

Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Uma Metodologia para a Determinação do Fator Solar Desejável em Aberturas

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a
obtenção do Grau de Mestre em Engenharia

LUCIANO DUTRA

Florianópolis
Agosto de 1994

DUTRA, Luciano. *Uma metodologia para a determinação do fator solar desejável em aberturas*. Florianópolis, 1994. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadores: Roberto Lamberts e Fernando Oscar Ruttkay Pereira

Defesa: 26/08/94

Propõe-se uma metodologia para determinar o [fator solar] desejável em [aberturas]. Utiliza-se dados horários de [radiação solar] e de temperatura do ar do Ano Climático de Referência de Florianópolis (TRY) os quais, através do Método da Admitância, são convertidos em temperaturas ambientais internas para uma sala comercial padrão. Estas temperaturas, comparadas à Zona de Conforto de Givoni, são corrigidas, e esta correção induz ao controle da radiação solar incidente na abertura. Obtém-se os fatores solares desejáveis para a abertura analisada. Através da análise do comportamento de uma [proteção solar] frente aos seus fatores solares desejáveis, pode-se quantificar sua eficiência.

UMA METODOLOGIA PARA A DETERMINAÇÃO DO FATOR SOLAR DESEJÁVEL EM ABERTURAS

LUCIANO DUTRA

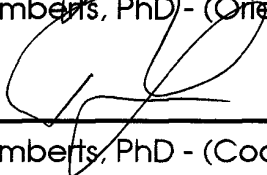
Esta Dissertação foi julgada para obtenção do título de

Mestre em Engenharia

Especialidade **Engenharia Civil** e aprovado em sua forma final pelo
programa de **Pós- Graduação em Engenharia Civil**

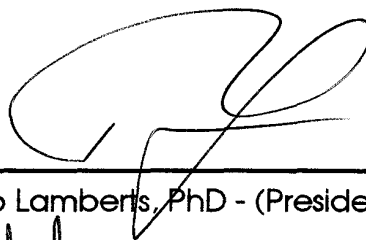


Roberto Lamberts, PhD - (Orientador)



Roberto Lamberts, PhD - (Coordenador do Curso)

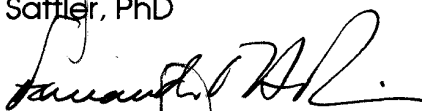
Banca Examinadora:



Roberto Lamberts, PhD - (Presidente)



Miguel Sattler, PhD



Fernando Oscar Ruttkay Pereira, PhD



Paulo César Philippi, Dr. Ing.

Agradecimentos

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

- ☺ **PAULO NARCISO FILHO** - pela ajuda em programação PASCAL e pelo fornecimento dos dados de radiação solar utilizados.
- ☺ **DIEGO RAUBER** - pelo auxílio em programação e fornecimento de várias rotinas empregadas.
- ☺ **LUIS GOMEZ** - pelos esclarecimentos e soluções dadas no uso dos softwares utilizados.
- ☺ **MIGUEL SATTler** - pela participação na banca.
- ☺ **SOLANGE GOULART** - pelo trabalho de tratamento de dados climáticos que forneceu o ano TRY utilizado nos cálculos e pela ajuda e companheirismo na realização da arte final.
- ☺ **ROBERTO LAMBERTS** - pela orientação do trabalho, pelas idéias e sugestões.
- ☺ **FERNANDO RUTTKAY PEREIRA** - pelas sugestões no desenvolvimento do método e pela orientação do trabalho.
- ☺ **PAULO CÉSAR PHILIPPI** - pela participação na banca e pelo incentivo no início de minha trajetória de pesquisa em Conforto Ambiental.
- ☺ **CNPq (CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO)** - pela bolsa de estudos fornecida durante o período de março de 1992 a agosto de 1994.

Sumário Geral

Lista de Figuras	iv
Lista de Tabelas	vi
Lista de Variáveis	vii
Resumo	x
Abstract	xi

Capítulo 1 - Introdução	1
1.1 - Problemática	2
1.2 - Objetivos	6
1.3 - Conforto Térmico X Radiação Solar	6
1.4 - A Janela no Contexto do Conforto	9
1.5 - Projeto e Análise de Brises.	12
1.6 - Estrutura da Dissertação	15

Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica	16
2.1 - Estudo das Variáveis Consideradas	17
2.1.1 - Parcelas Direta, Difusa e Refletida da Radiação Solar	17
2.1.2 - Fator de Ganho Térmico Solar (F_g)	18
2.1.3 - Ganho Térmico Solar.	19
2.1.4 - Coeficiente de Sombreamento (SC)	20
2.1.5 - Ano Climático de Referência (TRY)	20
2.2 - Método Usual	22
2.2.1 - Descrição	22
2.2.2 - Limitações	26
2.3 - Método das Radiações Ponderadas	27
2.3.1 - Descrição	27

2.3.2 - Limitações	29
2.4 - Método Isolinhas de Coeficientes de Sombreamento.....	30
2.4.1 - Descrição	30
2.4.2 - Limitações	33
 Capítulo 3 - Proposta Para o Novo Método	 34
3.1 - Definição do Ambiente sob Análise.....	35
3.2 - Implementação do Método.....	41
3.3 - Cálculo das Radiações	43
3.4 - Cálculo do Ganho Térmico.....	51
3.5 - Método da Admitância.....	54
3.6 - Comparação da Temperatura Ambiental Interna com a Carta de Givoni	63
3.7 - Definição do Fator de Ganho Térmico Solar Desejável.....	67
 Capítulo 4 - Os Resultados e a Criação do Instrumento	 71
4.1 - Valores de Radiação Solar.....	72
4.2 - Valores de Ganho Térmico Solar	74
4.3 - Valores de Temperatura Ambiental Interna Desejável	75
4.4 - Fatores de Ganho Térmico Solar Desejáveis para Florianópolis.	78
 Capítulo 5 - Conclusões	 97
 Referências Bibliográficas	 100

Lista de Figuras

CAPÍTULO 1

1.1 - Habitação de Honnan (Norte da China) ..	3
1.2 - Definição de Arquitetura por Vitruvius ..	4
1.3 - Conceito clássico versus conceito moderno de arquitetura ..	4
1.4 - Hellocaminus ..	6
1.5 - A Arquitetura Vernacular de "Los Pueblos" ..	7
1.6 - Lei do cosseno ..	7
1.7 - Edificação Submetida à Radiação Térmica ..	8
1.8 - Notre Dame de Le Corbusier ..	10
1.9 - Casa Schröder de Rietveld (Linguagem Neoplástica ..	10
1.10 - Balanço Térmico da Janela ..	11
1.11 - Projetos de Wright.....	13
1.12 - Brises de Le Corbusier ..	13
1.13 - Brises do Instituto do Mundo Árabe de Jean Nouvel ..	14

CAPÍTULO 2

2.1 - Incidência da Radiação Solar ..	17
2.2 - Fator Solar ..	18
2.3 - Brises aplicados aos Métodos ..	21
2.4 - Carta Solar para Florianópolis ..	22
2.5 - Transferidor de Ângulos ..	23
2.6 - Ângulos de sombreamento ..	23
2.7 - Máscara de sombreamento ..	24
2.8 - Diagrama de sombras desejáveis ..	24
2.9 - Sombreamento do sol indesejável ..	25
2.10 - Sombreamento desejável para 100% de sombras ..	25
2.11 - Brises propostos segundo o Método ..	26
2.12 - Carta Solar com valores de RP para Porto Alegre ..	27
2.13 - Método das Isolinhas ..	30
2.14 - Proporções I/h para os dois brises ..	31
2.15 - Coeficientes de sombreamento dos brises estudados ..	31
2.16 - Relação I/h desejável ..	32

2.17 - Brises propostos segundo o método	32
--	----

CAPÍTULO 3

3.1 - Ambiente sob análise - sala comercial	36
3.2 - Estrutura térmica leve	37
3.3 - Estrutura térmica média	38
3.4 - Estrutura térmica pesada	39
3.5 - Composição do piso ou teto ..	41
3.6 - Fluxograma geral	42
3.7 - Geometria Solar	43
3.8 - Variação de α , τ e ρ com o ângulo de incidência ..	52
3.9 - Zona de Conforto de Givoni ..	64
3.10 - Temperaturas desejáveis de conforto para os meses do ano em Florianópolis ..	65
3.11 - Comparações possíveis entre as temperaturas do dia em questão e a zona de conforto ..	65

CAPÍTULO 4

4.1 - Temperaturas ambientais - fachada OESTE - 25% de vidro	77
4.2 - Fachada NORTE - 25% de janela - F_{sd} anual	82
4.3 - Fachada NORTE - 100% de janela - F_{sd} anual	83
4.4 - Fachada SUL - 25% de janela - F_{sd} anual ..	83
4.5 - Fachada SUL - 100% de janela - F_{sd} anual ..	84
4.6 - Fachada LESTE - 25% de janela - F_{sd} anual ..	85
4.7 - Fachada LESTE - 100% de janela - F_{sd} anual ..	85
4.8 - Fachada OESTE - 25% de janela - F_{sd} anual ..	86
4.9 - Fachada OESTE - 100% de janela - F_{sd} anual ..	86
4.10 - Fachada NORTE - 25% de janela - Histogramas ..	90
4.11 - Fachada NORTE - 100% de janela - Histogramas ..	91
4.12 - Fachada SUL - 25% de janela - Histogramas	91
4.13 - Fachada SUL - 100% de janela - Histogramas	92
4.14 - Fachada LESTE - 25% de janela - Histogramas ..	92
4.15 - Fachada LESTE - 100% de janela - Histogramas ..	93
4.16 - Fachada OESTE - 25% de janela - Histogramas	93
4.17 - Fachada OESTE - 100% de janela - Histogramas	94

Lista de Tabelas

CAPÍTULO 2

2.1 - Valores de RP e de F para 100 e 50% de sombras	29
2.2 - Comparação do balanço final para os dois brises	29

CAPÍTULO 3

3.1 - Características físicas da estrutura leve	37
3.2 - Características físicas da estrutura média	38
3.3 - Características físicas da estrutura pesada	39
3.4 - Características físicas do piso ou teto	40
3.5 - Características físicas do ambiente sob estudo	40

CAPÍTULO 4

4.1 - Valores de TBS e I_T - 31 de janeiro	72
4.2 - Valores de radiação solar para o dia 31 de janeiro	73
4.3 - F_s e ganhos térmicos solares para o dia 31 de janeiro	74
4.4 - F_{sd} médio para a fachada NORTE	79
4.5 - F_{sd} médio para a fachada SUL	80
4.6 - F_{sd} médio para a fachada LESTE	81
4.7 - F_{sd} médio para a fachada Oeste	81

Lista de Variáveis

ITEM 3.3

d	→ densidade	(Kg/m ³)
k	→ condutividade térmica	(W/m ² °C)
c	→ calor específico	(J/Kg°C)
ϕ	→ latitude	(graus)
A	→ altura do observador	(graus)
β	→ inclinação da superfície	(graus)
G_{sc}	→ constante solar	(1353 W/m ²)
ρ	→ refletividade do solo	(0,2)
ω_s	→ ângulo do poente	(graus)
δ	→ declinação magnética	(graus)
n	→ dia ordenado	(1-365)
h_s	→ hora do poente	
h_n	→ hora do nascente	
ω_0	→ ângulo do nascente	(graus)
h_i	→ hora inicial	
h_f	→ hora final	
h	→ hora em questão	
θ_z	→ ângulo de zênite	(graus)
ω	→ ângulo da hora em questão	(graus)
I_{on}	→ radiação extraterrestre horária	(J)
ω_1	→ ângulo da hora inicial	(graus)
ω_2	→ ângulo da hora final	(graus)
θ	→ ângulo de incidência solar	(graus)
k_t	→ índice de claridade	
I_j	→ radiação solar global horária incidente na horizontal	(J)
I_d	→ radiação difusa horária incidente em superfície horizontal..	(J)
I_b	→ radiação solar direta horária incidente na sup. horizontal ..	(J)
R_b	→ razão entre radiação na sup. inclinada e na horizontal	
I_{bt}	→ radiação solar direta incidente na sup. inclinada	(J)
I_{dt}	→ radiação solar difusa incidente na sup. inclinada	(J)
I_{rt}	→ radiação solar refletida incidente na sup. inclinada	(J)
γ	→ azimuth da superfície (sul = 0, oeste positivo)	

ITEM 3.4

τ_i	→ transmissividade do vidro em função do ângulo de incidência	
i	→ ângulo de incidência	(graus)
τ_0	→ transmissividade do vidro para incidência normal	
α_i	→ absortividade do vidro para incidência normal	
α_0	→ absortividade do vidro para incidência normal	
F_s	→ fator de ganho térmico solar	
U_v	→ transmitância térmica da janela	(W/m ² °C)
R_{se}	→ resistência superficial externa do vidro	(0,04 m ² °C/W)
A_g	→ área da janela	(m ²)
I_d	→ radiação difusa na superfície vertical	(W/m ²)
Q_b	→ ganho térmico solar direto	(W)
Q_d	→ ganho térmico solar difuso	(W)
Q_r	→ ganho térmico solar refletido	(W)
Q_t	→ ganho térmico solar total	(W)

ITEM 3.5

$\overline{Q}_c$	→ ganho casual médio	(W)
$\overline{Q}_s$	→ ganho de calor solar médio	(W)
$\overline{Q}_t$	→ ganho total médio	(W)
$\tilde{Q}_s$	→ desvio no ganho de calor solar	(W)
Q_s'	→ ganho térmico solar máximo	(W)
$\tilde{Q}_f$	→ desvio no ganho de calor estrutural	(W)
Q_c'	→ ganho de calor casual máximo	(W)
$\tilde{Q}_c$	→ desvio no ganho de calor casual	(W)
$\tilde{Q}_a$	→ desvio no ganho de calor ar-para-ar	(W)
$\tilde{Q}_t$	→ desvio total no ganho de calor	(W)
$q_{c1}, q_{c2}, q_{c3}...$	→ ganhos casuais instantâneos	(W)
$h_1, h_2, h_3...$	→ duração de cada ganho casual	
$\bar{I}_t$	→ radiação solar total média na superf. inclinada	(W/m ²)
I_t'	→ radiação solar total de pico	(W/m ²)
$\bar{T}_{ao}$	→ temperatura externa média	(Celsius)
$\bar{T}_{eo}$	→ temperatura sol-ar média	(Celsius)
T_{eo}	→ temperatura sol-ar horária	(Celsius)
T_{ao}	→ temperatura externa horária	(Celsius)
$\bar{T}_{ei}$	→ temperatura interna média	(Celsius)
$\tilde{T}_{eo}$	→ desvio na temperatura sol-ar	(Celsius)

$\tilde{T}_{ao}$	→ desvio na temperatura externa	(Celsius)
$\tilde{T}_{ei}$	→ desvio na temperatura interna	(Celsius)
T_{ei}'	→ temperatura interna máxima	(Celsius)
C_v	→ perda de calor por ventilação	(m ³)
N	→ número de trocas de ar por hora	
v	→ volume interno do ambiente	(m ³)
ΣA	→ somatório das áreas das superfícies internas do ambiente	(m ²)
A_f	→ área da parede externa	(m ²)
U_g	→ transmitância térmica da janela	(W/m ² °C)
U_f	→ transmitância térmica da parede externa	(W/m ² °C)
f	→ fator de decremento	
Y	→ admitância	(W/m ² °C)

ITEM 3.6

T_{ei}''	→ temperatura interna mínima	(Celsius)
T_{sc}	→ temperatura máxima de conforto	(Celsius)
T_{ic}	→ temperatura mínima de conforto	(Celsius)

ITEM 3.7

$\overline{Q}_{td}$	→ ganho total médio desejável	(W)
$\overline{Q}_{sd}$	→ ganho de calor solar médio desejável	(W)
F_{sd}	→ fator de ganho térmico solar desejável	

Resumo

Este trabalho pergunta o que é e de que modo quantificar uma proteção solar eficiente, isto é, um brise que correlacione a incidência de radiação solar com o seu efeito sobre o conforto térmico do homem no interior de uma arquitetura.

Inicialmente, são avaliados três métodos para diagnóstico de brises. As limitações surgidas no exercício destes métodos e na avaliação de sua eficiência como ferramenta de trabalho trouxeram à tona algumas premissas sem as quais não se poderia dar partida numa nova metodologia. É proposto então, um método mais completo, que relaciona as variáveis abstratas dos fenômenos de radiação e ganho térmico solar com índices de linguagem mais clara para o arquiteto.

Dispondo dos dados horários de radiação solar global na superfície horizontal e de temperatura durante um ano climático de referência (TRY) para a cidade de Florianópolis, fez-se o cálculo da radiação direta, difusa e refletida para superfície inclinada para as orientações Norte, Sul, Leste, Oeste, Nordeste, Sudeste, Noroeste e Sudoeste. Estes valores de radiação são transformados em ganhos térmicos, que equacionados no método da admitância fornecem o valor da temperatura ambiental interna média para uma sala típica de escritórios. As temperaturas calculadas são comparadas com as temperaturas da zona de conforto de Givoni. As comparações são aplicadas ao modelo da admitância invertido, resultando em valores de ganhos térmicos solares desejáveis para cada dia do ano. Com isso, os fatores de ganho térmico solares podem ser obtidos pelo confronto entre os valores ideais e os valores disponíveis de ganho térmico solar.

Ao analisar o comportamento de uma proteção solar frente aos seus fatores solares desejáveis, pode-se quantificar sua eficiência.

Abstract

This work deals with the quantification of solar protections efficiency using a correlation between the solar radiation reaching the facade and the indoor thermal comfort.

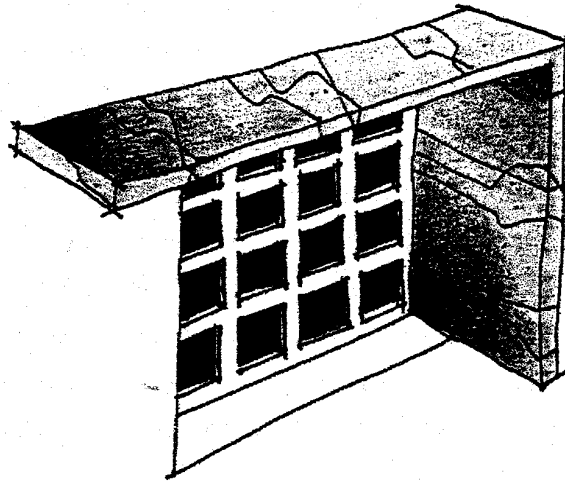
First, three methods to diagnosis solar protections are evaluated. A new methodology was developed without the limitations of three methods. The new methodology uses the solar heat gain factor which is more practical to the architect.

Climatic data in form of a test reference year (TRY) was used for Florianópolis.

Direct, diffuse and reflected solar radiation in sloping surfaces for several orientations (N, S, E, W, NE, SE, NW and SW) was calculated and transformed in heat gains and through the admittance procedure into the internal environment temperature. The environment temperatures calculated were compared with the comfort zone proposed by Givoni. An inverted admittance procedure was developed to calculate the solar heat gains factor necessary for each day of the year.

By comparing the solar heat gain factor of a solar protection with the necessary for the orientation and period of the year the efficiency can be quantified.

1



INTRODUÇÃO

1.1 - Problemática

Nas últimas décadas, alguns profissionais enfocaram diferentemente seus conceitos sobre tecnologia em arquitetura. Houve um repensamento a respeito da adequação entre arquitetura e meio ambiente. A ecologia deu início a uma série de questionamentos que preocupam o mundo. Por sua vez a arquitetura, como espelho (ou máscara) da sociedade e influenciadora do meio, passa por uma revisão conceitual onde se diferencia o fazer um edifício bioclimático e o incorporar os princípios bioclimáticos ao projeto. Mas a formação profissional ainda se distancia deste modo de pensar. Isto advém em parte da falta de métodos que instrumentem o arquiteto com dados precisos e manipuláveis e, em parte por comodismo dos educadores de arquitetura. Este quadro, embora ainda resistente a mudanças pode e deve alterar-se. Mas como?

Talvez ajude repassar algumas experiências históricas da arquitetura. Em muitos exemplos de arquitetura vernacular se percebe o conceito de bioclimatismo. Na cidade de Honnan no norte da China, por exemplo, as edificações foram construídas subterrâneas (RUDOLFSKY, 1981). São escolas, mercados, residências, tudo sob a superfície da terra. Vista de cima, a cidade mostra apenas os pátios das casas (FIGURA 1.1), dimensionados para receber o sol do inverno e rejeitar o do verão.

Até a dita "idade das trevas" o arquiteto e o artesão trabalhavam juntos. O conceber e o construir aconteciam simultaneamente. Nas catedrais góticas a maior parte dos problemas construtivos eram resolvidos *in loco*.

Porém, esse quadro mudou no Renascimento com a invenção da perspectiva por Brunelleschi (BICCA, 1984). A dignidade do arquiteto seria considerada a partir de agora, tanto maior quanto maior fosse sua desvinculação com a participação do artesão. E esta desvinculação seria possível com o desenho — a matematização do espaço — de difícil acesso ao artesão. Começa a história do desenho arquitetônico, crescente com os avanços da tecnologia. As concepções arquitetônicas deixaram de ser bioclimáticas e passaram a ser puramente formais ou se limitaram à solução de problemas de engenharia. A partir do surgimento do Estilo Internacional desenvolveu-se um modo de projetar cada vez menos comprometido com o equilíbrio entre as especificidades climáticas do sítio a ser edificado e as necessidades de conforto do homem.



FIGURA 1.1 - Habitação de Honnan (Norte da China)

Isto estigmatizou um pouco os fundamentos do mestre Le Corbusier. É óbvio que poucos profissionais possuíam as habilidades de Le Corbusier, e se traíram quando limitaram a arquitetura funcionalista a um mero jogo de motivos em fachadas ou a uma luta pela conquista de vãos cada vez maiores em concreto armado. Paralelamente, os avanços de áreas particulares da construção civil (entre elas o Conforto Ambiental) não eram mais assimilados pelos arquitetos. Mies van der Rohe com suas "cortinas de vidro" criou um verdadeiro ícone de edifícios de escritórios. Seu formalismo *clean* foi seguido por várias gerações de profissionais que internacionalizaram o que era distinto para algumas economias.

O conseqüente "edifício estufa" foi então exportado como símbolo de poder assim como sistemas sofisticados de ar-condicionado e megaestruturas de aço e concreto, sem sofrer readaptações às características culturais e climáticas do local destino. A arquitetura estava se prostituindo. Foram surgindo verdadeiros colossos arquitetônicos, submetidos a uma "hemorragia" energética, e conseqüentemente econômica. Esta situação tornou-se insustentável com a crise de energia na década de setenta. Nasceram aí, as preocupações que norteiam os pesquisadores até hoje.

No período clássico, **VITRUVIO (1982)** definia a arquitetura como "**firmitas, utilitas y venustas**" (do latim: solidez, utilidade e beleza) (FIGURA 1.2). No conceito **firmitas** se engloba a estrutura da edificação, seus materiais e componentes e a tecnologia empregada. Em **utilitas** se percebe a noção da funcionalidade arquitetônica. Já aqui se faz presente o Conforto Ambiental, visto que a ergonomia bem como as

características térmicas, lumínicas e acústicas de um ambiente denotam a funcionalidade do espaço e dos elementos construtivos utilizados. O Conforto Ambiental também está presente no conceito de **venustas**, que abrange a plástica da construção.



FIGURA 1.2 - Definição de Arquitetura por Vitruvius

Diversas composições de fachada e ritmos arquitetônicos podem instituir-se em estudos de elementos de conforto. Por exemplo: Um brise que é repetitivo em diversos andares de um edifício pode ser concebido como uma espécie de linha predominante na fachada. Também a volumetria do prédio pode ser trabalhada em função da insolação desejada e conseqüentemente das necessidades térmicas e lumínicas de um ambiente interno. Entretanto, hoje o conceito de arquitetura não deveria se limitar a esta trilogia clássica. Um quarto vértice deve ser acrescentado — a **eficiência energética** (FIGURA 1.3).

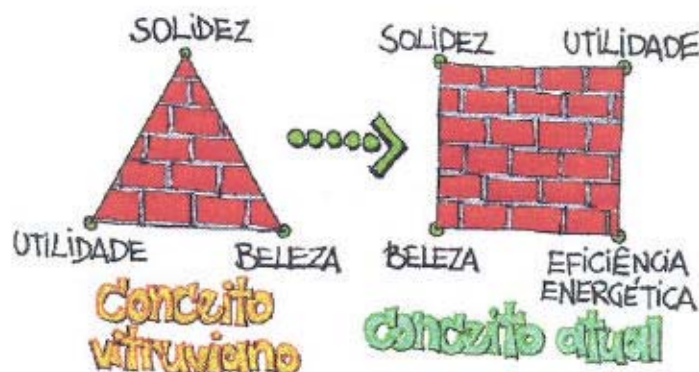


FIGURA 1.3 - Conceito clássico **versus** conceito moderno de arquitetura

A eficiência energética erigiu-se de grande importância nessa época de crises. O enfoque da arquitetura em universidades do mundo inteiro deslocou-se um pouco para o aproveitamento das energias gratuitas do meio ambiente. O advento do computador tornou possível se avaliar, através de programas de simulação, os ambientes físicos de um espaço arquitetônico. Várias equações matemáticas foram desenvolvidas para esclarecer as trocas energéticas entre o interior e o exterior.

Entretanto, esse conhecimento ainda se distancia do projetista, em parte pela falta de instrumentação que o motive a incluir nos primeiros traços do projeto algum conceito de conforto. Muitos aspectos físicos do Conforto Ambiental são ainda obscuros para os pesquisadores, afastando o solucionamento dos problemas da praticidade e operacionalidade requeridas no projeto.

No caso do Conforto Térmico, que é o enfoque deste trabalho, se conhecem, por exemplo, diversas possibilidades de sistemas naturais de resfriamento — **GONZALEZ ET AL (1986)**. Teoricamente, esses sistemas possibilitariam o controle das condições internas de conforto de uma arquitetura com um mínimo de consumo de energia elétrica. Os sistemas de climatização naturais hoje conhecidos se fundamentam na arquitetura vernacular, que se adequava ao meio aproveitando suas características desejáveis e, simultaneamente, evitando as indesejáveis.

Seguindo o exemplo de **KOWALTOWSKI E LABAKI (1993)**, a eficiência do "efeito chaminé" em retirar calor de um compartimento ou em ventilá-lo, depende da altura adequada entre entrada e saída do ar, área adequada da chaminé, localização adequada da chaminé no ambiente arquitetônico e de outros cuidados que se enformam como um jogo de proporções ainda não equacionado. Embora se conheça o esquema, até agora não se propôs um método para dimensionar a chaminé solar garantindo seu desempenho como sistema passivo de resfriamento. A falácia dos sistemas passivos progrediu para outros estudos de Conforto Térmico. Há ainda muito o que desvendar sobre o uso correto de vários elementos arquitetônicos que buscam melhorias na qualidade ambiental da arquitetura. É nesse sentido que o método aqui proposto busca tornar possível a avaliação da eficiência térmica de um elemento arquitetônico hoje muito utilizado — o **brise**.

1.2 - Objetivos

O objetivo principal do trabalho é desenvolver um método para a determinação dos fatores solares desejáveis para uma abertura a partir de dados climáticos do local. Também se objetiva a criação de ferramentas de auxílio ao projeto e à avaliação de proteções solares.

1.3 - Conforto Térmico X Radiação Solar

A radiação solar é o principal fator de ganho térmico em uma habitação. Ao se observar a arquitetura vernacular, se percebe que desde a antiguidade o homem procura aproveitar ou evitar essa forma de energia. Na Roma antiga, por exemplo, o Imperador Ulpiano criou o **Heliocaminus** — **ENARCH'83 (1983)** — para garantir ao povo romano do século II D.C. o direito ao sol (FIGURA 1.4).

