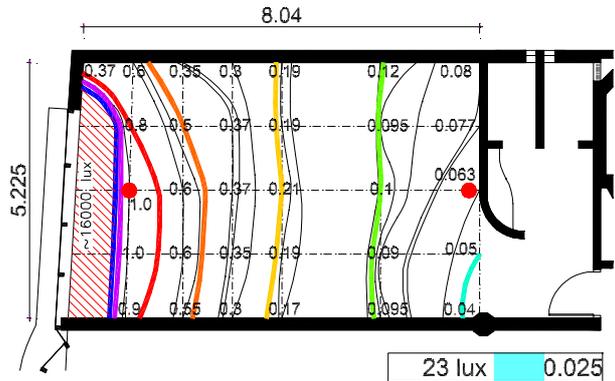
COM VIDROS FECHADOS

Figura 76 - curvas isolux, céu claro - 4º andar do edifício do Senge.



COM VIDROS ABERTOS

Figura 77 - curvas isolux, céu claro - 4º andar do edifício do Senge.



11:35h
 CÉU CLARO
 ~ 110.000 lux
 no PH externo
 220 lux ~ cld 0.2%
 880 lux ~ cld 0.8%

23 lux	0.025
55 lux	0.05
110 lux	0.1
220 lux	0.2
500 lux	0.5
880 lux	0.8
2000 lux	1.8
4500 lux	4.1

COM VIDROS ABERTOS E COM CHAPA DE ISOPOR
 SOBRE O PEITORIL EXTERNO JUNTO À JANELA.

Figura 78 - curvas isolux, céu claro - 4º andar do edifício do Senge.

ELEVAÇÕES:

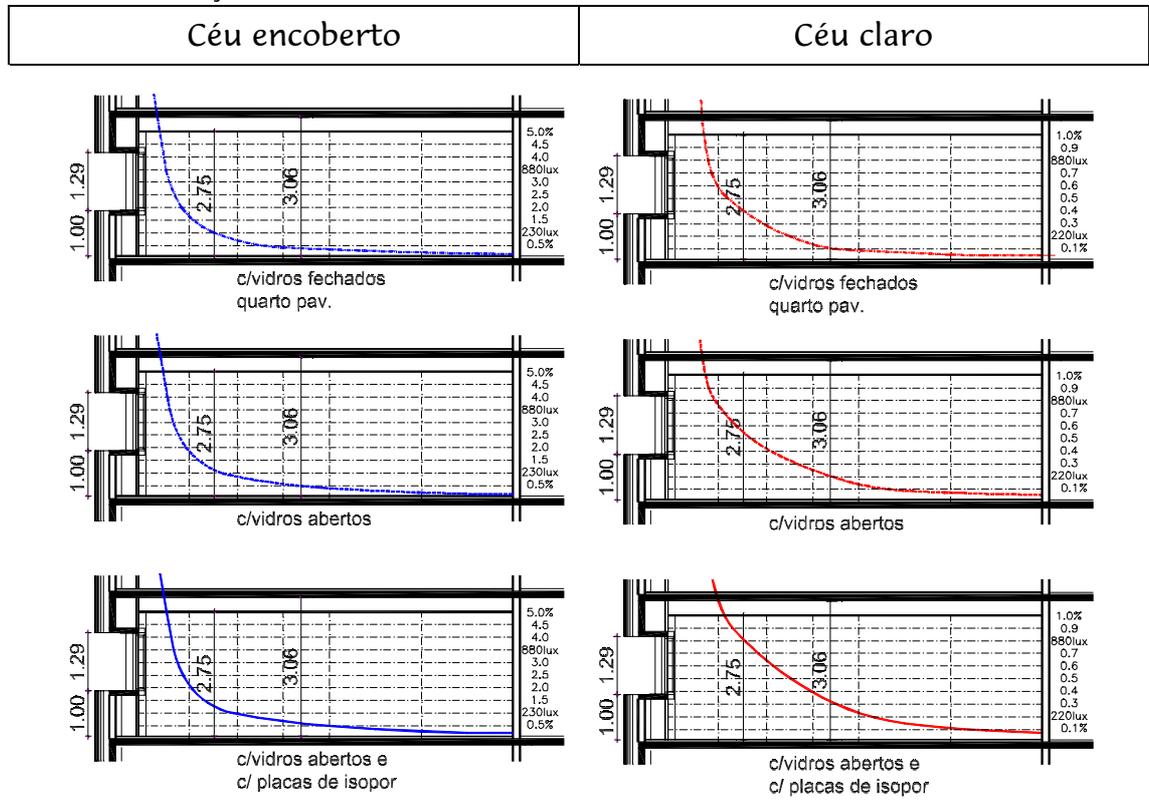


Figura 79 - curva de distribuição transversal da iluminância, céu encoberto - 4º andar Senge

Edifício Regency, sala 102 - térreo

Através das medições e das interferências junto à janela, constatou-se que, nesta sala térrea, houve uma iluminância diferente das encontradas nas salas do edifício do Senge, pois seu envidraçamento possui grande transmitância. Em função disto, foi irrelevante considerar-se medições com os vidros abertos. Comparada com o quarto andar do Senge, os CLDs de fundo, no Regency, são bem maiores em dias de céu encoberto e, para ambas as condições de céu, os CLDs de frente são umas seis vezes maiores. Porém, houve menor índice geral de variação de iluminância em função do clareamento da superfície horizontal externa junto à janela:

Para céu encoberto: na frente, o CLD aumentou de 8.5% para 10.0% e, no fundo da sala, aumentou de 0.28% para 0.35%. Isto significa que a iluminância interna próxima à janela aumentou apenas 17% e no fundo 25%.

Para céu claro: variações também maiores que em dias de céu encoberto. Na frente, o CLD aumentou de 3.2% para 5.2% e, no fundo da sala, aumentou de 0.27% para 0.45%. Ou seja, a iluminância interna próxima à janela, aumentou 62% e a iluminância, no fundo da sala, aumentou 66%.

Com céu encoberto, a iluminância mínima para uma atividade visual de leitura de 225 lux (CLD 1.5%) fica junto ao meio da sala.

Já com céu claro, verificou-se 200 lux (CLD 0.2%) no fundo da sala.

Esta é uma sala de forte iluminação natural em função tanto da grande penetração da luz do dia como da grande refletância das superfícies do pequeno pátio junto à janela. Verifica-se, principalmente na frente, menor alteração do CLD interno através do artifício do clareamento junto à janela.

No meio da sala:

Como já dito são pequenas as variações de CLD entre a situação com e sem chapas de isopor.

Para céu encoberto: CLD variando, aproximadamente, de 0.9 para 1.1% (136 para 163 lux).

Para céu claro: CLD variando, aproximadamente, de 0.8 para 1.0% (800 para 1000 lux).

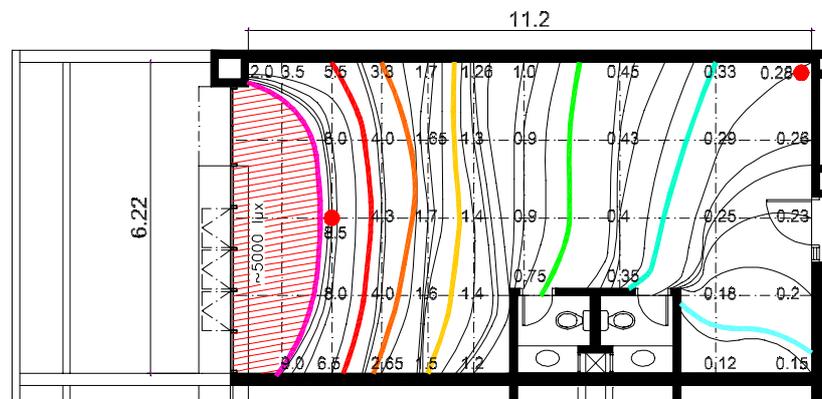
Apesar das pequenas alterações de iluminância, esta sala se beneficia do uso do artifício externo, pois seu CLD consegue ser modificado ainda que a níveis menores. Isto mostra que mesmo as melhores situações de iluminância natural podem ser incrementadas.

Tabela 10 - resumo da variação de CLD para a sala térrea do edifício Regency.

MAI-JUN-2000					
situação		CÉU ENCOBERTO ~15.000 lux		CÉU CLARO ~100.000 lux	
		Frente (*)	Fundos	Frente (*)	Fundos
Janelas fechadas	S/clareamento	8.5	0.28	3.2	0.27
	C/clareamento	10.0	0.35	5.2	0.45
LOCALIZAÇÃO DA ILUMINÂNCIA 200-230 LUX - atividade visual de leitura					
DA PRIMEIRA QUARTA PARTE PARA O MEIO DO AMBIENTE			DO MEIO DO AMBIENTE PARA O FUNDO		
(*) CLD médio a 1,85 m da janela					

CURVAS ISOLUX PARA CÉU ENCOBERTO:

TÉRREO ED. REGENCY	Altura do Sol 49°	Período: MAI/JUN/2000
-----------------------	-------------------	--------------------------



12:55h

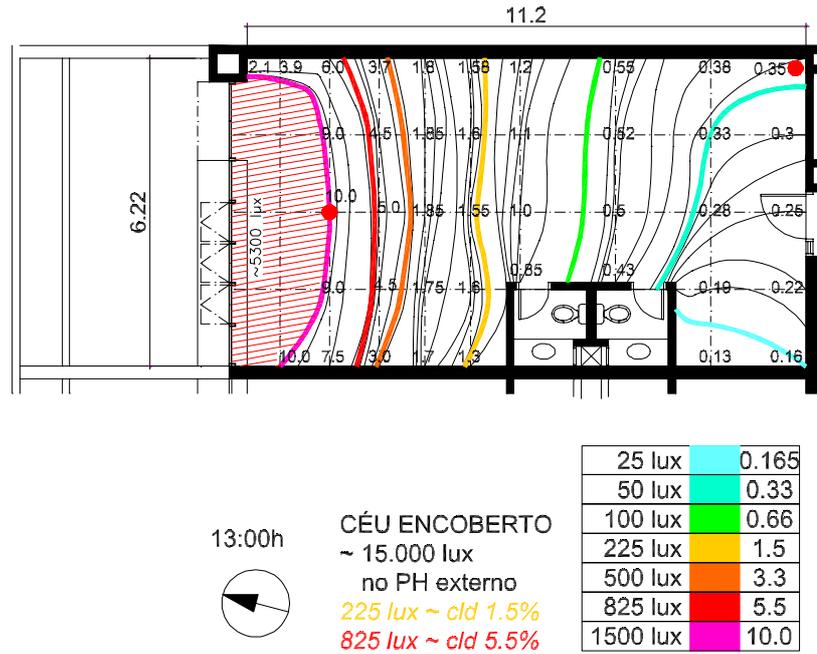


CÉU ENCOBERTO
~ 15.000 lux
no PH externo
225 lux ~ cld 1.5%
825 lux ~ cld 5.5%

25 lux	0.165
50 lux	0.33
100 lux	0.66
225 lux	1.5
500 lux	3.3
825 lux	5.5
1500 lux	10.0

COM VIDROS FECHADOS

Figura 80 - curvas isolux, céu encoberto - térreo do edifício Regency.

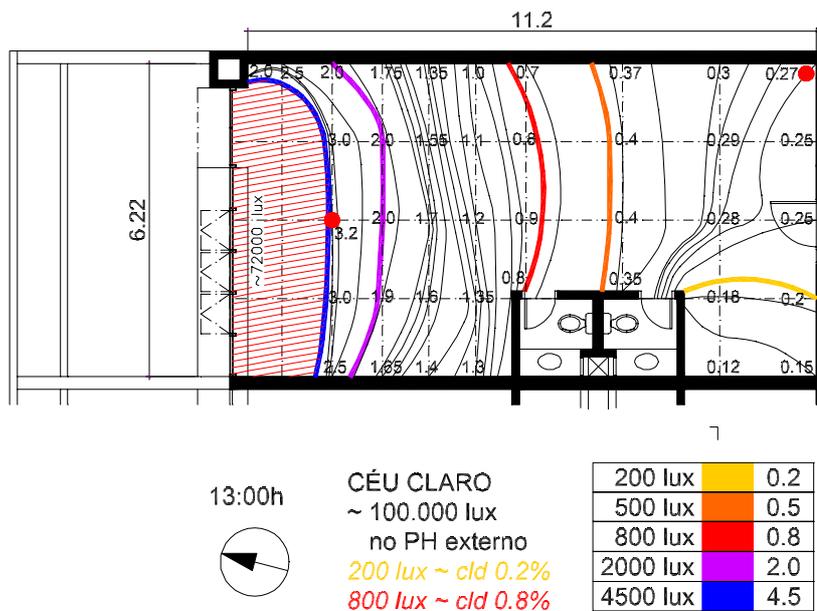


COM VIDROS FECHADOS E COM CHAPA DE ISOPOR SOBRE O PEITORIL EXTERNO JUNTO À JANELA.

Figura 81 - curvas isolux, céu encoberto - térreo do edifício Regency.

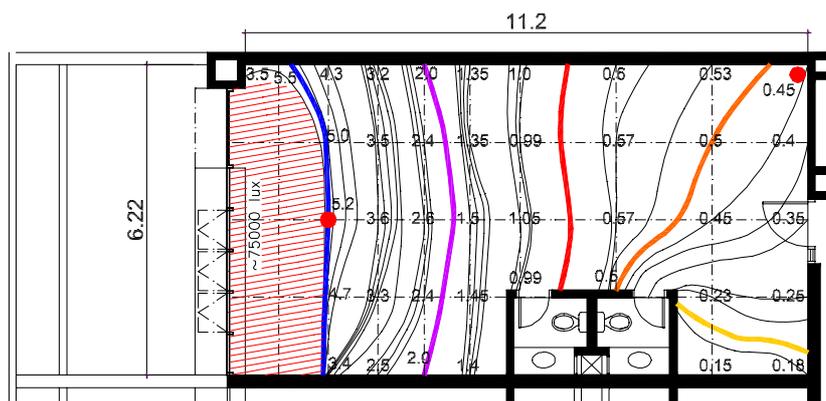
CURVAS ISOLUX PARA CÉU CLARO:

TÉRREO ED. REGENCY	Altura do Sol 49°	Periodo: MAI/JUN/2000
--------------------	-------------------	-----------------------



COM VIDROS FECHADOS.

Figura 82 - curvas isolux, céu claro - térreo do edifício Regency.



13:05h

CÉU CLARO
 ~ 100.000 lux
 no PH externo
 200 lux ~ cld 0.2%
 800 lux ~ cld 0.8%

200 lux	0.2
500 lux	0.5
800 lux	0.8
2000 lux	2.0
4500 lux	4.5

COM VIDROS FECHADOS E COM CHAPA DE ISOPOR
 SOBRE O PEITORIL EXTERNO JUNTO À JANELA.

Figura 83 - curvas isolux, céu claro - térreo do edifício Regency.

ELEVAÇÕES:

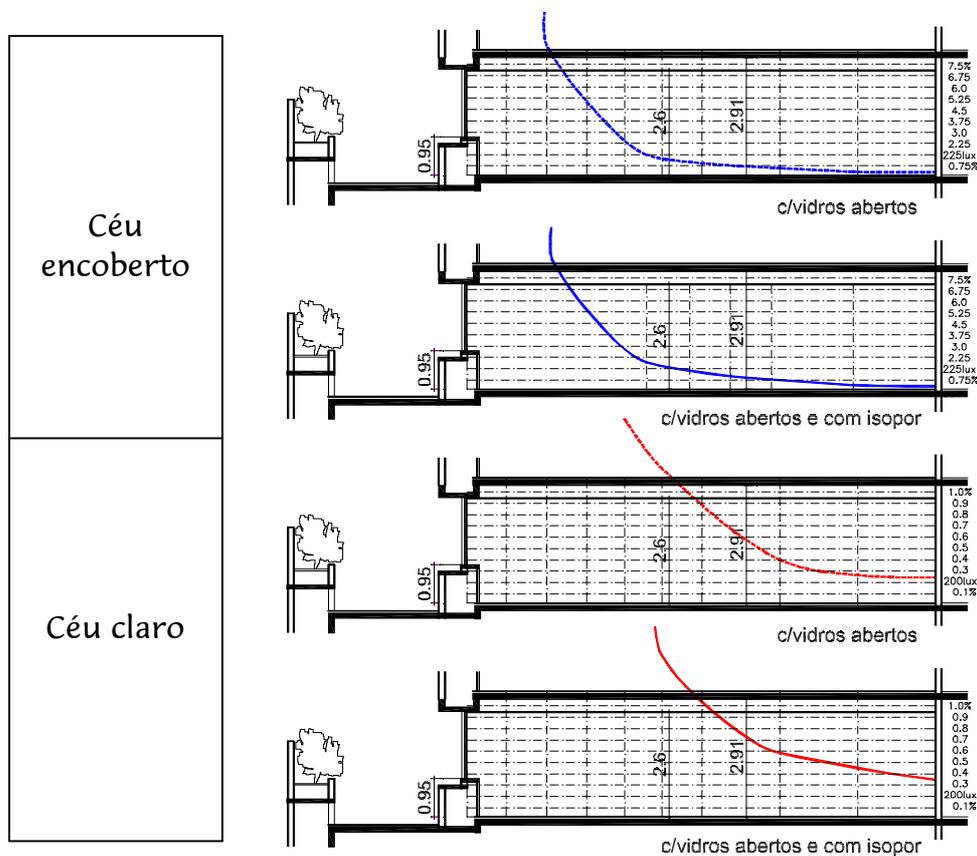


Figura 84 - curva de distribuição transversal da iluminância - térreo do edifício Regency.

Análise comparativa das medições das salas

Foi visto que existem diferenças de distribuição de iluminâncias entre as salas dos prédios do edifício Senge e do edifício Regency, de maneira que, no 4º andar do Senge, se tem a pior situação. Conforme a figura 85, verifica-se nessa sala, semelhantes valores de iluminância no fundo da sala para céu encoberto e céu

claro. Esta sala possui boa luminosidade apenas do meio para a frente e em dias de céu claro.

As iluminâncias melhoram na sala do 2º andar do edifício Senge e ficam melhores ainda na sala térrea do Edifício Regency. Na figura 85, pode-se verificar isto conforme aumenta a penetração do fluxo luminoso da luz do dia, através do comportamento das curvas transversais que recuam mais para dentro e ficam mais altas no fundo do ambiente. Deve-se lembrar a menor altura do sol à época da medição da sala térrea, 47º, que favorece mais a penetração de seu fluxo luminoso na sala.

ALGUMAS CONCLUSÕES

1. À época de medição no edifício do Senge, o sol estava mais alto, 60º e 55º, assim incidindo mais transversalmente na superfície da janela, dessa forma, atravessando maior sessão de vidro de fator solar 0.66 e penetrando com intensidade mais reduzida no ambiente. No Regency, o sol mais baixo, 47º, um ângulo mais frontal em relação a superfície da janela, atravessa menor sessão do vidro claro de alta transmitância. A sala recebe maiores refletâncias desde as superfícies claras do pátio externo à abertura, e ocorre maior iluminância de fundo.
2. Tanto para dias encobertos como para dias claros, na sala térrea do edifício Regency, constatou-se diferenças irrelevantes de iluminâncias entre as

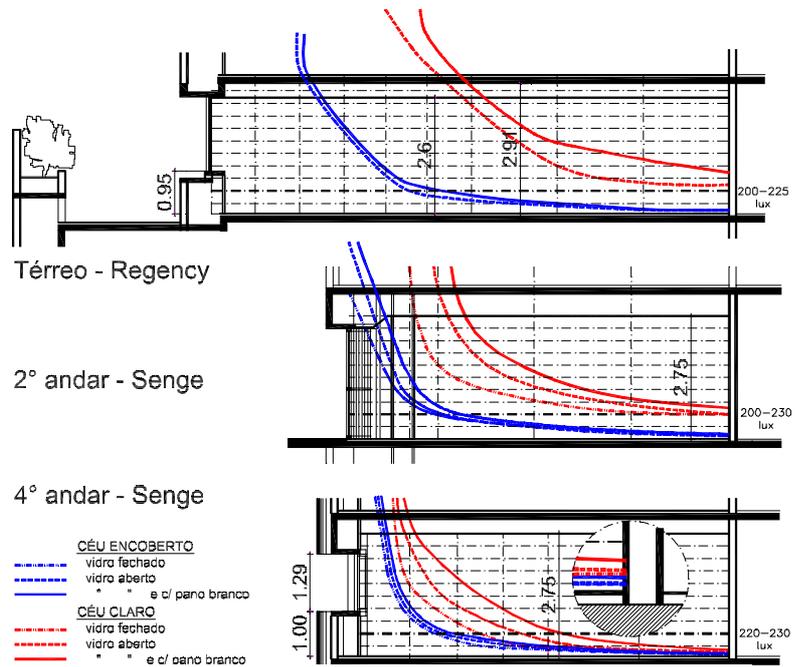


Figura 85 - comparativo das curvas de distribuição transversal da iluminância para céu encoberto e para céu claro nas três salas.

situações de vidros abertos e vidros fechados. Razão pela qual só foram apresentados gráficos de curva isolux para vidros fechados. Quando muito observaram-se diferenças menores que 5% ao adentrar no centro e no fundo da sala.