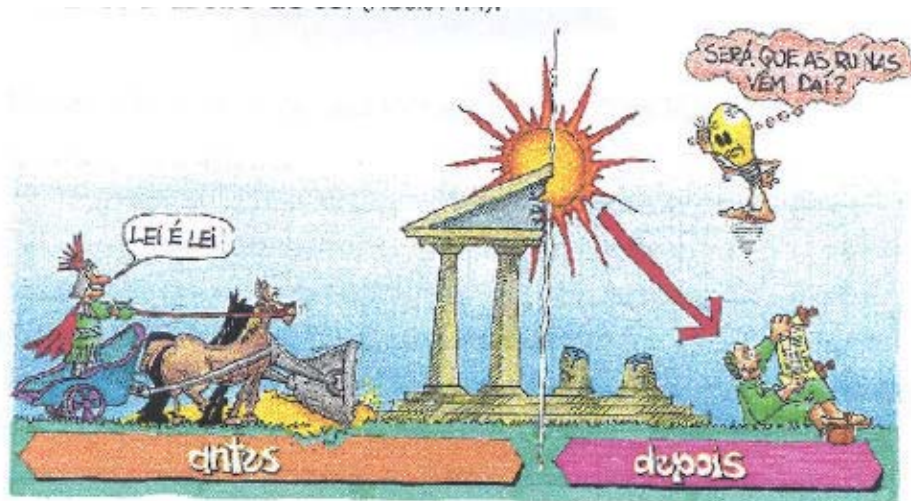


FIGURA 1.4 - Heliocaminus

No deserto do Colorado nos Estados Unidos, o povo de Mesa Verde conhecido como "Los Pueblos" construiu suas habitações protegidas do sol pelas encostas de pedra, de forma a sombrear a incidência dos raios solares no verão quente e seco (FIGURA 1.5). No inverno, a inclinação mais baixa do sol permite sua entrada nas habitações, aquecendo-as durante o dia. O calor armazenado na

rocha das encostas durante o dia é devolvido ao interior das habitações à noite, garantindo o seu Conforto Térmico.

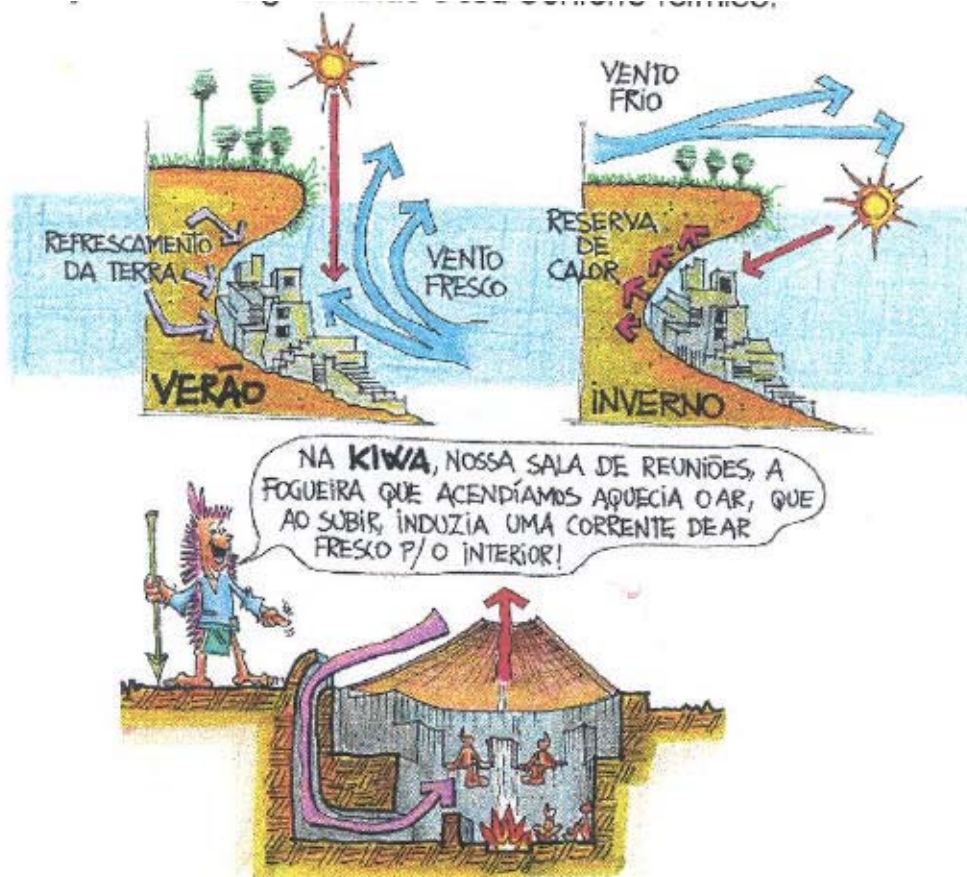


FIGURA 1.5 - A Arquitetura Vernacular de "Los Pueblos"

No nosso século a energia elétrica consumida para aquecimento de água pôde ser economizada ao se criar os sistemas de aquecimento solar, bastante difundidos no mundo inteiro. Muitos outros exemplos podem ser obtidos ao se repassar toda a história da arquitetura.

Para o entendimento do papel da radiação solar no contexto de conforto térmico é importante conhecer alguns conceitos físicos.

Segundo KOENIGSBERGER ET AL (1977), a radiação recebida na superfície terrestre depende basicamente de três fatores. O primeiro fator é a lei do cosseno, que estabelece que a intensidade de radiação em uma superfície inclinada é igual à razão entre a intensidade normal e o cosseno do ângulo de incidência (FIGURA 1.6).

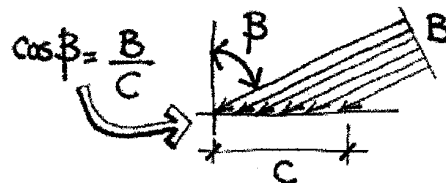


FIGURA 1.6 - Lei do cosseno

Koenigsberger também explica que quanto menor a altura solar, mais longo é o trajeto da radiação através da atmosfera e, em consequência, chega menos radiação à superfície terrestre. Esse fenômeno é conhecido como dissipação atmosférica, ou seja, a absorção da radiação solar pelo ozônio, vapores e partículas contidas na atmosfera. O terceiro fator para Koenigsberger é a duração da luz solar ao longo do dia.

Ao se referir ao balanço de sol em um local específico, **IZARD E GUYOT (1983)** destacam duas categorias de parâmetros: os que são relativos à geografia (latitude, altitude, topografia) ou à geometria da superfície de recepção (orientação, inclinação, autoobstáculos) e os relativos ao clima e ao microclima.

Já na escala da edificação, **OLGYAY (1963)** divide a transferência de calor por radiação em cinco partes principais. O autor define estes segmentos em ordem de importância como: radiação solar direta de onda curta, radiação difusa de onda curta, radiação de onda curta refletida pelo solo do entorno, radiação de onda longa emitida pelo solo aquecido e por objetos próximos e radiação de onda longa perdida do edifício para o céu (FIGURA 1.7). Olgyay também considera a radiação solar como um dos mais importantes contribuintes naturais para o ganho térmico em edifícios.

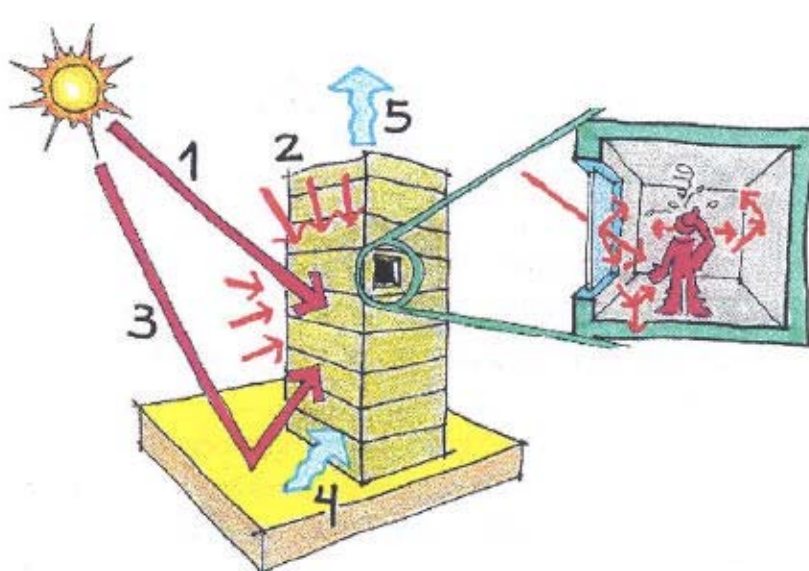


FIGURA 1.7 - Edificação submetida à radiação térmica

Reforçando este pensamento, **McCLUNEY (1993)** diz que o **efeito estufa** é o maior efeito transformador da radiação solar em calor no interior. A radiação solar de onda curta que entra por uma abertura no

edifício incide nos corpos, que se aquecem e emitem radiação de onda longa. O vidro é opaco a estas ondas, que se situam na faixa dos raios infravermelhos. Desta forma, o calor não encontra passagem para o exterior, superaquecendo o ambiente interno.

1.4 - A Janela no Contexto do Conforto

Uma frase bastante sintética e expressiva sobre esse elemento arquitetônico foi dita por **Ciro Porondi (REVISTA PROJETO Nº 125, 1989)**:

"A janela, por sua vez, constitui um dos elementos de borde na arquitetura. Além de uma abertura na parede para a entrada de ar e luz, a janela é um elo sutil que, a uma só vez, significa fronteira e continuidade. Aquilo que possui dois lados indivisíveis, o que não é dentro nem fora. Ao contrário da porta, a janela é uma passagem não física, mas de olhar, da imaginação."

Sendo um dos mais expressivos elementos de uma fachada arquitetônica, a janela já foi tratada com destaque por diversos arquitetos. Na arquitetura vernacular remontam exemplos de pequeninas janelas em países de clima quente e seco. Na catedral gótica as janelas colorem-se com os vitrais. As cenas bíblicas observadas contra a luz afiguram-se como um símbolo de divindade (Deus é luz).

Em Ronchamp, Le Corbusier fez nas vistas de sua "Notre Dame" a composição das aberturas por **elenco** — um jogo compositivo de aparência confusa, mas dotado de equilíbrio e riqueza formais (FIGURA 1.8).

Adolf Loos defendia uma fachada com janelas repetidas e igualmente espaçadas, em detrimento a qualquer ornamentação desnecessária. No Neoplasticismo (**ZEVI, 1984**) as superfícies limitantes do espaço interno são independentes. Os "painéis" podem ampliar-se ou reduzir-se para dosificar a luz nos espaços fluidos. A janela acontece na união entre as diversas superfícies (FIGURA 1.9).

A forma da janela também foi bastante explorada na obra de arquitetos como Louis Khan, Éolo Maia e Mário Botta, que a tornaram, por vezes, o mais importante elemento da fachada.

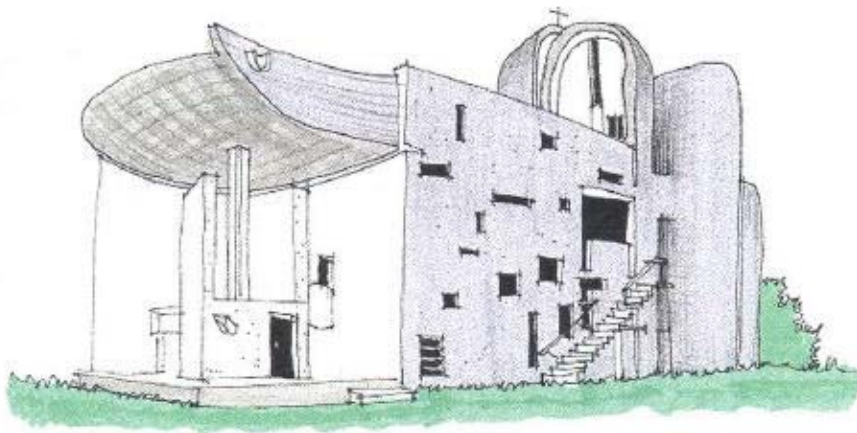


FIGURA 1.8 - Notre Dame de Le Corbusier

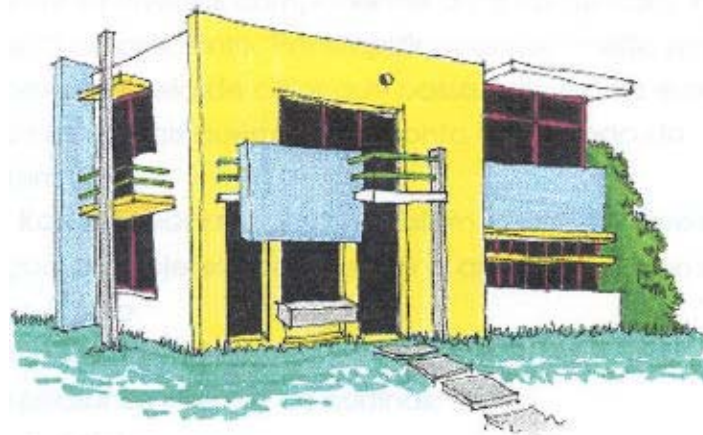


FIGURA 1.9 - Casa Schröder de Rietveld (Linguagem Neoplástica)

Todavia, sendo um elemento polifuncional, a janela possui outras finalidades além da plástica, a saber:

AMBIENTAIS: através do controle do fluxo de calor, fluxo do ar, condensação, penetração da chuva, radiação térmica, transmissão de som e de luz.

DE SEGURANÇA: através de um bom desempenho estrutural e contra roubos, no controle da propagação do fogo, evitando a entrada de insetos e permitindo a fuga no caso de incêndio ou assalto.

OPERACIONAIS: fácil operação e manutenção satisfatória e não dispendiosa.

PSICOLÓGICAS: comunicação física e visual com o exterior.

Por ser transparente, a janela é o único elemento construtivo que tem a propriedade física chamada transmissividade (τ). A equação que engloba as propriedades físicas da janela é:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (1.1)$$

onde: $\alpha \rightarrow$ absortividade;
 $\rho \rightarrow$ refletividade;
 $\tau \rightarrow$ transmissividade.

O esquema geral do balanço térmico de uma janela pode ser visto na figura 1.10 de **IZARD E GUYOT (1983)**. Note-se ser bastante complexa a interrelação entre os diversos componentes do fluxo de calor inicial após sua entrada no ambiente. Por simplificação, será visto neste trabalho apenas a parcela de calor que passa pela janela e penetra ao interior, ficando as demais questões por conta do Método da Admitância (item 3.5).

Segundo **KOENIGSBERGER ET AL (1977)** existem quatro variáveis situadas na zona de ação do projetista para reduzir o aporte calorífico solar através de uma janela:

- orientação e tamanho;
- uso de persianas internas ou cortinas;
- vidros especiais;
- dispositivos externos para sombra.

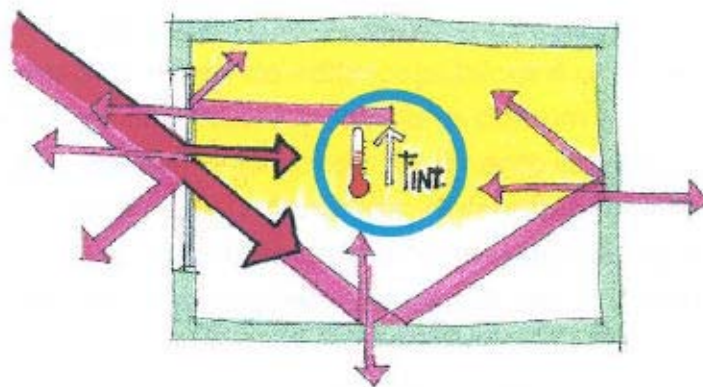


FIGURA 1.10 - Balanço térmico da janela

O enfoque deste trabalho será deslocado para o último item, pois conforme **RIVERO (1985)**:

"Este problema tem enorme transcendência na atividade criadora do arquiteto já que sua solução requer dispositivos ou proteções que pela sua forma, posição e cor, constituem muitas vezes, como ocorre com exemplos relevantes, o elemento fundamental da expressão exterior do volume."

No próximo item será discutida com maiores detalhes esta estratégia.

1.5 - Projeto e Análise de Brises

Várias são as maneiras de se sombrear uma abertura. Pode-se utilizar a sombra de coberturas, marquises, sacadas ou mesmo da vegetação do entorno do edifício. Vale a pena lembrar que no início do século, Frank Lloyd Wright criou o termo **Arquitetura Orgânica**. Seus projetos buscavam se adequar completamente ao entorno, respeitando os elementos naturais do local. Wright elaborou também as **Prairie Houses** (casas de campo) onde os telhados generosos permitiam grandes áreas de sombra ao longo do dia, além de serem o principal elemento orquestrador da volumetria arquitetônica. Nos projetos de Wright se percebe o uso amplo da iluminação natural no sentido de criar espaços aconchegantes e de destacar elementos da própria arquitetura de interiores (FIGURA 1.11).

O brise — ou proteção solar — vem sendo bastante empregado, atualmente, na arquitetura de edifícios públicos e administrativos.

Este elemento arquitetônico tornou-se comum a partir do Estilo Internacional, principalmente após o surgimento das fachadas totalmente envidraçadas. Le Corbusier, defendia a funcionalidade da proteção solar para o controle da radiação e ao mesmo tempo explorava diversas combinações plásticas na fachada com brises (FIGURA 1.12).

Isto prova que, embora o racionalismo carregue hoje a culpa pela criação de edifícios desconfortáveis, mestres como Le Corbusier concebiam sua arquitetura racional em parceria com alguns conceitos bioclimáticos. Em **BOESIGER E GIRSBERGER (1971)** esta idéia pode ser entendida na frase de Le Corbusier:

"... según la intensidad del sol a lo largo de su carrera cotidiana, la superficie acristalada habrá de ser provista de dispositivos categóricos: los partesoles. El arquitecto, utilizando perfiles dictados por el partesol en cada circunstancia precisa, podrá crear grandes ordenaciones arquitectónicas: superficie acristalada a nivel de fachada, tras balcones de 1,20 ó 2,50 m de saliente, etc., en el fondo de macizos alvéolos."

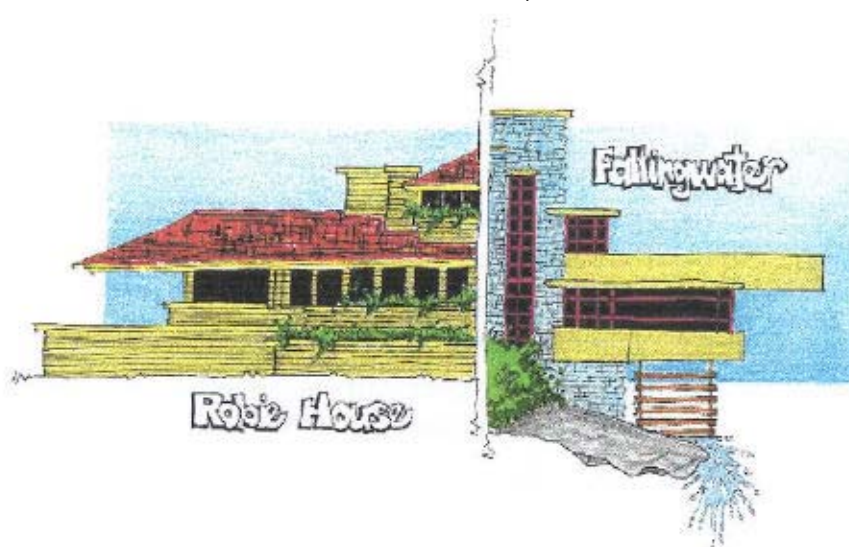


FIGURA 1.11 - Projetos de Wright

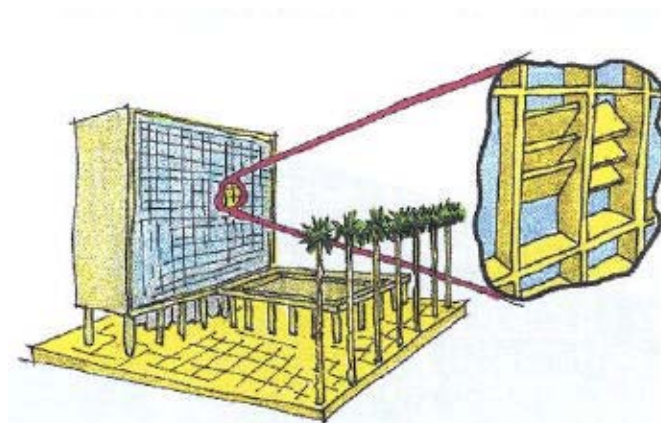


FIGURA 1.12 - Brises de Le Corbusier

Além das vantagens como sistema de resfriamento, a proteção solar é um dos recursos de conforto térmico que interferem no volume externo da arquitetura. Assim, ao especificar um brise, o projetista estará tomando partido também de decisões plásticas.

A proteção solar também influenciará a qualidade e a quantidade de luz natural que passa ao interior. Jean Nouvel (**REVISTA PROJETO Nº 124, 1989**) concebeu no "Instituto do Mundo Árabe" um tipo de brise

"Hightech", que controla automaticamente a intensidade de luz solar no interior. Em forma de diafragmas e movidos por sensores de luz, esses brises compõem um interessante efeito de "tapeçaria" na fachada do edifício, em referência conceitual à cultura Árabe (FIGURA 1.13).

Entretanto é muito difícil conciliar os fenômenos lumínicos e térmicos na eficiência de um brise. Alguns métodos já buscaram respostas a essa questão, porém o que normalmente se faz é adotar um critério (térmico ou lumínico) como prioridade e, após o cálculo do brise, fazer alguns ajustes finais em relação à janela para atender ao critério tomado como secundário (AKUTSU ET AL, 1980).

Entrementes, alguns métodos são bastante elaborados graficamente, definindo proteções solares precisas para cada situação de fachada. O que deixa a desejar é o critério adotado para definir em que momento do ano é desejável a proteção solar. SALEH (1982) por exemplo, constrói uma carta que determina brises com uma complexidade geométrica bastante grande. No entanto, seu método peca ao definir os períodos de sombreamento desejável impondo um limite máximo de 22°C à temperatura do exterior. É importante desmistificar este fato e partir para um critério que considere as temperaturas do interior da edificação, reconhecendo este caso como indicativo das reais condições de conforto num ambiente arquitetônico.

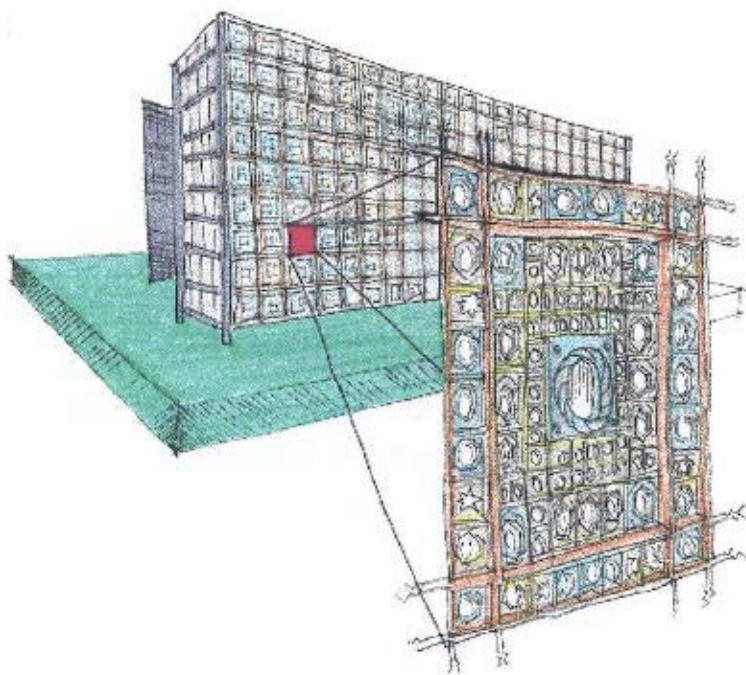


FIGURA 1.13 - Brises do Instituto do Mundo Árabe de Jean Nouvel

1.6 - Estrutura da Dissertação

Este trabalho discute o que é e de que modo quantificar uma proteção solar eficiente, isto é, um brise que correlacione a incidência de radiação solar com o seu efeito sobre o conforto térmico do homem no interior de uma arquitetura.

Após uma rápida **INTRODUÇÃO** ao tema, tem-se, no início do **SEGUNDO CAPÍTULO**, as definições das variáveis físicas estudadas. Após, são analisadas três métodos para diagnóstico de brises, quais sejam: o Método de Olgyay, o Método de Aroztegui e o Método das Isolinhas de Coeficiente de Sombreamento. As limitações surgidas no exercício destes métodos e na avaliação de sua eficiência como ferramenta de trabalho trouxeram à tona algumas premissas sem as quais não se poderia dar partida numa nova metodologia.

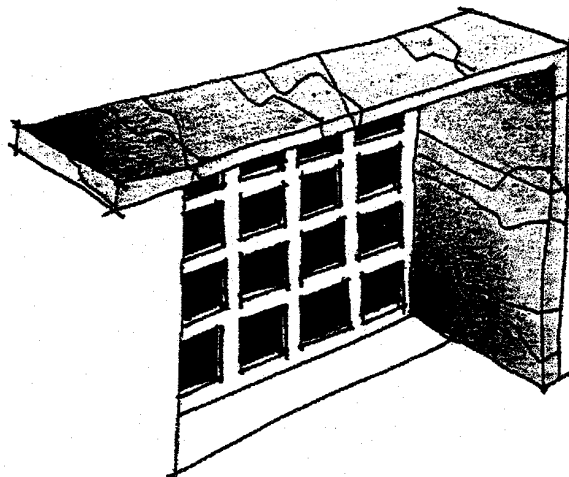
É proposto, então, no **TERCEIRO CAPÍTULO**, um método mais completo que busca relacionar as variáveis abstratas dos fenômenos de radiação e ganho térmico solar com índices de linguagem mais clara para o arquiteto. O novo método aponta o comportamento desejável do fator solar para uma abertura ao longo do ano.

O **QUARTO CAPÍTULO** exemplifica todos os cálculos necessários e fornece os resultados obtidos para as quatro orientações principais (norte, sul, leste e oeste) para a situação tomada como padrão (dimensões e estrutura térmica da sala, ganhos internos de calor e dados externos de temperatura e radiação solar). De forma a esclarecer o comportamento desejável do fator solar para a abertura, é feita uma apresentação em forma gráfica.

No **QUINTO E ÚLTIMO CAPÍTULO**, algumas conclusões importantes sobre o método e sobre a eficiência de parassóis são discutidas. Também se faz sugestões para aprimorar o método proposto, ao se identificar algumas limitações e ao citar algumas complementações para torná-lo aplicável para o projeto ou o diagnóstico de proteções solares.



2



REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Estudo das Variáveis Consideradas

2.1.1 - Parcelas Direta, Difusa e Refletida da Radiação Solar

O valor da radiação solar sobre uma superfície normal aos raios solares na camada externa da atmosfera, considerando uma distância média entre a terra e o sol de $149,5 \times 10^6$ km é definido pela **Constante Solar** (G_{sc}). O valor para G_{sc} utilizado neste trabalho é de 1353 W/m^2 . Após penetrar na atmosfera, esta radiação começa a sofrer interferências no seu trajeto em direção à superfície terrestre. A parcela de radiação que atinge diretamente a terra é chamada **radiação direta** (I_b) e, segundo EVANS (1988), sua intensidade depende da **altura angular do sol** (γ) e do **ângulo de incidência** dos raios solares em relação à superfície receptora (θ) (FIGURA 2.1). Com maior altura angular do sol, a radiação atravessa uma capa atmosférica de menor espessura, sofrendo menos absorção e reflexão.

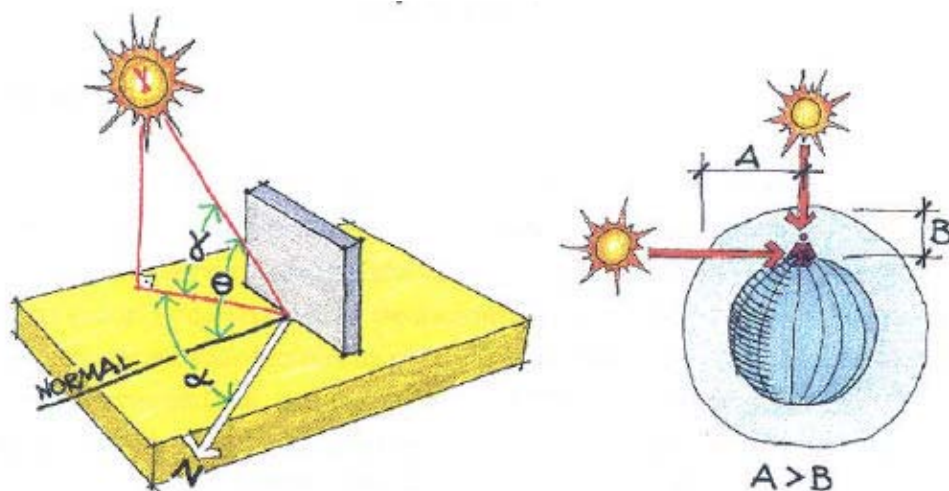


FIGURA 2.1 - Incidência da Radiação Solar

Uma parte da radiação global incidente na atmosfera sofre um espalhamento, tendo sua direção alterada. É a parcela **difusa** da radiação solar (I_d). A radiação difusa é tanto maior quanto mais nebuloso for o dia. Nestes casos, a parcela direta da radiação solar se reduz bastante e todas as fachadas de um edifício tenderão a receber a mesma quantidade de radiação difusa.

A terceira e menos significativa componente da radiação solar é a parcela **refletida** pelo solo e pelas edificações do entorno (I_r). Entretanto, se torna significativa quando do emprego de proteções solares mais complexas, onde o uso de diversos planos horizontais e verticais cria reflexões da radiação direta para o interior.

2.1.2 - Fator de Ganho Térmico Solar (F_s)

Para se conhecer a quantidade de calor que penetra em um ambiente através de uma janela, é importante conhecer o conceito de **fator solar** (F_s) (FIGURA 2.2).

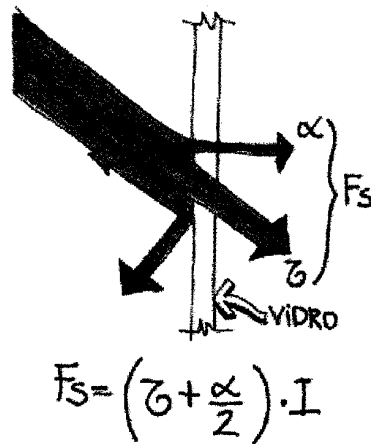


FIGURA 2.2 - Fator Solar

O fator solar de uma abertura ou de um sistema de abertura pode ser entendido como a razão entre a quantidade de energia solar que atravessa a janela pelo que nela incide. Este valor é característico para cada tipo de abertura e varia com o ângulo de incidência da radiação solar. Para o vidro simples, com a incidência direta da radiação solar normal à superfície, o F_s é aproximadamente 0,85. Isto significa que 85% da radiação solar incidente sobre a janela com vidro simples penetra no interior em forma de calor.

Segundo PEREIRA (1992), o fator solar é calculado por:

$$F_s = \bar{\tau} + U(R_{se} \times \alpha_0) \quad (2.1)$$

onde: $\bar{\tau}$ → transmissividade média do vidro simples ($\cong 0,85$);

U → transmitância do vidro ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$);

R_{se} → resistência superficial externa do vidro ($\cong 0,04 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ C/W$);

α_0 → absortividade do vidro para incidência normal ($\cong 0,075$).

Entretanto, **RIVERO (1993)** diz que se deve considerar a variabilidade do ângulo de incidência da radiação solar ao longo do dia e define que:

$$F_s = \tau_i + U(R_{se} \times \alpha_i) \quad (2.2)$$

onde: τ_i → transmissividade do vidro em função do ângulo de incidência;
 α_i → absortividade do vidro em função do ângulo de incidência.

Esta segunda equação foi adotada nos cálculos dos ganhos térmicos solares (capítulo 3) justamente por considerar a variação do ângulo de incidência da radiação solar.

2.1.3 - Ganho Térmico Solar

Tal como a radiação solar, o ganho térmico solar pode ser subdividido em direto, difuso e refletido. O ganho térmico solar direto é a quantidade de calor que penetra em um ambiente pela abertura em função da radiação direta. Sua equação é:

$$Q_s = A_g \times F_s \times I_b \quad (2.3)$$

onde: A_g → área de janela (m²);
 F_s → fator de ganho solar (equação 2.2);
 I_b → radiação solar direta (W/m²).

O ganho solar difuso e refletido, advindos das parcelas difusa e refletida da radiação solar, são equacionadas segundo **RIVERO (1993)** como:

$$Q_d = 0,91 \times I_d \left(\tau + \frac{\alpha}{3} \right) \quad (2.4)$$

onde: I_d → parcela difusa da radiação solar (W/m²);
 τ → transmissividade do vidro para incidência normal;
 α → absortividade do vidro para incidência normal.

e:

$$Q_r = 0,91 \times I_r \left(\tau + \frac{\alpha}{3} \right) \quad (2.5)$$

onde: $I_r \rightarrow$ parcela refletida da radiação solar (W/m^2).

É muito importante se conhecer o comportamento dos ganhos térmicos solares em edifícios, pois o seu controle pode exigir gastos inúteis de energia. Também se deve cogitar o aproveitamento dos ganhos de calor solar nos períodos mais frios, evitando necessidades de calefação no interior.

2.1.4 - Coeficiente de Sombreamento (SC)

O coeficiente de sombreamento é a relação entre o fator solar do vidro em questão e o fator solar do vidro de referência (vidro simples com três milímetros de espessura), assim:

$$SC = \frac{F_s \text{ da janela}}{F_s \text{ do vidro de ref.}} \quad (2.6)$$

Entretanto, **MC CLUNEY (1991)** resalta a importância de se calcular o SC considerando a variabilidade contínua do ângulo de incidência da radiação solar, da distribuição espectral da radiação incidente e também dos movimentos de convecção exterior adjacentes à superfície do vidro.

Esta função não foi empregada nos cálculos desenvolvidos nesse trabalho.

2.1.5 - Ano Climático de Referência (TRY)

Como dado de entrada para os algoritmos detalhados nesta seção foi utilizado o Ano Climático de Referência (**Test Reference Year — TRY**) da cidade de Florianópolis, desenvolvido por **GOULART (1993)**.

O TRY consiste em dados climáticos horários apresentados em um formato padronizado, conforme necessário para programas de simulação de desempenho térmico de edificações como o ESP, o DOE-2.1E e o COMFIE.

O procedimento para selecionar o ano climático para um local específico, é baseado na eliminação de anos de dados, os quais contém

temperaturas médias mensais extremas (altas ou baixas) até permanecer um ano somente. Assim, o ano resultante caracteriza o clima do local.

No TRY constam informações climáticas para as 8760 horas do ano, quais sejam: Temperatura de Bulbo Seco (TBS); Temperatura de Bulbo Úmido (TBU); Temperatura de Ponto de Orvalho; Direção do Vento; Velocidade do Vento; Pressão Barométrica; Tempo (consistindo de precipitação, névoa, poeira, etc); Total de Nuvens; Quantidade, Tipo e Altura de Nuvem; Radiação Solar; Ano; Mês; Dia e Hora. Os dados meteorológicos de Florianópolis não incluíam registros de radiação solar que então, foram estimados a partir da nebulosidade média por **NARCISO FILHO (1993)**.

Para analisar a eficiência de uma proteção solar são necessários apenas os dados de radiação solar e temperatura do ar externo. Portanto, neste trabalho, foram utilizados apenas estas variáveis do TRY.

Antes de propor um instrumento eficiente para análise e projeto de proteções solares, foi necessário repassar alguns modelos já existentes. Em cada um dos modelos eleitos aplicou-se dois brises padrões que possibilitariam algumas análises comparativas entre os resultados. Estas comparações contribuíram ao recolhimento de algumas limitações importantes para a formulação de um novo método.

Os dispositivos de sombreamento aplicados nos métodos de **OLGYAY (1963)**, **AROZTEGUI (1980)** e **JORGE (1993)** obedecem ao seguinte dimensionamento (FIGURA 2.3).

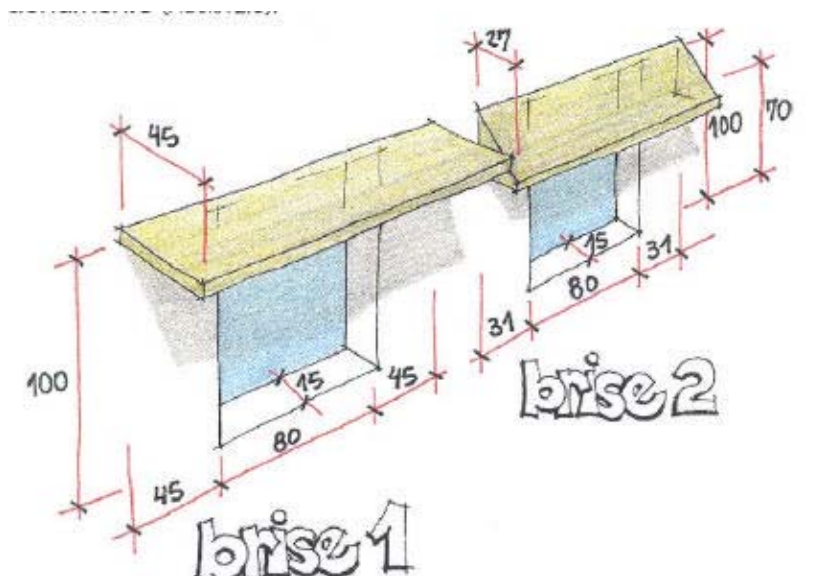


FIGURA 2.3 - Brises aplicados aos métodos

2.2 - Método Usual

2.2.1 - Descrição

O primeiro método revisto foi descrito por **OLGYAY (1963)**. O método de Olgyay, aqui chamado de Usual, é o mais difundido até hoje. Consiste na construção de máscaras de sombreamento para cada abertura da edificação. Estes mascaramentos advêm do uso da carta solar junto ao transferidor de ângulos, gráficos concebidos por projeção equidistante e descritos por **SZOKOLAY (1980)** (FIGURAS 2.4 E 2.5).

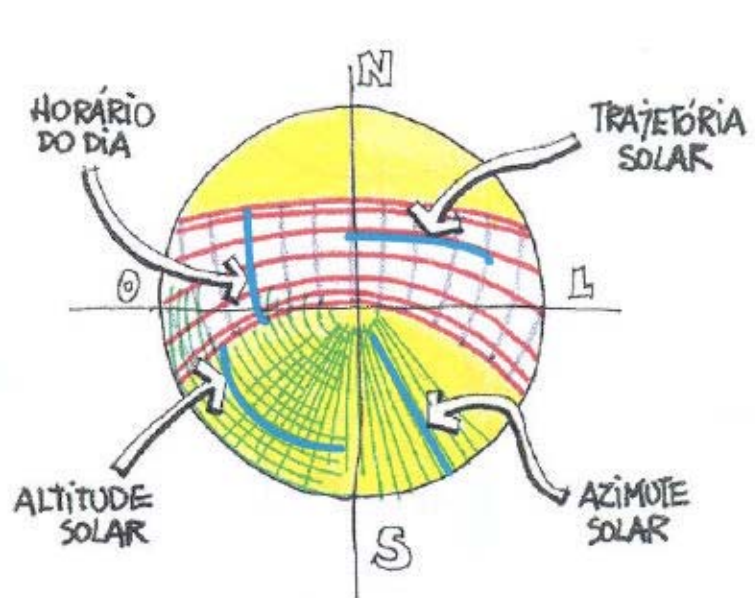


FIGURA 2.4 - Carta Solar para Florianópolis

Através da geometria equidistante transforma-se qualquer elemento sombreador numa mancha gráfica (máscara) que, sobreposta à carta solar, indica os horários do ano em que haverá sombra na abertura.

O Método de Olgyay é bastante simples na sua utilização, descrita passo a passo a seguir:

- De posse das três vistas da abertura (corte, planta e fachada) com os seus respectivos elementos sombreadores, calcula-se pela trigonometria ou traça-se geometricamente os ângulos limites de

sombreamento alfa (α), beta (β) e gama (γ). Quando se deseja analisar os períodos de sombreamento total, utiliza-se os ângulos de 100% de sombras, que partem das extremidades da janela. Caso o ambiente sob análise permita sombreamento parcial, traça-se os ângulos de 50% de sombras, a partir do centro da abertura. No caso do brise padrão, os ângulos de sombreamento são: (FIGURA 2.6)

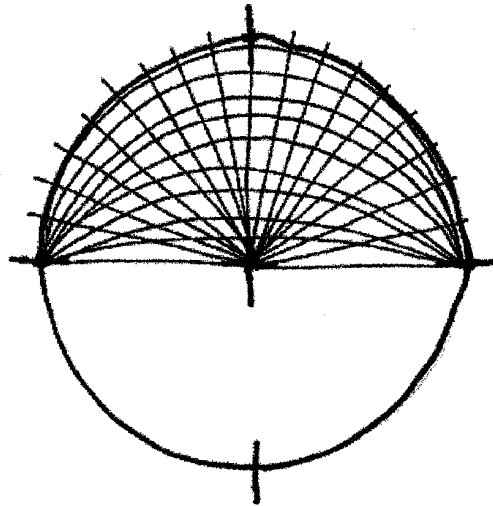


FIGURA 2.5 - Transferidor de Ângulos

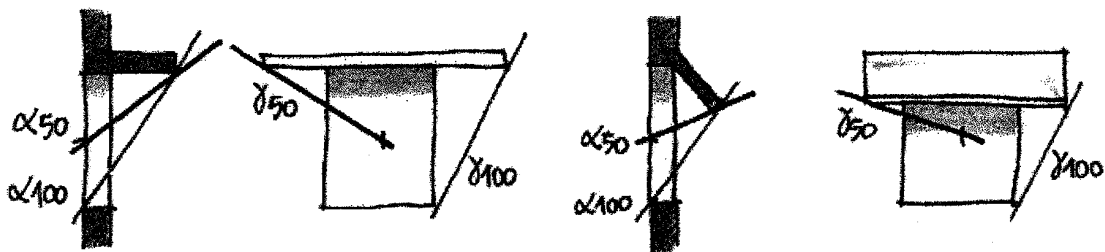


FIGURA 2.6 - Ângulos de sombreamento

- Feito isto, os ângulos devem ser transportados ao transferidor de ângulos, onde será construída a máscara de sombras. É importante ressaltar que o transferidor de ângulos foi concebido de acordo com a geometria solar (FIGURA 2.7).

Observa-se que para os dois brises (FIGURA 2.6 E 2.7) o mascaramento de 100% de sombras é idêntico, embora o mascaramento de 50% seja distinto. Percebe-se então que a máscara de 100% não enxerga a diferença existente entre os dois brises e poderia levar a resultados incoerentes se utilizada como único fator de desempenho térmico.

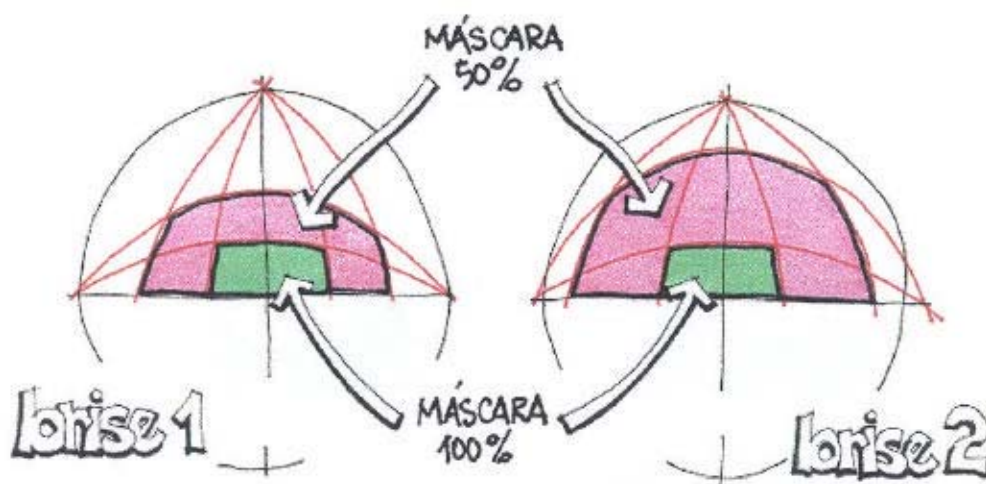


FIGURA 2.7 - Máscara de sombreamento

- A partir dos dados climáticos do local, desenha-se na carta solar para a latitude em questão a linha de sombras desejáveis (FIGURA 2.8). Ao se sobrepor a máscara de sombreamento do brise à carta solar (obedecendo a orientação da fachada analisada), obtém-se os períodos em que o sol indesejável é sombreado (FIGURA 2.9).

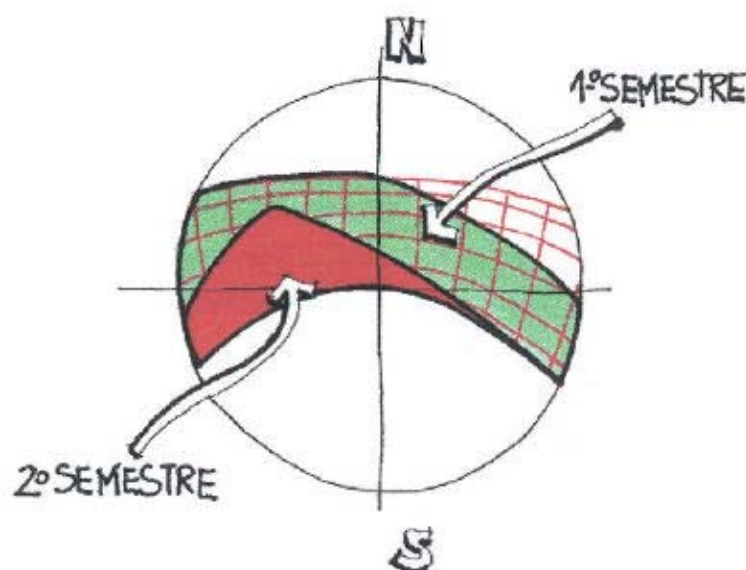


FIGURA 2.8 - Diagrama de sombras desejáveis

- No Método de Olgyay, um brise é considerado eficiente quando sombreado o máximo possível do sol indesejável e, simultaneamente, o mínimo do restante. Estes princípios, entretanto, não são quantificáveis aqui. Na análise dos dois brises, percebe-se que o brise 2 sombreada a maior parte do sol indesejável, porém também sombreada boa parcela

do sol desejável, e isto não pode ser quantificado pelas máscaras. A análise gráfica é apenas visual, devendo o profissional fazer a leitura das proporções mascaradas e não mascaradas usando do bom senso para identificar problemas.

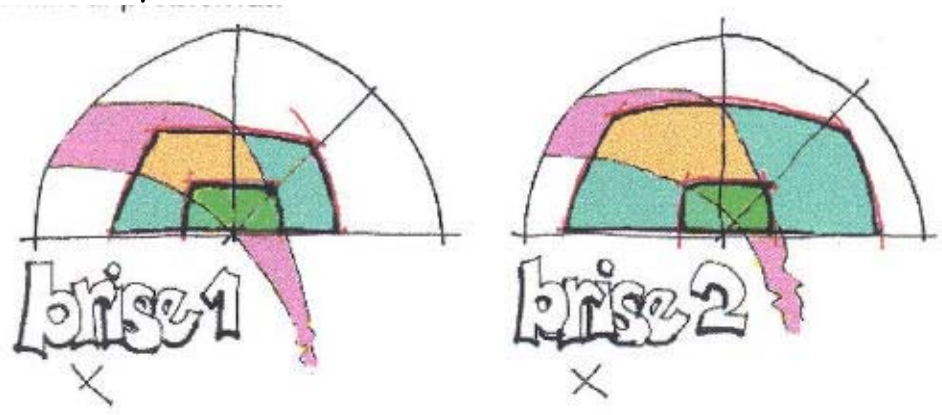


FIGURA 2.9 - Sombreamento do sol indesejável

Além disso, se o calculista tentar redimensionar os brises tendo como referência apenas os mascaramentos de 100%, poderá superdimensionar a proteção solar. É importante ressaltar que este é o caso mais típico, pois o mascaramento de 50% de sombras é raramente utilizado.

Após diagnosticar uma abertura, pode-se empregar este mesmo método para propor elementos sombreadores mais eficientes. O processo a ser seguido neste caso é:

- No transferidor de ângulos sobreposto a carta solar, traça-se os ângulos necessários para o sombreamento total (100%) ou parcial (50%) do sol indesejável (FIGURA 2.10). Como usualmente se utiliza apenas o sombreamento total (100%), este é o princípio utilizado neste exercício.

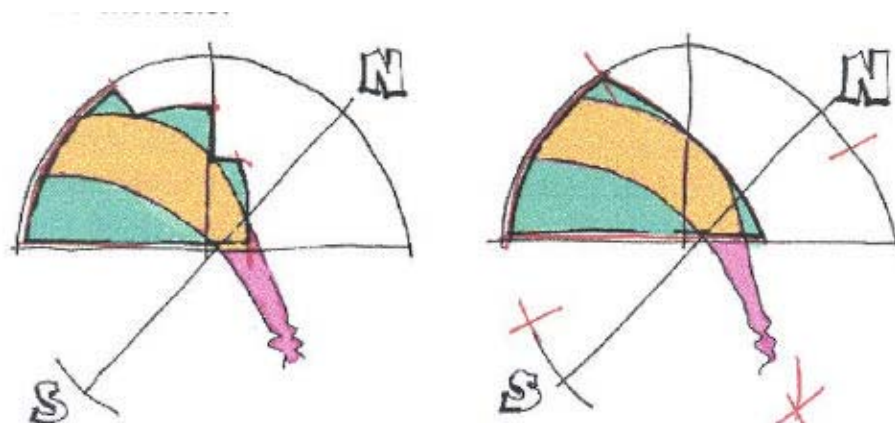


FIGURA 2.10 - Sombreamento desejável para 100% de sombras (duas propostas)

- Estes ângulos enformam a máscara, que aplicada nas três vistas da abertura, servirão de base para a construção do brise (FIGURA 2.11).

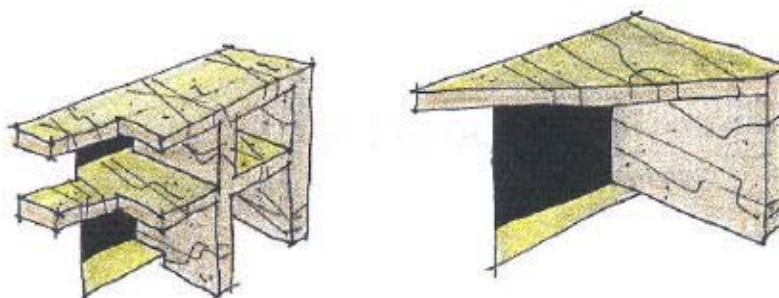


FIGURA 2.11 - Brises propostos segundo o método (duas propostas)

- Os brises resultantes atendem às necessidades de sombreamento total da abertura. No entanto, ao considerar-se aspectos de desempenho lumínico, visual e de ventilação, são diferentes. Além do que, o mascaramento de 50%, se for feito, denotará uma pequena diferença também de desempenho térmico (não quantificável). É importante ressaltar que a escolha do tipo de brise deve englobar todos os aspectos citados anteriormente, visto que as alternativas possíveis para um determinado jogo de ângulos de sombreamento são inúmeras.

2.2.2 - Limitações

Embora o método de Olgyay seja simples de aplicação por empregar diretamente as cartas solares, hoje bastante difundidas, é restrito sob o ponto de vista da performance do dispositivo de sombreamento. Não é possível quantificar a sombra do brise. O método não permite também qualificar a necessidade de sol nos períodos frios (locais de clima temperado). Nestes casos se quer deixar o sol penetrar pela abertura, ou seja, inverteria-se a filosofia do Método, que passaria a foco o sombreamento máximo permitido e não o mínimo desejável. O fato de ser usualmente empregado apenas com a máscara de 100% de sombras, torna o método incipiente na qualificação de brises quanto ao seu desempenho visual e lumínico, além da já citada dificuldade em diferenciar alguns dispositivos de sombreamento.

Com relação à carta de necessidades de sombreamento utilizada, poderia se questionar na sua concepção o fato de ser resultante de dados climáticos do exterior. Se uma proteção solar possui como uma das funções

reduzir o aporte energético de um ambiente, aumentando as condições interiores de conforto, por que não se avalia o que acontece com as variáveis térmicas no ambiente interior?

2.3 - Método das Radiações Ponderadas

2.3.1 - Descrição

Este método se utiliza da variável **Radiação Ponderada** (RP) criada por **AROZTEGUI (1980)**. O autor pondera as radiações recebidas em uma fachada, hora por hora para um dia típico de cada mês. Ao transferir os valores ponderados das radiações diretas e difusas para a carta solar, o método torna viável uma apreciação objetiva do valor da sombra projetada em termos quantitativos. Para melhor esclarecer o Método, foram aplicados os mesmos brises do item anterior.

O Método de Aroztegui obedece a sequência:

- Dispondo dos gráficos com os valores de RP para cada orientação de um local determinado, constrói-se o mascaramento da abertura, conforme o método já conhecido de Olgyay (FIGURA 2.12).

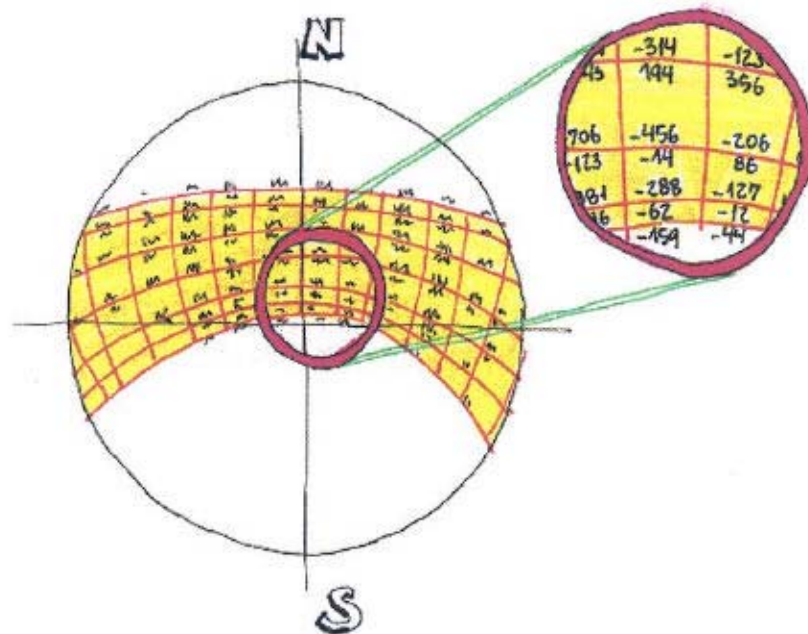


FIGURA 2.12 - Carta Solar com valores de RP para Porto Alegre

- Sobre põe-se a máscara encontrada ao gráfico de RP correspondente à orientação da fachada.
- Ao pé do gráfico, está indicado o balanço das radiações positivas e negativas diretas. Segundo Aroztegui deve-se somar as RP sombreadas pelo mascaramento e subtraí-las do balanço anterior, obtendo assim o novo balanço com a proteção solar.