3. Quanto às alterações de iluminância nos ambientes, desde as superfícies horizontais dos peitoris externos com tecido ou isopor brancos:
 - Com céu encoberto, pouca diferença de iluminância é acrescentada, nota-se nas imediações das aberturas um acréscimo médio de 10% a 20%, caindo sensivelmente em direção ao fundo das salas.
 - Com céu claro, nota-se uma diferença considerável até o centro das salas, diferença que, porém, reduz-se bastante no fundo das salas.

MEDIÇÕES DE ILUMINÂNCIAS EM MAQUETES

Os resultados obtidos através das medições com as maquetes obedeceram um método que proporcionou maior precisão e controle de resultados.

Os modelos permitiram a coleta de dados com maior diversidade de informações já que se pode determinar melhor várias formas de refletâncias junto às aberturas das maquetes.

As medições geraram curvas isolux em toda a extensão dos ambientes.

Nos gráficos aparecem, bem evidenciadas, as curvas principais do CLD e, pouco evidenciadas, curvas auxiliares, em LUX, tracejadas e em cinza.

As curvas principais com o CLD estão abrigadas do sol direto. Mostram uma relação percentual entre a iluminância interna do ambiente e a externa.

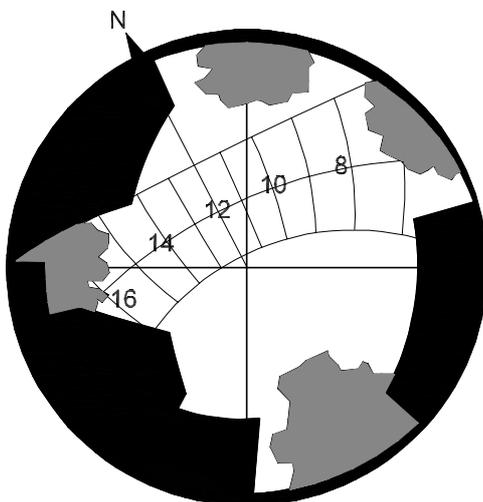
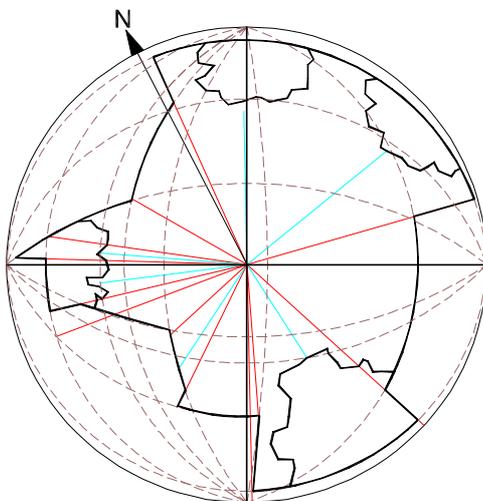
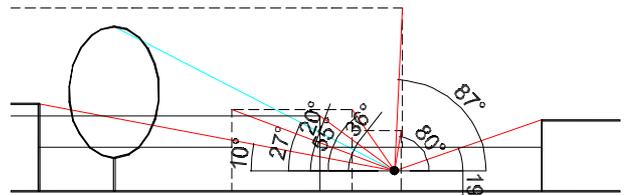
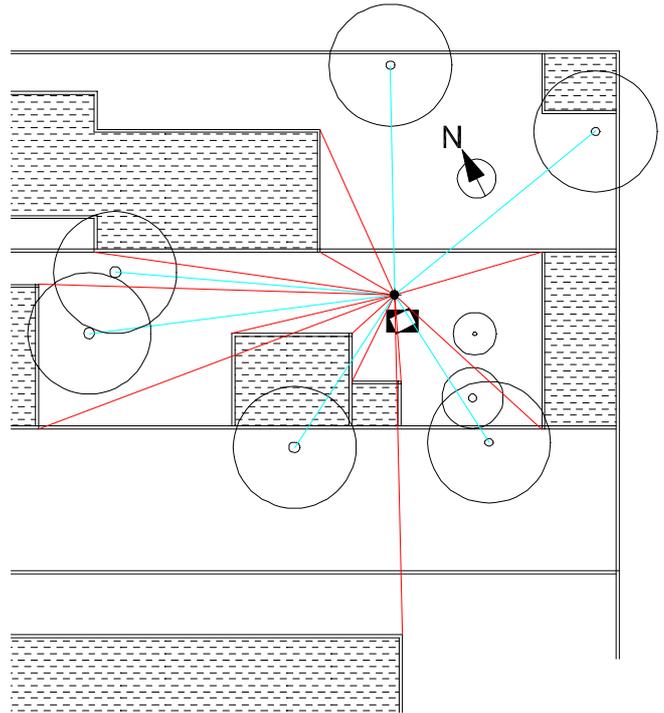
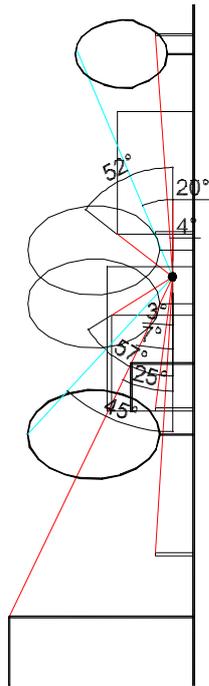
As curvas auxiliares mostram a luminosidade excessiva, ofuscante, nas manchas solares junto às zonas próximas às aberturas e em LUX.

DESCRIÇÃO DO LOCAL

As quatro maquetes foram localizadas em um pátio residencial em Porto Alegre, R.S. O local, conforme se percebe na figura 86, é rodeado de edificações e de vegetação. Apesar disso, foi possível a plena execução das atividades de medição.

Nas figuras 86 e 87, aparecem, respectivamente, uma planta baixa e duas elevações do local. Nelas, há uma série de linhas angulares relacionadas às obstruções existentes no local e ao ponto das medições de iluminância

Figura 86 (ao lado)
- planta baixa e
elevações do local
das medições.
Figura 87 (abaixo)
- imagens
estereográficas das
obstruções do céu
visível e as linhas
das trajetórias do
sol no local das
medições.



externa, sobre um plano horizontal, a aproximadamente 1.00m do solo local. As maquetes também foram montadas a essa altura e juntas deste ponto.

Estas medidas angulares são repassadas para as imagens estereográficas da figura 87. Na imagem de baixo, aparece a síntese final com as regiões do céu que são visíveis e as que são mascaradas pelas obstruções e as três linhas das trajetórias do sol para 30°S.

O efeito mascarante das obstruções resulta em 50% de céu visível, ou seja, um fator de céu visível de 0.5.

Apesar disso a radiação solar direta sobre as maquetes foi bastante intensa no período das medições por dois motivos:

- Utilizou-se um horário em torno das 12h, horário de grande intensidade de fluxo solar;
- essa região visível da abóboda celeste consegue garantir aproximadamente 80% da luminância total emitida caso não se tivesse elementos mascarantes nas imediações.

MÉTODO E INSTRUMENTOS USADOS PARA REALIZAR A MEDIÇÃO

Num segundo momento do trabalho de campo, foram feitas medições em quatro maquetes distintas com e sem estantes de luz e que representam espaços comuns aos programas arquitetônicos atuais: um salão de biblioteca, uma sala de aula, uma loja comercial e uma sala de escritório. Foi utilizado um luxímetro digital portátil de três escalas: 1x, 10x e 100x.

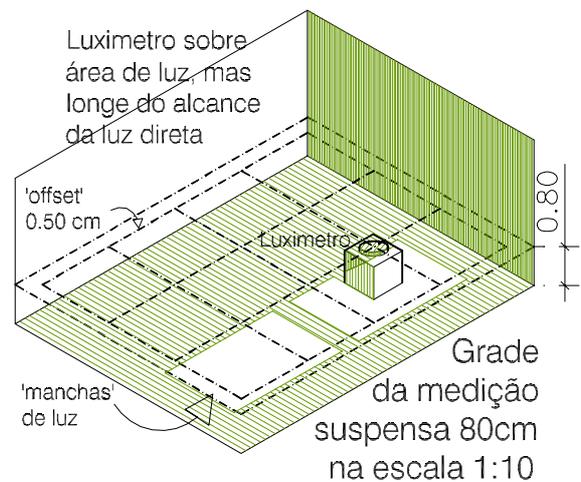


Figura 88 - esquema de medição utilizado nos ambientes das maquetes

As medições se repetiram para as duas situações de céu, tanto para céu claro como para céu encoberto, ou seja, foi feita a mesma série de medições para cada uma das condições de céu.

GRADE DA MEDIÇÃO: Conforme se observa no desenho da figura 88, a grade que orienta as medições está à altura de um plano de trabalho de aproximadamente 80cm e afastada das paredes em *offset* de 50cm (em função da largura do luxímetro).

DESLOCAMENTO DOS VALORES EXPRESSOS NA CURVA ISOLUX

Nesse estudo, as curvas isolux são resultado das intensidades luminosas medidas a 80cm do chão (figura 89).

A incidência da radiação solar no piso (76000 lux) está sempre mais recuada em relação à incidência no sensor óptico do luxímetro (78000 lux) por dois motivos. Primeiro, em função da altura do sol e da inclinação resultante do fluxo luminoso e, em segundo, pelo nível mais alto do sensor do luxímetro, que recebe antes do piso a incidência luminosa possuindo, dessa forma, maior iluminância. Percebe-se, assim, que, apesar de uma curva estar fora da

mancha de luz do piso, ela pode representar mais iluminância que uma curva sobre essa mancha de luz.

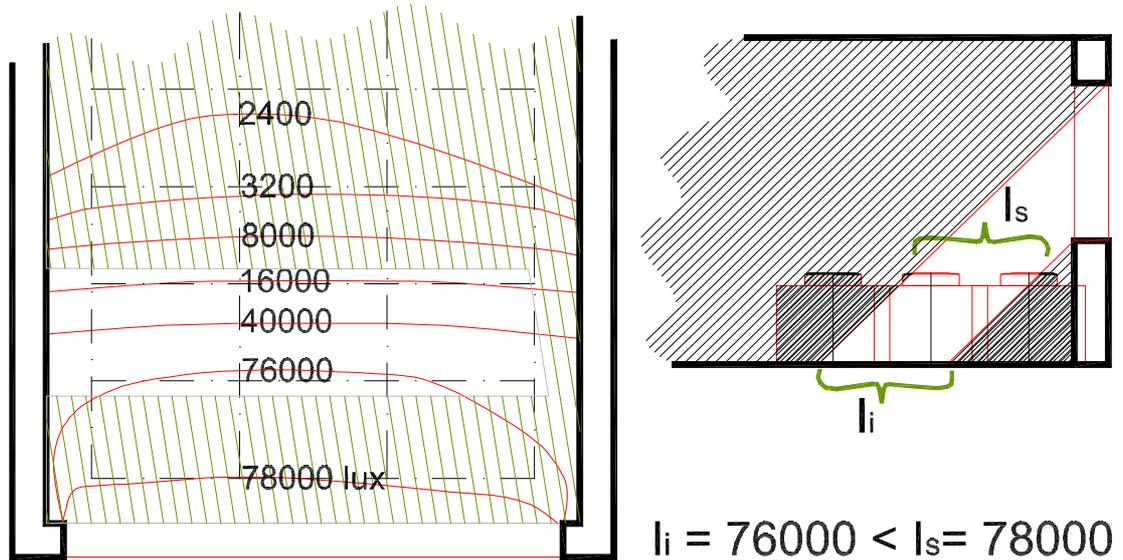


Figura 89 - deslocamento dos valores expressos nas curvas isolux das maquetes medidas.

Na tabela 11, aparece um apanhado dos CLDs básicos encontrados em cada maquete sem estantes de luz. Foram legendadas cores respectivas a CLDs padrões estabelecidos como forma de análise comparativa. Essas cores são transferidas para as curvas isolux dos gráficos em plantas e elevações.

Tabela 11 - CLDs básicos encontrados nos ambientes medidos das 4 maquetes

Céu	curvas isolux	1		2		3		4	
		Biblioteca		Sala de aula		Loja comercial		Sl. de escritório	
		cld	lux	cld	lux	cld	lux	cld	lux
☀️	20000			0.6	108				
		1.2	240	1.25	225	1.25	237	1.1	231
		2.4	480	2.5	450	2.5	475	2.2	462
		4.8	960	5	900	5	950	4.5	945
		9.6	1920	10	1800	10	1900	9	1890
☁️	75000			0.6	420	0.6	420		
		1.2	900	1.25	875	1.25	875		
		2.3	1725	2.5	1750	2.5	1750	2.2	1760
		4.6	3450	5	3500	5	3500	4.4	3520
		9.2	6900	10	7000	10	7000	8.8	7040

Pode, assim, ser constatado que as variações de CLD nas maquetes possuem um padrão organizado e que os dados coletados podem cumprir com a busca de resultados das iluminâncias próprias de cada maquete e das iluminâncias a partir das medições com a justaposição das estantes de luz.

As medições obedeceram a uma seqüência básica: primeiro se mediu a iluminância normal dos ambientes das maquetes, depois, foram colocadas as estantes de luz nas aberturas em posições, inclinações, quantidades e tamanhos diversos.

Com exceção da maquete da biblioteca, foi realizada uma medição nas outras três maquetes quanto a inclinações das estantes de luz, obedecendo uma variação angular de 15°. Estas medições geraram tabelas comparativas de iluminâncias na frente e no fundo dos ambientes conforme a inclinação a cada 15° e conforme ainda dois tamanhos de estantes de luz.

OBS.: foram feitas várias medições extras, como forma de aferir os resultados, em vista de modificações na luz do dia ao longo de uma jornada de medição e conseqüentes oscilações da iluminância interna.

REGISTRO FOTOGRÁFICO DA MEDIÇÃO

De forma a facilitar a compreensão dos fenômenos de iluminância relacionados às estantes de luz, como nas salas dos dois edifícios, as fotografias serviram para ilustrar os ambientes das maquetes. Contudo, as fotografias que não foram elementos determinantes das análises mais finas, contribuem para atestar as respostas encontradas a partir das análises.

A câmera fotográfica, uma Canon-EOS, modelo Rebel-XS, com lente EF35-80mm, f4.0-5.6 e diâmetro 52mm, foi o primeiro instrumento de medição das condições luminosas. Através da fotometria digital dela, pôde-se perceber preliminarmente as diferenças de iluminâncias entre, por exemplo, os dias encobertos e dias claros.

As fotografias tiradas nos locais e durante as medições estão dispostas ao longo do texto para ilustrar o trabalho realizado. As fotografias serviram também para, através da leitura do fotômetro da máquina fotográfica, se ter uma idéia prévia das iluminâncias dos ambientes ao se comparar as fotometrias externas e internas aos ambientes. Algumas imagens panorâmicas são montagens digitais. Todas as fotografias foram digitalizadas por um *scanner* Genius, modelo Colorpage Vivid Pro II.

RESULTADOS OBTIDOS

Maquete da biblioteca

Esse ambiente foi o maior e também o de mais complexidade. Assim como o da loja comercial, possui dois pavimentos sendo um em mezanino.

A maquete inicialmente foi montada com a superfície inferior (forro) do mezanino na mesma cor das chapas de papelão ondulado duplo. Num segundo momento, foi colado na superfície inferior um papel branco. Então, há duas medições para a parte térrea, tanto para céu claro como para céu

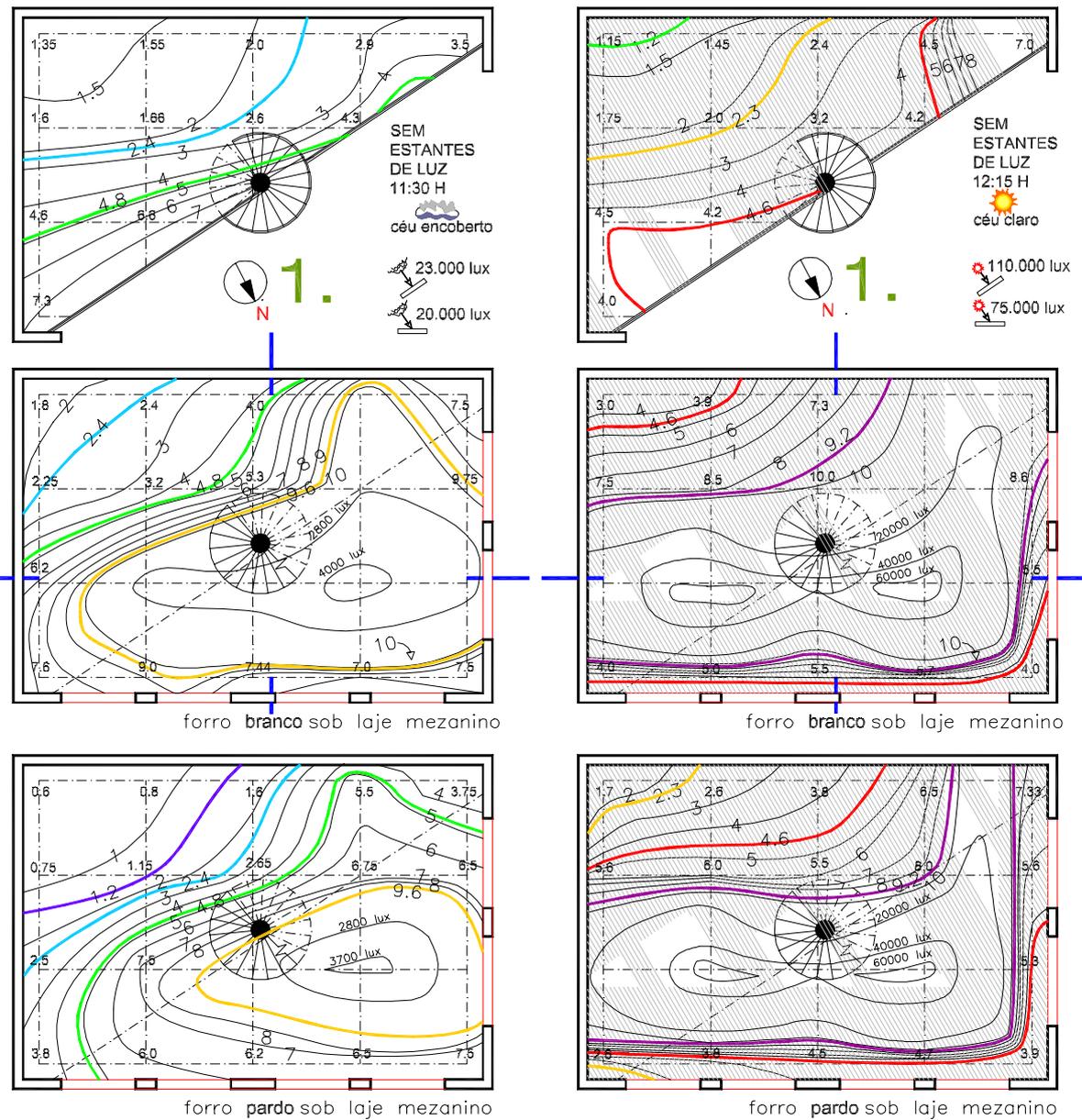
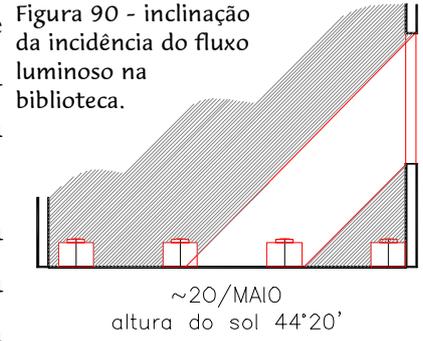


Figura 91 - plantas com curvas isolux da maquete da biblioteca.

encoberto, por causa dos dois tons do forro do mezanino (figura 91). O forro branco, em relação ao pardo, aumenta em aproximadamente duas vezes a iluminância em seu entorno imediato, interferindo inclusive em outros pontos.

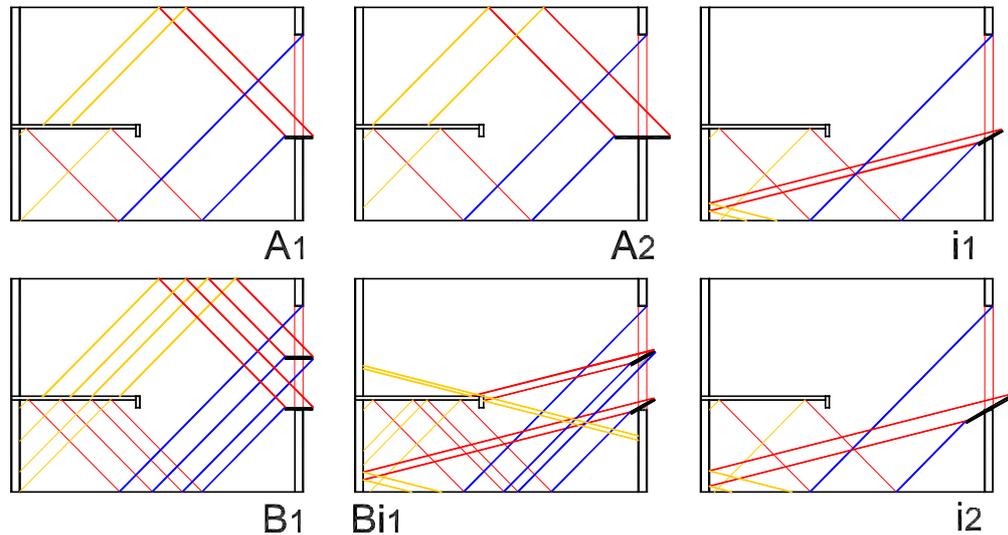


Figura 92 - incidências de luz e refletâncias desde as estantes de luz e a partir do fluxo solar direto na maquete da biblioteca.