Como se quer descobrir a influência da máscara de 50% de sombras para as aberturas, propõe-se também a soma das RP sombreadas por esta máscara. O valor global a ser descontado no balanço final é igual ao total sombreado em 100% mais a metade das RP sombreadas pela diferença entre as duas máscaras, ou seja:

- Primeiramente se somam as RP (positivas ou negativas) sombreadas pela máscara de 100% de sombras;
- Depois, se somam as RP mascaradas em 50% de sombras, subtraindo do total as RP mascaradas em 100%;
- O valor encontrado dividido por dois (50% = metade das RP mascaradas) é a diferença entre as máscaras de 100 e 50 % de sombras;
- Somando a este último as RP sombreadas em 100% obtém-se o valor total a ser descontado no balanço final.

Os valores de RP mascaradas encontrados para os dois brises sob estudo estão na tabela 2.1.

- Para fazer o balanço das RP difusas, deve-se sobrepor a máscara de sombras ao gradil auxiliar (transferidor de ângulos), contando a parte não mascarada e dividindo por 162 (número de partes do gradil). O número encontrado (coeficiente F) será multiplicado pelo balanço das radiações difusas para obter as penetrantes. Foram consideradas as parcelas mascaradas em 50% mantendo-se o raciocínio descrito anteriormente. Os valores dos coeficientes F encontram-se na tabela abaixo.
- Finalizados os cálculos precedentes, obtém-se o balanço final das RP penetrantes, correspondentes ao brise e à orientação dada. Segundo Aroztegui, este valor expressa a qualidade da proteção e da abertura em relação aos desempenhos térmicos frente às radiações solares para um determinado clima e orientação.

TABELA 2.1 - Valores de RP e de F para 100 e 50% de sombras

	BRISE 1		BRISE 2	
	100%	100 + 50%	100%	100 + 50%
RP (+)	679	5417	679	11168
RP (-)	6174	7866	6174	8224
F	0,75	0,64	0,75	0,48



66% de diferença

2.3.2 - Limitações

Da mesma forma que Olgyay, Aroztegui se utiliza apenas das máscaras de 100% de sombras. Ao considerar-se 50% de sombras obteve-se resultados de RP até 66% diferentes dos calculados pela versão original (somente máscaras de 100% de sombras) (TABELA 2.2). Isto revela a deficiência do método em comparar diversos tipos de brises.

TABELA 2.2 - Comparação do balanço final para os dois brises

	BRISE 1		BRISE 2	
	100%	100 + 50%	100%	100 + 50%
RP desej. (+)	22930	18192	22930	12441
RP indesej. (-)	3822	2130	3822	1772
balanço	19108	16062	19108	10669
dif. desej.	968	1355	968	1975
dif. penetr.	478	408	478	306

Aroztegui também considera que a parcela difusa da radiação solar é uma resultante de céu limpo, padrão que se desvincula da realidade para cada período do ano.

Outra limitação do método é seu próprio fundamento, a RP. Enquanto se aproximam do fenômeno térmico envolvente dos mecanismos de transferência de calor em aberturas, as RP se afastam da linguagem do arquiteto. Se tornam difíceis de visualizar e compreender como variáveis qualitativas. Do ponto de vista da proposta, o dimensionamento de um brise a partir das Radiações Ponderadas pode ser feito por **tentativa e erro**.

2.4 - Método Isolinhas de Coeficientes de Sombreamento

2.4.1 - Descrição

Elaborado recentemente por **JORGE et al (1993)**, este método enfoca a definição formal do brise. Consiste de dois quadros: um com as características da abertura e outro com as isolinhas de coeficiente de sombreamento (*Shading Coefficient Isolines*) (FIGURA 2.13).

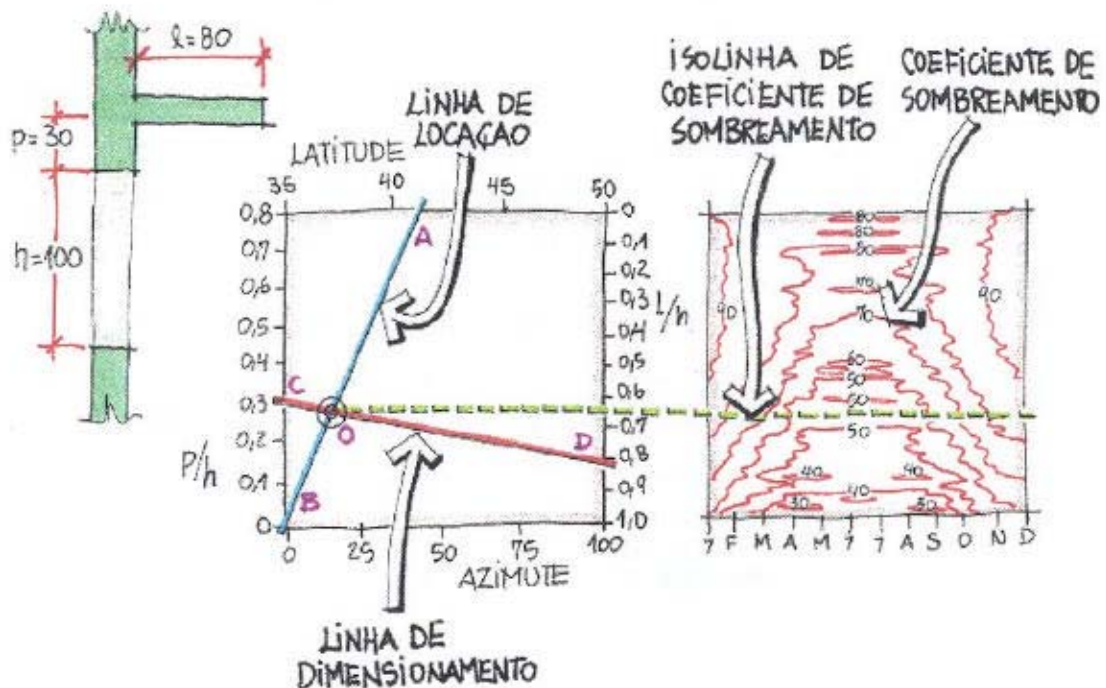


FIGURA 2.13 - Método das isolinhas

Para a análise de uma proteção solar, deve-se:

- Definir através do corte da abertura as proporções l/h e p/h (FIGURA 2.14).
- No quadro da esquerda traçar a linha de locação, que une a latitude do local (ponto A) à orientação da abertura (ponto B, azimuth = 0° , correspondente ao sul).

- Traçar também a linha de dimensionamento unindo os pontos representantes das dimensões relativas do brise (ponto C). Para os dois brises analisados o valor de p/h é zero e o valor de l/h para o brise 1 é 0,45 e para o brise 2 é 0,27.

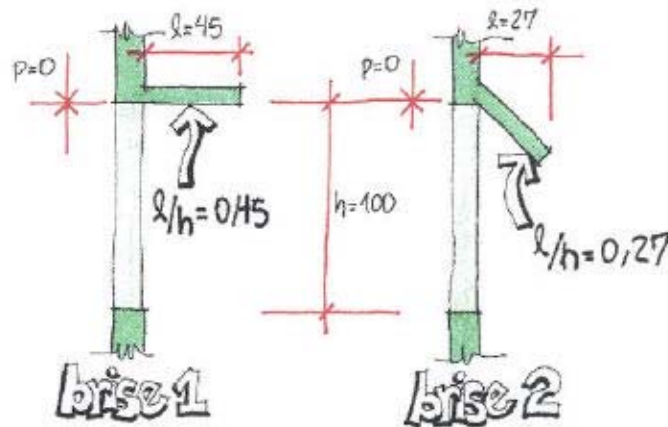


FIGURA 2.14 - Proporções l/h para os dois brises

- A linha horizontal (linha tracejada na figura) que inicia no cruzamento do ponto O, cruza as linhas de igual eficiência (*Shading Coefficient Isolines*) e mostra a performance do brise para todos os meses do ano no quadro da direita (FIGURA 2.15). Percebe-se que o brise 1 possui coeficientes de sombreamento menores que os do brise 2, ao longo do ano. Porém, mostrando-se esta diferença pequena, fica difícil definir qual dos dois brises é mais eficiente, visto que não se sabe qual o comportamento desejável para os coeficientes de sombreamento.

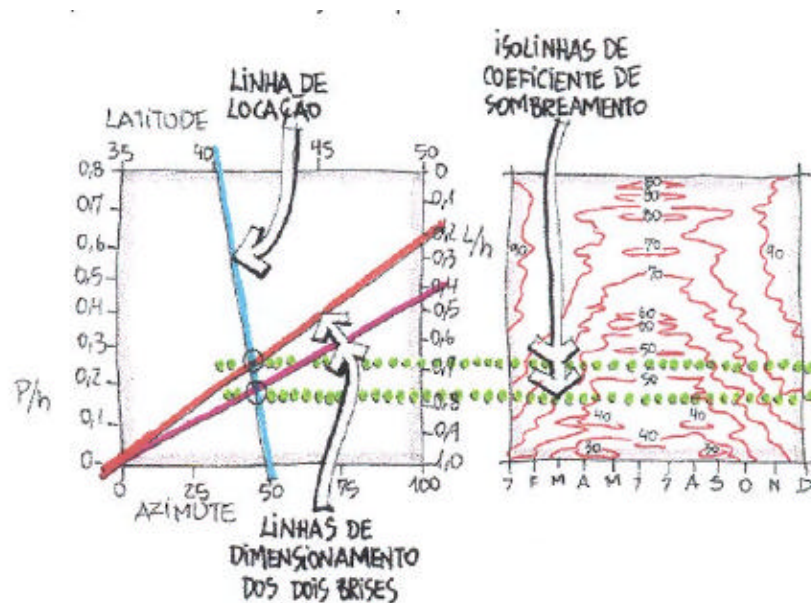


FIGURA 2.15 - Coeficientes de sombreamento dos brises estudados

O uso do método para dimensionar mais adequadamente um brise é:

- Escolher o valor desejado de coeficiente de sombreamento em dezembro (>70%) e outro para junho (<50%) no quadro da direita.
- Seleccionar uma linha horizontal que represente esta região (linha tracejada).
- Traçar a linha de locação, considerando a latitude do local e a orientação da abertura.
- A linha de locação cruza a linha tracejada no ponto O.
- As melhores combinações possíveis para valores de p/h e l/h são obtidas considerando o intervalo p/h indutor do maior intervalo l/h (FIGURA 2.16).

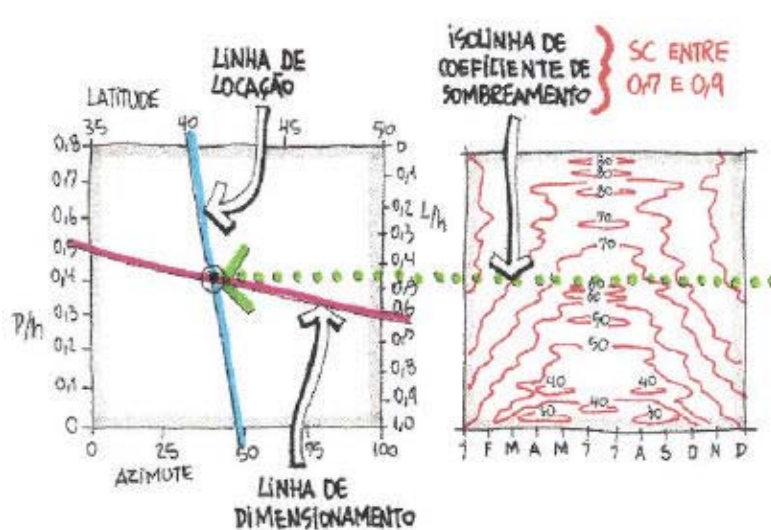


FIGURA 2.16 - Relação l/h desejável

O intervalo l/h encontrado como ideal, resultaria em desempenhos diferentes para os dois brises analisados. O brise 2 sombreará a abertura mais que o brise 1, no entanto de acordo com o método os dois brises resolvem igualmente a necessidade de sombreamento (FIGURA 2.17).

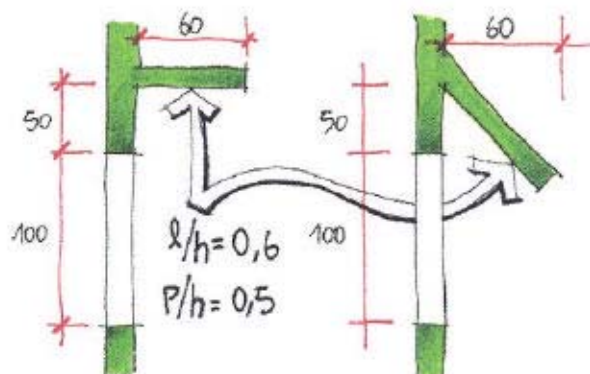


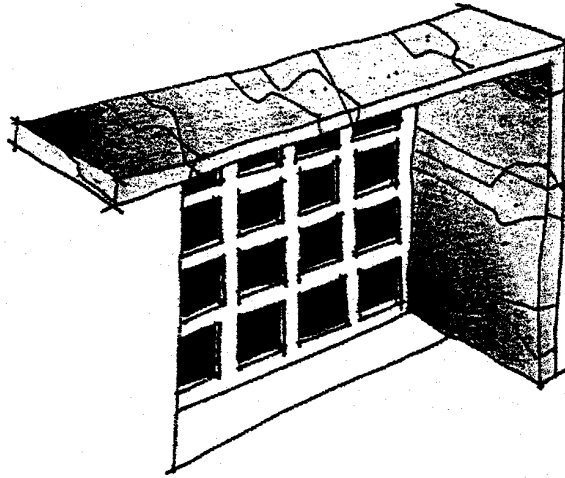
FIGURA 2.17 - Brises propostos segundo o método

2.4.2 - Limitações

É um método ainda em desenvolvimento e, portanto, foi concebido apenas para um intervalo de latitudes distinto (de 35 a 50°). Caso se queira aplicar o método para outros locais que não o descrito no artigo, será prioritária a construção de quadros particulares de isolinhas de coeficiente de sombreamento. Contudo, a mais clara limitação desta metodologia é sua incapacidade de aplicação para protetores solares verticais ou mais complexos que o modelo horizontal estabelecido.



3



PROPOSTA PARA O NOVO MÉTODO

A eficiência de uma proteção solar pode ser estimada a partir de métodos práticos (como o relógio solar e o heliodon), numéricos, e gráficos (como os estudados no capítulo anterior). O Método aqui proposto busca responder às principais limitações dos Métodos analisados anteriormente.

Uma das preocupações é a qualificação e a quantificação da necessidade de sombras nos diversos períodos do ano. Em locais de clima subtropical (como no sul do Brasil), as estações do ano costumam ser bem distintas. A necessidade de sombra no verão se contrapõe à necessidade de sol no inverno, e isto dificulta a proposta de brises a partir dos Métodos como o de Olgyay ou o de Aroztegui, que apenas dizem se deve ou não haver sombra total, não permitindo a avaliação de proteções solares que sombreiem parcialmente a abertura.

Outro ponto de vista a ser discutido é o uso das variáveis térmicas referenciais de conforto. Os três Métodos avaliados pecam por tomar como referencial de conforto a temperatura do ar exterior. O brise é um sistema empregado para reduzir o aporte de calor no ambiente interno, e as variáveis térmicas deste ambiente é que se correlacionam com o conforto do ocupante.

Além de considerar as duas premissas anteriores, o Método proposto se diferencia dos anteriores por possibilitar a confecção de brises particulares para um determinado ambiente. A indicação do fator solar para uma abertura é feita a partir de uma simulação simplificada de um ambiente qualquer, considerando variáveis construtivas como o tipo de fechamentos (paredes externas e internas, piso e cobertura), e os ganho internos de calor (ocupantes, equipamentos e iluminação artificial).

3.1 - Definição do Ambiente sob Análise

A metodologia proposta inclui vários tipos de equacionamentos, que possibilitam se chegar à temperatura interna estimada de um ambiente a partir de dados de radiação global e de temperatura do ar para uma localidade. Todos os algoritmos são detalhados nos itens subseqüentes. Entretanto, o número de variáveis envolvidas nos cálculos é bastante grande e, por exigência metodológica, se optou em simplificar algumas variáveis que não comprometem a eficácia do método.

Construiu-se o método de forma bastante objetiva, criando um ambiente padrão representante de características alicerçadas na realidade. Este ambiente denota uma sala típica comercial, cujas dimensões e tipos de fechamento buscam ser aplicáveis no maior número de casos possíveis. A função "sala comercial" foi eleita por englobar a maior parte dos ambientes arquitetônicos que necessitam de enxugamentos na sua demanda energética. Estabeleceu-se, então, o seguinte ambiente como padrão (FIGURA 3.1):

Conforme a figura 3.1, a sala comercial analisada neste trabalho possui suas dimensões fixas, variando-se apenas a área de janela e a estrutura térmica dos fechamentos.

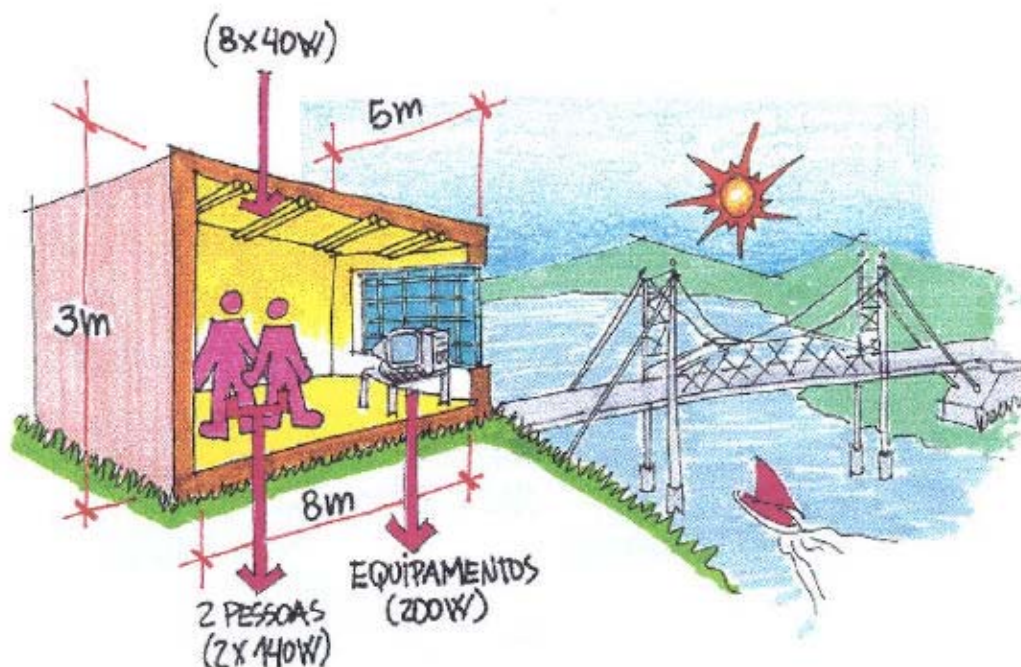


FIGURA 3.1 - Ambiente sob análise - sala comercial

Segundo **GHISI (1994)**, a principal solução construtiva de uso corrente em Florianópolis é a alvenaria de tijolos de 6 furos. Esta estrutura térmica intitulou-se "média" neste trabalho. Mais duas opções de estruturas foram acrescentadas no estudo. A primeira com concreto celular, intitulada "leve" e a segunda com tijolos maciços, intitulada "pesada". Os esquemas dos fechamentos "leve", "médio" e "pesado" podem ser vistos nas figuras 3.2, 3.3 e 3.4, respectivamente. As constantes físicas adotadas para cada estrutura térmica foram:

a) ESTRUTURA TÉRMICA LEVE (FIGURA 3.2):

Parede externa de concreto celular, rebocada em ambas as faces.
Divisórias de madeira no interior.

Parede externa: espessura total = 0,07 m

Divisória interior: espessura total = 0,031 m

A resistência térmica da câmara de ar das divisórias internas é de $0,17 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$.

TABELA 3.1 - Características físicas da estrutura leve

	Parede Externa			Divis. Int.
	Reboco ext.	Concreto celular	Reboco int.	Madeira
d (kg/m ³)	1800	700	1800	600
k (W/m °C)	1,10	0,27	1,10	0,14
c (J/kg °C)	1000	1000	1000	2000
e (m)	0,01	0,05	0,01	0,003

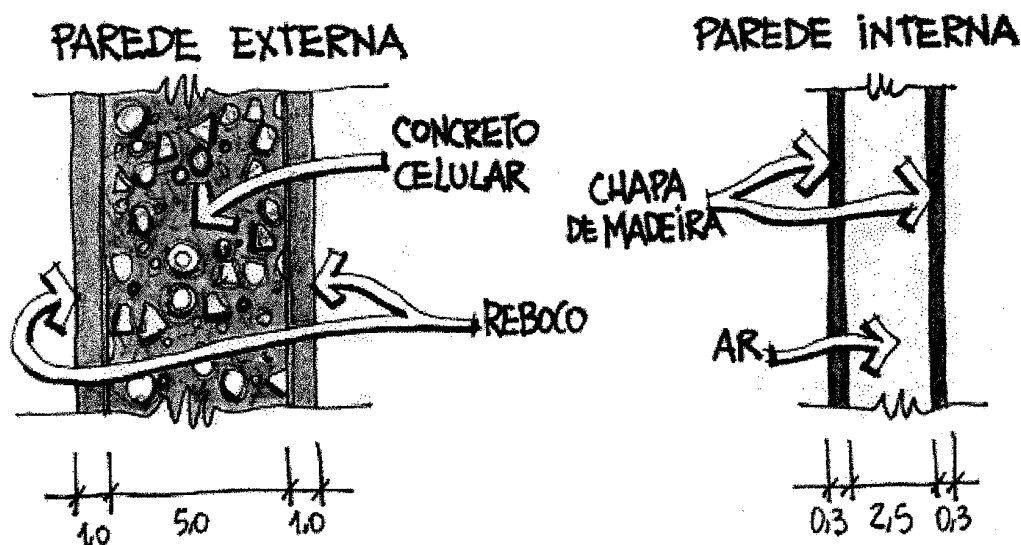


FIGURA 3.2 - Estrutura térmica leve

b) Estrutura térmica média (FIGURA 3.3):

Parede com tijolos de seis furos (9,5 x 13,2 x 19 cm) assentados sobre a menor face, rebocada em ambas as faces.

Parede externa: espessura total = 0,12 m

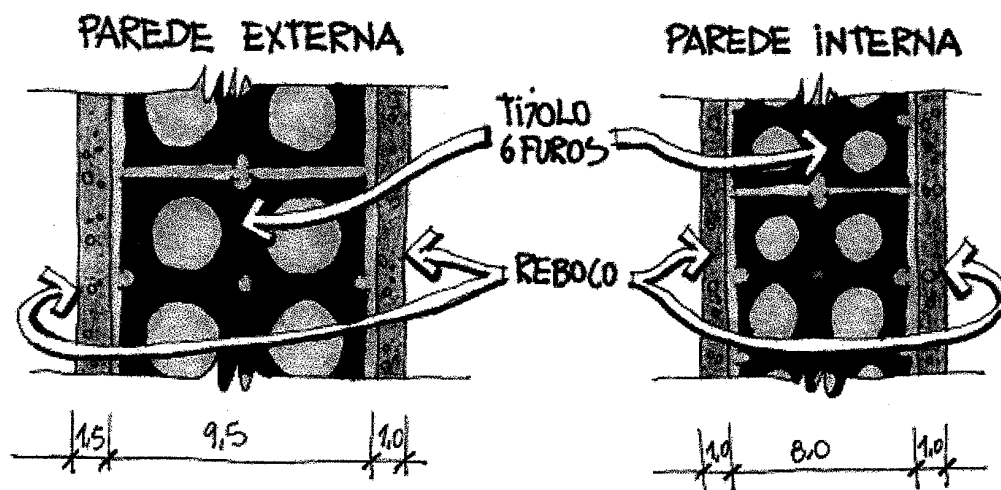


FIGURA 3.3 - Estrutura térmica média

TABELA 3.2 - Características físicas da estrutura média

	Parede Externa			Parede Interna		
	Tijolo	Reb. ext.	Reb. int.	Tijolo	Reb. ext.	Reb. int.
d (kg/m³)	1300	1800	1800	1300	1800	1800
k (W/m °C)	0,9	1,1	1,1	0,9	1,1	1,1
c (J/kg °C)	920	1000	1000	920	1000	1000
e (m)	0,095	0,015	0,01	0,08	0,01	0,01

Parede interna: espessura total = 0,10 m

Mesmo tijolo e reboco, variando apenas as espessuras que passam a ser 0,08 m para o tijolo e 0,01 m para o reboco interior e exterior.

c) ESTRUTURA TÉRMICA PESADA (FIGURA 3.4):

Paredes com tijolos maciços, rebocado em ambas as faces.

Parede externa: espessura total = 0,29 m

Parede interna: espessura total = 0,13 m

As dimensões interiores da sala podem ser vistas na figura 3.1. e representam valores bastante comuns em salas do tipo comercial. Percebe-se que apenas uma das paredes está exposta ao exterior. Esta simplificação foi necessária em virtude do grande número de simulações que acarretaria, não comprometendo, no entanto, a idéia geradora do método. Caso fosse necessário o estudo de uma sala com duas paredes expostas, apenas os

valores da área de parede externa e da área de envidraçamento seriam alterados — variáveis de entrada no Método da Admitância (item 3.5).

TABELA 3.3 - Características físicas da estrutura pesada

	Parede Externa			Parede Interna		
	Tijolo	Reb. ext.	Reb. int.	Tijolo	Reb. ext.	Reb. int.
d (kg/m³)	1600	2100	1800	1600	1800	1800
k (W/m °C)	0,81	1,4	1,1	0,81	1,1	1,1
c (J/kg °C)	920	1000	1000	920	1000	1000
e (m)	0,25	0,025	0,015	0,10	0,01	0,01

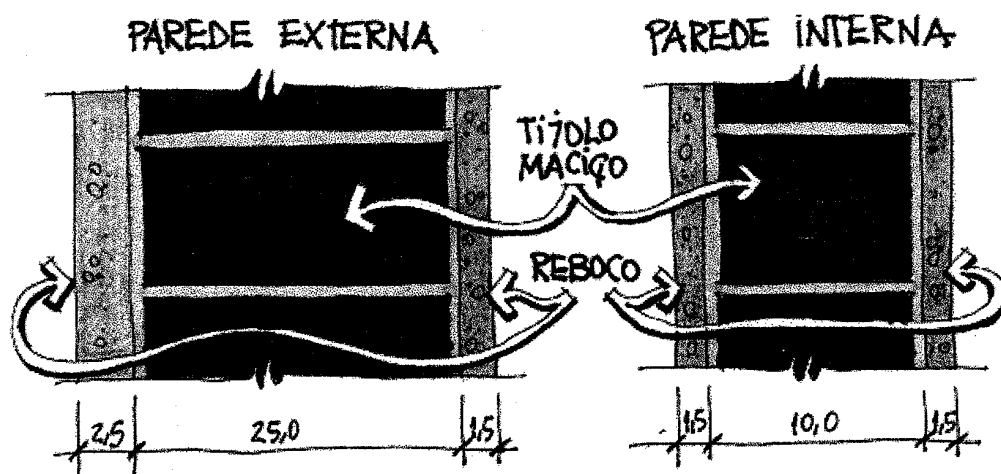


FIGURA 3.4 - Estrutura térmica pesada

Quanto ao piso e ao teto da sala comercial, são constantes para as três estruturas térmicas e obedecem às seguintes características:

D) PISO OU TETO (FIGURA 3.5):

Composto de revestimento cerâmico, emboço, laje maciça de concreto e reboco.