AS ILUMINÂNCIAS

SEM ESTANTES DE LUZ

Analisando as curvas isolux da figura 91, verifica-se:

Para céu encoberto: Tem-se 20.000 lux na superfície horizontal externa e 23.000 lux no plano externo ortogonal ao sol, num horário em torno das 12h e com aferições externas situadas numa faixa entre 0.3m e 1.00m das duas fachadas da maquete com as aberturas orientadas em esquina para o norte.

- Mezanino: de uma maneira geral, no fundo do mezanino se registra um CLD de 1.35%, crescendo até 7.0%, na zona de suas beiras.
- No térreo: Com forro branco – o CLD começa no fundo em 1.8% e varia até mais à frente em 10%. No centro dessa zona observa-se uma iluminância de 4200 lux.

Com forro pardo – o CLD começa no fundo com pequenos 0.6% e varia, até mais à frente, em aproximadamente 7.5%. No centro dessa zona, observa-se uma iluminância de 3700 lux.

Para céu claro: 75.000 lux na superfície horizontal externa e 110.000 lux no plano externo ortogonal ao sol.

- Mezanino: O CLD começa no fundo com 1.2% e atinge-se em seus limites 4.6% e 8.0% perto das manchas de sol em junto às aberturas;

- No térreo: Com forro branco – um CLD de 3.0 % bem ao fundo e 10.0% ainda no meio sob o mezanino. Alcança uma iluminância de 20.000 lux sob a beira do mezanino e 60.000 lux na mancha solar no centro dessa zona.

Com forro pardo – 1.7% bem ao fundo e alcançando 10.0% sob a beira do mezanino e também 60.000 lux na mancha solar no centro dessa zona.

Como se vê, há alta iluminância fora da região do mezanino, no centro junto às aberturas. Na zona mais profunda do mezanino, começa-se com 270 lux em céu encoberto e com 900 lux em céu claro. Nota-se mais a diferença entre o forro branco e forro pardo em dias de céu encoberto: é que no fundo chega quase a triplicar a luminosidade com forro branco.

ANÁLISE DE CLD À PARTIR DAS ESTANDES DE LUZ

Nas figuras 93 e 94 de curvas isolux transversais, são apresentados os dados coletados a partir de diferentes posições das estantes em relação ao eixo das paredes e às inclinações. Considera-se aqui o forro do mezanino como branco.

Conforme se comprova nas curvas isolux da figura 93, para céu encoberto, a melhor situação de iluminâncias internas criadas a partir das estantes

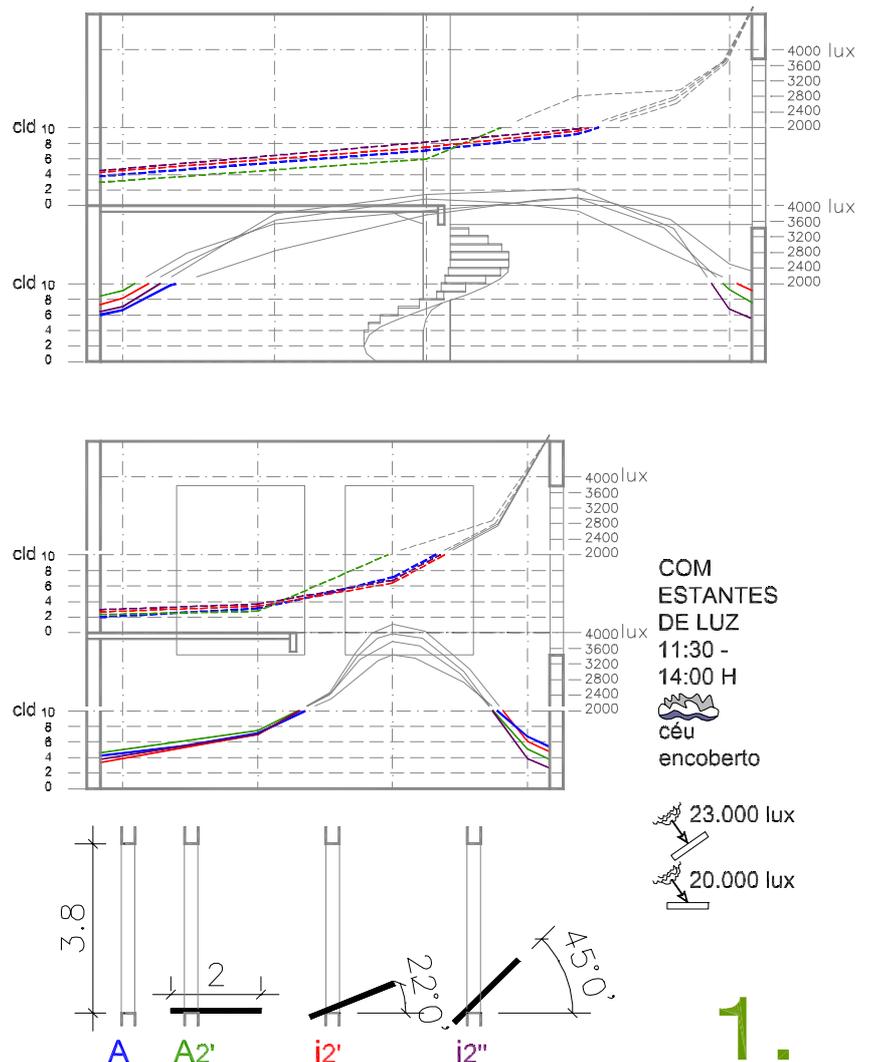


Figura 93 - curvas isolux transversais da biblioteca com estantes de luz inclinadas. Céu encoberto.

de luz, apesar de apresentarem-se mínimas diferenças entre os resultados nestas séries nas aberturas, encontra-se em **i2**", no mezanino, pois a estante com grande inclinação rebate melhor a luz do dia encoberto para o fundo do mezanino que está no mesmo nível e, no térreo, a situação fica melhor em **A2'**, onde se tem um ganho em função do jogo de refletâncias entre as superfícies horizontais da estante de luz e dos forros dos tetos. A pior situação percebe-se bem no mezanino em **A2'**, que pelo mesmo motivo acima, remete a radiação mais para a zona junto da beira do mezanino. No térreo fica difícil encontrar uma situação diferente.

Nas curvas da figura 94, para céu claro, a melhor situação de iluminâncias internas, criadas a partir das estantes de luz, encontra-se primeiro em **Bi1** e depois em **B1**. Em **Bi1**, tem-se, tanto para o térreo como para o mezanino, uma

redução da transmissão direta do fluxo de luz do dia através da disposição duplada e inclinada, enviando-se as refletâncias para o fundo tanto em baixo como acima no mezanino. E para as piores situações, tem-se duas opções: para o térreo as **i1** e **i2**, que, semelhante à situação sem estantes, permitem larga faixa de radiação solar direta e ainda contribuem com refletância desde as estantes de luz

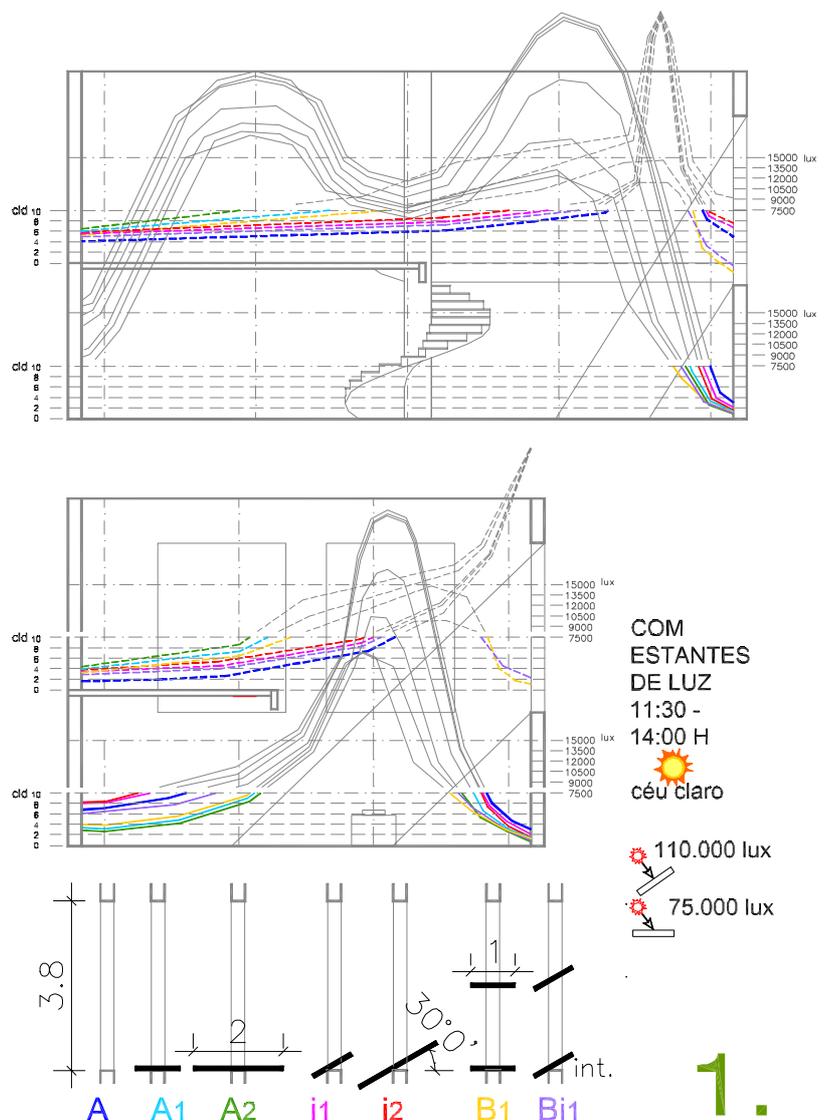


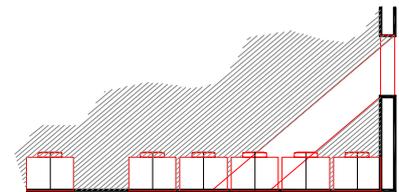
Figura 94 - curvas isolux transversais da biblioteca com estantes de luz inclinadas. Céu claro.

inclinadas para dentro. Para o mezanino fica-se com **A2** e **A1** que elevam a iluminância na extremidade do mezanino.

De uma maneira geral, fica claro que, para espaços grandes, com amplas aberturas, as estantes de luz escalonadas e com possibilidades de inclinarem-se conseguem um maior controle sobre as incidências diretas de radiação solar e um maior ganho de iluminâncias de fundo.

Maquete da sala de aula

A sala de aula possui uma fachada com aberturas amplas e com peitoril alto. Na figura 95, vê-se a incidência do fluxo solar direto sobre o luxímetro. O ângulo que o sol faz com as superfícies horizontais resulta em boa penetração da luz solar direta, a exemplo da biblioteca.



~05/JUNHO
alturo do sol 40°25'
Figura 95 - inclinação da incidência de fluxo luminoso na sala de aula.

Nas plantas com curvas isolux sem estantes de luz para céu encoberto e para céu claro (figura 96), pode-se ver o comportamento da mancha de luz no piso junto das aberturas.

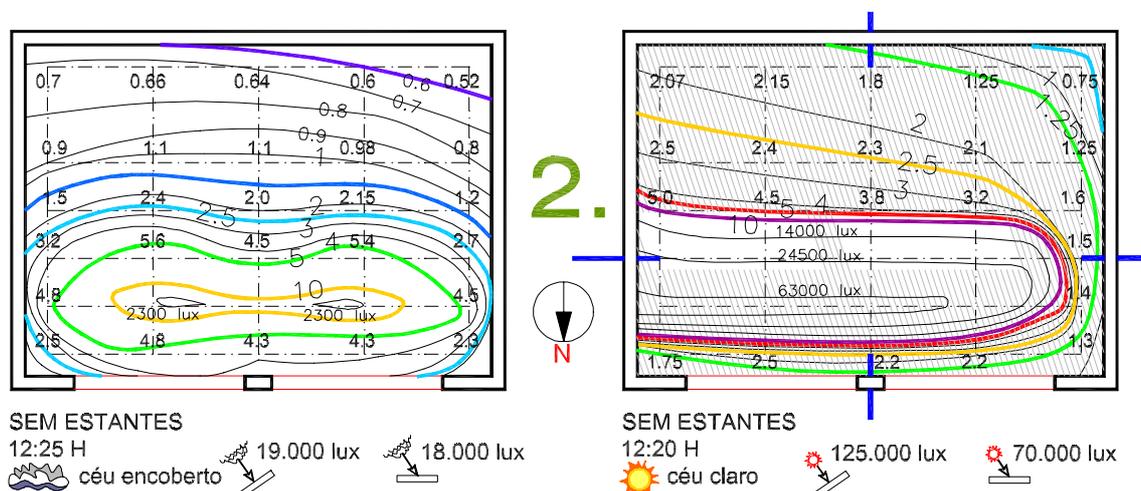


Figura 96 - plantas com curvas isolux da maquete da sala de aula.

AS ILUMINÂNCIAS SEM ESTANTES DE LUZ

Analisando as curvas isolux da figura 96 verifica-se:

Para céu encoberto: Tem-se 18.000 lux na superfície horizontal externa e 19.000 lux no plano externo ortogonal ao sol, num horário em torno das 12h e com aferições externas situadas numa faixa entre 0,3m e 1,00m das duas fachadas da maquete com as aberturas orientadas para o norte.

- No fundo da sala se registra um CLD baixo de 0.52%, crescendo até 10% em volta da mancha solar na primeira terça parte do ambiente junto à zona das aberturas. A mancha solar atinge 2300 lux.

Para céu claro: 70.000 lux na superfície horizontal externa e 125.000 lux no plano externo ortogonal ao sol.

- Começa-se no fundo com 0.75% e atinge-se as proximidades da zona da mancha solar com 10%. Dentro da mancha solar direta, junto às aberturas, registra-se uma luminosidade de 63.000 lux.

Esse modelo de sala de aula, em dias de céu encoberto, também carece de luz no fundo da sala, contudo, em dias de céu claro, consegue-se iluminância suficiente no fundo do ambiente.

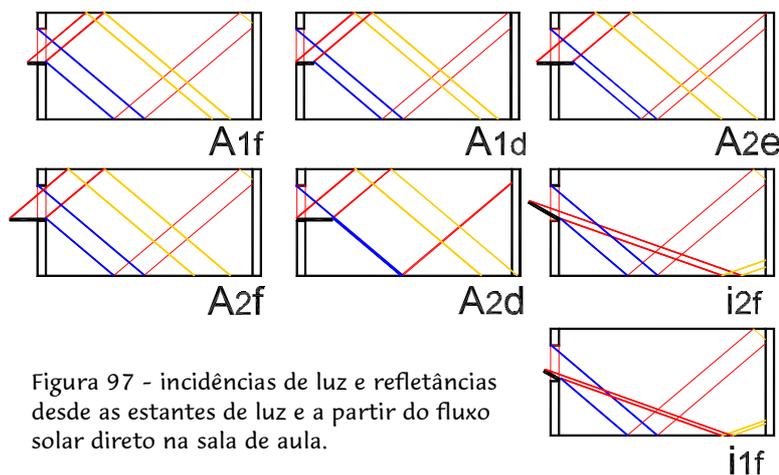


Figura 97 - incidências de luz e refletâncias desde as estantes de luz e a partir do fluxo solar direto na sala de aula.

ANÁLISE DE CLD A PARTIR DAS ESTANTES DE LUZ

Nas figuras 98 e 99, com curvas isolux transversais, são apresentados os dados coletados a partir de diferentes posições das estantes

em relação ao eixo das paredes e às suas inclinações para a sala de aula.

Conforme as elevações da figura 98, a melhor situação de iluminâncias internas, para céu encoberto, criadas a partir das estantes de luz para esse modelo de sala de aula, e aqui se apresentaram diferenças consideráveis entre as séries de medições, está em **A1d**, a exemplo de **A2e**, que minimiza mais a iluminância de frente e eleva um pouco a de fundo. A opção **A2d** (utilizada para céu claro) não foi utilizada nesta medição para céu encoberto, mas certamente seria melhor que **A1d**, visto que bloquearia mais a mancha solar de piso das imediações das aberturas e remeteria mais quantidade (duas vezes a luz refletida) até o fundo. Considera-se que a sala possui forro branco.

A pior situação está em **A2f**, seguida de **A1f**, que elevam de sobremaneira a iluminância na frente da sala, mas não acrescentam muito no fundo.

As opções **i2f** e **ilf** (utilizadas para céu claro) não foram realizadas para céu encoberto, pois bloqueiam muito a incidência luminosa externa.

Para céu claro, como evidente na figura 99, a melhor opção é **A2d**, que permite uma redução da iluminância na frente e um relativo ganho de intensidade luminosa nos fundos da sala, assim como, com menos preferência, **A1d** ou **A2e**, que, da mesma forma, porém com menos eficiência, reduzem através de um bloqueio, a forte radiação luminosa que entra no ambiente.

A pior opção é **ilf** e, depois, consecutivamente **i2f**, **A2f** e **A1f**. Tanto **ilf** como **i2f** são estantes inclinadas que permitem iluminância alta na primeira terça parte da sala junto às aberturas e que ainda a aumentam no meio da sala, mas não contribuem para um acréscimo significativo no fundo da sala. As outras duas opções também projetadas para fora, **A2f** e **A1f**, pelo menos, aumentam mais a iluminância de fundo.

Pode-se concluir, após a análise das medições da sala de aula, que as estantes projetadas para dentro são mais eficientes por introduzirem mais, no interior da sala, suas superfícies horizontais iluminadas.

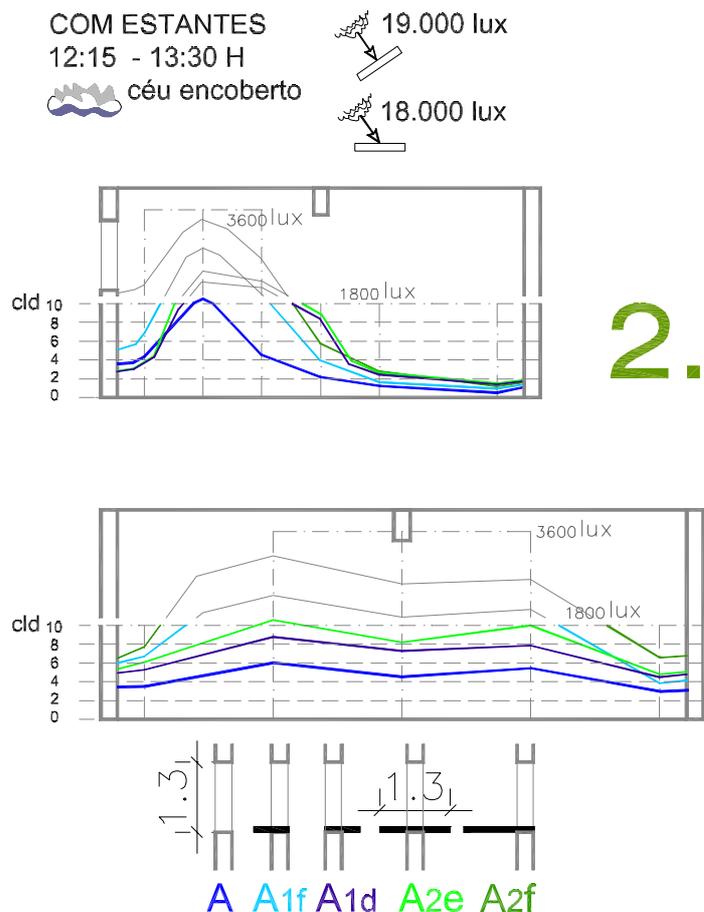


Figura 98 - curvas isolux transversais da sala de aula com estantes de luz inclinadas. Céu encoberto.

ANÁLISE DO CLD A PARTIR DAS INCLINAÇÕES DAS ESTANTES DE LUZ

Logo a seguir, aparecem as tabelas 12 e 13, geradas a partir da variação angular da rotação da estante a cada 15°, para cima e para baixo. Inclinação positiva é a inclinação externa da estante para cima em relação ao eixo da parede e ao exterior da maquete, as negativas são para baixo.

A tabela 12 é para céu claro e a 13, para céu encoberto. As medidas foram tomadas dualmente, no fundo e na frente da maquete. As estantes estão projetadas para fora. A iluminância natural foi praticamente constante para o céu claro, em torno de 70.000 lux e foi variável para o céu encoberto, entre 8.000 e 14.000 lux. Foram utilizados dois modelos de estantes: uma inteira com a mesma medida da altura da abertura, 1.3m, e a outra com a metade dessa medida, 0.65m, a qual foi inclinada 90° para que se diminuísse, assim, pela metade o vão da altura da abertura. O peitoril é de 2.00m.