Espessura total: 0,15

Na parede externa, foram estudadas quatro proporções de envidraçamento — 25%, 50%, 75% e 100% (cortina de vidro). No caso da sala comercial sob estudo, estas proporções são respectivamente 3,75; 7,5; 11,25 e 15 m² de vidro.

TABELA 3.4 - Características físicas do piso ou teto

	Rev. Cerâmico	Emboço	Laje	Reboco inf.
d (kg/m ³)	2000	1800	1800	1800
k (W/m °C)	1,05	1,1	1,1	1,1
c (J/kg °C)	920	1000	1000	1000
e (m)	0,008	0,01	0,12	0,015

Os valores de admitância, transmitância, fator de decremento e atraso foram calculados, através de um programa desenvolvido em BASIC, para cada tipo de estrutura e podem ser vistos na tabela 3.5.

TABELA 3.5 - Características físicas do ambiente sob estudo

Superfície	Características	Estrutura Térmica		
		leve	média	pesada
Piso	transmitância (W/m ² °C)	3,23		
	admitância (W/m ² °C)	4,85		
Teto	transmitância (W/m ² °C)	3,23		
	admitância (W/m ² °C)	4,85		
	transmitância (W/m ² °C)	2,75	2,37	2,00
Parede Externa	admitância (W/m ² °C)	3,13	3,70	4,96
	absortividade	0,3		
	fator de decremento (f)	0,97	0,90	0,38
	atraso (horas)	1	3	8
Parede Interna	transmitância (W/m ² °C)	2,68	2,52	3,22
	admitância (W/m ² °C)	2,69	3,29	4,57
Vidro	espessura (m)	0,003		
	transmitância (W/m ² °C)	5,8		
	admitância (W/m ² °C)	5,8		
	absortividade	0,075		
	refletividade	0,075		
	transmissividade normal	0,85		
	área	variável		

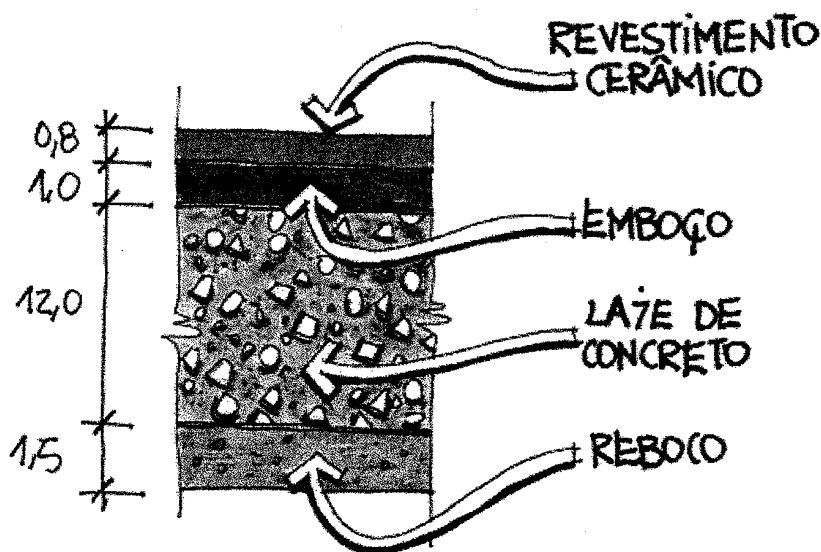


FIGURA 3.5 - Composição do piso ou teto

3.2 - Implementação do Método

De modo a esclarecer melhor a estrutura do método proposto, todas as idéias foram construídas e interligadas em um Fluxograma Geral (FIGURA 3.6). O quadro assim constituído tem como objetivo determinar os Fatores Solares Desejáveis para uma abertura qualquer na cidade de Florianópolis.

Consultando o Ano Climático de Referência (TRY) com dados horários de radiação global na superfície horizontal e temperatura para Florianópolis pôde-se, através do algoritmo sugerido por **DUFFIE & BECKMAN (1980)**, calcular os valores de radiação direta, difusa e refletida na superfície vertical do ambiente sob análise (FIGURA 3.6). Pela equação geral de ganho térmico, estes dados foram convertidos em fatores de ganho térmico solar (F_g) e em ganho térmico solar direto, difuso e refletido. Aplicados ao Método da Admitância, estes valores resultam, juntamente com os ganhos térmicos casuais, nas temperaturas ambientais internas diárias para o ambiente sob análise. Considerou-se como padrão de conforto térmico a carta bioclimática de **GIVONI (1992)**. Foram suscitadas três possibilidades ao se comparar as temperaturas ambientais obtidas com os limites de conforto estabelecidos por Givoni. Cada uma destas três possibilidades podem instituir-se em um gradiente de temperatura a ser incrementado ou reduzido até certos limites, que garantam a situação da temperatura ambiental interna dentro da zona de conforto. Para um

aumento ou diminuição desejável da temperatura ambiental interna, requer-se um acréscimo ou decréscimo também da radiação solar incidente e, conseqüentemente, do ganho solar. E isto pode ser equacionado ao se utilizar o artifício da inversão do Método da Admitância. Obtém-se finalmente os fatores de ganho solar desejáveis (F_{sd}). Estes procedimentos foram realizados para oito orientações da parede externa do ambiente sob análise (N, S, L, O, NO, SO, NE e SE).

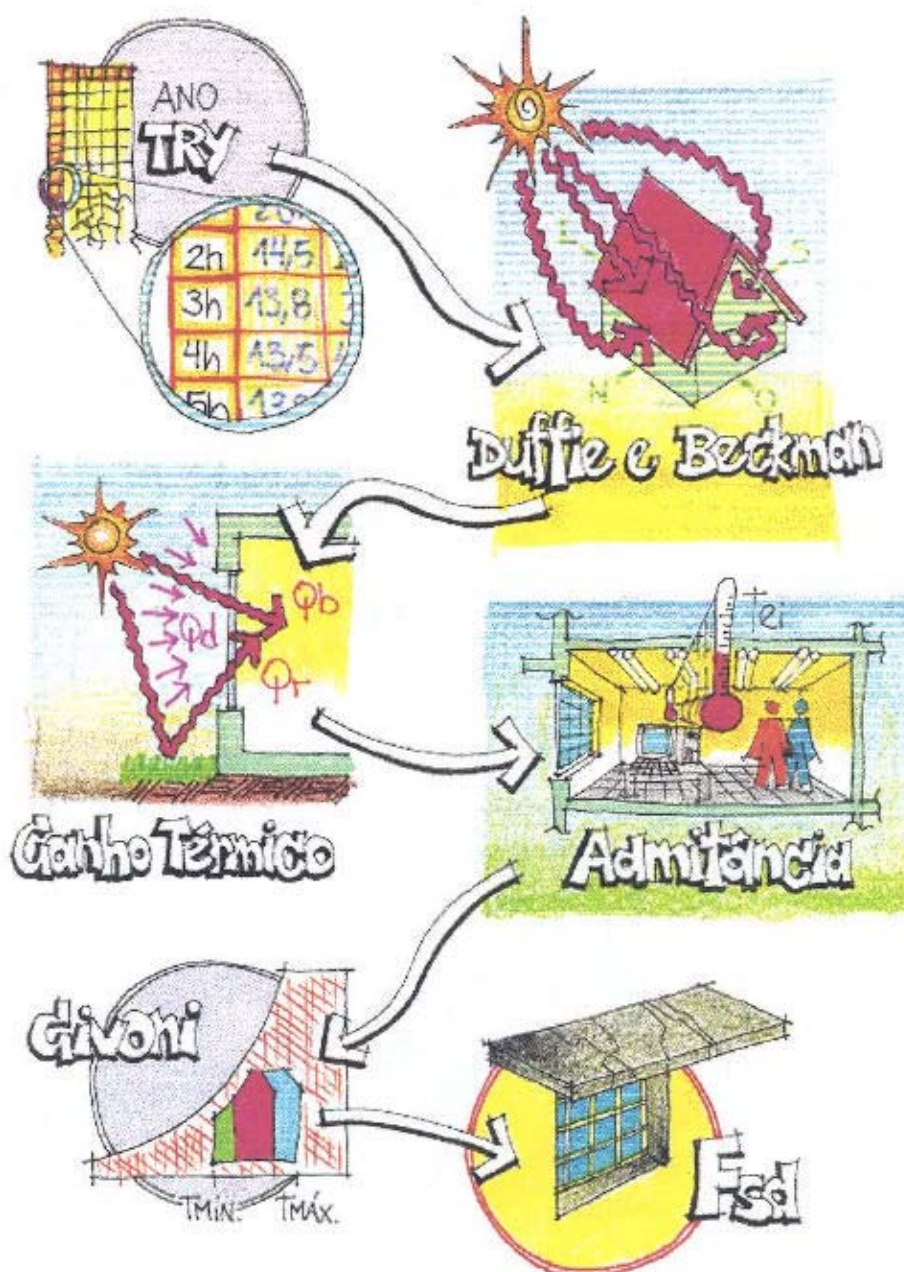


FIGURA 3.6 - Fluxograma Geral

3.3 - Cálculo das radiações

Neste estudo aplicou-se diretamente o método proposto por **DUFFIE E BECKMAN (1980)**, que faz o desdobramento em direta e difusa da radiação global medida na superfície horizontal. O método proposto sugere o tratamento da parcela difusa da radiação em superfície vertical a partir do modelo anisotrópico de Hay e Davies (**RAUBER^a, 1993**), ao invés de empregar o modelo isotrópico sugerido por Duffie. Isto garante aos resultados maior fidelidade, porque o modelo anisotrópico é sensível a dias com diferentes proporções de céu claro ou nublado. A parcela refletida da radiação incidente foi calculada segundo o modelo isotrópico. Algumas rotinas em linguagem PASCAL foram utilizadas de **RAUBER^b (1993)**.

Na figura 3.7 podem ser vistos os principais ângulos da geometria solar utilizados nos cálculos descritos a seguir.

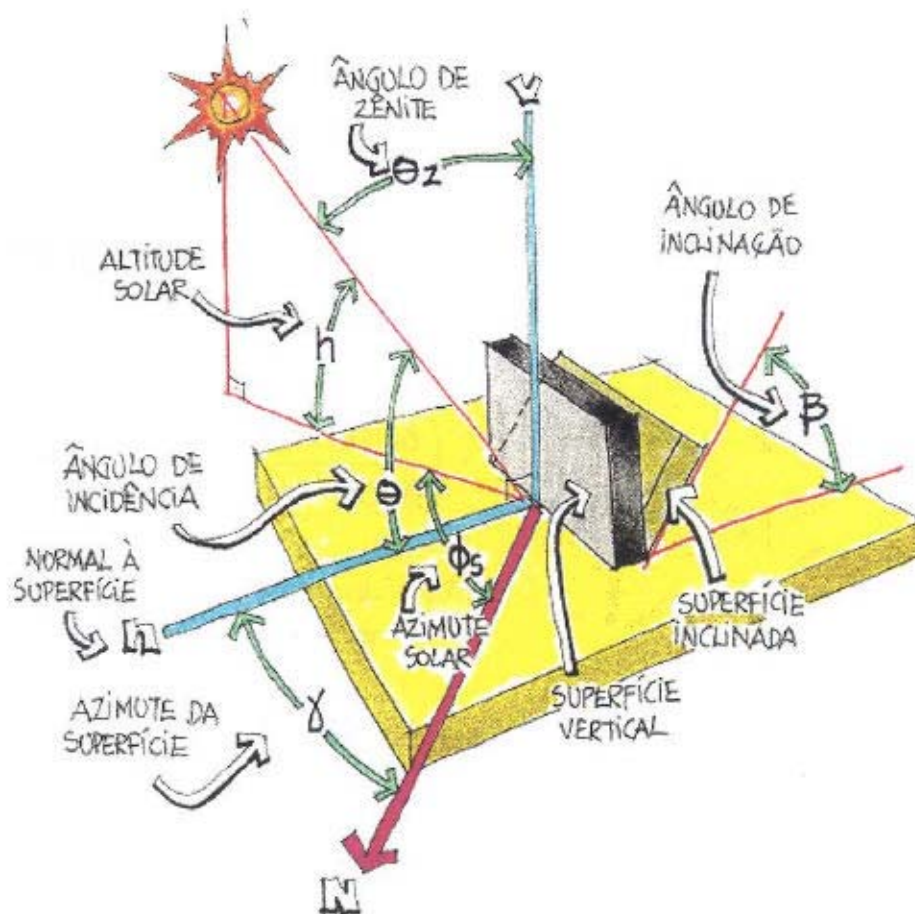


FIGURA 3.7 - Geometria solar

Partindo destas definições, segue-se o conjunto de expressões físicas empregadas nesta etapa do método. É importante ressaltar que, embora tenha sido aplicado para a cidade de Florianópolis, este cálculo pode ser generalizado. Para tal, algumas constantes deveriam sofrer correções. No caso particular de Florianópolis, estas adquirem os seguintes valores:

- latitude $\rightarrow \phi = -27,5^\circ$ (Hemisfério sul negativo)
- altitude $\rightarrow A = 0,01\text{km}$ (Altitude do observador)
- inclinação $\rightarrow \beta = 90^\circ$ (Inclinação da fachada - vertical = 90°)

Outras constantes foram consideradas, a saber:

- Constante Solar $\rightarrow G_{sc} = 1353\text{ W/m}^2$
- Albedo $\rightarrow \rho = 0,2$ (refletividade do solo para cálculo da parcela refletida da radiação)

No início do cálculo deve-se definir qual a orientação a ser analisada. O valor corresponderá ao azimuth da superfície (γ). Logo a seguir, é definido se o período do ano sob análise deve ser considerado de verão ou de inverno, em função do dia em questão. Passa-se, então, aos seguintes cálculos:

ÂNGULO DO POENTE (ω_s):

Representa o valor em graus do ângulo formado entre o Norte e o sol no momento do poente e é dado por:

$$\omega_s = \arccos\left(-\frac{\sin\phi \times \sin\delta}{\cos\phi \times \cos\delta}\right) \quad (3.1)$$

onde: $\phi \rightarrow$ latitude do local ($-27,5^\circ$);
 $\delta \rightarrow$ declinação solar.

Calcula-se a declinação solar por:

$$\delta = 23,45 \times \sin\left(360 \frac{284+n}{365}\right) \quad (3.2)$$

onde: $n \rightarrow$ dia ordenado (1 - 365).

HORA DO POENTE (h_s):

É a hora em que o sol se põe no dia em questão, dada pela fórmula:

$$h_s = \frac{\omega_s}{15} + 12 \quad (3.3)$$

onde: $\omega_s \rightarrow$ ângulo do poente (equação 3.1).

HORA DO NASCENTE (h_n):

É a hora em que o sol nasce. Estes cálculos são necessários para garantir, que um valor errôneo do arquivo de radiação não participe dos cálculos nos períodos entre o pôr do sol e o nascer do sol. A equação que calcula a hora do nascente é:

$$h_n = h_s - \left(\frac{2 \times \omega_s}{15} \right) \quad (3.4)$$

onde: $\omega_s \rightarrow$ ângulo do poente (equação 3.1)

$h_s \rightarrow$ hora do poente (equação 3.3)

ÂNGULO DO NASCENTE (ω_o):

Ângulo que se forma entre o Norte e o sol no momento do poente para o dia analisado, equacionado por:

$$\omega_o = (h_n - 12) \times 15 \quad (3.5)$$

onde: $h_n \rightarrow$ hora do nascente (equação 3.4).

Hora a hora será feita a leitura dos valores de radiação global na superfície horizontal. Cada um destes valores globais corresponde à radiação em Watts incidente em uma superfície horizontal em uma faixa de tempo de uma hora. Este período pode ser definido por dois horários limites, chamados "hora inicial" e "hora final". Os cálculos respectivos são:

$$h_i = h - 0,5 \quad (3.6)$$

$$h_f = h + 0,5 \quad (3.7)$$

onde: $h \rightarrow$ hora em questão;
 $h_i \rightarrow$ horário limite inicial;
 $h_f \rightarrow$ horário limite final.

É importante descobrir se o sol já nasceu ou já se pôs no horário em questão. O não cumprimento dessa observação poderia levar a resultados absurdos. O valor da radiação extraterrestre poderia ser nulo e, inviabilizar os cálculos subsequentes.

Calcula-se então:

ÂNGULO DE ZÊNITE (θ_z):

É o ângulo formado entre o sol e o zênite. Valores maiores que 90° são indicativos de que o sol não nasceu ainda ou já se pôs, e nestes casos não se deve calcular as radiações. O ângulo de zênite é calculado da seguinte forma:

$$\theta_z = \arccos \theta_z \quad (3.8)$$

$$\cos \theta_z = (\sin \delta \times \sin \phi) + (\cos \delta \times \cos \phi \times \cos \omega) \quad (3.9)$$

onde: $\theta_z \rightarrow$ ângulo de zênite;
 $\delta \rightarrow$ declinação solar; (equação 3.2)
 $\phi \rightarrow$ latitude do local; ($-27,5^\circ$)
 $\omega \rightarrow$ ângulo da hora em questão.

sendo:

$$\omega = (h - 12) \times 15 \quad (3.10)$$

onde: $h \rightarrow$ hora em questão.

Basta agora testar o valor do ângulo de zênite. Como já foi dito, se o ângulo for menor que zero ou maior que noventa graus, não haverá radiação solar. Nestes casos, se deverá considerar nulos os valores das parcelas direta, difusa e refletida naquele horário.

Todavia, sendo o ângulo de zênite um valor entre zero e noventa graus, se passará ao cálculo da Radiação Extraterrestre Horária.

RADIAÇÃO EXTRATERRESTRE HORÁRIA (I_{on}):

É a radiação teórica possível na camada limite da atmosfera, dada por:

$$I_{on} = \frac{12 \times 3600}{\pi} \times G_{sc} \times \left[1 + 0,033 \times \cos \frac{360 \times n}{365} \right] \times \left[\cos \phi \times \cos \delta \times (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{2\pi(\omega_2 - \omega_1)}{360} \times \sin \phi \times \sin \delta \right] \quad (3.11)$$

onde: G_{sc} → Constante Solar = 1353W/m²
 n → Dia ordenado (1 - 365)
 ϕ → Latitude do local (-27,5°)
 δ → Declinação solar (equação 3.2)
 ω_2 → Ângulo hora final
 ω_1 → Ângulo hora inicial

sendo:

$$\omega_2 = (h_f - 12) \times 15 \quad (3.12)$$

e:

$$\omega_1 = (h_i - 12) \times 15 \quad (3.13)$$

onde: h_i → horário limite inicial (equação 3.6)
 h_f → horário limite final (equação 3.7)

Outro teste é necessário nesse momento. Se a hora final (h_f) for menor que a hora do nascente (h_n) ou se a hora inicial (h_i) for maior que a hora do poente (h_s), não haverá radiação. Por outro lado, se houver radiação na superfície horizontal, passa-se aos seguintes cálculos:

ÂNGULO DE INCIDÊNCIA (θ):

Ângulo entre o sol e a normal da superfície. Sendo a superfície analisada vertical, sua inclinação (β) é noventa graus. A equação que calcula o ângulo de incidência é, então:

$$\cos \theta = \sin \delta \times \sin \phi \times \cos \beta + \cos \delta \times \cos \phi \times \cos \beta \times \cos \omega \quad (3.14)$$

onde: δ → declinação solar (equação 3.2);
 ϕ → latitude do local (-27,5°);
 β → inclinação da superfície (90°);

$\omega \rightarrow$ ângulo da hora em questão (equação 3.10).

e:

$$\theta = \arccos \theta \quad (3.15)$$

ÍNDICE DE CLARIDADE (K_t)

Definido por Duffie e Beckman como a razão entre os valores horários da radiação na superfície horizontal e da radiação extraterrestre. Em outras palavras: é a fração da radiação extraterrestre que chega à Terra para um horário determinado. O índice de claridade deve ser igual à unidade se o valor da radiação extraterrestre for zero. Caso contrário:

$$K_t = \frac{I_j}{I_{on}} \quad (3.16)$$

onde: $I_{on} \rightarrow$ radiação extraterrestre horária (equação 3.11);
 $I_j \rightarrow$ radiação incidente na horizontal (Joules).

Observa-se que no Método de Duffie e Beckman os valores de radiação devem ser em Joules (J), bastando para tal multiplicar o valor em Watts por 3600 ($W = J/s$).

RAZÃO I_d/I_j (Razão)

É a fração da radiação horária em superfície horizontal que é difusa, calculada a partir do índice de claridade (K_t). O valor da razão é:

$$\frac{I_d}{I_j} = \begin{cases} 1 - 0,249 \times K_t & \text{se } K_t < 0,35 \\ 1,557 - 1,84 \times K_t & \text{se } 0,35 < K_t < 0,75 \\ 0,177 & \text{se } K_t > 0,75 \end{cases} \quad (3.17)$$

PARCELA DIFUSA DA RADIAÇÃO HORIZONTAL (I_d)

A parcela difusa da radiação global na superfície horizontal é calculada por:

$$I_d = \text{Razão} \times I_j \quad (3.18)$$

onde: Razão $\rightarrow$ razão I_d/I_j (equação 3.17)

$I_j \rightarrow$ radiação global horária na superfície horizontal (joules).

Entrementes, deve estar claro que o objetivo do método é calcular as parcelas direta, difusa e refletida da radiação horária em superfície vertical. Ora, é possível que em alguns horários do dia não haja insolação direta na fachada sob análise. Um exemplo é a fachada sul, que não recebe sol direto durante praticamente seis meses em Florianópolis. Se não há radiação direta, há, todavia, radiação difusa e refletida. Nesse sentido, deve-se testar se o sol daquele horário incide ou não diretamente sobre a fachada. Em outras palavras: não haverá radiação direta na superfície inclinada se for verdadeira a condição:

$$90 \leq \theta \leq -90 \quad (3.19)$$

onde: $\theta \rightarrow$ ângulo de incidência (equações 3.14 e 3.15)

Neste caso, deverão ser calculadas apenas as parcelas difusa e refletida da radiação na superfície vertical. Caso contrário, a componente direta da radiação global na superfície horizontal é calculada pela equação:

$$I_b = I_j - I_d \quad (3.20)$$

onde: $I_b \rightarrow$ parcela direta da radiação na superfície horizontal (Joules);
 $I_j \rightarrow$ radiação global na superfície horizontal (Joules);
 $I_d \rightarrow$ parcela difusa da radiação na superfície horizontal (Joules).

Para fazer-se a correção dos valores de radiação horizontal para radiação em superfície vertical é necessário calcular a razão entre a radiação incidente na superfície inclinada e na superfície horizontal (R_b). Esse cálculo é feito por:

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (3.21)$$

onde: $\theta \rightarrow$ ângulo de incidência (equações 3.14 e 3.15);
 $\theta_z \rightarrow$ ângulo de zênite (equações 3.8 e 3.9).

O cálculo da parcela direta da radiação incidente na superfície inclinada pode ser feito, então, por:

$$I_{bt} = R_b \times I_b \quad (3.22)$$

onde: $R_b \rightarrow$ razão entre a radiação incidente na superfície vertical e a radiação incidente na superfície horizontal (equação 3.21);
 $I_b \rightarrow$ parcela direta da radiação total incidente na superfície horizontal (Joules).

A parcela difusa da radiação incidente em superfície inclinada que seguiu o modelo anisotrópico de Hay e Davies é:

$$I_{dt} = I_d \times \left[K_t \times \frac{\cos\theta}{\cos\gamma} + \frac{(1-K_t) \times (1+\cos\beta)}{2} \right] \quad (3.23)$$

onde: $I_d \rightarrow$ parcela difusa da radiação incidente na superfície horizontal em Joules (equação 3.18);
 $K_t \rightarrow$ índice de claridade (equação 3.16);
 $\theta \rightarrow$ ângulo de incidência (equações 3.14 e 3.15);
 $\gamma \rightarrow$ azimuth da superfície (sul = 0, oeste positivo, leste negativo);
 $\beta \rightarrow$ inclinação da superfície (vertical = 90°).

A parcela refletida pelo solo (isotrópica) é dada por:

$$I_{rt} = \frac{\rho \times I_j \times (1 - \cos\beta)}{2} \quad (3.24)$$

onde: $\rho \rightarrow$ refletividade do solo (0,2);
 $I_j \rightarrow$ radiação global na superfície horizontal (Joules);
 $\beta \rightarrow$ inclinação da superfície (vertical = 90°).

Eis que se configura o desdobramento da radiação global horária em suas parcelas direta, difusa e refletida na superfície vertical. Partindo destas parcelas, a próxima etapa do método faz os cálculos dos ganhos térmicos direto, difuso e refletido. Deve ficar claro que as considerações deste item não abrangem todas as possibilidades do fenômeno. Existe uma gama variada de radiações incidentes na superfície vertical oriundas das reflexões nos edifícios do entorno. Também a radiação refletida pelo

peitoril da janela, se ensolarado, pode contribuir no ganho térmico solar. Preferiu-se, no entanto, desconsiderar estas variáveis, pois complicariam demais o método.

3.4 - Cálculo do ganho térmico

Não foi por acaso que no item precedente se fez a separação das parcelas direta, difusa e refletida da radiação incidente em uma superfície vertical orientada. Ao penetrar em um ambiente, a radiação solar pode ser interpretada como uma modalidade de ganho térmico. Uma vantagem deste enfoque é a utilidade do ganho térmico solar ao lado dos outros ganhos térmicos internos do ambiente na aplicação direta do Método da Admitância, tratado no item subsequente. Por enquanto, é necessário detalhar os cálculos dessa etapa do método proposto.

Definido o tipo de ganho solar que se deseja calcular (direto, difuso ou refletido), faz-se as leituras dos valores da radiação respectiva (direta, difusa ou refletida) incidente na superfície vertical e do ângulo de incidência, dia-a-dia, hora-a-hora ao longo de um ano de dados. As variáveis **transmissividade** (τ) e **absortividade** (α) foram calculadas em função do ângulo de incidência segundo **RIVERO (1993)**. Estas características são resultantes do tipo de vidro, suas proporções e tipo de esquadria, e correspondem a um raio de sol incidente de forma perpendicular à superfície do vidro. Constatou-se que na realidade, esta situação não ocorre mais que duas vezes ao ano, e em raras orientações. Considerando a variabilidade do ângulo de incidência solar pode-se chegar a valores de transmitância mais coerentes. A figura 3.8 ilustra a variação destas propriedades do vidro conforme o ângulo de incidência. Os cálculos seguintes são feitos, então, para cada hora de cada dia do ano.

TRANSMISSIVIDADE EM FUNÇÃO DO ÂNGULO DE INCIDÊNCIA (τ_i)

Representa a parcela da radiação incidente que se transmite para o interior através da janela em função do ângulo de incidência. A equação que calcula esse valor é (**RIVERO, 1993**):

$$\tau_i = \tau_o \times (1 + 0,5 \sin^2 i) \times (1 + 0,6 \sin^5 i) \times (1 + 0,17 \sin^{17} i) \quad (3.25)$$

onde: τ_o → transmissividade do vidro para incidência normal;
 i → ângulo de incidência.