Aumentos em relação à posição normal (0°) da estante de luz:

Com +15° : Céu claro: aumentos de iluminância apenas no fundo (FUN). Céu encoberto: aumentos na frente e no fundo (FRE e FUN).

Com -15° : Céu claro: apenas na frente e com meia estante. Céu encoberto: sem aumentos de iluminância.

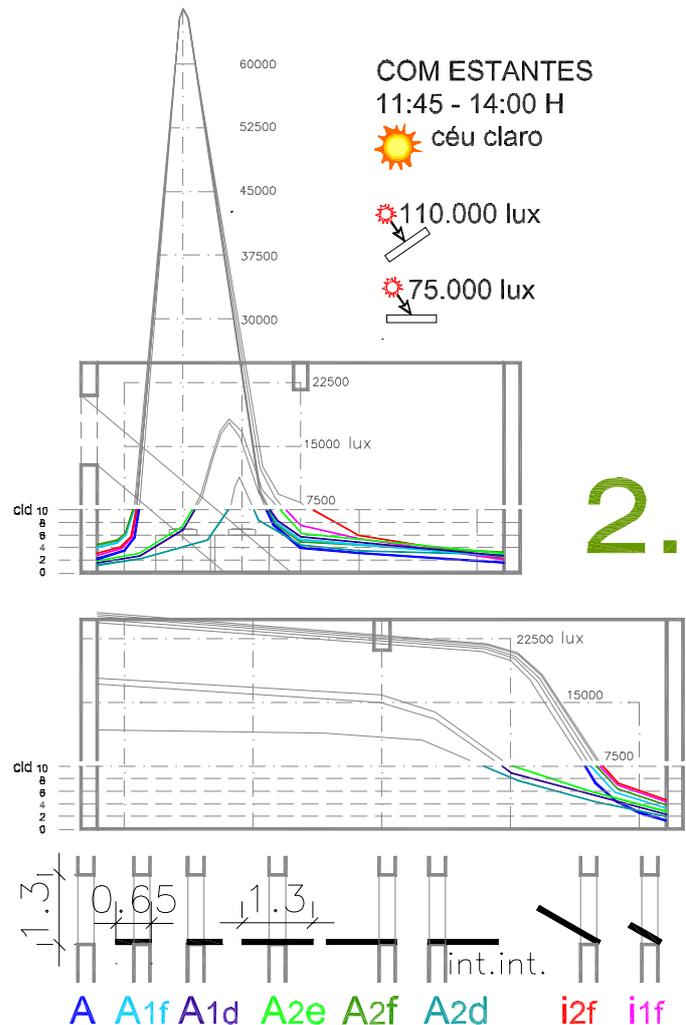
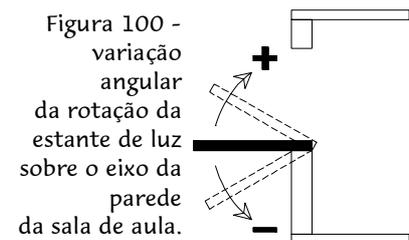


Figura 99 - curvas isolux transversais da sala de aula com estantes de luz inclinadas. Céu claro.



Inclinações nas estantes de luz na sala de aula e o CLD (CÉU CLARO)				
<i>i</i>	½ estante - 0.65m		estante inteira - 1.3m	
	70.000 lux (Ilum. externa).			
	FUN	FRE	FUN	FRE
90	0.74	0.7	-	-
60	-	-	1	1.34
45	1.59	1.92	1.27	1.85
30	2	2.6	2.17	2.79
15	2.2	3.5	2.46	4
0°	2.14	4.18	2.17	5.43
Sem	1.68	2.52	1.56	2.53
-15	2	4.4	2	5.36
-30	1.87	4.17	1.84	4.85
-45	1.84	3.68	1.62	3.57
-60	1.8	3.4	1.59	2.89
-75	1.7	2.7	1.56	2.6

Tabelas 12 e 13 - CLDs na sala de aula conforme inclinações da estante de luz a cada 15°.

Inclinações nas estantes de luz na sala de aula e o CLD (CÉU ENCOBERTO)				
<i>i</i>	½ estante - 0.65m		estante inteira - 1.3m	
	Ilumin. externa			
	13.000	14.000	8.000	
	FUN	FRE	FUN	FRE
90	0.25	0.6	-	-
60	0.26	2	0.75	2.5
45	0.37	4.2	1.15	5.2
30	0.48	5.6	1.26	7.7
15	0.62	6	1.12	8.5
0°	0.56	5.3	0.9	7.8
Sem	0.5	4.53	0.56	4.8
-15	0.54	4.9	0.75	7.2
-30	0.53	4.7	0.7	6.7
-45	0.52	4.65	0.65	6
-60	-	4.6	0.6	5.5
-75	-	-	-	5

A inclinação positiva até 15° da estante de luz aumenta a iluminância geral do ambiente com céu encoberto, mas com céu claro apenas no fundo (FUN).

Com a radiação solar direta de dias de céu claro, a estante de luz funciona como um espelho. A inclinação maior que 15° leva refletância para

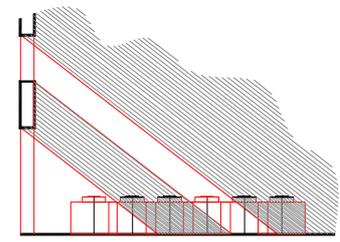
determinado ponto do meio para o fundo do ambiente, enquanto que na frente fica diminuída.

Fica diminuída também a iluminância global interna à medida que se acrescenta mais 15°, de forma que a estante de luz comece a obstruir a abertura para ambas as condições de céu.

Porém, comparando se à situação sem estantes de luz, de uma maneira geral, tanto a inclinação negativa como a positiva, até 45° ou 60°, representam um relativo aumento de iluminância no ambiente com *céu claro* e com *céu encoberto*.

Maquete da Loja comercial

A curva isolux se projeta bastante para dentro deste ambiente graças ao pequeno ângulo que o sol faz com as superfícies horizontais (figura 101). Nas curvas isolux, para céu encoberto e céu claro, percebe-se a incidência de luz no piso junto à abertura na frente da loja comercial (figura 102).



~14/30/JUNHO

Figura 101 - inclinação da incidência de fluxo luminoso na loja comercial.

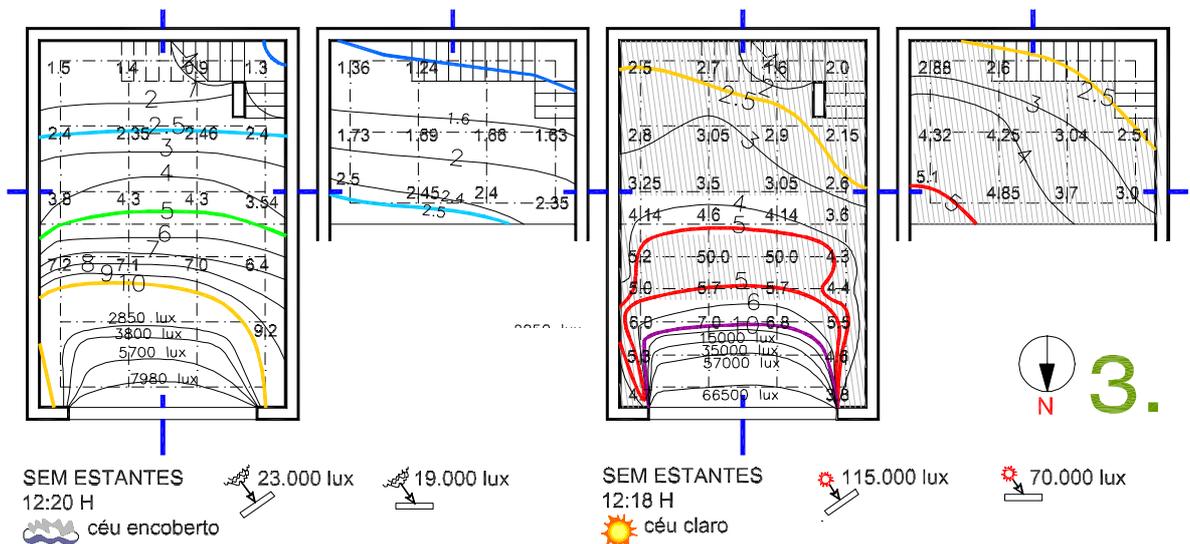


Figura 102 - plantas com curvas isolux da maquete da loja comercial.

AS ILUMINÂNCIAS SEM ESTANTES DE LUZ

Analisando as curvas isolux da figura 102, bem como a maneira como a luz solar direta atinge o luxímetro (figura 101), verifica-se:

Para céu encoberto: Tem-se 19.000 lux na superfície horizontal externa e 23.000 lux no plano externo ortogonal ao sol, num horário em torno das 12h e

com aferições situadas numa faixa entre 0.3m e 1.00m das duas fachadas da maquete com as aberturas orientadas para o norte.

- Mezanino: consegue-se, no fundo, um CLD de 1.24% crescendo até uns 2.5%;
- Térreo: no fundo embaixo da escada é mais escuro, 0.9%, do que no canto da escada no fundo, 1.3%, alcançando 10% em volta da mancha solar que alcança uma iluminância de 7980 lux próximo da abertura.

Para céu claro – 70.000 lux na superfície horizontal externa e 115.000 lux no plano externo ortogonal ao sol.

- Mezanino: começa-se no fundo com um CLD de 2.5% e atinge-se a marca de 5.0%;
- Térreo: embaixo da escada, 1.6%, no canto da escada, no fundo, exatos 2% e cresce até 5 % entre as duas manchas solares e 10% próximo da mancha solar maior e, sob a abertura, chega a uma iluminância de 66.500 lux.

Essa sala tem alta iluminância, a maior até aqui, na zona de suas aberturas, em vista de uma das aberturas, a maior, ser do tipo porta. As iluminâncias de fundo não são tão ruins, muito pelo contrário, mas é o excesso de ofuscamento que preocupa a quem utiliza esse tipo de espaço.

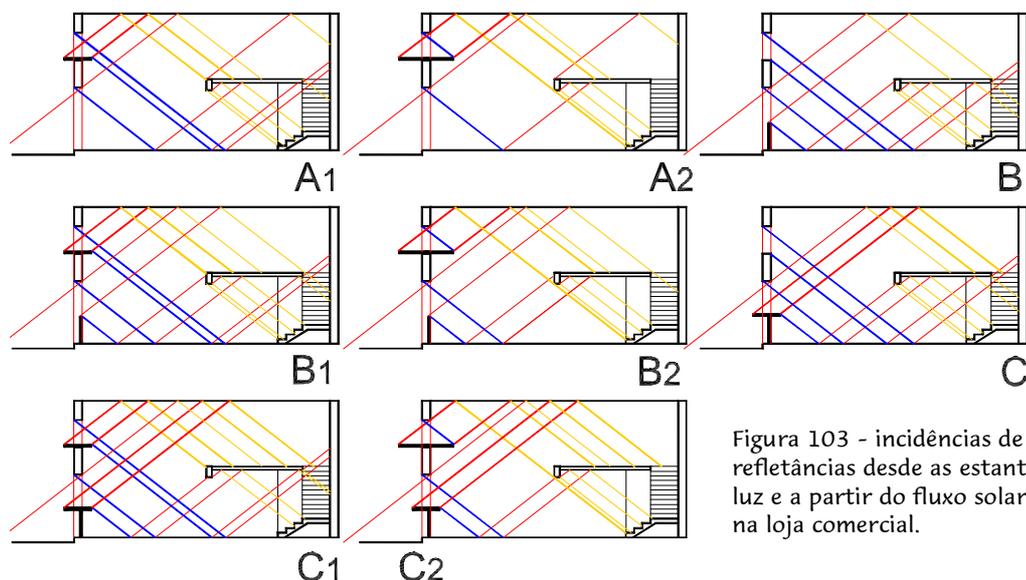


Figura 103 - incidências de luz e refletâncias desde as estantes de luz e a partir do fluxo solar direto na loja comercial.

ANÁLISE DO CLD A PARTIR DAS ESTANTES DE LUZ

Nas figuras 104 e 105, com elevações de curvas isolux transversais, são apresentados dados coletados a partir de diferentes posições das estantes em relação ao eixo das paredes e em relação às suas inclinações para esta loja

comercial, que possui um ambiente diferenciado das anteriores. Seu mezanino é regular e possui uma escada de fundo e as aberturas são dupladas; uma tipo porta e outra acima tipo clerestório.

Conforme as elevações da figura 104, a melhor situação de iluminâncias internas, para céu encoberto, criadas a partir estantes de luz para a loja comercial, encontra-se desde **C**, depois **C1** e **C2**, apesar de não se conseguir um bom ganho de fundo. Em **C** simplesmente consegue-se amenizar a luz de frente e mantém-se alta a luz no centro, o que não ocorre em **C1** e em

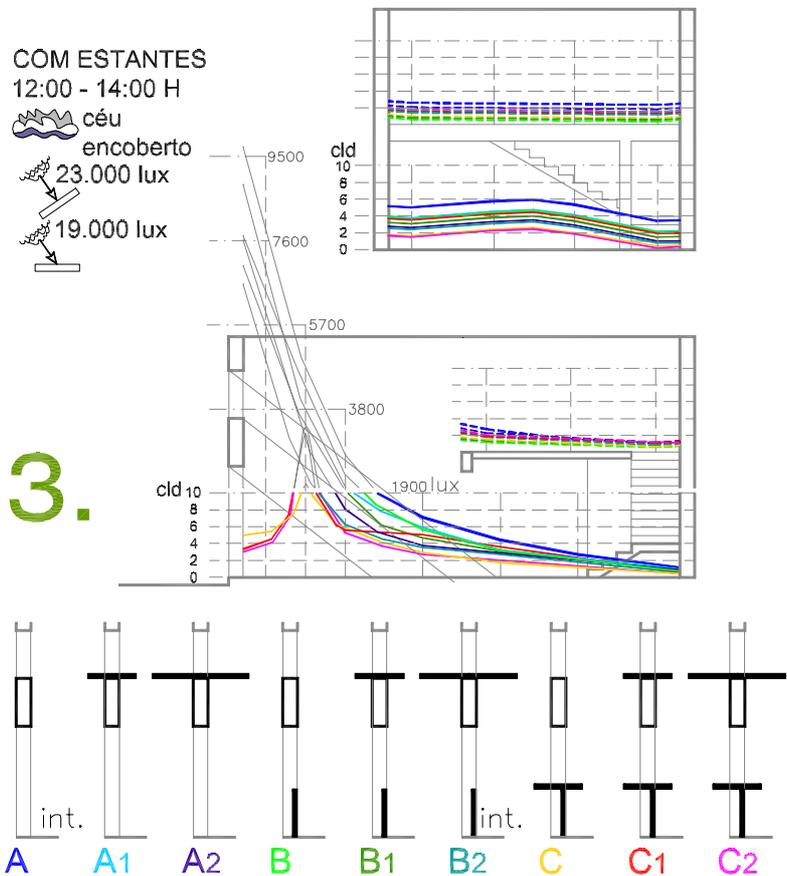


Figura 104 - curvas isolux transversais da loja comercial com estantes de luz inclinadas. Céu encoberto.

C2, que interrompem a luz de centro favorecida desde o clerestório. No mezanino, a situação inverte-se um pouco já que está mais perto do forro do teto e recebe mais refletâncias deste, ficando melhores então as situações **C1** e **C2**.

Situações piores para céu encoberto são as que não têm a proteção do peitoril na frente: **A1** e a **A2**, que permitem todo o ofuscamento para frente e interrompem o fluxo até o centro. No mezanino, as piores situações são **B** e **C**, que bloqueiam a luz ofuscante e não remetem até o forro a refletância desde o clerestório. O mezanino da loja comercial beneficia-se bastante do clerestório conjugado com a estante de luz. Isso se vê também em céu claro.

Para céu claro (figura 105), tem-se uma situação de fortes contrastes uma vez que um ofuscamento é criado junto à frente da loja. Porém, tem-se uma situação que ao menos diminui a grande iluminância dessa loja: é **C2**,

que diminui a iluminância do centro da loja desde o clerestório. Tem-se também duas situações semelhantes, mas que não bloqueiam a iluminância de frente, **B2** e **A2**, que também possuem a mesma estante. Note-se que mesmo em **C2**, a iluminância alcança altos níveis, mas diminui junto ao peitoril da abertura de baixo.

As piores situações para céu claro ficam em **B** e em

C, justamente por não possuírem estantes de luz e permitirem alto nível de iluminância. No mezanino, regra geral, há duas situações que ultrapassam as iluminâncias em **A – A2** e **A1** –por possuírem estantes de luz na abertura superior e não barrarem a abertura de baixo.

COM ESTANTES
12:30 - 13:50 H

☀️ céu claro

☀️ 115.000 lux

☀️ 70.000 lux



3.

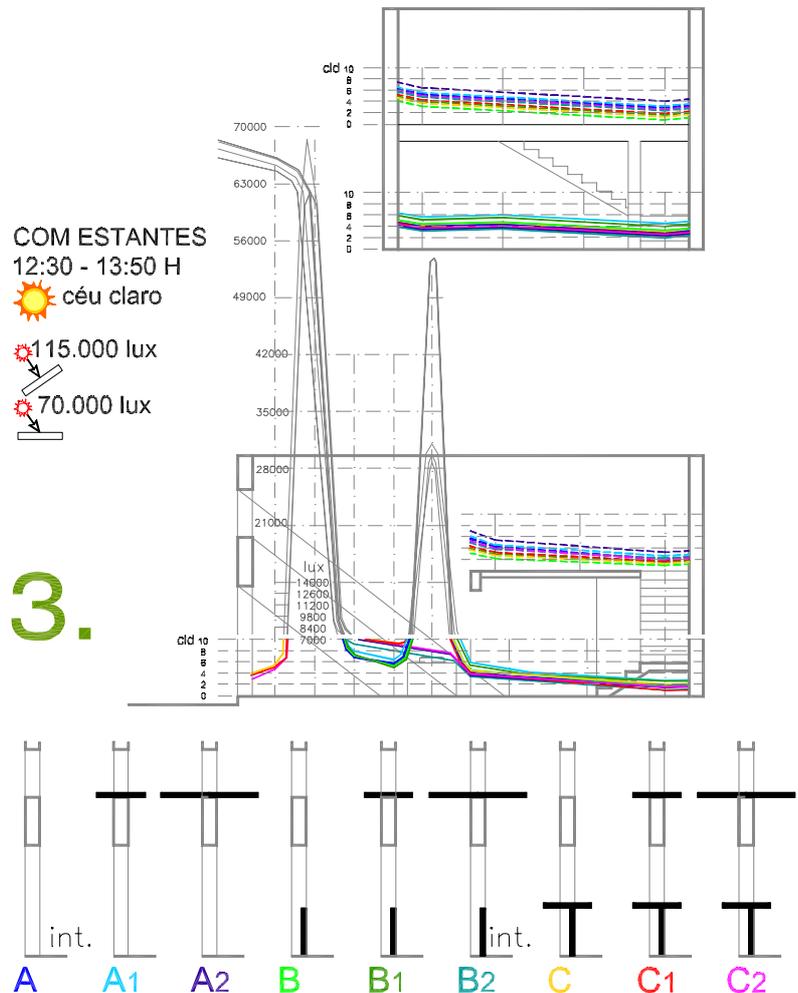


Figura 105 - curvas isolux transversais da loja comercial com estantes de luz inclinadas. Céu claro.

ANÁLISE DO CLD A PARTIR DAS INCLINAÇÕES DAS ESTANTES DE LUZ

Logo a seguir, aparecem as tabelas 14 e 15, geradas a partir da variação angular da rotação da estante a cada 15° , para cima e para baixo. Inclinação positiva é a inclinação externa da estante para cima em relação ao eixo da parede e ao exterior da maquete, as negativas são para baixo (figura 106). Aqui as tabelas são apenas para céu claro, porém em duas situações diferentes:

- com a abertura inferior normal e com 2.3m de altura e;
- com a abertura inferior com peitoril de 1.1m com vão de altura de 1.2m.

As medidas também foram tomadas dualmente, no fundo e na frente do ambiente da maquete, porém duplicada no fundo: em cima e embaixo já que existe um mezanino como segundo pavimento ali.

Aqui as estantes estão no eixo da alvenaria, diferentemente do caso da sala de aula, que estão projetadas para fora. A intensidade da luz do dia sofreu variações para estas condições de céu claro, numa faixa entre 48.000 e 75.000 lux.

Junto às duas situações de abertura inferior, foram utilizados, no clerestório, dois modelos de estantes: uma inteira com a mesma medida da altura da abertura superior, 1.00m, e outra com o dobro dessa medida, 2.00m.

Em relação à posição horizontal da estante, 0°, houve aumento de iluminância interna nas faixas dos +15° e +30°:

- Com abertura inferior normal – tipo porta: com os dois tamanhos de estantes de luz nos fundos em baixo (FUNbai);
E apenas na faixa dos +15°:
- Com abertura inferior normal – tipo porta: com a estante de 2.0 m nos fundos em cima (FUNci);
- Com a abertura inferior com peitoril – tipo janela: com os dois tamanhos de estantes nos fundos tanto em baixo como em cima (FUNci e FUNbai).

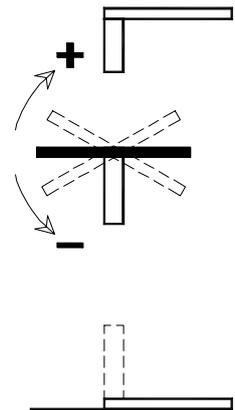


Figura 106 - variação angular da rotação da estante de luz na abertura superior e sobre o eixo da parede, e com duas situações de abertura inferior na loja comercial.

Inclinações nas estantes de luz na loja comercial e o CLD (CÉU CLARO) - <u>abertura - porta</u>						
<i>i</i>	Estante inteira - 1.0 m			Estante dupla - 2.0 m		
	Ilumin. externa					
	70000	50000	74500	75000	48000	
	FRE	FUNbai	FUNci	FRE	FUNbai	FUNci
60	3.7	1.28	2.96	-	-	-
45	3.84	1.47	3.06	-	-	-
30	4.35	1.65	3.58	4.29	1.8	3.7
15	5.21	1.6	3.7	5.06	1.58	4.6
0°	5.75	1.43	3.8	5.4	1.18	4
Sem	4.04	1.8	3.06	4	1.8	2.8
-15	5.64	1.37	3.52	4.89	1.05	3.1
-30	5.28	1.2	3.3	4.49	0.96	2.8
-45	4.57	1.1	3.18	-	-	-
-60	4.35	1	3.06	-	-	-

Tabelas 14 e 15 - CLDs na loja comercial conforme inclinações da estante de luz a cada 15° e com céu claro .

Inclinações nas estantes de luz na loja comercial e o CLD (CÉU CLARO) - <u>abertura - janela</u>						
<i>i</i>	Estante inteira - 1.0 m			Estante dupla - 2.0 m		
	Ilumin. externa					
	70000	75000	65000	56000	75000	
	FRE	FUNbai	FUNci	FRE	FUNbai	FUNci
60	3.3	1.15	0.8	-	0.61	0.61
45	3.4	1.32	0.92	-	1.42	0.76
30	3.9	1.56	1.26	3.5	1.88	1.14
15	4.7	1.5	1.55	4.1	1.2	2.2
0°	4.85	1.33	1.3	4.6	0.9	1.72
Sem	3.7	1.75	1	3.7	1.7	1.05
-15	4.7	1.17	1.1	4.4	0.78	1.18
-30	4.25	1.09	0.95	4.1	0.74	0.85
-45	3.7	0.84	0.87	3.8	0.62	0.76
-60	3.2	0.76	0.82	-	0.56	0.6

Não houve aumentos de iluminância interna na frente (FRE) em nenhuma das possibilidades tanto para abertura normal como para abertura com peitoril. Isto se deve à mesma razão da sala de aula em dia de céu claro, pois a superfície da estante de luz reflete direcionalmente a luz para uma determinada zona do ambiente que não as proximidades da abertura.

De maneira geral, houve aumento de iluminância em relação à situação sem estante para as inclinações tanto para mais como para menos até 30° na frente (FRE) e nos fundos em cima do mezanino (FUNci). No fundo, embaixo do mezanino (FUNbai), houve redução.

Maquete da Sala de escritório

Nas curvas isolux para céu encoberto e céu claro percebe-se que este tipo de sala possui uma distribuição de iluminâncias altas na frente apesar da baixa altura do sol.

AS ILUMINÂNCIAS SEM ESTANTES DE LUZ

Analisando as curvas isolux da figura 108, bem como a maneira como a luz solar direta atinge o luxímetro (figura 107), verifica-se:

Para céu encoberto: tem-se 21.000 lux na superfície horizontal externa e 22.000 lux no plano externo ortogonal ao sol, num horário em torno das 12h e



~15/21/JULHO
altura do sol 44°20'

Figura 107 - inclinação da incidência de fluxo luminoso na sala de escritório.

com aferições externas situadas numa faixa entre 0.3m e 1.00m das duas fachadas da maquete com as aberturas orientadas para o norte.

- Consegue-se, no fundo, um CLD de 0.7% e 10% próximo à mancha solar na quarta parte do ambiente junto à abertura que alcança iluminância de 6300 lux;

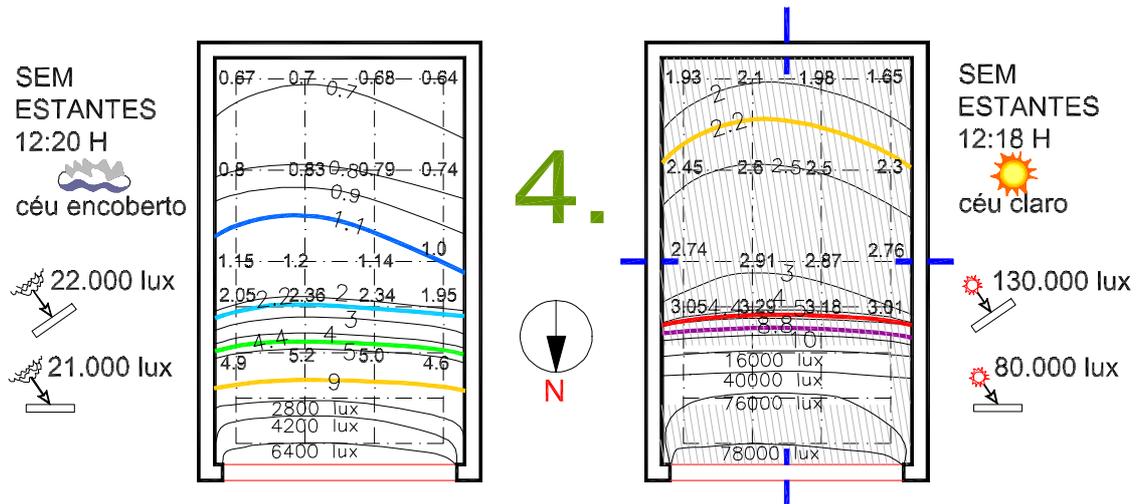


Figura 108 - plantas com curvas isolux da maquete da sala de escritório.

Para céu claro: 80.000 lux na superfície horizontal externa e 130.000 lux no plano externo ortogonal ao sol.

- No fundo, um CLD de 2%, 10% na primeira terça parte do ambiente e próximo à abertura uma iluminância de 78000 lux na mancha solar.

Essa sala tem alta iluminância, a exemplo da loja comercial, em vista da abertura em sua fachada. As iluminâncias de fundo são boas apesar de, em dias de céu encoberto, a iluminância de fundo ser, via de regra, baixa.

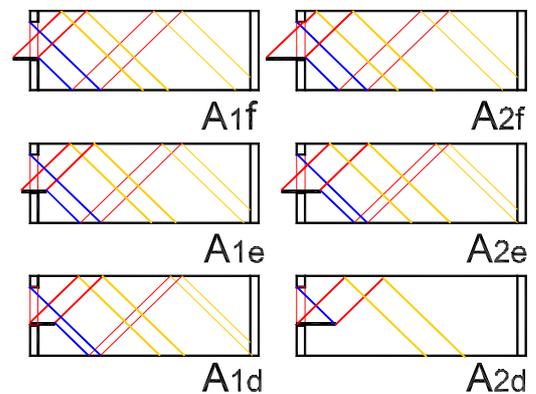


Figura 109 - incidências de luz e refletâncias desde as estantes de luz e a partir do fluxo solar direto na sala de escritório.

ANÁLISE DO CLD A PARTIR DAS ESTANTES DE LUZ

Nas figuras 110 e 111 com curvas isolux transversais, são apresentados os dados coletados a partir de diferentes posições das estantes em relação ao eixo das paredes e em relação às suas inclinações para esta sala de escritório. Conforme a figura 110, a melhor situação de iluminâncias internas, para céu encoberto, criadas a partir da série de induções de estantes para esse modelo

da sala de escritórios, encontra-se nas opções **A2d** e **A2e** que, por estarem mais para dentro e diminuir a iluminância de frente através de um bloqueio,

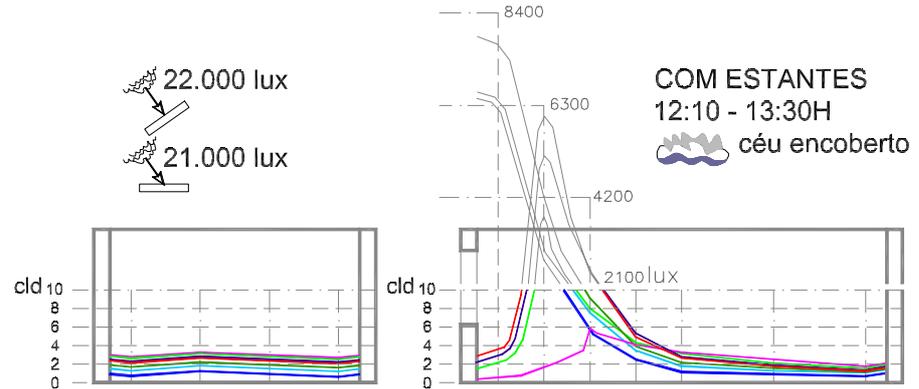
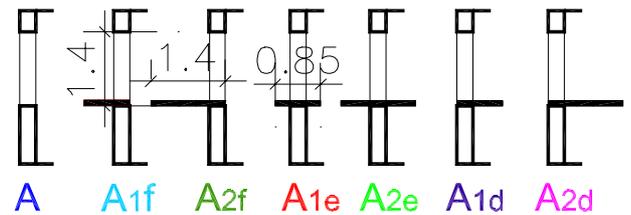


Figura 110 - curvas isolux transversais da sl.de escrit. com estantes de luz inclinadas. Céu encoberto.

4.



levam, através de refletância, mais iluminância para o fundo. As piores opções estão em **A1f** e **A2f**, que permitem a penetração de fluxo luminoso e também contribuem com a refletância desde a superfície horizontal da estante.

Para céu claro esta sala que possui uma forma simples, consegue ser bem iluminada, porém com ofuscamentos na frente. Tem-se a mesmas opções acima, porém com duas diferenças em função do fluxo luminoso não ser difuso e, sim, direto e mais intenso: em **A2e**, semelhante a **A1e** e **A1d**, tem-se um nível de iluminância mais intenso em relação a **A2d**.

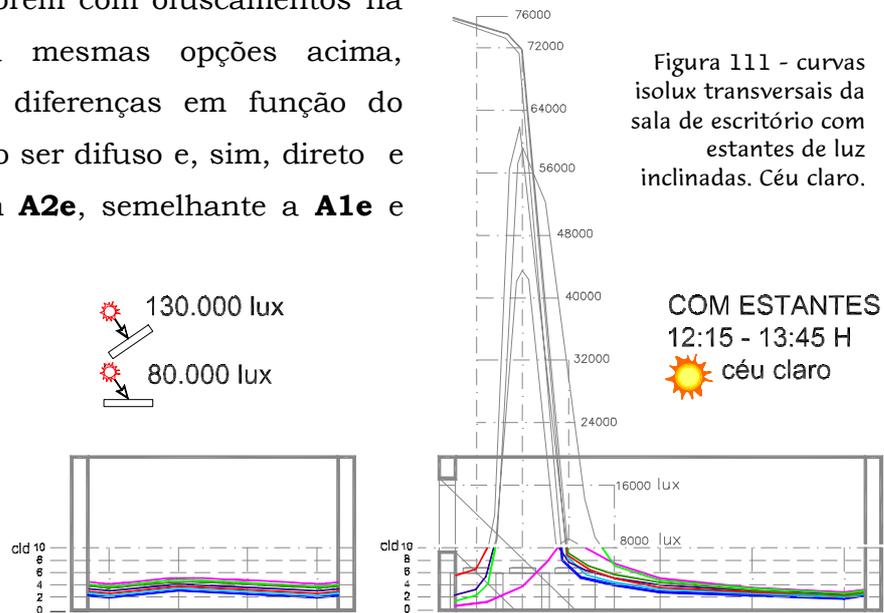
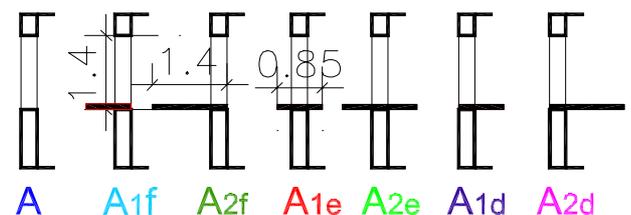


Figura 111 - curvas isolux transversais da sala de escritório com estantes de luz inclinadas. Céu claro.

4.



Analisando-se a figura 111 para céu claro, percebe-se como os níveis de iluminância da incidência direta induzem os resultados das medições à criação de níveis altos de iluminância junto às

aberturas. A sala de escritório, assim como a sala de aula, possui aberturas simples e, assim, permite que se controle melhor as iluminâncias com estantes de luz e balcões.

ANÁLISE DO CLD A PARTIR DA INCLINAÇÃO DAS ESTANTES DE LUZ

Aqui na sala de escritórios aparecem tabelas geradas através da variação angular da rotação da estante a cada 15°, para cima e para baixo. Inclinação positiva é a inclinação externa da estante para cima, as negativas são para baixo. As estantes estão projetadas para fora.

São quatro tabelas, duas para abertura normal, a 16 e a 17, e duas para abertura menor, a 18 e a 19, nas seguintes situações:

- abertura normal: abertura de 1.4m de altura e peitoril de 1.1m e estantes no eixo da alvenaria, para céu claro e céu encoberto;
- abertura menor: abertura reduzida com vão de altura de 0.55m e com peitoril de 1.95m e com estantes projetadas para fora, para céu claro e céu encoberto.

As medições, diferentemente das tabelas anteriores, foram tomadas em três posições: na frente, no meio e no fundo do ambiente da maquete.

A intensidade de luz do dia variou em uma banda mais alta para as condições de céu claro, entre 87.000 e 95.000 lux, e também para céu encoberto, entre 9.500 e 25.000 lux. Para ambas as situações de abertura, foram utilizados dois modelos de estantes: uma normal com a mesma medida da altura da abertura, 1.4m, e a outra, menor, com 0.85m.

MEDIÇÕES COM ABERTURA NORMAL (tabelas 16 e 17)

Em relação à posição normal da estante de luz (0°) e igualmente às outras maquetes houve aumentos de iluminâncias com a inclinação de +15° no meio (MEI) e no fundo (FUN).

Em relação à situação sem estante de luz, houve aumentos de iluminância interna com sua inclinação e quanto ao seu tamanho:

- Estante menor: *com céu claro*: na frente, com - ou + 30°, no meio e no fundo, apenas com + 30°; *com céu encoberto*: na frente, com + ou

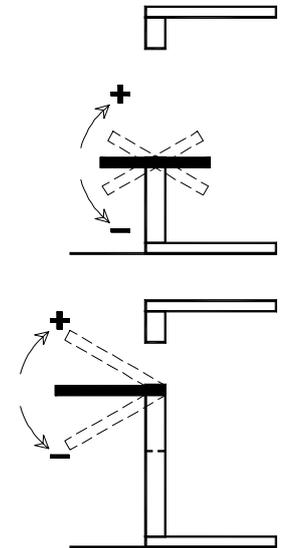


Figura 112 - variação angular da rotação da estante de luz sobre o eixo da parede e projetada para fora. Duas alturas de aberturas na sala de escritório.

- 60°, no meio entre -15° e +30°, no fundo, apenas entre +15° e +45°;

- Estante normal: *com céu claro*: na frente, entre -45° e +30°, no meio, entre - ou + 30° e, no fundo, apenas com + 30°; *com céu encoberto*: na frente, entre +15° e +45°, no meio, entre -30° e +45°, no fundo, apenas entre +15° e +45°.

Inclinações nas estantes de luz na sala de escritório e o CLD (CÉU CLARO) - <u>abertura normal</u>						
<i>i</i>	Estante menor- 0.85 m			Estante normal - 1.4 m		
	Ilumin. externa					
	88000			87000		88000
	FRE	MEI	FUN	FRE	MEI	FUN
60	3.1	1.69	1.3	3	1.66	-
45	4.26	2.1	1.7	3.67	2.18	1.55
30	4.88	2.95	2.1	7.1	3.7	2.27
15	6.59	3.3	2.46	8.6	4.39	2.95
0°	7.16	3.2	2.1	9.5	4.3	2.55
Sem	5.05	2.63	1.98	5.1	2.66	1.98
-15	6.47	2.55	1.59	8.6	3.16	1.87
-30	6	1.98	1.4	7	2.49	1.29
-45	4.8	1.59	1.3	5.4	1.78	1.19
-60	4.1	1.4	1.19	3.5	1.3	-

Tabelas 16 e 17 - CLDs na sala de escritório conforme inclinações da estante de luz a cada 15° com abertura normal.

Inclinações nas estantes de luz na sl. de escrit. e o CLD (CÉU ENCOBERTO) - <u>abertura normal</u>						
<i>i</i>	Estante menor - 0.85 m			Estante normal - 1.4 m		
	Ilumin. externa					
	15000	12500		12000	10500	10000
	FRE	MEI	FUN	FRE	MEI	FUN
60	6.8	0.97	0.64	5.2	1	0.55
45	7.3	1.3	0.8	6	1.38	0.8
30	8	1.6	0.9	6.4	1.8	1
15	8.3	1.7	0.96	6.6	2.19	1.18
0°	8.5	1.6	0.85	7	2.09	0.96
Sem	6.2	1.1	0.68	6	1.2	0.7
-15	8	1.2	0.6	5.7	1.5	0.6
-30	7.3	0.88	0.49	4.67	1.1	0.5
-45	6.6	0.68	0.44	3.6	0.95	0.4
-60	6.4	0.64	0.35	2.85	0.7	0.35

MEDIÇÕES COM ABERTURA MENOR (tabelas 18 e 19)

Já aqui, com abertura menor e em relação à posição normal da estante de luz (0°), houve aumentos de iluminâncias com a inclinação de +15° no meio

(MEI) e no fundo (FUN) *com céu claro* e em toda a extensão do ambiente *com céu encoberto*.

Em relação à situação sem estante de luz, houve, aumentos de iluminância interna com sua inclinação e quanto ao seu tamanho:

- Estante menor: *com céu claro*: na frente, entre -60° e $+45^\circ$, no meio e no fundo, entre -60° e $+45^\circ$; *com céu encoberto*: na frente, entre -60° e $+30^\circ$, no meio e no fundo, entre -60° e $+60^\circ$;
- Estante normal: *com céu claro*: na frente, entre -60° e $+45^\circ$, no meio e no fundo, entre -60° e $+30^\circ$; *com céu encoberto*: na frente, entre $+60^\circ$ e $+60^\circ$, no meio e no fundo, entre -60° e $+60^\circ$.

Inclinações nas estantes de luz na sala de escritório e o CLD (CÉU CLARO) - <i>abertura menor</i>						
<i>i</i>	Estante menor- 0.85 m			Estante normal - 1.4 m		
	Ilumin. externa					
	95000			89000		85000
	FRE	MEI	FUN	FRE	MEI	FUN
60	1.68	0.8	0.6	1.46	0.5	0.4
45	2.2	1.15	0.9	2.2	1.1	0.8
30	2.8	1.68	1.3	3	2.07	1.29
15	3.3	1.86	1.45	4.15	2.2	1.88
0°	3.55	1.68	1.05	4.37	2.07	1.35
Sem	2.08	1	0.77	2.07	1.1	0.8
-15	3.26	1.36	0.9	3.25	1.68	1
-30	2.7	1.27	0.88	2.9	1.4	0.95
-45	2.3	1.2	0.85	2.58	1.22	0.9
-60	2.1	1.1	0.82	2.2	1.16	0.89

Tabelas 18 e 19 - CLDs na sala de escritório conforme inclinações da estante de luz a cada 15° com abertura inferior menor .

Inclinações nas estantes de luz na sl. de escrit. e o CLD (CÉU ENCOBERTO) - <i>abertura menor</i>						
<i>i</i>	Estante menor - 0.85 m			Estante normal - 1.4 m		
	Ilumin. externa					
	25000	24000	20000	10800	10100	9500
	FRE	MEI	FUN	FRE	MEI	FUN
60	-	-	0.4	3.7	1.28	0.47
45	-	1.37	0.55	4.4	1.7	0.78
30	5.4	1.2	0.65	4.7	1.88	1
15	5.7	1.3	0.7	5	1.78	0.88
0°	5.6	1	0.47	3.7	1.28	0.5
Sem	4.6	0.75	0.25	2.07	0.49	0.24
-15	5.3	0.9	0.38	3.6	0.99	0.47
-30	5.1	0.85	0.32	3.4	0.7	0.36
-45	4.85	0.8	0.30	3.1	0.6	0.3
-60	4.7	0.76	0.27	2.5	0.53	0.28

De uma maneira geral, beneficiam-se mais da inclinação das estantes as regiões entre o meio (MEI) e o fundo (FUN) dos ambientes já que se verifica aí distribuições de iluminâncias aumentadas, pois na frente, por ser naturalmente bem iluminada, não mostra estas variações consideráveis.