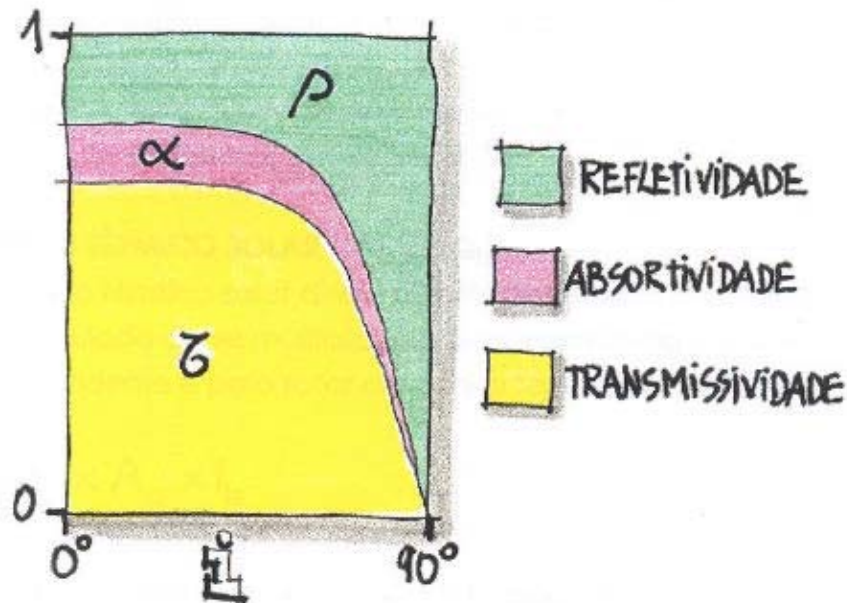


FIGURA 3.8 - Variação de α , τ e ρ com o ângulo de incidência

ABSORTIVIDADE EM FUNÇÃO DO ÂNGULO DE INCIDÊNCIA (α_i)

Uma parte da radiação que incide no vidro é absorvida pelo mesmo e transformada em calor. O calor assim gerado penetra no local numa proporção que é dada pelo valor da absortância em função do ângulo de incidência (RIVERO, 1993), calculada por:

$$\alpha_i = \alpha_o \times \cos i \times (1 + 0,5 \sin^2 i) \times (1 + 0,6 \sin^5 i) \times (1 + 0,17 \sin^{17} i) \quad (3.26)$$

onde: α_o → absortividade do vidro para incidência normal;
 i → ângulo de incidência.

FATOR DE GANHO TÉRMICO SOLAR (F_s)

O fator de ganho térmico solar (F_s), já descrito no item 2.1.2 pode ser calculado por:

$$F_s = \tau_i + U_v [R_{se} \times \alpha_i] \quad (3.27)$$

onde: τ_i → transmissividade do vidro em função do ângulo de incidência (equação 3.25);
 U_v → transmitância térmica da janela ($\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$);
 R_{se} → resistência superficial externa do vidro (constante = $0,04 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$);
 α_i → absortividade do vidro em função do ângulo de incidência (equação 3.26).

GANHO TÉRMICO SOLAR DIRETO (Q_b)

O ganho térmico solar direto (em Watts) desejado (descrito no item 2.1.1) é calculado ao se multiplicar a área ensolarada da janela pela radiação incidente e pelo fator de ganho térmico solar. A equação é:

$$Q_b = F_s \times A_g \times I_b \quad (3.28)$$

onde: F_s → fator de ganho térmico solar (equação 3.27);
 A_g → área da janela - (m^2);
 I_b → radiação direta incidente na superfície vertical no horário em questão - (W/m^2).

GANHO TÉRMICO SOLAR DIFUSO (Q_d)

Segundo RIVERO (1993) o ganho térmico solar difuso (em Watts) será calculado por:

$$Q_d = 0,91 \times I_d \times \left(\tau + \frac{\alpha}{3} \right) \times A_g \quad (3.29)$$

onde: I_d → radiação difusa incidente na superfície vertical no horário em questão (W/m^2);
 τ → transmissividade do vidro;
 α → absortividade do vidro;
 A_g → área da janela - (m^2).

GANHO TÉRMICO SOLAR REFLETIDO (Q_r)

Visto que a radiação refletida pelo solo tem um efeito muito parecido com o da radiação difusa sobre uma janela, neste trabalho se utilizou para o ganho solar refletido (em Watts) a mesma equação do ganho solar difuso (3.29). Apenas mudou-se o valor da radiação difusa (I_d) pelo

correspondente de radiação refletida incidente na superfície vertical (I_r). A equação passa a ser:

$$Q_r = 0,91 \times I_r \left(\tau + \frac{\alpha}{3} \right) \times A_g \quad (3.30)$$

onde: I_r → radiação refletida pelo solo incidente na superfície vertical (W/m^2);

A_g → área da janela - (m^2).

GANHO TÉRMICO SOLAR TOTAL (Q_t)

É o somatório dos ganhos térmicos diretos, difusos e refletidos, dado por:

$$Q_t = Q_b + Q_d + Q_r \quad (3.31)$$

Para se chegar ao valor estimado da temperatura ambiental interna em uma sala, recorreu-se ao Método da Admitância descrito no próximo item. Como dado de entrada para este algoritmo se utilizou o somatório dos ganhos térmicos direto, difuso e refletido para cada hora do dia.

3.5 - Método da Admitância

O Método da Admitância descrito por **CIBSE (1986)** é de estruturação bastante simples. Estima o valor da temperatura ambiental interna de um ambiente específico a partir dos dados de ganho térmico solar e casual, da temperatura do ar exterior, da temperatura sol-ar e das perdas de calor por ventilação. A temperatura ambiental interna é definida como dois terços da temperatura radiante média (TRM) e um terço da temperatura média do ar interno. A simplicidade do Modelo da Admitância permite interligar os fenômenos de radiação solar com seus efeitos térmicos em um ambiente interno, utilizando-se de um mínimo de variáveis. Isto facilita bastante sua aplicação em modelos computacionais, quando há necessidade de cálculos por longos períodos de tempo.

Método de cálculo

A sequência de cálculos necessários para a obtenção do pico da temperatura ambiental interna requer os seguintes passos:

- (a) ganhos térmicos médios para todas as entradas de calor;
- (b) temperatura ambiental interna média;
- (c) amplitude média-pico dos ganhos térmicos;
- (d) amplitude média-pico da temperatura ambiental interna;
- (e) cálculo da temperatura ambiental a partir de (b) e (d).

a) GANHOS TÉRMICOS MÉDIOS

GANHO CASUAL MÉDIO ($\overline{Q}_c$)

O ganho casual médio engloba os ganhos térmicos por iluminação artificial, número de ocupantes e equipamentos. É óbvio que por serem casuais, estes ganhos de calor deveriam ser obtidos a partir de cálculos diários, mais representativos da situação real. Entretanto, constituindo uma das limitações do método, optou-se por valores constantes ao longo de todo o ano, desde que condizentes com a realidade. Em termos práticos, esta limitação não prejudica a eficiência do Método, que pretende tratar com riqueza de detalhes apenas a parcela solar dos ganhos térmicos, deixando para trabalhos futuros o estudo da variabilidade dos ganhos casuais. As constantes admitidas foram:

- Potência de iluminação total = 320W x 4 horas;
- Potência de iluminação parcial = 160W x 4 horas;
- Número de ocupantes = 2 pessoas (150W por pessoa);
- Período de ocupação = 8 horas;
- Potência de equipamentos = 200W;
- Período de funcionamento = 8 horas.

A equação que calcula o valor do ganho casual médio é:

$$\overline{Q}_c = \frac{(qc_1 \times h_1) + (qc_2 \times h_2) + (qc_3 \times h_3) + \dots}{24} \quad (3.32)$$

onde: qc_1 , qc_2 e qc_3 → ganhos casuais instantâneos (luz, ocupantes, equipamentos, etc);

h_1 , h_2 e h_3 → duração de cada ganho casual.

O valor do ganho casual médio foi considerado o mesmo durante todo o ano e igual a 247W.

GANHO DE CALOR SOLAR MÉDIO ($\overline{Q}_s$)

Este valor é calculado a partir dos dados de ganho térmico solar horários vistos no item 3.4. É importante ressaltar que aqui é feita uma alteração no Método da Admitância original. O Modelo descrito pelo CIBSE calcula o ganho solar médio pela equação:

$$\overline{Q}_s = \overline{S}_e \times \bar{I}_t \times A_g \quad (3.33)$$

onde: $A_g \rightarrow$ área de envidraçamento;
 $\bar{I}_t \rightarrow$ radiação solar total média;
 $\overline{S}_e \rightarrow$ fator de ganho solar médio.

O fator de ganho solar médio ($\overline{S}_e$) é definido no método original do CIBSE em uma tabela que correlaciona o tipo de proteção solar utilizada na abertura e o tipo de vidro. Estes valores tabelados foram calculados apenas para o Reino Unido, perdendo um pouco da precisão para outros locais do mundo, em virtude das diferenças de latitude.

Ao buscar valores de ganhos térmicos calculados a partir de dados reais de radiação solar, este trabalho faz cálculos mais condizentes com as condições específicas de cada local a ser estudado (por exemplo: Florianópolis). A equação que define o valor do ganho térmico solar médio passa a ser, então:

$$\overline{Q}_s = \frac{\sum Q_s}{24} \quad (3.34)$$

onde: $\sum Q_s \rightarrow$ somatório dos ganhos diretos, difusos e refletidos para todas as horas do dia em questão.

A título de comparação, para o dia 31 de janeiro do Ano Climático de Referência de Florianópolis, na fachada oeste, por exemplo, têm-se os seguintes valores:

$$\bar{I}_t = 175 \text{ W/m}^2$$

$$\sum Q_s = 7703,45 \text{ W}$$

$$A_g = 3,75\text{m}^2$$

$$\bar{S}_e = 0,76$$

Então, segundo o Método da Admitância original tem-se que:

$$\bar{Q}_s = 498\text{W}$$

E, segundo a alteração proposta tem-se:

$$\bar{Q}_s = 321\text{W}$$

GANHO TOTAL MÉDIO ($\bar{Q}_t$)

O ganho total médio advém da soma entre o ganho solar médio e o ganho casual médio, dado pela equação:

$$\bar{Q}_t = \bar{Q}_s + \bar{Q}_c \quad (3.35)$$

onde: $\bar{Q}_s \rightarrow$ ganho térmico solar médio (equação 3.34);
 $\bar{Q}_c \rightarrow$ ganho térmico casual médio (equação 3.32).

b) TEMPERATURA AMBIENTAL INTERNA MÉDIA

TEMPERATURA EXTERNA MÉDIA ($\bar{T}_{ao}$)

É obtida para cada dia do ano a partir dos dados reais do Ano Climático de Referência (TRY), já descrito no item 2.1.5.

TEMPERATURA SOL-AR MÉDIA ($\bar{T}_{eo}$)

Segundo AROZTEGUI (1983), é a temperatura que deveria ter o ar para produzir na parede um fluxo térmico equivalente ao provocado pelo efeito conjugado da temperatura do ar externo com a incidência de radiação solar. O valor horário da temperatura sol-ar pode ser calculado por:

$$T_{eo} = T_{ao} + (R_{se} \times \alpha \times I) \quad (3.36)$$

onde: $T_{ao} \rightarrow$ temperatura do ar exterior na hora em questão (Celsius);
 $R_{se} \rightarrow$ resistência superficial externa (valor constante = $0,04 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$);

- α → absortividade da parede;
 I → radiação solar direta incidente na superfície vertical na hora em questão.

O valor de $\bar{T}_{eo}$ é então calculado por:

$$\bar{T}_{eo} = \frac{\sum T_{eo}}{24} \quad (3.37)$$

onde: $\sum T_{eo}$ → somatório de todas as temperaturas sol-ar horárias do dia em questão (Celsius).

PERDA POR VENTILAÇÃO (C_v)

Há uma influência razoável da quantidade de ventilação de um ambiente nas suas condições de conforto térmico. A ventilação abundante em dias quentes e úmidos pode representar um rápido acréscimo na temperatura do interior, que tenderá a ter um comportamento bastante próximo da temperatura do exterior. Em dias quentes e secos, a ventilação poderá ser útil para diminuir a temperatura interior a níveis de conforto térmico. Em dias frios, o valor de C_v deve ser pequeno para evitar perdas excessivas de calor no ambiente. O valor de C_v para os períodos frios do ano com pouca ventilação obedece à equação:

$$C_v = \frac{1}{3} \times N \times v \quad (3.38)$$

onde: C_v → perda por ventilação;
 N → número de trocas de ar por hora no inverno;
 v → volume interior do ambiente.

E o valor de C_v para os períodos quentes com muita ventilação é:

$$\frac{1}{C_v} = \frac{1}{0,33 \times N \times v} + \frac{1}{4,8 \times \sum A} \quad (3.39)$$

onde: C_v → perda por ventilação;
 N → número de trocas de ar por hora no inverno;

$V \rightarrow$ volume interior do ambiente.

$\Sigma A \rightarrow$ somatório das áreas das superfícies internas do ambiente.

Neste trabalho foram adotados os valores de duas trocas de ar no inverno ($N=2$) e dezesseis no verão ($N=16$), que representam ventilação adequada para uma sala com as proporções do protótipo analisado, conforme item 3.1. Os valores de C_v resultaram em 80 para períodos frios e em 345,2 para os períodos quentes.

TEMPERATURA AMBIENTAL INTERNA MÉDIA ($\bar{T}_{ei}$)

O valor da temperatura ambiental interna média pode ser obtido pela equação:

$$\bar{T}_{ei} = \frac{\bar{Q}_t + (A_g \times U_g) + C_v + (A_f \times U_f \times \bar{T}_{eo})}{(A_g \times U_g) + C_v + (A_f \times U_f)} \quad (3.40)$$

onde: $\bar{T}_{ei} \rightarrow$ temperatura ambiental interna média (Celsius);
 $\bar{Q}_t \rightarrow$ ganho térmico total médio (W) (equação 3.35);
 $A_g \rightarrow$ área da janela (m^2);
 $A_f \rightarrow$ área da parede externa (m^2);
 $U_g \rightarrow$ transmitância da janela ($W/m^2^\circ C$);
 $U_f \rightarrow$ transmitância da parede externa ($W/m^2^\circ C$);
 $C_v \rightarrow$ perdas de calor por ventilação (equações 3.38 e 3.39);
 $\bar{T}_{eo} \rightarrow$ temperatura sol-ar média (equação 3.37).

c) AMPLITUDE MÉDIA-PICO DOS GANHOS TÉRMICOS

FLUTUAÇÃO NO GANHO DE CALOR SOLAR ($\tilde{Q}_s$)

No Modelo da Admitância original, o desvio no ganho de calor solar é calculado pela fórmula:

$$\tilde{Q}_s = \tilde{S}_e \times A_g \times (I_t' - \bar{I}_t) \quad (3.41)$$

onde: $\tilde{S}_e \rightarrow$ flutuação no fator de ganho solar;
 $A_g \rightarrow$ área de janela;
 $I_t' \rightarrow$ radiação solar total de pico;
 $\bar{I}_t \rightarrow$ radiação solar total média.

Entretanto, como este trabalho executa o Método da Admitância tendo dados de ganho térmico solar calculados hora a hora segundo o item 3.4, a equação passa a ser:

$$\tilde{Q}_s = Q_s' - \overline{Q}_s \quad (3.42)$$

onde: Q_s' → ganho térmico solar máximo no dia em questão (W);
 $\overline{Q}_s$ → ganho térmico solar médio no dia em questão (W);

Exemplificando as alterações, para o dia 31 de janeiro do Ano Climático de Referência de Florianópolis, na fachada oeste, têm-se os seguintes valores:

$$\begin{aligned} \bar{S}_e &= 0,76; \\ A_g &= 3,75 \text{ m}^2; \\ I_t' &= 544 \text{ W/m}^2; \\ \bar{I}_t &= 175 \text{ W/m}^2; \\ Q_s' &= 1010 \text{ W}; \\ \overline{Q}_s &= 321 \text{ W}. \end{aligned}$$

Segundo o Método original tem-se, então, que:

$$\tilde{Q}_s = 1051 \text{ W}$$

E segundo a alteração proposta tem-se:

$$\tilde{Q}_s = 688 \text{ W}$$

FLUTUAÇÃO NA TEMPERATURA SOL-AR ($\tilde{T}_{so}$)

A variação da temperatura sol-ar durante o dia contribuirá para a temperatura ambiental interna com algum tempo de atraso, que dependerá da inércia térmica do edifício. Foram estudadas três possibilidades de estrutura térmica para a sala de escritório em questão. Conforme o item 3.1, as estruturas térmicas têm os respectivos valores de atraso térmico:

Baixa	≅ 0 horas;
Média	≅ 3 horas;
Alta	≅ 8 horas.

Isto significa que a temperatura ambiental interna de pico receberá influência da temperatura sol-ar ocorrida algumas horas antes, de acordo com a inércia da parede externa. O desvio na temperatura sol-ar pode ser calculado por:

$$\tilde{T}_{eo} = T_{eo(a)} - \bar{T}_{eo} \quad (3.43)$$

onde: $T_{eo(a)}$ → temperatura sol-ar ocorrida no instante $h - a$ (h = hora em questão; a = atraso) (Celsius);
 $\bar{T}_{eo}$ → temperatura sol-ar média (equação 3.37) (Celsius).

FLUTUAÇÃO NO GANHO DE CALOR ESTRUTURAL ($\tilde{Q}_f$)

É resultante das características da parede externa do ambiente ao aquecer-se pelo sol.

O desvio no ganho de calor estrutural pode ser obtido pela equação:

$$\tilde{Q}_f = f \times A_f \times U_f \times \tilde{T}_{eo} \quad (3.44)$$

onde: f → fator de decremento;
 A_f → área da parede externa;
 U_f → transmitância da parede externa;
 $\tilde{T}_{eo}$ → flutuação na temperatura sol-ar (equação 3.43).

O fator de decremento é definido pelo **CIBSE (1980)** como a razão entre a taxa de fluxo de calor através da estrutura e a temperatura do interior para cada grau de desvio da temperatura externa em volta do seu valor médio. Esta definição considera o fluxo de calor em regime estacionário.

FLUTUAÇÃO NO GANHO DE CALOR CASUAL ($\tilde{Q}_c$)

A partir do ganho de calor casual médio (equação 3.32), pode-se calcular o valor do ganho casual na hora de pico apenas somando todas as cargas térmicas internas:

$$Q_c' = q_{c1} + q_{c2} + q_{c3} \quad (3.45)$$

onde: Q_c' → ganho de calor casual máximo;
 q_{c1}, q_{c2}, q_{c3} → ganhos casuais instantâneos (luzes, ocupantes, equipamentos).

O desvio no ganho de calor casual pode, então, ser obtido:

$$\tilde{Q}_c = Q_c' - \overline{Q}_c \quad (3.46)$$

onde: Q_c' → ganho de calor casual máximo (equação 3.45)
 $\overline{Q}_c$ → ganho de calor casual médio (equação 3.32)

FLUTUAÇÃO NO GANHO DE CALOR AR-PARA-AR ($\tilde{Q}_a$)

É o desvio de calor proporcionado pela variação da temperatura do ar exterior e é calculado por:

$$\tilde{Q}_a = (\sum A_g U_g + C_v) \times \tilde{T}_{ao} \quad (3.47)$$

onde: $\tilde{Q}_a$ → desvio no ganho de calor pelo desvio na temperatura externa;
 $\sum A_g U_g$ → soma dos produtos das áreas de vidro expostas e suas respectivas transmitâncias;
 $\tilde{T}_{ao}$ → desvio na temperatura externa (Celsius).

A flutuação na temperatura externa ($\tilde{T}_{ao}$) é a diferença entre a temperatura externa máxima e a média.

FLUTUAÇÃO TOTAL NO GANHO DE CALOR ($\tilde{Q}_t$)

É tido como a soma dos componentes calculados pelas equações anteriores, sendo:

$$\tilde{Q}_t = \tilde{Q}_s + \tilde{Q}_f + \tilde{Q}_c + \tilde{Q}_a \quad (3.48)$$

d) AMPLITUDE MÉDIA-PICO DA TEMPERATURA AMBIENTAL INTERNA

A variação média-pico da temperatura ambiental interna pode ser calculada pela seguinte equação:

$$\tilde{T}_{ei} = \frac{\tilde{Q}_t}{\sum AY + C_v} \quad (3.49)$$

onde: $\tilde{T}_{ei}$ → amplitude média-pico da temperatura ambiental interna (Celsius);
 $\tilde{Q}_t$ → flutuação total no ganho de calor (equação 3.48);
 $\sum AY$ → soma dos produtos de todas as áreas das superfícies do ambiente (piso, teto, paredes, janela e seus respectivos valores de admitância);
 C_v → perda por ventilação (equações 3.38 e 3.39).

e) TEMPERATURA AMBIENTAL INTERNA DE PICO

A temperatura ambiental interna de pico é obtida ao se somar o flutuação média-pico da temperatura ambiental com seu valor médio, assim:

$$T_{ei}' = \bar{T}_{ei} + \tilde{T}_{ei} \quad (3.50)$$

onde: $\bar{T}_{ei}$ → temperatura ambiental interna média (equação 3.40);
 $\tilde{T}_{ei}$ → flutuação da temperatura ambiental (equação 3.49).

Após os cálculos precedentes, obtêm-se valores da temperatura ambiental interna média e de pico para cada dia desejado. Estes dados podem, então, ser comparados com os Ideais de conforto. A partir destas comparações, é possível a definição do sombreamento desejável nos períodos quentes do ano e da insolação desejável nos períodos frios.

3.6 - Comparação da Temperatura Ambiental Interna com a Carta de Givoni

Após o cálculo da temperatura ambiental interna para cada dia do ano, se faz necessária a comparação destes valores com algum referencial de conforto. Foi escolhida a zona de conforto desenvolvida por **GIVONI (1992)** sobre a Carta Psicrométrica, intitulada *Building Bioclimatic*

Chart (BBCC) (FIGURA 3.9). Tal como este trabalho, a Carta de Givoni se baseia na temperatura interior dos edifícios ao invés da temperatura do exterior. Outra peculiaridade dessa carta é sua aplicabilidade para países em desenvolvimento onde, segundo o autor, a zona de conforto pode ser ampliada de 2°C. Givoni justifica esta elevação do limite de conforto pela aclimação das pessoas resultante de viverem em edifícios normalmente não condicionado e em climas quentes.

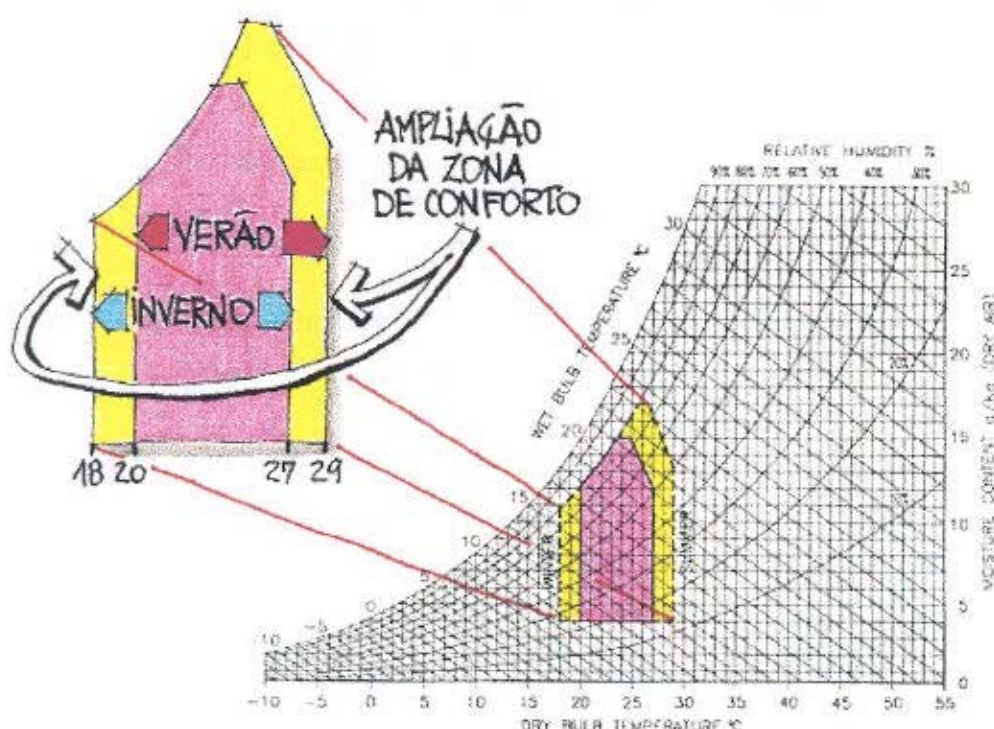


FIGURA 3.9 - Zona de Conforto de GIVONI

Em regiões como o sul do Brasil, pode-se individualizar três situações distintas ao longo do ano. Alguns meses são considerados mais frios (inverno), outros mais quentes (verão) e outros amenos (primavera e outono). Segundo a Carta Bioclimática, os limites de conforto para o inverno se situam entre as temperaturas de 18 e 27°C e para o verão, entre 20 e 29°C. Mas como considerar os meses intermediários?

Toda a questão pode ter seu foco deslocado para a facilidade de se ganhar ou perder calor no período. No inverno é mais fácil se perder calor, enquanto que no verão é mais fácil ganhar-se calor. Ora, nos meses intermediários, onde as temperaturas tendem a ser mais amenas, pode-se ganhar ou perder calor igualmente. Por este motivo, a zona de conforto proposta para estes períodos é um pouco mais estreita, entre os 20 °C e os 27°C, garantindo uma pequena folga de 2°C tanto no limite superior como

no inferior para ganhos ou perdas de calor não previstos. Eis que se configura o quadro dos meses do ano e suas respectivas temperaturas de conforto (FIGURA 3.10).

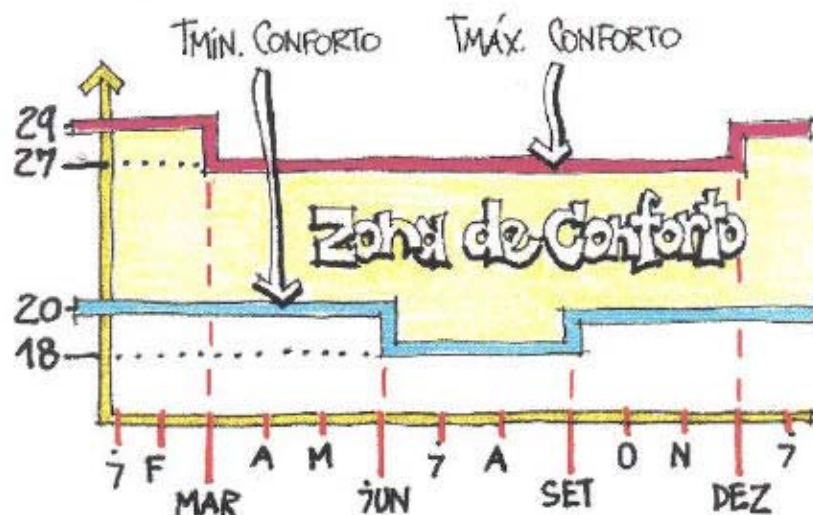


FIGURA 3.10 - Temperaturas desejáveis de conforto para os meses do ano em Florianópolis

Ao analisar os valores das temperaturas ambientais para cada dia do ano, três situações podem ocorrer: (FIGURA 3.11)

- a) A temperatura de pico é maior que a máxima de conforto;
- b) A temperatura ambiental mínima é inferior à mínima de conforto e
- c) O dia está dentro da zona de conforto.

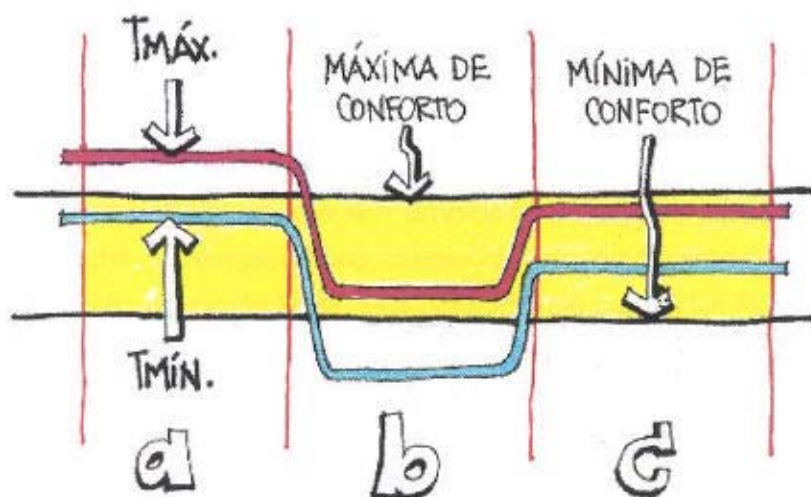


FIGURA 3.11 - Comparações possíveis entre as temperaturas do dia em questão e a zona de conforto

Exceto para a situação **c**, onde há conforto, propõe-se uma correção nos valores das temperaturas ambientais.