Deduz-se também que, em dias de céu encoberto, ocorre maior distribuição de iluminância ao longo do ambiente, ao contrário da situação com céu claro, que proporciona refletâncias localizadas, e mais previsíveis, que iluminam mais determinada parte do ambiente. E com uma abertura com menor altura de vão, por proporcionar pequena iluminância, quando nela inserida estantes de luz inclináveis até +15°, ocorrem também distribuições de iluminâncias aumentadas ao longo da extensão do ambiente.

As medições e as tabelas mostram as estantes de luz e sua relação com:

- *o tamanho da abertura*: quanto maior o tamanho da estante de luz em relação à abertura, maiores são as chances de refletâncias com inclinações negativas e maiores as possibilidades de ofuscamento em dias de céu claro na frente do ambiente, e, por outro lado, pode-se melhorar a iluminância de fundo pois quanto menor o tamanho da estante de luz em relação ao tamanho da abertura menos se consegue levar refletâncias até o fundo do ambiente.
- *o eixo da parede*: a estante mais para dentro do ambiente é menos iluminada pela radiação direta, mas leva maior iluminância para o meio do ambiente. A posição mais para fora, de outra forma, permite maior refletância independente da profundidade do ambiente. Estantes pequenas são menos suscetíveis do que as maiores quanto ao posicionamento com o eixo da parede.
- *as condições de céu*: quanto maior o tamanho da estante maior as chances de melhores distribuições em dia de céu encoberto e mais ofuscamentos em dias de céu claro.
- *sua inclinação*: partindo da posição normal (0°) e com inclinações positivas até 15°, aumenta-se a iluminância interna geral do ambiente. A partir daí, à medida que se inclina mais a estante tanto positiva como negativamente, inicia-se a obstrução progressiva da luz do dia, aumenta-se o efeito co-seno na superfície da estante de luz e, conseqüentemente diminui-se sucessivamente a iluminância do ambiente.

3.2.3. Método para o dimensionamento das estantes de luz

Este método, integralmente proposto nesta dissertação, baseia-se em três variáveis:

- as diagonais desde os quatro cantos do ambiente em corte;
- a incidência dum fluxo solar, de 60° , sobre a estante de luz, na fachada norte e sua refletância até o forro do teto;
- uma altura de 1.00m para a estante de luz.

OBS.: a altura do sol de 60° foi adotada, por representar, aproximadamente, as alturas máximas dos equinócios do outono e da primavera, para 30° S, ou seja, por se aproximar das alturas máximas destas duas estações do ano.

Em estudos anteriores, como nos de MOORE (1985), define-se o plano horizontal de referência, a superfície de trabalho, como tendo aproximadamente entre 0.7m e 0.8m de altura. Neste caso, apresenta-se o plano horizontal da prateleira a 1.0m de altura por três motivos:

- uma estante de luz não é um plano de trabalho;
- quase sempre ela está a uma altura superior às mesas de trabalho;
- para fins de coordenação modular, a medida de 1.0m facilita a abordagem relacionada com as proporções dos ambientes.

A largura

Um modelo com 3.00m de altura foi escolhido para abordar este método.

As diagonais nas elevações do espaço orientam um fator para a largura média da estante de luz em função de um parâmetro de altura de 1.00m. Para alturas de 2.00m, como na elevação da esquerda da figura 113, não se encontram valores dimensionais com 1.00m de altura entre as duas diagonais.

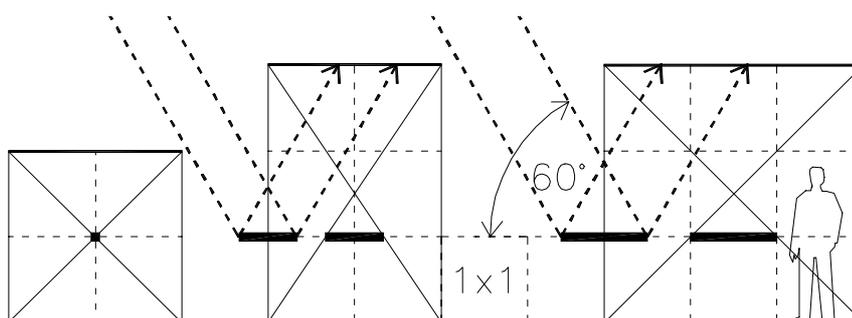


Figura 113 - modelos espaciais mínimos para o método de definição de estantes de luz
Fonte: ilustração do mestrando.

As diagonais determinam com que largura ficará a estante de luz. Elas servem como guias para as novas dimensões da estante quando o ambiente é ampliado de metro em metro.

A estante alarga-se conforme o traço em negrito abaixo do triângulo na interseção das diagonais e à altura de 1.00m.

Esse procedimento independe da altura do ambiente, pois sempre é possível aumentar o número de estantes à medida que se aumenta a altura e conforme cada situação particular.

A figura 114 informa como acontece o alargamento da estante de luz ao haver uma progressão fixa em exclusiva relação com o aumento da profundidade do ambiente. A estante ganhará mais largura com o aumento da profundidade.

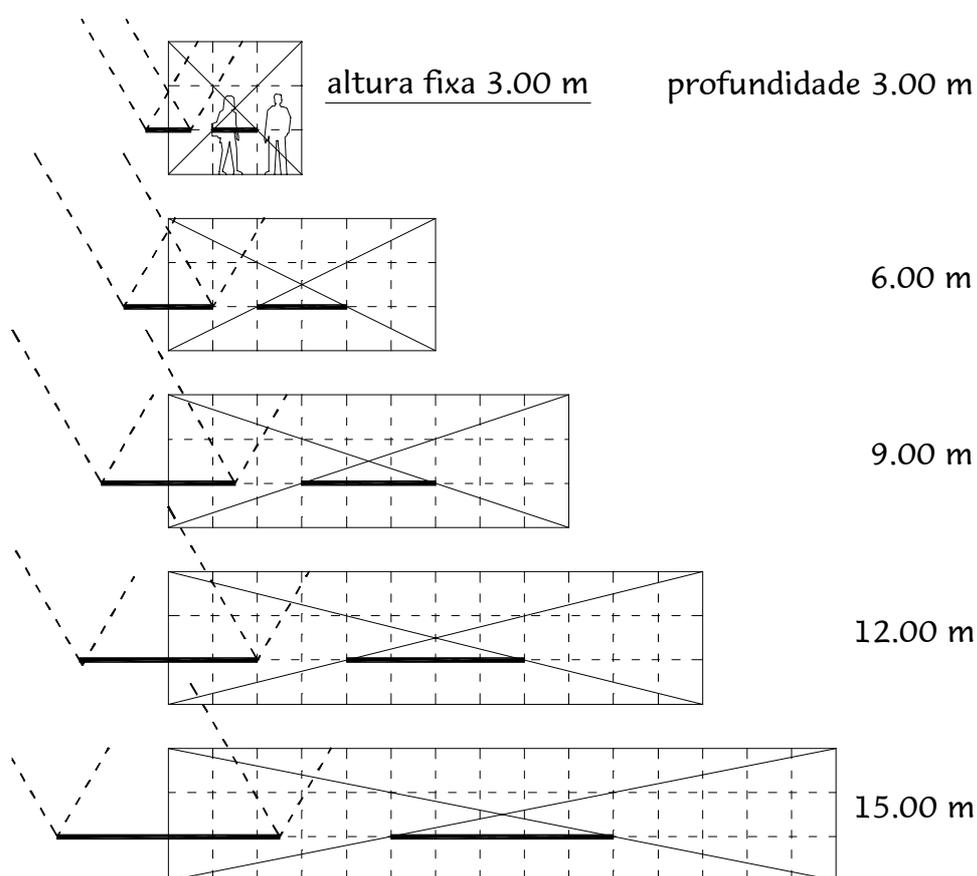


Figura 114 - modelos espaciais mínimos, conforme a profundidade do ambiente, para o método de definição de estantes de luz. Fonte: ilustração do mestrando.

A largura máxima da estante de luz ($L_{\max_{EL}}$) cresce proporcionalmente ao aumento da profundidade do ambiente (P_A). A altura do ambiente para esse cálculo é fixa em 3.00m.

$$L_{\max_{EL}} = P_A / 3$$

A altura

Após se analisar que nesse método apenas a profundidade é determinante para a variação da largura da estante de luz, será analisado agora, que com o acréscimo de altura no ambiente, basta colocar a estante de luz em uma altura maior para se manter as refletâncias dentro do alcance do forro do teto. Pois quanto mais sobe a altura do ambiente mais se tende a afastar as estantes de luz do forro do teto. Isso é necessário para o forro receber a refletância das estantes de luz e refleti-las novamente para o fundo do ambiente, pois a densidade do fluxo luminoso da refletância diminui conforme a distância entre as estantes de luz e o forro do teto ou o fundo do ambiente.

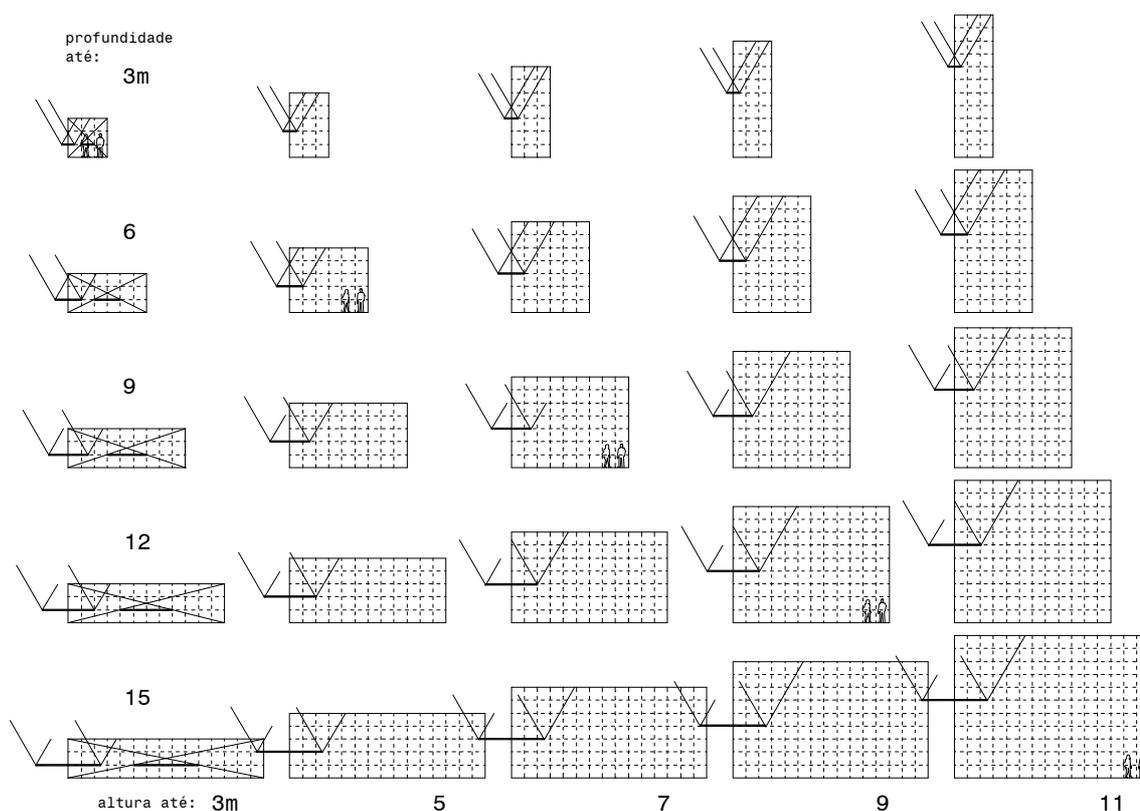


Figura 115 - modelos espaciais mínimos, conforme a altura do ambiente, para o método de definição de estantes de luz. Fonte: ilustração do mestrando.

Conforme a figura 115, a maior altura do ambiente permite que a estante de luz se aproxime mais do forro da mesma forma que a largura da estante de luz aumenta com a profundidade do ambiente. Tem-se aí duas variáveis estruturadoras desse método: a profundidade e a altura do ambiente.

É bom que se lembre da possibilidade de se sobrepor várias estantes de luz em função da maior altura do espaço construído.

Então, deve-se lembrar que:

- a grande refletância da estante acontece quando a sua distância até o forro é menor que a profundidade do ambiente;
- a altura do ambiente deve ser considerada quando se quer atingir o fundo com boas iluminâncias.

A resposta do enunciado acima está no fato mencionado anteriormente sobre a distância que se interpõe entre a fonte (estante de luz) e o receptor (forro).

Estante = FONTE

Forro = RECEPTOR

Uma estante de luz, que queira favorecer o fundo do ambiente com refletâncias, deve no mínimo estar em um ambiente que possua proporções próximas ao retângulo com a seção áurea, ou seja, de uma forma em que a altura seja menor que a profundidade.

- Um retângulo, em que a altura seja muito pequena, menor que a metade da profundidade, traz problemas para iluminar o fundo;
- um quadrado, onde temos altura e profundidade iguais, seria a forma ideal, pois, após isso, tem-se a elevação da altura ou o aumento da profundidade.

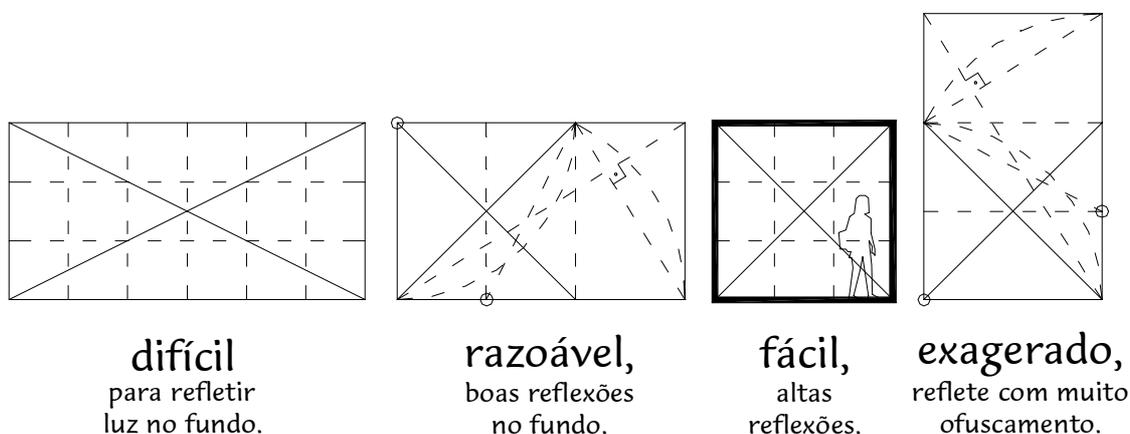


Figura 116 - possibilidades de refletâncias conforme a relação profundidade X altura do ambiente.
Fonte: ilustração do mestrando.

Quando se tem um ambiente alto, tipo torre, as reflexões desde uma estante de luz podem incidir diretamente na parede oposta, enquanto que num ambiente profundo e baixo, tipo túnel, ocorre uma penumbra do meio para o fundo do ambiente.

- Estantes de luz refletoras podem se tornar desnecessárias sempre que a altura do ambiente superar em 1.5 vezes a sua profundidade.

Na figura 116, percebe-se o quanto uma forma edilícia mais alta tem propensão para ter muito iluminada uma parede oposta àquela que recebe a

radiação solar direta, e o quanto a primeira forma, comprida, possui dificuldades para que se consiga fazer chegar algum fluxo luminoso até seu fundo. As formas edilícias *razoável* e *exagerado* são réplicas da forma geométrica com as proporções da *seção áurea*. Este jogo de alturas e de profundidades é base para estudos de iluminância de ambientes em geral.

Muitas vezes, pode-se utilizar estes argumentos para realçar ou diminuir algum efeito espacial que se deseje presente no ambiente.

Não obstante, deve-se precisar a relação profundidade X altura sempre que se interponha uma estante de luz em uma abertura, pois seu desempenho pode ser desastroso para o ambiente, ao se poder trazer para seu interior um nível de iluminância muito elevado e que pode resultar em ofuscamentos desnecessários.

Tipologias para estantes de luz

Na figura 117, pode-se ver um desenho em corte dos três tipos de estantes de luz: a projetada para fora, a projetada para dentro e colocada no eixo.

Note que essa última possui um acréscimo de $1M$ em sua largura total, ou seja $\frac{1}{2}M$ para dentro e $\frac{1}{2}M$ para fora. Isso se deve por haver uma parede e uma esquadria em seu eixo e, assim, ocorrer perda de faixas iluminadas da superfície horizontal da estante tanto na refletância interna como na externa por interferência do corpo e das sombras dos marcos das esquadrias.

Isso demonstra a flexibilidade que um projeto deve ter com uma coleção de peças de uma tipologia. A medida neste caso é referencial, como $7.5M$ ou $8.5M$, podendo, assim, haver variação conforme as necessidades funcionais. Os materiais possíveis de se empregar numa fabricação dos modelos da figura 117 devem proporcionar tanto o pouco peso como a resistência de cada peça. Provavelmente seria recomendado mesclar materiais leves como os expandidos, a fibra de vidro e um envelope de alumínio (ver capítulo sobre a carga térmica) com algum dispositivo estrutural básico de metal ou outro material que não contribua com ganhos de carga térmica e não adicione muito peso ao objeto final. Estes podem ser combinados e conjugados com esquadrias.

Essas peças possuem um leito para encaixe de um contramarco de fixação da esquadria e possuem também pingadeira e declividade na superfície externa superior para escoamento da água.

A superfície correspondente à parte interna da estante de luz é sempre horizontal.

As dimensões são eletivas, podendo sofrer variações para maior, conforme conveniência, ou a maior escala da edificação em que se insiram.

Para peças maiores, pode-se aumentar proporcionalmente suas espessuras bem como a altura do miolo vertical que se apóia no eixo da parede.

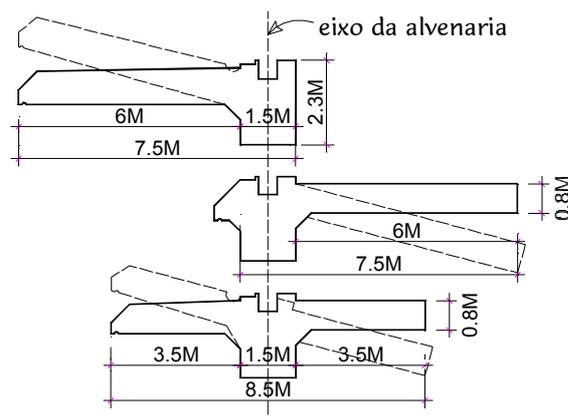


Figura 117 - Os três tipos de estantes de luz com possibilidades de inclinação (aqui 15°).
Fonte: ilustração do mestrando.

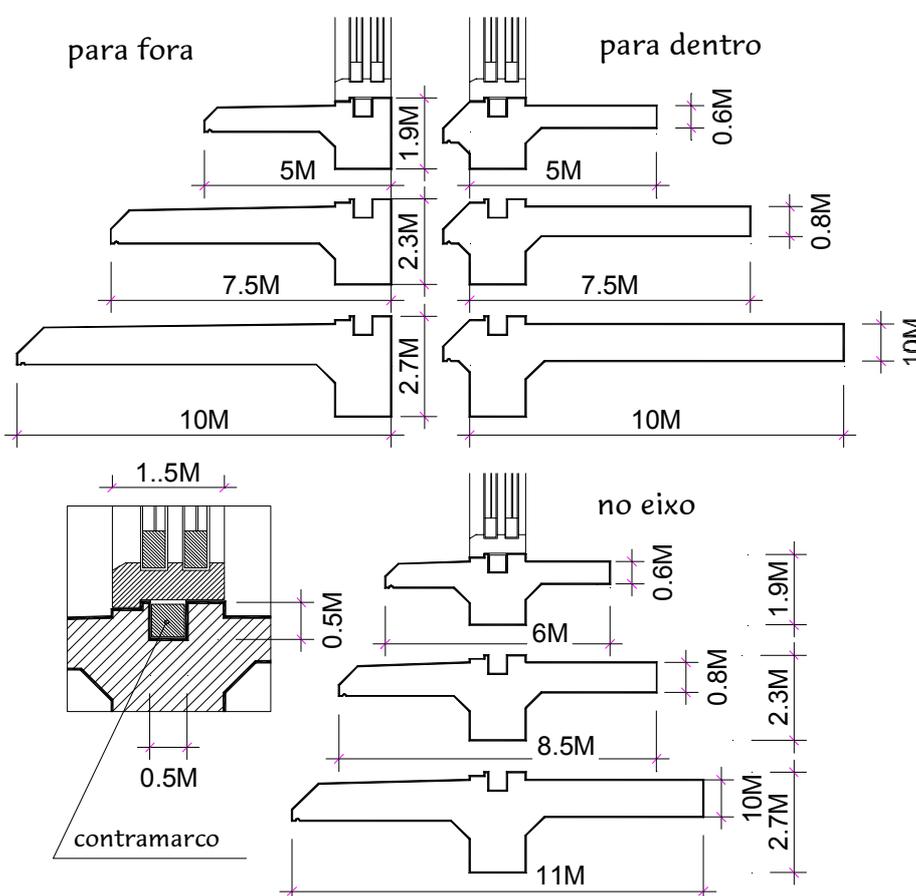


Figura 118- três tamanhos para cada um dos três tipos de estantes de luz.
Fonte: ilustração do mestrando.