Situação a:

Admitem-se como referência que:

$T_{ei}' \rightarrow$ temperatura ambiental interna máxima;

$\bar{T}_{ei} \rightarrow$ temperatura ambiental interna média;

$T_{ei}'' \rightarrow$ temperatura ambiental interna mínima;

$\tilde{T}_{ei} \rightarrow$ flutuação da temperatura ambiental interna;

$T_{sc} \rightarrow$ temperatura máxima (superior) de conforto;

$T_{ic} \rightarrow$ temperatura mínima (inferior) de conforto.

O procedimento para a situação **a** é a seguinte:

Se $T_{ei}' > T_{sc}$ faz-se:

$$T_{ei}' = T_{sc}$$

$$\bar{T}_{ei} = T_{ei}' - \tilde{T}_{ei}$$

$$T_{ei}'' = \bar{T}_{ei} - \tilde{T}_{ei}$$

Situação b:

Seguindo a mesma filosofia, o procedimento de cálculo quando a temperatura ambiental mínima é inferior ao valor mínimo da zona de conforto é o seguinte:

Se $T_{ei}'' < T_{ic}$ faz-se:

$$T_{ei}'' = T_{ic}$$

$$\bar{T}_{ei} = T_{ei}'' + \tilde{T}_{ei}$$

$$T_{ei}' = \bar{T}_{ei} + \tilde{T}_{ei}$$

É importante observar que em ambas as situações, após a correção do primeiro limite de temperatura, dependendo da flutuação ocorrida no dia, o segundo limite pode ficar fora da zona de conforto. Por exemplo: se a T_{ei}' for 31°C e a flutuação for 6°C, a T_{ei}' deverá ser corrigida para 29°C e a $\bar{T}_{ei}$ para 23°C. A temperatura ambiental interna mínima corrigida cairá para 17°C, e estaria abaixo da zona de conforto em 3°C no verão. A rigor, este valor deveria ser corrigido para 20°C, mas isto incorreria em se alterar a amplitude das temperaturas (aproximadamente 12°C), ou seja, em se alterar as características físicas do fechamento externo (amortecimento). Como o enfoque do trabalho é em janelas, não haverá correções neste último valor (T_{ei}'').

Agora que já são sabidos os valores de temperaturas ambientais desejáveis para o conforto, estes valores são fixados e, através da inversão do Método da Admitância, se pode obter os ganhos térmicos solares desejáveis. Comparando os ganhos desejáveis com os existentes é possível determinar o fator de ganho térmico solar necessário para a abertura, conforme detalhado no próximo item.

3.7 - Definição do Fator de Ganho Térmico Solar Desejável

Para executar os cálculos a seguir, considerou-se o ambiente "sala comercial" definido no item 3.1. Desta forma, apenas o ganho térmico solar é incógnito. Os valores desejáveis de ganho solar para cada dia do ano pode ser calculado a partir das temperaturas ambientais corrigidas (item 3.6), que foram fixadas em um algoritmo inverso do Método da Admitância.

Os valores de ganhos casuais (Q_c), ganhos estruturais (Q_f), ganhos de ar-para-ar (Q_a) e perdas por ventilação (C_v) serão os mesmos já calculados no item 3.5. Também as características dimensionais e materiais do ambiente como: áreas, volume interno (v), transmitâncias (U), admitâncias (Y) e características do vidro continuam inalterados. Da mesma forma, as variáveis externas como temperatura do ar e temperatura sol-ar são mantidas. Assim, torna-se este algoritmo bastante simples em sua estruturação, detalhada a seguir:

GANHO TOTAL MÉDIO DESEJÁVEL ($\bar{Q}_{td}$)

Da equação 3.38, isolando o $\bar{Q}_t$, se obtém a nova equação que define o valor do ganho total desejável a partir da temperatura ambiental interna média desejável ($\bar{T}_{ei}$ do item 3.6).

$$\bar{Q}_{td} = \left\{ \left[(A_g U_g) + C_v \right] \times (\bar{T}_{ei} - \bar{T}_{ao}) \right\} + \left[A_f U_f \times (\bar{T}_{ei} - \bar{T}_{eo}) \right] \quad (3.51)$$

onde: $\bar{Q}_{td} \rightarrow$ ganho total médio desejável (W);

$A_g \rightarrow$ área de envidraçamento da superfície exposta (m²);

$U_g \rightarrow$ transmitância do vidro (W/m² °C);

- $A_f \rightarrow$ área da superfície opaca exposta (m^2);
 $U_f \rightarrow$ transmitância da superfície exposta ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$);
 $C_v \rightarrow$ perda de calor por ventilação (equação 3.38 e 3.39);
 $\bar{T}_{ei} \rightarrow$ temperatura ambiental interna média desejável (item 3.6);
 $\bar{T}_{ao} \rightarrow$ temperatura exterior média (item 3.5);
 $\bar{T}_{eo} \rightarrow$ temperatura sol-ar média (equações 3.36 e 3.37).

GANHO DE CALOR SOLAR MÉDIO DESEJÁVEL ($\bar{Q}_{sd}$)

O ganho de calor solar médio é um dos componentes do ganho total médio. O valor desejável do ganho solar médio pode então ser obtido subtraindo-se do ganho total médio desejável ($\bar{Q}_{td}$) o valor do ganho casual médio ($\bar{Q}_c$), assim:

$$\bar{Q}_{sd} = \bar{Q}_{td} - \bar{Q}_c \quad (3.52)$$

onde: $\bar{Q}_{sd} \rightarrow$ ganho de calor solar desejável médio (W);
 $\bar{Q}_{td} \rightarrow$ ganho total médio desejável (equação 3.51);
 $\bar{Q}_c \rightarrow$ ganho de calor casual médio (equação 3.32).

Os valores de $\bar{Q}_{sd}$ podem ocorrer dentro de três possibilidades:

- a) $\bar{Q}_{sd} \leq 0$;
- b) $0 < \bar{Q}_{sd} < \bar{Q}_s$;
- c) $\bar{Q}_{sd} > \bar{Q}_s$.

Lembrando que $\bar{Q}_s$ é o ganho solar existente, a situação **a** significa que há calor em excesso no ambiente. Em outras palavras: O valor negativo de $\bar{Q}_{sd}$ significa que mesmo se tirando todo o ganho solar existente ($\bar{Q}_s$) sombreando a janela, ainda se teria um valor excedente no balanço dos ganhos térmicos, implicando em desconforto no interior.

Na situação **b**, o ganho térmico solar deveria ser reduzido ao seu valor desejável ($\bar{Q}_{sd}$) para atingir-se conforto.

E na situação **c**, o ganho desejável é maior que o existente, implicando na desejabilidade de maior ganho térmico interior. Nesta situação, considerada inviável, o ambiente estará muito frio e poderá necessitar algum tipo de aquecimento artificial.

FATOR DE GANHO TÉRMICO SOLAR DESEJÁVEL (F_{sd})

Conforme já descrito em 2.1.2, o F_{sd} pode ser calculado pela proporção da energia solar incidente em uma janela que penetra no interior. Tendo calculado anteriormente os ganhos térmicos solares médios existentes ($\overline{Q}_s$) e desejáveis ($\overline{Q}_{sd}$), e tendo identificado as situações **a**, **b** e **c**, pode-se afirmar que:

Situação a:

O valor de F_{sd} será zero, pois há calor em excesso no ambiente. Neste caso se deverá sombrear totalmente a janela.

Situação b:

Nesta situação o valor de F_{sd} pode ser obtido na equação 3.53, assim:

$$F_{sd} = \frac{\overline{Q}_{sd}}{\bar{I}_t \times A_g} \quad (3.53)$$

onde: $\overline{Q}_{sd}$ → ganho de calor solar médio desejável (equação 3.52) (W);
 $\bar{I}_t$ → radiação global média no dia em questão (W/m²);
 A_g → área de envidraçamento (m²).

e:

$$\bar{I}_t = \frac{\sum(I_{bt} + I_{dt} + I_{rt})}{24} \quad (3.54)$$

onde: I_{bt} → parcela direta da radiação incidente na superfície inclinada (equação 3.22);
 I_{dt} → parcela difusa da radiação incidente na superfície inclinada (equação 3.23);
 I_{rt} → parcela refletida pelo solo (equação 3.24).

Situação c:

Nesta situação, o máximo possível de sol deve penetrar no ambiente. Entretanto, apenas o ganho solar não poderá suprir o ambiente com o calor necessário, tornando esta situação inviável, a menos que se

incremente os ganhos internos. O valor desejável do F_s será 0,85 para esta situação.

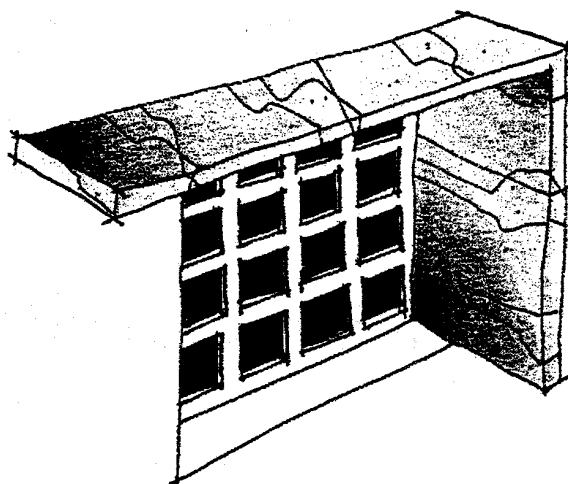
É importante ressaltar que caso as temperaturas ambientais estejam dentro da zona de conforto, o valor do F_{sd} deverá ser o do vidro sem proteção solar, dado por:

$$F_{sd} = \frac{\overline{Q}_s}{\bar{I}_t \times A_g} \quad (3.55)$$

onde: $\overline{Q}_s \rightarrow$ ganho de calor solar médio (equação 3.34);
 $\bar{I}_t \rightarrow$ radiação global média no dia em questão (W/m^2);
 $A_g \rightarrow$ área de envidraçamento (m^2).

Dispondo do valor desejável do fator solar (F_{sd}) é possível compreender as necessidades de desempenho de uma abertura. Para facilitar este entendimento, no próximo capítulo será anatomizada a construção do instrumento proposto para auxílio profissional. Esse instrumento resulta dos cálculos detalhados neste capítulo. 

4



Os Resultados e a Criação do Instrumento

É inviável mostrar todos os resultados numéricos obtidos a partir dos cálculos detalhados no item anterior, pois se teria para cada situação de fachada, estrutura térmica e área de envidraçamento da sala comercial, 365 valores de Fator Solar (F_{sd}). Optou-se por visualizar todos os resultados parciais para apenas um dia do ano. Foi escolhido o dia 31 de janeiro para a fachada OESTE, com estrutura térmica média e 25% de área envidraçada na parede externa. Esta situação passa a ser anatomizada a seguir.

4.1 - Valores de Radiação Solar

Segundo o ano climático de referência (TRY) obtido para Florianópolis, os valores de radiação solar global na superfície horizontal (I_t) e de temperatura do ar externo (TBS) para o dia 31 de janeiro são:

TABELA 4.1 - Valores de TBS e I_t - 31 de janeiro

HORA	TBS (°C)	I_t (W/m ²)
1	22.4	0.0
2	22.2	0.0
3	22.4	0.0
4	22.0	0.0
5	22.0	0.0
6	21.2	11.0
7	22.4	100.3
8	24.0	206.6
9	25.3	318.6
10	27.5	421.8
11	27.5	501.1
12	27.3	544.3
13	29.0	544.3
14	27.0	501.1
15	27.5	421.8
16	27.2	318.6
17	25.7	206.6
18	25.1	100.3
19	24.5	11.0
20	24.0	0.0
21	23.5	0.0
22	23.2	0.0
23	23.0	0.0
24	23.0	0.0

É importante ressaltar que os valores relativamente baixos para a radiação global neste dia são indicativos de céu parcialmente nublado. As temperaturas externas se mantêm dentro da zona de conforto (entre 20 e 29°C). No entanto em alguns horários, a proximidade dos limites de conforto podem induzir à elevação da temperatura do interior, exigindo algum tipo de sombreamento na janela.

A partir do Método de **DUFFIE E BECKMAN (1980)**, descrito no item 3.3, se chegou a resultados horários de radiação solar direta (I_{bt}), difusa (I_{dt}), refletida (I_{rt}) e total (I_{tt}) na superfície vertical ao longo de todo o ano. Para o dia 31 de janeiro, estes valores foram:

TABELA 4.2 - Valores de radiação solar para o dia 31 de janeiro

HORA	I_{bt} (W/m ²)	I_{dt} (W/m ²)	I_{rt} (W/m ²)	I_{tt} (W/m ²)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	1	1	2
7	0	0	10	10
8	0	0	21	21
9	0	18	32	50
10	0	52	42	94
11	0	93	50	143
12	0	54	54	108
13	28	175	54	257
14	56	207	50	313
15	77	226	42	345
16	90	230	32	351
17	108	222	21	351
18	260	229	10	498
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0	0

O dia parcialmente nublado resultou em baixos valores de radiação direta contra altos valores de difusa. A orientação oeste possui altos valores

de radiação solar às dezoito horas, pois nesse horário o ângulo de incidência dos raios solares é praticamente nulo. A partir das parcelas da radiação solar, se calculam os ganhos térmicos solares para a superfície em questão.

4.2 - Valores de Ganho Térmico Solar

Segundo os cálculos detalhados no item 3.4, os resultados de fator solar (F_s), ganho térmico solar direto (Q_b), difuso mais refletido ($Q_d + Q_r$) e total (Q_s) para a situação analisada são:

TABELA 4.3 - F_s e ganhos térmicos solares para o dia 31 de janeiro

HORA	F_s	Q_b (W)	Q_d+Q_r (W)	Q_s (W)
1	—	0	0	0
2	—	0	0	0
3	—	0	0	0
4	—	0	0	0
5	—	0	0	0
6	0	0	6	6
7	0	0	30	30
8	0	0	63	63
9	0	0	149	149
10	0	0	281	281
11	0	0	427	427
12	0	0	322	322
13	0.52	55	684	739
14	0.77	162	767	929
15	0.84	245	800	1045
16	0.86	291	782	1073
17	0.86	352	726	1078
18	0.86	848	714	1562
19	—	0	0	0
20	—	0	0	0
21	—	0	0	0
22	—	0	0	0
23	—	0	0	0
24	—	0	0	0

Exceto às dezoito horas, os ganhos solares difusos e refletidos são preponderantes em relação aos diretos. Isto é de se esperar em um dia

nebuloso. Igualmente ao comportamento da radiação solar, o ganho solar de pico ocorre no por do sol. Os valores da tabela 4.3 são os dados de entrada para o cálculo das temperaturas ambientais segundo o Método da Admitância — detalhado no item 3.5.

4.3 - Valores de Temperatura Ambiental Interna Desejável

Sendo a estrutura térmica adotada média, têm-se os seguintes valores como constantes:

- $U_f = 2,37 \text{ W/m}^2\text{°C}$ → transmitância térmica da parede externa;
- $Y_f = 3,70 \text{ W/m}^2\text{°C}$ → admitância da parede externa;
- $U_p = 2,52 \text{ W/m}^2\text{°C}$ → transmitância térmica da parede interna;
- $Y_p = 3,29 \text{ W/m}^2\text{°C}$ → admitância da parede interna;
- $f = 0,9$ → fator de decremento.

O valor da área envidraçada da parede externa foi adotado em 25%, ou seja:

- $A_g = 3,75\text{m}^2$ → área de janela;
- $A_f = 11,25\text{m}^2$ → área opaca da parede externa.

Da equação 3.32, o valor de $\overline{Q}_c$ já é conhecido (247W). O ganho de calor solar médio (equação 3.34) e total médio (equação 3.35) resultaram em:

- $\overline{Q}_s \cong 321\text{W}$.
- $\overline{Q}_t \cong 568\text{W}$.

A temperatura ambiental interna média (equação 3.40) é uma função do $\overline{Q}_t$, da perda por ventilação (C_v), e da temperatura sol-ar média ($\overline{T}_{eo}$). Os cálculos apontam os valores:

- $C_v = 345,20$.
- $\overline{T}_{eo} = 24,84\text{°C}$.

- $\bar{T}_{ei} = 26,0^{\circ}\text{C}.$

O desvio no ganho de calor solar (equação 3.42) pode ser calculado a partir do ganhos solares máximo (Q_s') e médio ($\bar{Q}_s$) para o dia 31 de janeiro, o que resulta em:

- $Q_s' = 1561 \text{ W}.$
- $\bar{Q}_s = 321 \text{ W}.$
- $\tilde{Q}_s = 1240 \text{ W}.$

Para o cálculo do desvio do ganho de calor estrutural ($\tilde{Q}_f$ — equação 3.44) é necessário o cálculo da flutuação da temperatura sol-ar durante o dia em questão ($\tilde{T}_{eo}$ — equação 3.43). Os valores calculados foram:

- $T_{eo(a)} = 28,42^{\circ}\text{C} \rightarrow$ temperatura sol-ar ocorrida no instante $h - a.$
- $\tilde{T}_{eo} = 3,58^{\circ}\text{C}.$
- $\tilde{Q}_f = 85,83 \text{ W}.$

O desvio no ganho de calor casual ($\tilde{Q}_c$ — equação 3.46) é obtido após se conhecer o ganho casual médio ($\bar{Q}_c$) e máximo (Q_c') para o dia em questão, assim:

- $Q_c' = 745 \text{ W}.$
- $\bar{Q}_c = 247 \text{ W}.$
- $\tilde{Q}_c = 496 \text{ W}.$

O desvio no ganho de calor ar-para-ar ($\tilde{Q}_a$ — equação 3.47) é calculado a partir do desvio da temperatura externa ($\tilde{T}_{ao}$). Tem-se, então:

- $\tilde{T}_{ao} = 2,97^{\circ}\text{C}.$
- $\tilde{Q}_a = 1637,52^{\circ}\text{C}.$

Ao se somar todos os desvios de calor, obtém-se o desvio total no ganho de calor ($\tilde{Q}_t$):

- $\tilde{Q}_t = 3460 \text{ W}.$

Com este valor, se obtém o desvio na temperatura ambiental interna ($\bar{T}_{ei}$ — equação 3.49) e, em consequência, a temperatura ambiental interna máxima (T_{ei}' — equação 3.50):

- $\bar{T}_{ei} = 3,62^{\circ}\text{C}$.
- $T_{ei}' = 29,63^{\circ}\text{C}$.

À título de exemplo mostra-se na figura 4.1 as temperaturas ambientais máxima e mínima diárias para todos os dias do ano.

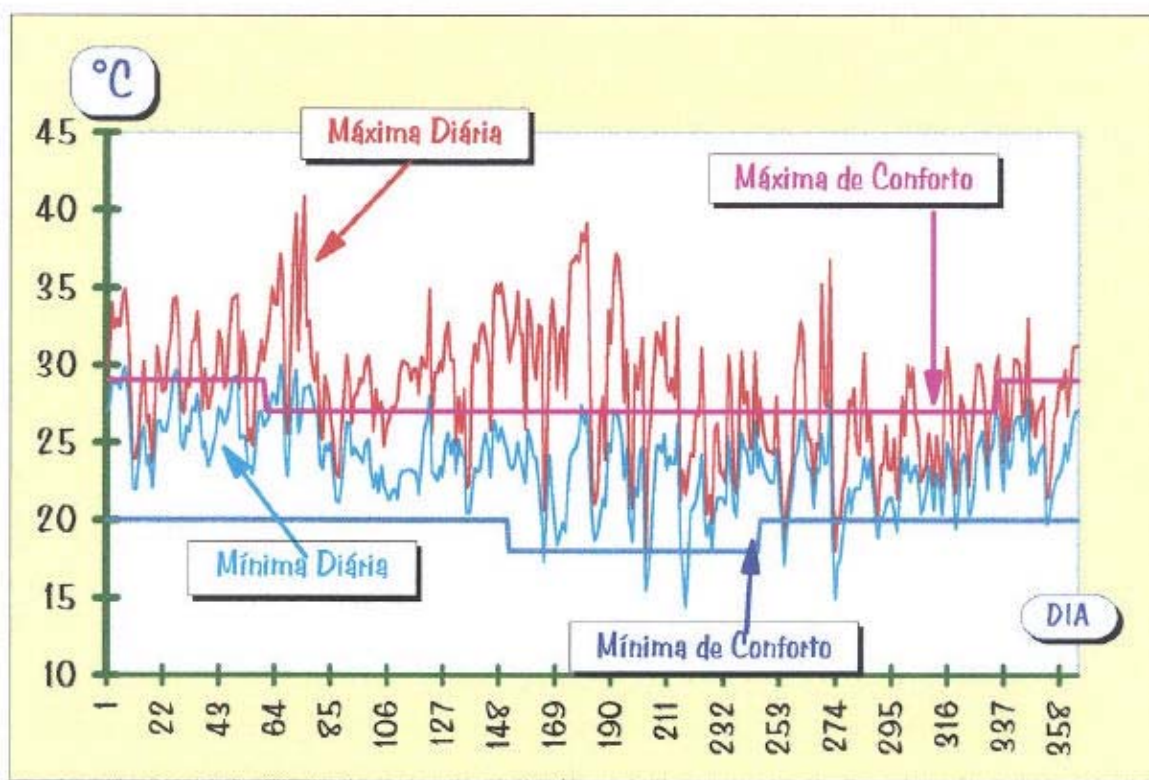


FIGURA 4.1 - Temperaturas ambientais - fachada OESTE - 25% de vidro

Comparando o valor da temperatura ambiental máxima interna do dia 31 de janeiro com a zona de conforto de Givoni, identifica-se que este valor é maior que a máxima de conforto (29°C). Neste caso, deve-se fazer a correção das temperaturas internas da seguinte forma:

- $T_{ei}' = 29^{\circ}\text{C}$.
- $\bar{T}_{ei} = 29 - 3,62 = 25,38^{\circ}\text{C}$.
- $T_{ei}'' = 25,38 - 3,62 = 21,76^{\circ}\text{C}$. → Temperatura mínima no interior.

A partir destes valores pode-se passar à determinação dos fatores de ganho térmico solar desejável.

4.4 - Fatores de Ganho Térmico Solar Desejáveis para Florianópolis

Observou-se que o valor da temperatura ambiental interna deve ser corrigido de 29,63 para 29°C. Neste trabalho se quer concentrar a atenção sobre os fenômenos que envolvem a janela da sala comercial. Assim, nem os ganhos de calor casuais nem os de calor ar-para-ar e estrutural serão alterados. Desta forma, a redução de 0,63°C na temperatura interior virá, a princípio, apenas do controle do ganho solar.

A partir da equação 3.51 se obtém o ganho total médio desejável ($\overline{Q}_{td}$) para atender à correção feita nas temperaturas. Com este valor calculado se pode definir o ganho solar médio ideal ($\overline{Q}_{sd}$ — equação 3.52). Tem-se, então:

- $\overline{Q}_{td} = 321 \text{ W}$.
- $\overline{Q}_{sd} = 72 \text{ W}$

O valor de $\overline{Q}_{sd}$ resultou maior que zero e menor que $\overline{Q}_s$, logo deve-se reduzir o ganho térmico solar de 321 para 72 W para atingir conforto no interior. O fator de ganho térmico solar desejável (F_{sd}) pode ser obtido, finalmente, pela equação 3.53 e resulta em:

- $F_{sd} \cong 0,18$.

Isto significa que apenas dezoito por cento do total de ganhos solares incidentes na abertura poderão passar ao interior para que as condições de conforto sejam garantidas.

Seguindo este princípio, todos os algoritmos precedentes fornecem como resultado valores diários de F_{sd} . Estes cálculos se desenvolveram para as quatro principais orientações, para as proporções de áreas envidraçadas e tipos de estruturas térmicas consideradas. Achou-se conveniente, para emprego mais prático e imediato, traduzir os F_{sd} diários

em apenas valores médios ($\bar{F}$) com os respectivos desvios padrão (σ) para cada período do ano (tabelas 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7).

TABELA 4.4 - F_{sd} médio para a fachada NORTE ($\bar{F}$)

ORIENTAÇÃO	PROR. JANELA (%)	TIPO DE ESTRUT. TÉRMICA	PERÍODO							
			VERÃO		OUTONO		INVERNO		PRIMAVERA	
			$\bar{F}$	σ	$\bar{F}$	σ	$\bar{F}$	σ	$\bar{F}$	σ
NORTE	25	LEVE	0,56	0,33	0,32	0,34	0,82	0,02	0,82	0,04
		MÉDIA	0,60	0,31	0,35	0,33	0,81	0,02	0,81	0,04
		PESADA	0,63	0,30	0,42	0,32	0,81	0,02	0,81	0,04
	50	LEVE	0,46	0,36	0,17	0,29	0,82	0,03	0,81	0,04
		MÉDIA	0,48	0,36	0,18	0,29	0,81	0,02	0,81	0,04
		PESADA	0,51	0,35	0,21	0,30	0,81	0,02	0,81	0,04
	75	LEVE	0,38	0,36	0,10	0,23	0,82	0,03	0,82	0,04
		MÉDIA	0,39	0,36	0,10	0,23	0,81	0,02	0,81	0,04
		PESADA	0,42	0,36	0,12	0,24	0,81	0,02	0,81	0,04
	100	LEVE	0,31	0,35	0,07	0,20	0,82	0,03	0,82	0,04
		MÉDIA	0,32	0,36	0,07	0,20	0,82	0,03	0,82	0,04
		PESADA	0,34	0,36	0,08	0,21	0,81	0,02	0,81	0,04

Nota-se que há pouca variação nos valores de F_{sd} com relação ao tipo de estrutura. No outono os resultados se apresentaram inferiores ao período de verão, denotando maior necessidade de sombreamento. Isto se deve ao menor ângulo de incidência de radiação solar e maior quantidade de horas de sol para a fachada norte neste período. Para o inverno e a primavera, os valores mantiveram-se inalterados para todas as situações. A mudança de área de vidro influencia muito no verão e no outono, em parte pelo grande número de trocas de ar consideradas para estes períodos e em parte por serem os meses mais quentes do ano. A dispersão dos valores de F_{sd} em torno da média foi maior para o verão e o outono, demonstrada pelos desvios padrão. Para estes períodos se pode sugerir o uso de brises móveis, pois atendem a maior parte dos casos. No inverno e na primavera, brises fixos poderão ser utilizados, já que os fatores não apresentam esta variabilidade.

TABELA 4.5 - F_{sd} médio para a fachada SUL ($\bar{F}$)

ORIENTAÇÃO	PROP. JANELA (%)	TIPO DE ESTRUT. TÉRMICA	PERÍODO							
			VERÃO		OUTONO		INVERNO		PRIMAVERA	
			$\bar{F}$	σ	$\bar{F}$	σ	$\bar{F}$	σ	$\bar{F}$	σ
NORTE	25	LEVE	0,57	0,33	0,61	0,33	0,82	0,03	0,82	0,03
		MÉDIA	0,58	0,32	0,61	0,33	0,82	0,03	0,82	0,04
		PESADA	0,61	0,30	0,63	0,32	0,82	0,03	0,81	0,04
	50	LEVE	0,49	0,36	0,61	0,33	0,82	0,03	0,82	0,03
		MÉDIA	0,50	0,35	0,61	0,33	0,82	0,03	0,82	0,03
		PESADA	0,52	0,34	0,61	0,33	0,82	0,03	0,82	0,04
	75	LEVE	0,42	0,36	0,57	0,34	0,82	0,03	0,82	0,03
		MÉDIA	0,43	0,36	0,59	0,34	0,82	0,03	0,82	0,03
		PESADA	0,46	0,35	0,60	0,33	0,82	0,03	0,82	0,03
	100	LEVE	0,34	0,34	0,54	0,36	0,82	0,03	0,82	0,03
		MÉDIA	0,36	0,35	0,55	0,35	0,82	0,03	0,82	0,03
		PESADA	0,38	0,35	0,58	0,34	0,82	0,03	0,82	0,03

Para a fachada sul (TABELA 4.5) o período de verão possui fatores solares menores, indicando maior necessidade de controle de radiação solar. Excetuando-se no verão, os outros períodos possuem fatores solares praticamente constantes em relação à proporção de janela. O desvio padrão apresentou o mesmo comportamento observado na fachada norte, indicando maior dispersão dos valores nos períodos de verão e outono.