Modelarmente, se poderia pensar em outras variações, outros partidos com diferentes inclinações da estante em relação ao plano horizontal, estantes côncavas ou convexas, em forma de calha, estantes-telhado, estantes beiral, estantes para aberturas desenvidraçadas, estantes-pergulado, etc.

Na figura 118, apresentam-se três modelagens com tamanhos diferentes para cada um dos três tipos de estantes de luz.

Estas formas modelares podem ser ponto de partida para outros modelos.

Como já mencionado se poderia apenas desenhar novos modelos, onde o material fosse diferente: estantes de fibrocimento, plástico ou metal. Como também de acordo com as diferentes variações de textura e relevo que um mesmo modelo pode ter: superfícies polidas ou corrugadas, lisas ou frisadas ou com cantos mais redondos ou mais quadrados.

Na figura 118, pode-se ver um desenho em corte dos três tipos de estantes de luz, em três tamanhos cada, com 5M, 7.5M e 10M e 6M, 8.5M e 11M para as peças no eixo da parede.

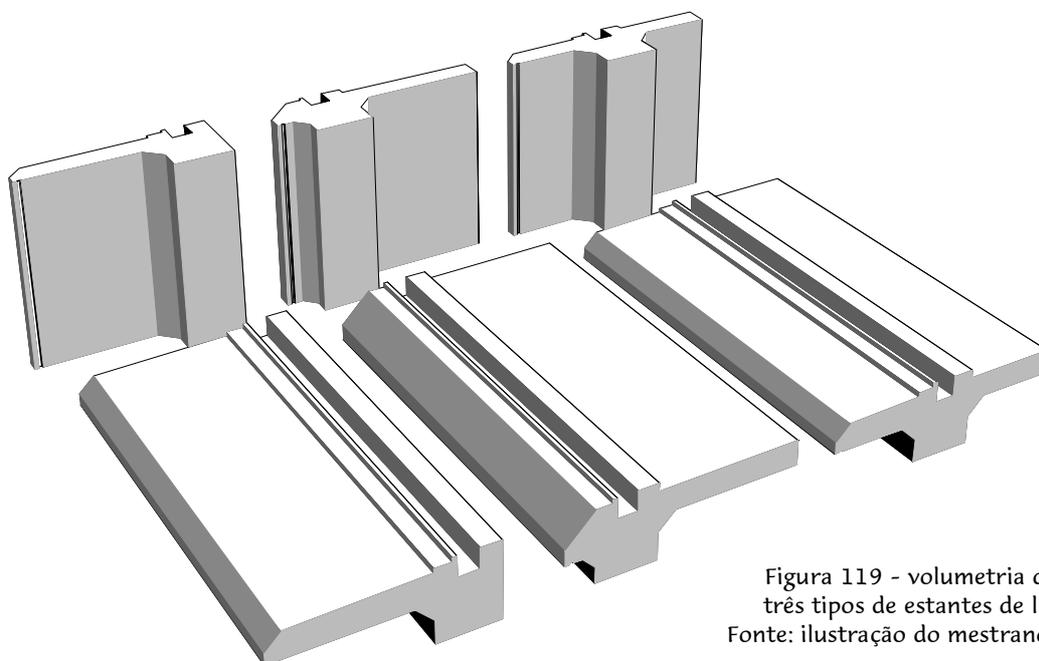


Figura 119 - volumetria dos três tipos de estantes de luz.
Fonte: ilustração do mestrando.

As estantes de luz possuem muitas possibilidades na criação de suas formas. Pode-se ainda criar novas tipologias e novos modelos de cada tipologia desses elementos tão valiosos para o espaço construído contemporâneo.

Mais do que simplesmente conjecturar-se a respeito da aplicabilidade corrente desses elementos, cabe se reconhecer que neles estão inseridas várias qualidades: da proteção térmica das fachadas ao controle das iluminâncias, passando pelas qualidades funcionais, como a de poderem garantir uma reserva de espaço para armários e aparelhos de ar-condicionado, pela função estética que podem exercer por força de suas projeções sobre as fachadas, etc.

Na figura 119, imagem volumétrica dos três tipos de estantes de luz: projetada para fora, para dentro e centrada no eixo da alvenaria.

3.2.4. Estudo do ganho térmico para um ambiente desde a estante de luz

Consideremos uma sala de escritórios como modelo de análise de uma situação em que se tenha um ganho de carga térmica (W/m^2), resultante da soma de diversas cargas individuais relacionadas com este ambiente.

A sala de escritório, orientada ao norte e já apresentada anteriormente no estudo de iluminâncias com maquetes, tem aproximadamente $36.2m^2$ de área e um pé-direito de 2.9m. Nesse ambiente, existem os seguintes elementos para as trocas térmicas que representam as cargas embutidas no espaço construído.

- 9 pessoas sentadas e digitando;
- 5 computadores;
- 2 impressoras pequenas;
- 2 *scanners*;
- 4 pontos de iluminação;
- uma estante de luz na fachada norte;
- uma parede externa;

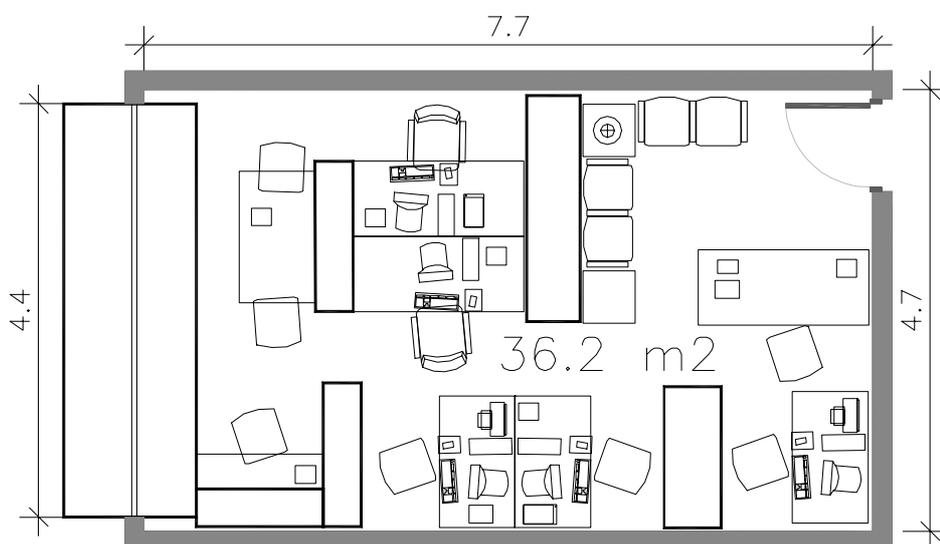


Figura 120 -
simulação de uma
planta para a sala
de escritório do
modelo das
maquetes.
Ocupantes:
6 funcionários
e 3 eventuais.

Nesse modelo de sala, estuda-se, especificamente, junto com a variação de tamanho da estante, a contribuição da carga térmica total do ambiente e o condicionamento térmico (Btu) necessário.

Nos cálculos que se seguem, adotar-se-á o valor de calor liberado desde os ocupantes através das taxas de calor sensível, favorecido pelas diferenças de temperatura entre o ambiente e os ocupantes e pela velocidade do ar. O calor latente é desconsiderado uma vez que no ambiente climatizado as

atividades nele executadas nem sempre induzem à perdas através da evaporação desde os corpos, mas sempre através do calor sensível.

Tabela 20 - taxas de ganho de calor das pessoas para espaços condicionados.
Adaptação da tabela 3 - *rates of heat gain from occupants of conditioned spaces*. Fonte: ASHRAE, 1997.

Atividade		Calor sensível	Calor latente	Calor total
escritório	Sentado em trabalho leve	70	45	115
	Trabalho moderado	75	55	130
fábrica	Trabalho moderado	80	140	220
	Trabalho acelerado	110	185	295

Tabela 21 - ganho de calor dos equipamentos e objetos envolvidos com o ambiente.
Fonte: tabela desenvolvida pelo mestrando.

cinco computadores	$5 \times 500 = 2500$
duas impressoras pequenas	$2 \times 100 = 200$
dois scanners	$2 \times 100 = 200$
quatro pontos de iluminação	$4 \times 80 = 240$
Uma cafeteira	1000
Um frigobar	200
Uma aquecedor elétrico	1000
TOTAL	5340

Para essa análise, utilizou-se a taxa de ganho de calor por pessoa de **75w** mais os valores das demais envolvidas com o ambiente. Para a continuidade dos cálculos, deve-se buscar também os valores para o ganho de carga térmica desde a estante e desde a parede externa com a determinação do *Coefficiente Global de Transmissão Térmica* (K). Ver figura 121, que mostra uma seção transversal de uma parede.

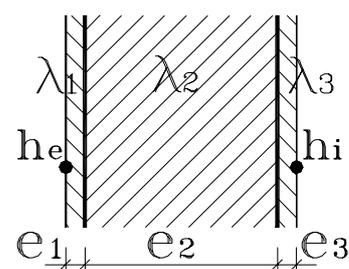


Figura 121 - elementos para o coeficiente Global de transmissão térmica através das superfícies vedantes.

Fonte: FROTA e SCHIFFER, 1995.

O *Coefficiente Global de Transmissão Térmica* (K) engloba as trocas térmicas superficiais (por convecção e radiação) e as trocas térmicas através do material (por condução). Portanto, engloba as trocas de calor referentes a um determinado material segundo a espessura (e) da lâmina, o coeficiente de

condutibilidade (λ), a posição horizontal ou vertical da lâmina e ainda o sentido do fluxo de calor.

$$K = W/m^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

O coeficiente K quantifica a capacidade do material de ser atravessado por um fluxo de calor, induzido pela diferença de temperatura entre dois ambientes separados pelo elemento formado por esse material (FROTA e SCHIFFER, 1995, p. 38). Conforme a direção do fluxo de calor, se vertical, em superfícies horizontais, ou fluxo horizontal, em superfícies verticais, utilizar-se-á para o cálculo de K um multiplicador que é o *Somatório das Resistências Superficiais* (ΣR_{SUP}):

- $\Sigma R_{SUP} = 1/h_e + 1/h_i...$ e que será respectivamente:
- para fluxo horizontal... = 0.17
- para fluxo vertical de cima para baixo = 0.22... então:

$$\frac{1}{K} = \Sigma R_{SUP} + \frac{\Sigma e}{\Sigma \lambda}$$

Note-se que essa formula é para elementos com superfícies exteriores, pois aqui não se consideram as contribuições desde as demais paredes do interior da edificação e o teto e o piso. É considerado aqui que estas superfícies pouco ou quase nada interferem nas cargas totais, pois teoricamente os demais compartimentos justapostos a esta sala estão nas mesmas ou em melhores condições térmicas, não havendo, assim, trocas de calor significativas. Estas superfícies, como parâmetro comparativo, servem apenas para dar um perímetro ao espaço conformando-o e reduzindo-o.

Dados para o cálculo da parede externa

PAREDE DE ARGAMASSA

E TIJOLO

- $e_1 = e_3 = 0.02\text{m}$ / $e_2 = 0.2\text{m}$

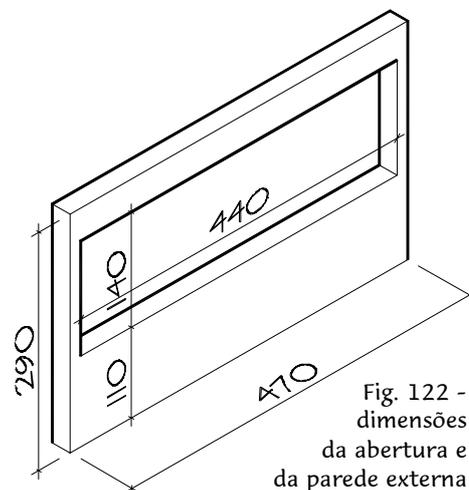


Fig. 122 - dimensões da abertura e da parede externa da sala de escritório

$$\alpha = 0.5 \quad / \quad \lambda_{\text{tijolo}} = 0.72 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$\lambda_{\text{argamassa}} = 0.85 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

- área = 7.47m²
(excluído o buraco da abertura)
- radiação solar incidente sobre o plano *vertical* (I_{gv})
(FROTA e SCHIFFER, 1995)

I _{gv} - 30°S - 12:00h - fachada norte	
Verão (dezembro)	Inverno (junho)
179 W/m²	720 W/m²

$$\frac{1}{K} = 0.17 + \frac{0.02}{0.85} + \frac{0.20}{0.72} + \frac{0.02}{0.85} = \mathbf{2.0 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}$$

CÁLCULO DO GANHO DE CARGA TÉRMICA PARA SUPERFÍCIES OPACAS (Q)

$$Q = \text{ÁREA}_{\text{SUPERFÍCIE}} \times \frac{\alpha(K)}{he} \times I_{gv}$$

$$Q = 7.47 \times \frac{0.5(2)}{20} \times I_{gv \text{ verão}} = \mathbf{66.85 \text{ W}}$$

$$\dots \times I_{gv \text{ inverno}} = \mathbf{268.9 \text{ W}}$$

Dados para o cálculo da estante de luz

- A) ESTANTE DE POLIESTILENO
EXPANDIDO REVESTIDA
(ENVELOPADA) COM LÂMINA
DE ALUMÍNIO:

$$- e_1 = e_3 = 0.002\text{m}$$

$$e_2 = 0.096\text{m}$$

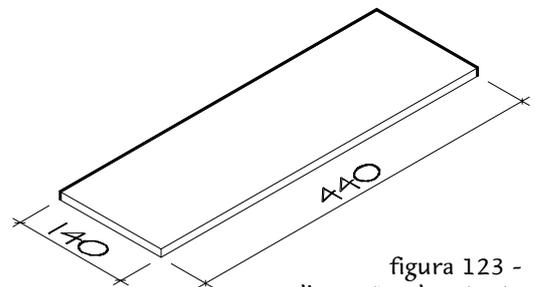


figura 123 -
dimensões da estante
de luz para a sala de
escritório.

$$\alpha = 0.25 \quad / \quad \lambda_1 \text{ e } \lambda_3 \text{ do alumínio} = 230 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$\lambda_2 \text{ do poliestireno} = 0.035 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

- área = 6.16m²

- radiação solar incidente sobre o plano *horizontal* (Igh) (ver tabela 05).

Igh - 30°S - 12:00h - fachada norte	
Verão (dezembro)	Inverno (junho)
1190.64 W/m²	615 W/m²

$$\frac{1}{K} = 0.22 + \frac{0.002}{230} + \frac{0.096}{0.035} + \frac{0.002}{230} = \mathbf{0.33 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}}$$

- CÁLCULO DO GANHO DE CARGA TÉRMICA PARA SUPERFÍCIES OPACAS (Q)

$$Q = \text{ÁREA}_{\text{SUPERFÍCIE}} \times \frac{\alpha(K)}{he} \times I_{gv}$$

$$Q = 6.16 \times \frac{0.25(0.33)}{20} \times I_{gh \text{ verão}} = \mathbf{30.2 \text{ W}}$$

$$\dots \times I_{gh \text{ inverno}} = \mathbf{15.62 \text{ W}}$$

B) ESTANTE DE CONCRETO PINTADA EM BRANCO

- $e = 0.1\text{m}$ / $\alpha = 0.3$ / $\lambda = 1.28 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$
- área = 6.16m^2
- radiação solar incidente sobre o plano *horizontal* (Igh) (ver tabela 05).

Igh - 30°S - 12:00h - fachada norte	
Verão (dezembro)	Inverno (junho)
1190.64 W/m²	615 W/m²

$$\frac{1}{K} = 0.22 + \frac{0.1}{1.28} = \mathbf{3.45 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}}$$

- CÁLCULO DO GANHO DE CARGA TÉRMICA PARA SUPERFÍCIES OPACAS (Q):

$$Q = \text{ÁREA}_{\text{SUPERFÍCIE}} \times \frac{\alpha(K)}{he} \times I_{gv}$$

$$Q = 6.16 \times \frac{0.3(3.45)}{20} \times I_{gv \text{ verão}} = \mathbf{379.55 \text{ W}}$$

$$\dots \times I_{gv \text{ inverno}} = \mathbf{196 \text{ W}}$$

Trocas de calor através do envidraçamento

Mais uma consideração deve-se apresentar para que se possa montar as principais cargas desde as estantes de luz. Normalmente sobre as estantes se justapõem as aberturas e seus envidraçamentos, e, através destes, entram para dentro do ambiente cargas térmicas externas, sofrendo variações para menos conforme as características do material.

A intensidade do fluxo térmico (Q) que atravessa as superfícies verticais translúcidas ou transparentes deve incorporar, em comparação com a parede opaca, a parcela que penetra por transparência (τ) (FROTA e SCHIFFER, 1995, P.43).

Tem-se:

$$Q = \left(\frac{\alpha K}{h_e} + \tau \right) I_g + K \dots \text{sendo } \frac{\alpha K}{h_e} + \tau = \mathbf{F_{tsv}}$$

A parcela K refere-se a trocas de calor por diferença de temperatura (Δt) e representa ganho quando $t_e > t_i$ e perda quando $t_i > t_e$.

PARA VIDROS COMUNS

- **F_{tsv}** = fator solar do vidro comum = 0.86;
- $\alpha = 0.07$; $\tau = 0.85$; $K = 5,7$; $h_e = 20$

Então: **Q_v = 0.86 I_g + 5,7**

Onde, conforme o tipo de vidro, pode-se ter um coeficiente multiplicador (F_{tsv}), como na tabela 22.

Nas figuras 124 e 125, há um estudo de cargas resultantes do cruzamento de algumas situações na utilização de estantes: para verão ou inverno, estante de poliestireno envelopada com alumínio ou estante de concreto pintada de branco e projetada para fora, no eixo ou para dentro.

Tabela 22 - fator solar do vidro - fonte: FROTA E SCHIFFER, 1995.

Tipo de vidro	Fator Solar do vidro (F _{tsv})
Lâmina única	
Comum transparente	0.86
Cinza (sombra)	0.66
Atérmico verde claro	0.60
Atérmico verde escuro	0.49
Vidro usado como proteção externa de vidro comum transparente	
Cinza (sombra)	0.45
Atérmico verde claro	0.39
Atérmico verde escuro	0.22

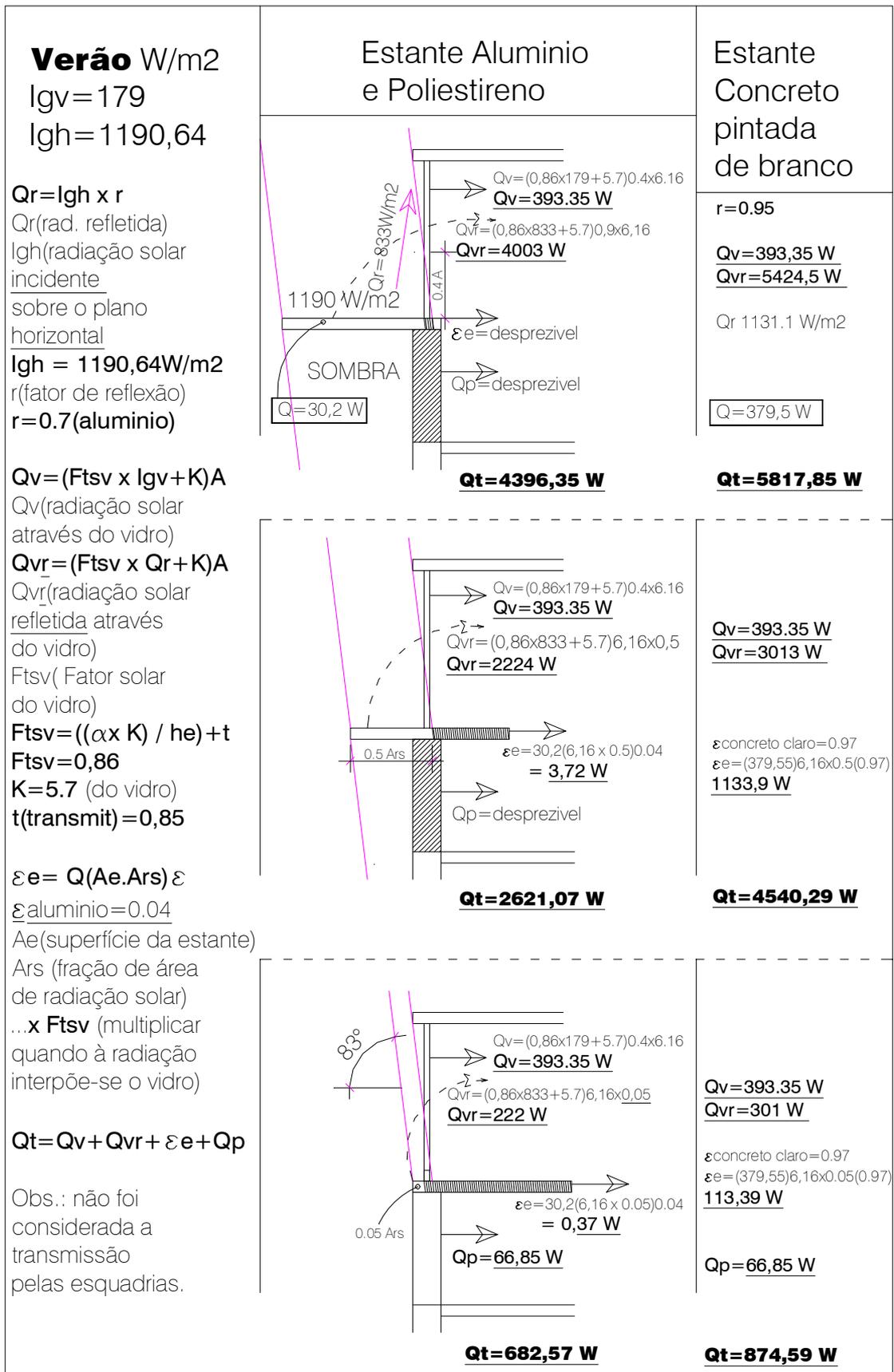


figura 124 - cálculos das cargas térmicas refletidas e emitidas pela estante de luz, transmitidas através do vidro e pela parede - VERÃO - com três situações: estantes para fora, no eixo e para dentro do ambiente. Dados elaborados pelo mestrando.

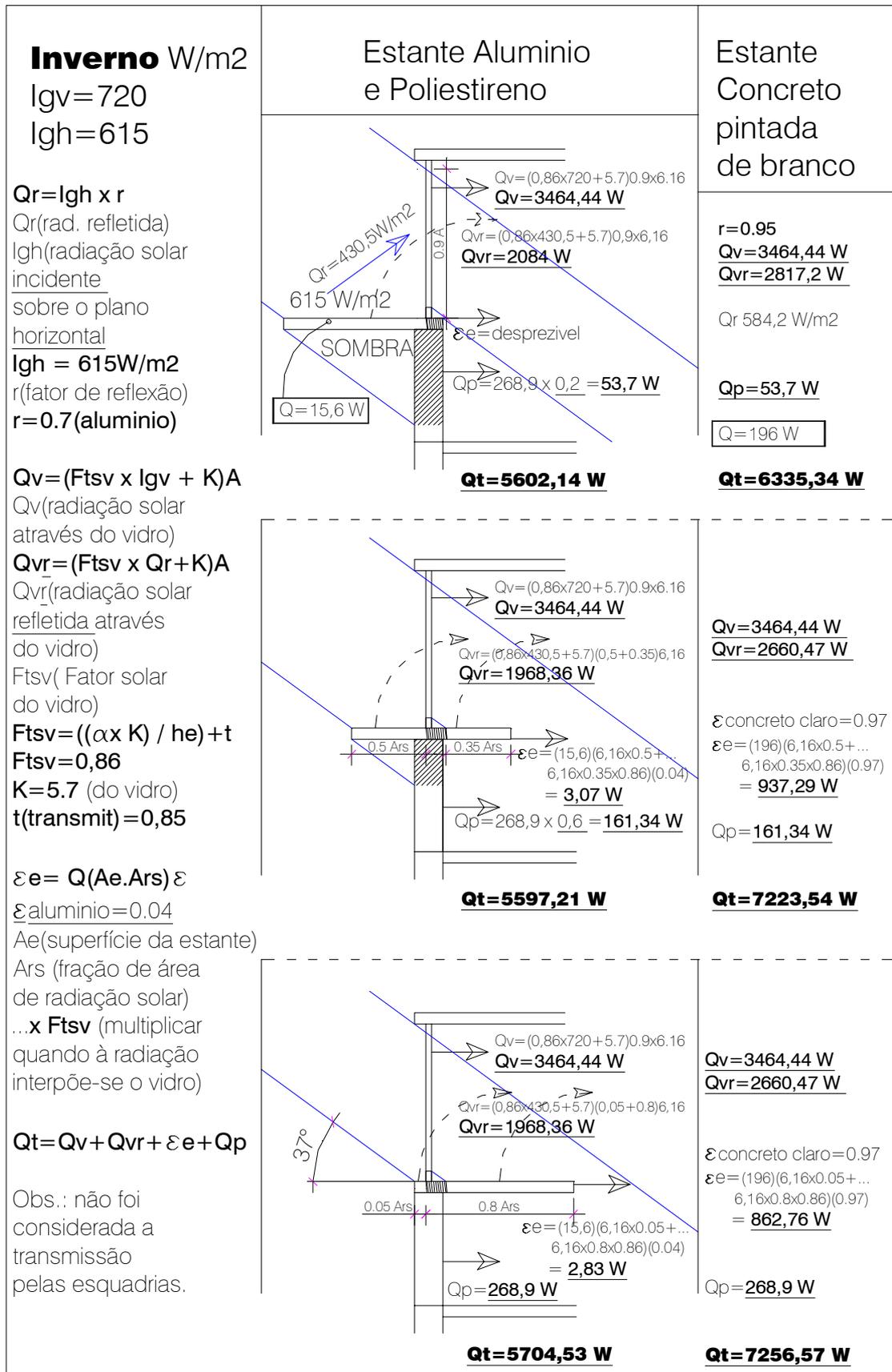
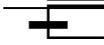
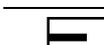


figura 125 - cálculos das cargas térmicas refletidas e emitidas pela estante de luz, transmitidas através do vidro e pela parede - INVERNO - com três situações: estantes para fora, no eixo e para dentro do ambiente. Dados elaborados pelo mestrando.

Resumo das cargas térmicas

Após os cálculos para verão e para inverno do ganho de carga térmica para o ambiente da sala de escritório através de: radiação solar direta através do vidro, radiação solar refletida desde a estante de luz e através do vidro, radiação emitida pela estante de luz e radiação emitida pela parede, com três situações: estantes de luz para fora, no eixo e para dentro do ambiente da sala de escritório. Verifica-se, na tabela 23, que a menor altura do sol de inverno contribui com maior carga tanto sobre a superfície horizontal das estantes como ao penetrar mais profundamente através do envidraçamento.

Tabela 23 - cargas finais (W) resultantes dos cálculos das figuras 124 e 125 para a sala de escritório. Dados elaborados pelo mestrando.

Carga parcial (ocupantes e equipamentos) = 5340				
CARGAS DESDE A ESTANTE	VERÃO		INVERNO	
	ALUMINIO + POLIESTIRENO	CONCRETO C/ PINT. BRANCA	ALUMINIO + POLIESTIRENO	CONCRETO C/ PINT. BRANCA
	4396,35	5817,35	5602,14	6335,34
	2821,07	4540,29	5579,21	7223,54
	682,57	874,59	5704,53	7256,57
OBS: não são consideradas aqui as cargas das paredes internas nem as do forro ou as do piso.				

De uma maneira geral, e conforme a tabela 23, os cálculos mostram que, para cada estação, verão ou inverno, a estante de luz de concreto com pintura branca irradia mais carga térmica para dentro do ambiente que a de alumínio com poliestireno, enquanto que, na situação de inverno, acontecem as maiores cargas térmicas para ambos os tipos de estantes de luz uma vez que os raios solares com menores ângulos de inclinação, que penetram mais no ambiente, incidem sobre a estante de luz nas três posições e incidem mais também sobre a parede com a estante de luz em qualquer posição.

Contudo, isto se deve, também, a maior condutividade (λ) do concreto que tem maior densidade que o poliestireno.

Para verão, deve ser notado que, principalmente com a estante de luz de concreto e projetada tanto para fora como no eixo da parede, ocorrem cargas elevadas semelhantes às situações de inverno, em função da incidência da radiação solar direta. Fato que não ocorre quando projetada para dentro do ambiente uma vez que os raios solares não incidem nela.

Deve-se considerar na situação de inverno, à medida que se desprotegem as superfícies verticais da sombra da estante de luz, por se posicionar a estante de luz mais para dentro do ambiente, que estas superfícies, paredes e envidraçamentos recebem maior radiação solar direta, gerando cargas maiores para o cálculo do ganho térmico. Já no verão, em fachadas orientadas ao norte como aqui, o sol incide menos sobre estas superfícies verticais que, assim, adquirem menor carga térmica.

É oportuno analisar também a correspondência entre a carga térmica e a necessidade de refrigeração:

$$1 \text{ TR} = 12.000 \text{ BTU/h}$$

E ...

$$12.000 \text{ BTU/h} = 3517 \text{ W}$$

estes valores servem de referência para a tabela 24.

CARGA DE REFRIGERAÇÃO RELATIVA

A qualificação de relatividade da carga de refrigeração resultante se deve por não se fazer um estudo mais complexo quanto à questão do controle do condicionamento do ambiente. Representa uma situação genérica, uma amostra das possibilidades, com ausência de possibilidades mais completas ou de maiores detalhes relacionados com a situação e que venham a estimar efetivamente a necessidade de condicionamento térmico. Para uma estimativa de condicionamento térmico completo de um ambiente, é necessária uma abordagem quase que exclusiva e que não é o tópico da análise até aqui colocada.

Tabela 24 - conversão das cargas finais mínimas e máximas, da tabela 23, em Btu/h, para a sala de escritório. Dados elaborados pelo mestrando.

Carga térmica fixa = 5340 W +...			
Verão (W)		Inverno (W)	
Alumínio + poliestireno.	Concreto pintado de branco	Alumínio + poliestireno.	Concreto pintado de branco
682,57	5817,35	5602,14	7256,57
=	=	=	=
6022,57	11157,35	10942,14	12596,57
Btu/h			
20549,00	38068,86	37334,57	42979,48

Na tabela 24, aparecem a carga térmica fixa do ambiente mais as cargas máximas e mínimas do ambiente conforme o tipo de estante de luz e a estação

do ano e o resultado como a tonelagem de ar-condicionado necessária (Btu/h). Esses resultados correspondem a esta situação específica em que tem-se a orientação norte para a fachada e também à hora considerada, por volta das 12h, com maior carga sobre as superfícies.

Ou seja, seriam estes os valores de pico numa jornada de trabalho.

Difícilmente numa situação real se necessitaria, ao longo de uma jornada inteira de trabalho, de todos os 42979,48 Btu/h para a refrigeração ou para o aquecimento desta sala durante o inverno, pois, em muitas horas do dia, utilizam-se cortinas e outros anteparos, e os envidraçamentos atuais possuem maior bloqueio à radiação solar, sem falar em outras estratégias de trocas térmicas através de ventilação natural,, pois as baixas temperaturas de inverno permitem que haja maiores trocas de calor por diferença de temperatura e grande perda ou ganho de carga térmica interna para o exterior – (K).

Também se deve salientar que, durante o período de inverno, uma elevada carga térmica proveniente das superfícies exteriores da edificação pode ser estrategicamente bem aproveitada e poder, de forma estudada, trazer benefícios para o conforto térmico do ambiente. O problema maior fica para as situações de verão, onde certamente se utilizaria mais todo o potencial de condicionamento de ar verificado.

4. Conclusão

Deve-se entender primeiramente que as estantes de luz não são objetos isolados entre os elementos de arquitetura, pois, de acordo com MARTÍNEZ (1998, cap. VI), estes se unem em prol da composição, logo, não devem ser problemáticas. Devem ter uma utilidade em si mesmas.

Tem-se também, conforme MANDOLESI (1978, p. 3-5), a questão dos elementos de arquitetura relacionados com o contexto construído; que devem estar dimensionados e padronizados tipologicamente a fim de que possam fazer parte do universo dos elementos pré-fabricados. Para isso, precisa-se pensar cada elemento como um objeto que se encaixa com outro e dentro dos princípios da modulação.

Para se buscar medidas e padrões tipificáveis para a estante de luz, verificou-se que a altura e a profundidade de um ambiente estão diretamente relacionadas com seu dimensionamento. E como se percebeu nas simulações, as estantes de luz, que também podem ser inclinadas para fora ou para dentro do ambiente, serão mais largas ou posicionadas mais altas conforme mais alto ou mais profundo seja um ambiente.

Deve-se ter em mente, contudo, e conforme MOORE (1985, p. 18-21) que a iluminância diminui com a distância desde o ponto onde ela foi transmitida ou refletida e que ela é uma concentração (densidade) de fluxo luminoso incidente em uma superfície.

Assim, menor será a densidade luminosa à medida que alcança a profundidade máxima. Desta forma, as salas em geral, principalmente as salas de uso comercial e de serviços, tanto carecem de uma boa iluminância de fundo como possuem ofuscamentos nas regiões junto às aberturas das fachadas.

Salas de pequenas dimensões têm uma maior oferta de iluminação natural. Já grandes salas com largura e comprimento grandes, mas com pé-direito pequeno, inviabilizam uma distribuição adequada de iluminância desde a frente até o fundo do ambiente, e isso dificulta o acesso de iluminância até o fundo do ambiente, independentemente das condições das aberturas.

Os dois edifícios analisados, o do Senge e o Regency, revelaram-se laboratórios em ambiente real. O edifício do Senge e suas duas salas mostraram que cada ambiente possui um comportamento próprio em relação às iluminâncias da luz do dia. Se o 2º andar, por possuir dois de seus lados com aberturas amplas, permitiu iluminâncias razoáveis no fundo do ambiente através do aclaramento das superfícies horizontais de seus balcões externos, o mesmo não se pôde comprovar na sala do 4º andar, a qual, por suas medidas “estreitas”, apresentou baixas iluminâncias no fundo do ambiente.

Já na sala do térreo do edifício Regency, por causa tanto de seu envidraçamento de bom fator solar como por sua posição em relação às grandes iluminâncias externas e por suas medidas largas, houve níveis adequados de iluminância no fundo, mesmo em dias de céu encoberto.

Ficou evidente que a sala térrea do edifício Regency teve as melhores distribuições de iluminâncias. Contudo, é bom ressaltar que, com o aclaramento das superfícies horizontais dos balcões externos e da marquise, na sala inteira se elevaram as iluminâncias nos pontos medidos.

Já a análise mais fina desse estudo deveu-se às maquetes da biblioteca, da sala de aula, da loja comercial e da sala de escritório, que permitiram que se simulassem as iluminâncias com estantes de luz e sem estantes de luz. Também verificou-se, principalmente em dias com céu encoberto, pouca iluminância de fundo. Porém níveis razoáveis de iluminância de fundo foram registrados na biblioteca e na loja comercial, por serem ambientes mais altos, enquanto que na sala de aula e na de escritório o fundo dos ambientes ficou em penumbra. Com estantes de luz nas aberturas, conseguiu-se elevar a iluminância a níveis aceitáveis em todas as maquetes.

As maquetes foram de grande importância, pois permitiram inclinar as estantes em ângulos, variando a cada 15°. Essa experiência permitiu uma avaliação do comportamento que existe quando se gira a estante para cima ou para baixo em relação ao eixo da parede. Foi constatado que, em 90% das vezes, na inclinação positiva de 15° (para cima e na direção do ambiente), consegue-se um leve aumento de iluminância no centro e no fundo do ambiente das salas. Nas outras inclinações, tanto as positivas como as negativas, as iluminâncias internas decrescem rapidamente a cada 15° de inclinação da estante de luz à medida que se aumenta a obstrução da abertura.

Verificou-se também e de uma maneira geral que, tanto para céu encoberto como para céu claro, as estantes mais largas baixam o ofuscamento frontal e elevam consideravelmente os níveis de iluminância de fundo.

Em virtude das limitações das estantes de luz em satisfazer totalmente as iluminâncias de fundo dos ambientes, é ideal a união elementar entre a estante de luz e os elementos zenitais. Um exemplo seria a utilização conjunta de clarabóias e poços de luz no fundo das salas com as estantes de luz na frente (com o de fluxo solar incidindo diretamente sobre suas superfícies refletivas). Essas clarabóias e poços de luz teriam um procedimento semelhante à estante de luz porém com o paramento refletivo na posição vertical e sobre a parede de fundo da sala.

A associação desses elementos, observando-se seus melhores posicionamentos e empregando-se, como se viu, materiais adequados, pode resultar em um controle mais efetivo das distribuições de iluminâncias e da carga térmica a partir da radiação solar direta.

Enfim, cada ambiente possui regras próprias e, para cada situação, um novo comportamento é exigido para as estantes de luz ou para qualquer elemento. De qualquer forma, ficou claro que a estante de luz pode, com os devidos cuidados citados, ser parte de uma estratégia para a melhoria efetiva da distribuição de iluminâncias.

5. Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projetos 02: 135.07-001/002: **Desempenho térmico das edificações – partes 1 e 2.** [s.l]: [s.e], 1998.

_____. NBR 5413, Projeto 03:340.02-001: **Iluminância de interiores.** [s.l]: [s.e], 1992.

_____. Projeto 02:135.02-004: **Iluminação natural – parte 4.** [s.l]: [s.e], 1997.

AROSZTEGUI, J.M. e NEGRÍN, G.A. **Propiedades Térmicas de los Materiales y Componentes de Construcción Corrientes en Uruguay** – criterios para el analisis del comportamiento termico de los cerramientos opacos. Montevideo: SCAA-FA / Universidad de la Republica, 1996.

ASHRAE FUNDAMENTALS HANDBOOK (SI). **Table 3 - rates of heat gain from occupants of conditioned spaces.** [s.l]: [s.e], p. 28.8, 1997.

AKUTSU, M. e SATO, N.M.N. Propriedades Termofísicas de Materiais e Componentes de Construção. In: **Tecnologia de edificações.** São Paulo: IPT-DED-PINI, 1988. p. 519-522.

BECKETT, H. E. e GODFREY, J. A. Windows as design elements. In: _____. **Windows, performance, design and installation.** [s.l]: [s.e], 1978. p.117-141.

BENEVOLO, Leonardo. **History of modern architecture.** Cambridge: The M.I.T. Press, v. 01 e 02, 1996.

EXTRACTS from the encyclopédie méthodique d'architecture - Antoine-Chrysostome Quatremère de Quincy 1755-1849. **9H.** London: n. 07, p. 25-38, 1985.

FROTA, Anésia B. e SCHIFFER, Sueli R. **Manual de Conforto Térmico**. Studio Nobel: São Paulo, 1995.

GLOAG, John. Evolucion de las ventanas en Inglaterra, Notas históricas de introducion. In: SHEPPARD, R. E. & WRIGHT, H. **La luz del dia en los edificios**. Barcelona: Editorial Reverte, 1951. P. 5-28.

GONÇALVES, Hélio de O. **O Sol nos Edifícios**. Rio de Janeiro: Lemos, 1955.

HERNANDEZ, A. – J. N. L. Durand's architectural theory, a study in history of rational buiding construction. **Perspecta**, [s.l.]: n. 12, p.153-160, 1969.

KOCH, Wilfried. **Dicionário dos estilos arquitetônicos**. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

LIM, B.P. et al. **Environmental Factors in the Design of Building Fenestration**. London: Applied Science, 1978.

MAHFUZ, E. C. **Ensaio sobre a razão compositiva**. Belo Horizonte: AP Cultural – Universidade Federal de Viçosa, 1995.

MANDOLESI, E. **Edificacion**. Barcelona: Ceac, 1978.

MARTÍNEZ, A. C. **Ensayo sobre el proyecto**. Buenos Aires: Libreria Técnica CP67, 1998.

MASCARÓ, Lúcia R. **Energia na Edificação, Estratégia para minimizar seu consumo**. São Paulo: Projeto, 1991.

MASCARÓ, Lúcia R., VIANNA Nelson S. **Iluminação Natural nos Edifícios**. Porto Alegre: Ufrgs – FAU – PROPAR, 1980.

MOORE, F. **Concepts and Practice of architectural Daylighting**. New york: Van Nostrand Reinhold Co., 1985.

RIVERO, Roberto. **Arquitetura e Clima, Acondicionamento Térmico Natural**. Porto Alegre: Editora da Universidade - Ufrgs, 1985.

RIVERO, Roberto. **Iluminacion natural, cálculo de la componente del cielo del factor del dia**. Montevideo: Servicio de climatologia aplicada a la arquitectura, 1971.

ROWE, C. Character and composition or some vicissitudes of architectural vocabulary in the nineteenth century. In: **The mathematics of the ideal Villa and others essays**. Cambridge: The M.I.T. Press, 1976.

SIMSON, Otto von. **A catedral gótica, origem da arquitetura gótica e o conceito medieval de ordem**. Lisboa: Editorial Presença, 1991.

SOLA-MORALEZ, I. The origins of modern eclecticism: the theories of architecture in early nineteenth century France. **Perspecta**. [s.l.]: n. 23, p. 120-133, 1987.

STAHL, L.A.L. et al. **ISE - Estimativa de irradiância e iluminância em superfícies exteriores para abóboda celeste clara, parcialmente nublada e encoberta**. Programa de computador para DOS – v. 2.5. Porto Alegre: UFRGS, 1993.

SUMMERSON, John. **A Linguagem Clássica da Arquitetura**. São Paulo: Martins Fontes. 1997.

SUMMERSON, John. Viollet-le-duc and the rational point-of-view. In: _____. **Heavenly mansions and others essays on architecture**. New York and London: W. W. Norton & Co., 1963. P. 135-158.

WRIGHT, David (AIA). **Natural solar arcuitecture, a passive primer**. New York: Van Hostrand Reinhold Co., 1978.