Com comportamento semelhante ao da fachada norte, os valores de $\bar{F}$ para a fachada leste (TABELA 4.6) foram mais rigorosos para o outono, principalmente para grandes áreas de vidro, denotando maior necessidade de sombra neste período. É interessante se pensar no uso de brises móveis no verão e no outono, em função dos valores maiores de desvio padrão. Durante o inverno e a primavera, os altos valores de fator solar indicam a necessidade de insolação e os baixos valores de desvios padrão indicam que brises fixos podem ser usados quando necessário.

TABELA 4.6 - F_{sd} médio para a fachada LESTE ($\bar{F}$)

ORIENTAÇÃO	PROP. JANELA (%)	TIPO DE ESTRUT. TÉRMICA	PERÍODO							
			VERÃO		OUTONO		INVERNO		PRIMAVERA	
			$\bar{F}$	σ	$\bar{F}$	σ	$\bar{F}$	σ	$\bar{F}$	σ
NORTE	25	LEVE	0,53	0,37	0,54	0,36	0,82	0,03	0,83	0,03
		MÉDIA	0,55	0,36	0,57	0,34	0,81	0,03	0,82	0,03
		PESADA	0,59	0,33	0,59	0,34	0,81	0,03	0,82	0,03
	50	LEVE	0,42	0,38	0,38	0,37	0,82	0,03	0,83	0,03
		MÉDIA	0,44	0,38	0,40	0,37	0,82	0,03	0,83	0,03
		PESADA	0,46	0,38	0,43	0,37	0,82	0,03	0,82	0,03
	75	LEVE	0,30	0,36	0,24	0,32	0,83	0,03	0,83	0,02
		MÉDIA	0,32	0,36	0,27	0,33	0,82	0,03	0,83	0,03
		PESADA	0,35	0,36	0,31	0,34	0,82	0,03	0,83	0,03
	100	LEVE	0,21	0,31	0,14	0,26	0,83	0,03	0,84	0,02
		MÉDIA	0,22	0,32	0,15	0,27	0,83	0,03	0,84	0,02
		PESADA	0,24	0,33	0,19	0,28	0,82	0,03	0,83	0,03

TABELA 4.7 - F_{sd} médio para a fachada OESTE ($\bar{F}$)

ORIENTAÇÃO	PROP. JANELA (%)	TIPO DE ESTRUT. TÉRMICA	PERÍODO							
			VERÃO		OUTONO		INVERNO		PRIMAVERA	
			$\bar{F}$	σ	$\bar{F}$	σ	$\bar{F}$	σ	$\bar{F}$	σ
NORTE	25	LEVE	0,37	0,38	0,16	0,31	0,84	0,02	0,83	0,02
		MÉDIA	0,40	0,38	0,18	0,32	0,84	0,02	0,83	0,02
		PESADA	0,44	0,38	0,21	0,33	0,83	0,03	0,83	0,03
	50	LEVE	0,22	0,34	0,08	0,23	0,84	0,02	0,84	0,02
		MÉDIA	0,23	0,35	0,08	0,23	0,84	0,02	0,83	0,02
		PESADA	0,26	0,35	0,09	0,24	0,84	0,02	0,83	0,03
	75	LEVE	0,15	0,29	0,05	0,19	0,84	0,02	0,84	0,02
		MÉDIA	0,16	0,30	0,05	0,19	0,84	0,02	0,84	0,02
		PESADA	0,18	0,31	0,06	0,19	0,84	0,02	0,84	0,02
	100	LEVE	0,10	0,25	0,04	0,15	0,85	0,02	0,84	0,02
		MÉDIA	0,11	0,25	0,04	0,15	0,84	0,02	0,84	0,02
		PESADA	0,12	0,26	0,04	0,16	0,84	0,02	0,84	0,02

A fachada oeste (TABELA 4.7) mostrou o comportamento mais instável. Nos períodos de verão e outono os fatores solares resultaram muito baixos, mesmo com pequenas áreas de aberturas. Já no inverno e primavera, os valores apresentaram-se muito altos para todas as situações de estrutura térmica e proporção de janela. Isto reforça a dificuldade de se trabalhar com aberturas nesta fachada.

Nos gráficos a seguir (FIGURAS 4.2 A 4.9) o comportamento anual dos F_{sd} é mostrado. Isto se faz necessário pela pouca confiabilidade dos valores de média, que tendem a distorcer resultados advindos de variações muito grandes. Como a alteração das estruturas térmicas nos quadros anteriores pouco influenciou os fatores solares resultantes, se optou por mostrar apenas os gráficos que consideram estrutura térmica média — mais comumente usada em Florianópolis. Apenas as proporções de 25 e 100% de área envidraçada da parede exterior são consideradas nas figuras, pois subentende-se que para 50 e 75%, o fator solar resultará em valores intermediários. São plotados também, para comparação, os fatores solares reais da abertura sem sombreamento (equação 3.55).

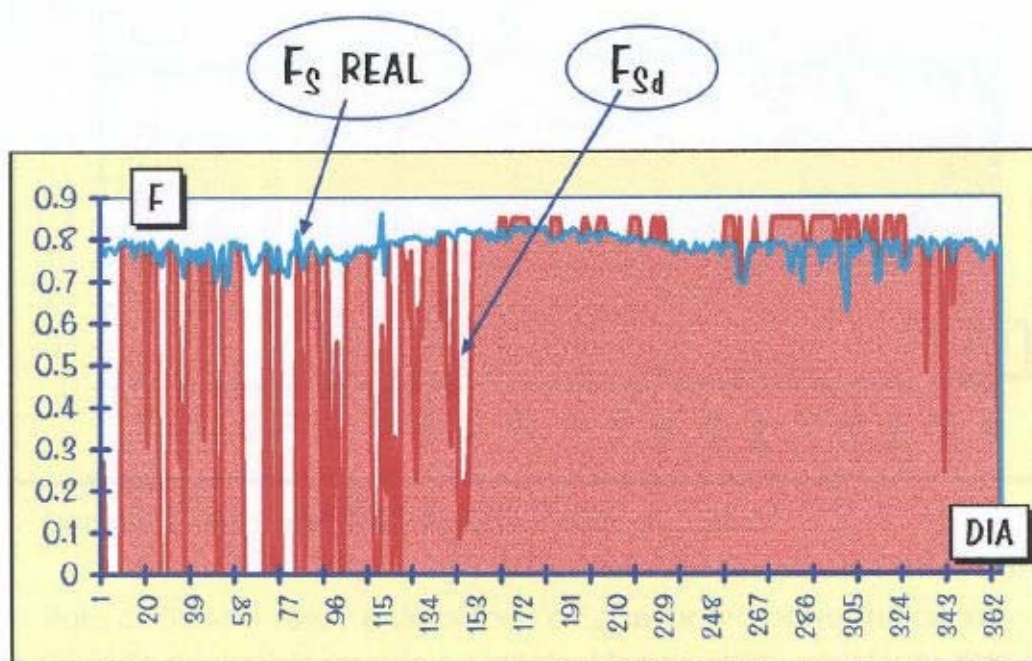


FIGURA 4.2 - Fachada NORTE - 25% de janela - F_{sd} anual

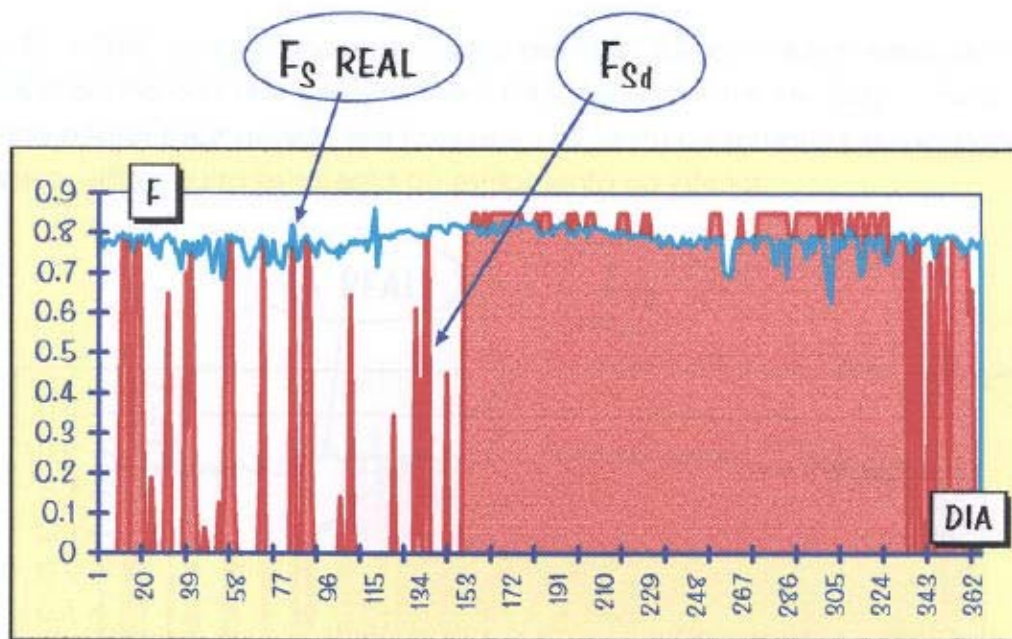


FIGURA 4.3 - Fachada NORTE - 100% de janela - F_{sd} anual

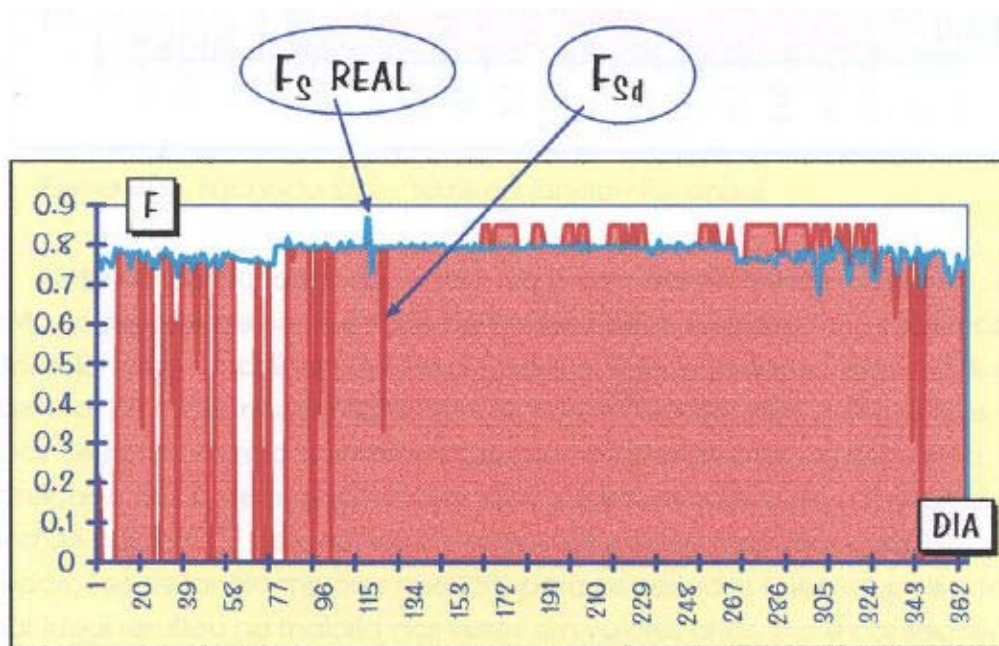


FIGURA 4.4 - Fachada SUL - 25% de janela - F_{sd} anual

Para os dias de verão e de outono o F_{sd} se mostra baixo, indicando necessidade de sombreamento na janela. Mesmo assim, em alguns dias, quando as temperaturas internas se encontram na zona de conforto, ocorre coincidência entre o fator solar desejável e o real. No inverno e na primavera, onde o sol é desejável, os F_{sd} são sempre próximos ou acima do fator solar real, o que significa necessidade de aquecimento. Quando o valor

do F_{sd} é 0,85, não será possível suprir a necessidade de calor apenas com sol, pois o ganho de calor desejável será maior que o existente. Já nos casos onde o fator solar desejável é nulo deve-se, além de sombrear totalmente a janela, utilizar outra estratégia de esfriamento no interior.

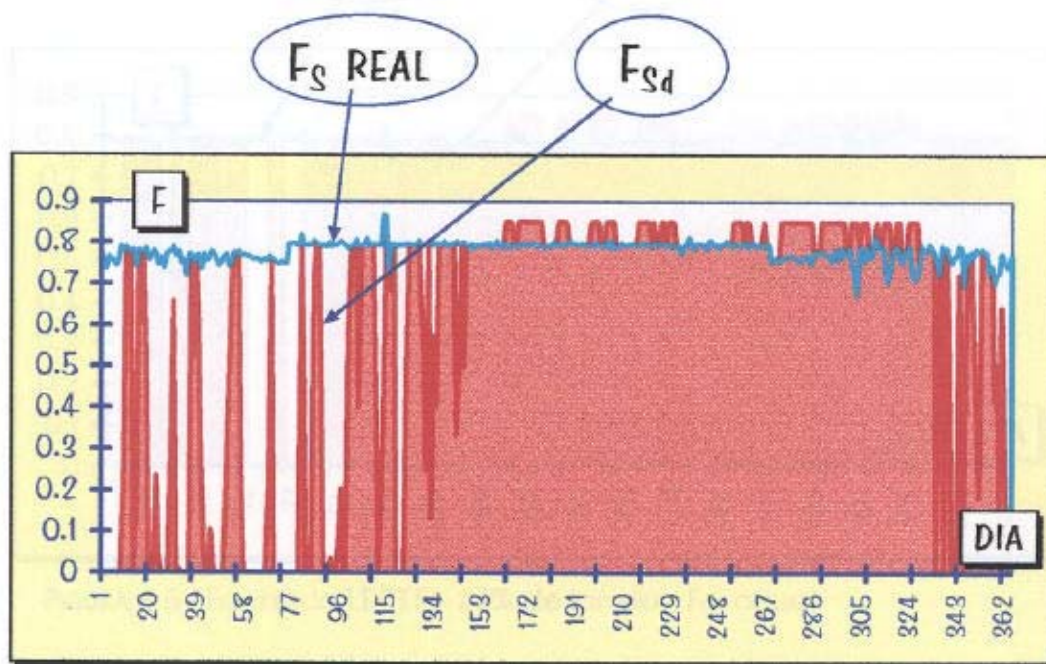


FIGURA 4.5 - Fachada SUL - 100% de janela - F_{sd} anual

Nota-se que na fachada sul, devido à não incidência de radiação direta, o período de necessidade de aquecimento é maior — F_{sd} próximos do fator solar real — incluindo os dias de outono. Nestes períodos, com 100% de abertura, há maior necessidade de calor no ambiente, visto que grandes áreas de janela significam maiores perdas de calor interno. No outono, a identidade dos F_s desejáveis com os reais denotam muitos dias dentro da zona de conforto. É perceptível a necessidade de se trabalhar com proporções de janela maiores que 25% para os períodos quentes, pois o fator solar ideal resultou na maioria das vezes em valores altos. Isto é consequente da baixa incidência de sol nesta fachada, mesmo no período de verão.

Por receber sol apenas durante a metade do dia, a fachada leste (FIGURAS 4.6 E 4.7) embora exija sombreamento nos períodos quentes, se mostra menos rigorosa que a fachada norte, pois há menor ocorrência de fatores solares desejáveis iguais a zero. Nota-se que para a proporção de 25% de abertura, se faz necessário o aquecimento do interior — F_{sd} igual ou

superior ao real — no início do outono, enquanto que para abertura total o período de aquecimento é menor.

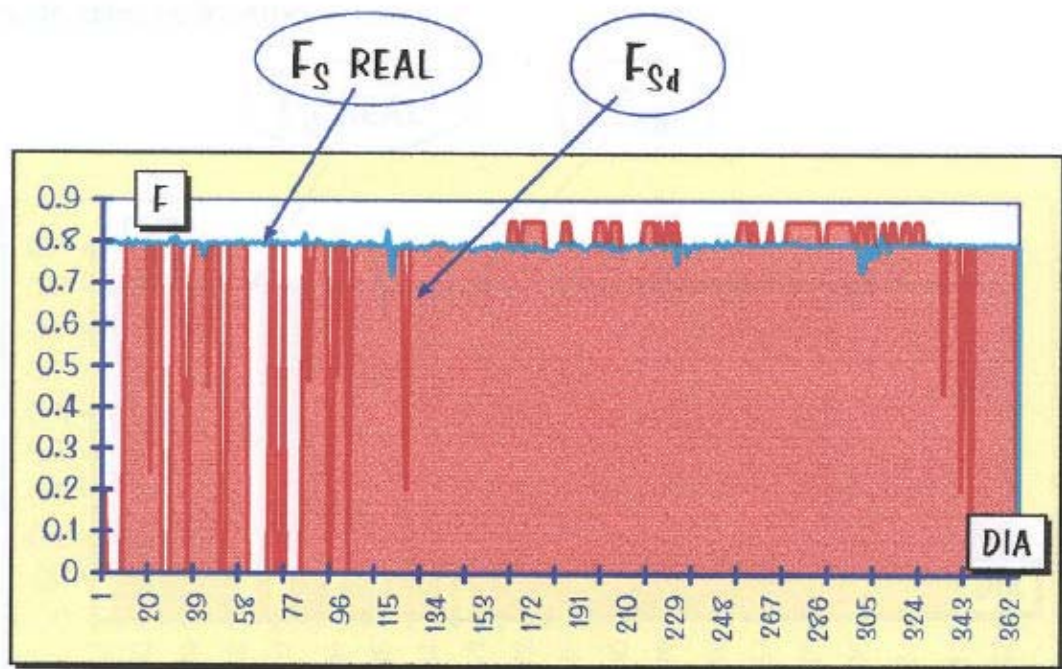


FIGURA 4.6 - Fachada LESTE - 25% de janela - F_{sd} anual

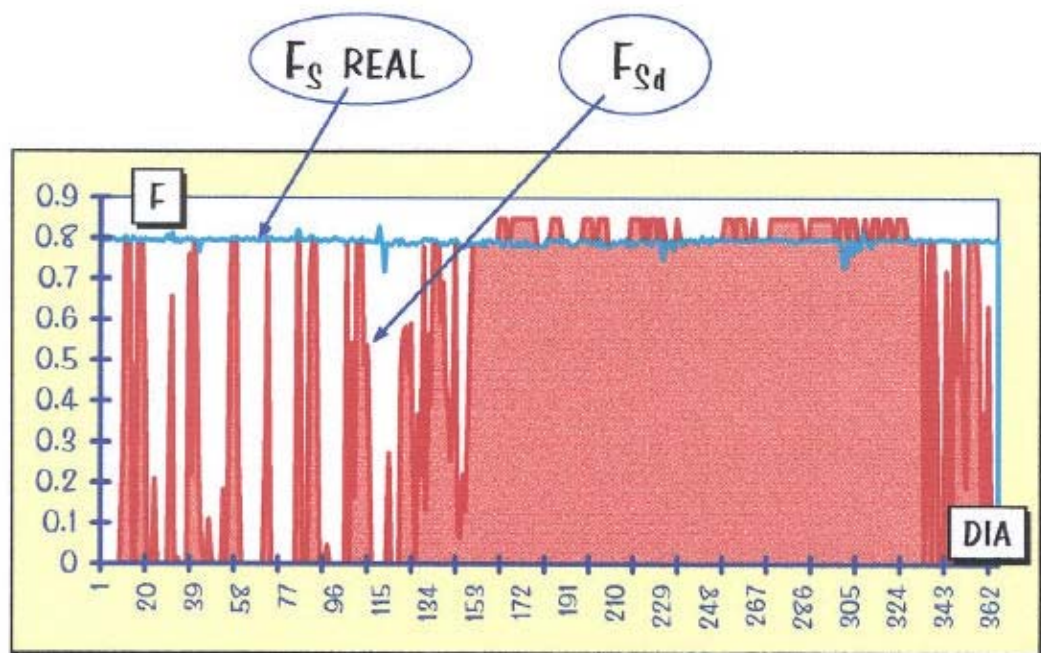


FIGURA 4.7 - Fachada LESTE - 100% de janela - F_{sd} anual

A fachada oeste se mostra a mais imprópria para se ter aberturas. É importante ressaltar que a incidência de luz natural não deve ser muito

prejudicada com a colocação de brises em uma abertura, o que dificulta o projeto para esta fachada, pois os fatores solares são muito baixos no verão e muito altos no inverno.

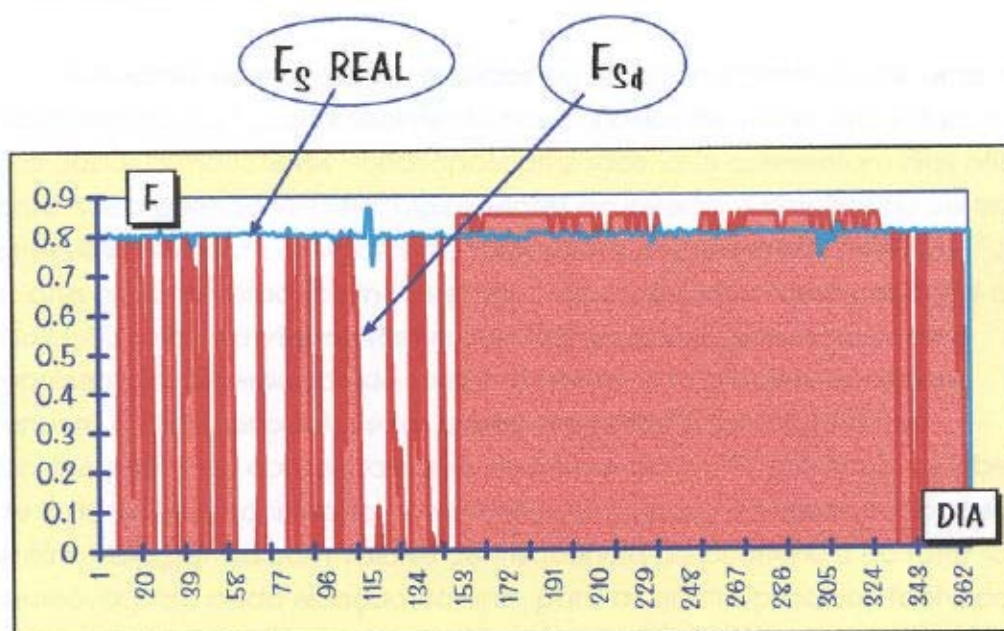


FIGURA 4.8 - Fachada OESTE - 25% de janela - F_{sd} anual

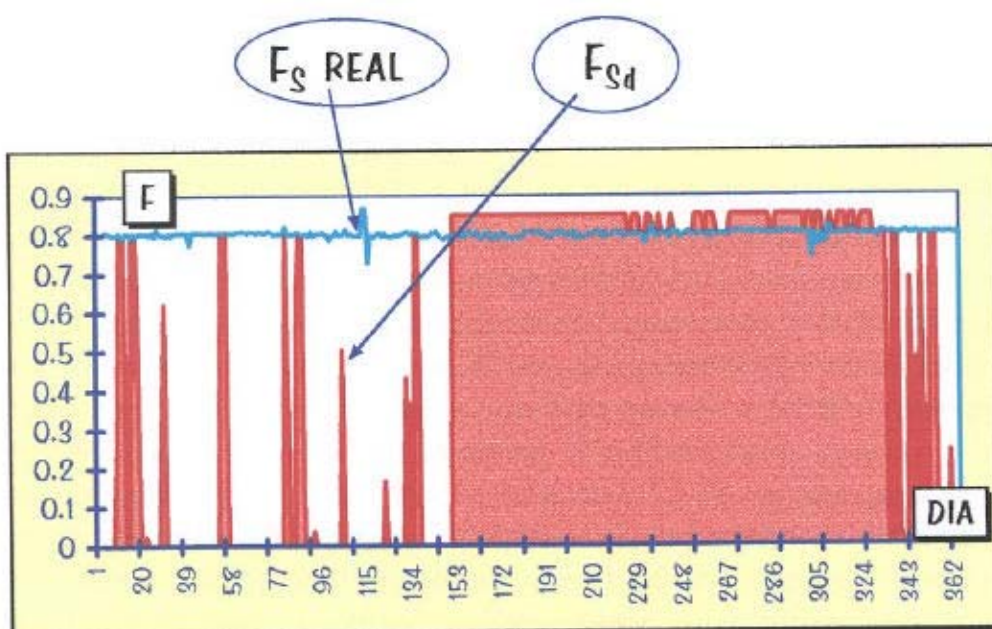


FIGURA 4.9 - Fachada OESTE - 100% de janela - F_{sd} anual

A necessidade de sombras no verão é uma constante na fachada oeste, mesmo para pequenas áreas de envidraçamento. Nos períodos frios, o

fator solar desejável acima do real denota muitas perdas de calor pela janela, que mesmo sem sombra nenhuma não conseguirá suprir a necessidade de calor interno.

Percebeu-se, através dos gráficos do comportamento anual, uma alta variabilidade do F_{sd} , principalmente nos períodos de verão. Isto é decorrente dos dados climáticos de Florianópolis utilizados, que apresentam dias atípicos para cada período, ou seja: dias quentes no inverno e dias frios no verão. Estes dias deslocam os valores de fator solar para faixas não previstas. Fatores solares altos no verão são incoerentes pois representam desejabilidade de radiação solar, da mesma forma que fatores solares baixos no inverno representam necessidade de sombreamento. Estes resultados atípicos tendem a distorcer o fator solar médio do período, tornando-o não representativo do comportamento desejável para o F_s . Isto torna as tabelas de $\bar{F}$ de aplicação limitada como instrumento para o projetista. Propõe-se, então, histogramas com valores de frequência de ocorrência do fator solar desejável para cada estação do ano, para as quatro principais fachadas. Considerou-se apenas a estrutura térmica média para a parede exterior e somente as proporções de 25 e 100% de envidraçamento.

Os histogramas apresentam a frequência dos F_{sd} para o período nas faixas de 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 e 0,8. Isto significa, por exemplo, que valores entre 0 e 0,1 se situarão na faixa de frequência de 0; valores entre 0,1 e 0,2, na faixa de frequência de 0,1 e assim por diante. O alto número de casos nas faixas de frequência mais baixas (0; 0,1; 0,2) indica para o período grande necessidade de proteção solar. É importante se tomar cuidados especiais nos casos onde foi maior a ocorrência de F_{sd} com valor zero, pois nessa situação, além da necessidade de sombreamento total da radiação solar (inclusive suas parcelas difusa e refletida), pode haver necessidade de esfriamento adicional no ambiente. Também devem ser feitas considerações a respeito da luz natural nestas situações. O sombreamento total da radiação solar incorre na diminuição radical da luz do dia que penetra pela abertura. Pode-se então, prever situações onde durante pleno dia a luz artificial seja utilizada em larga escala, e isso traduziria a simples troca do desperdício de energia com esfriamento interior com o desperdício de energia com iluminação. É importante prever para estes casos um estudo mais elaborado das características desejáveis de conforto lumínico para o ambiente e, ao optar por este ou aquele tipo de proteção solar, contrabalancear os dois critérios (lumínico e térmico).

Duas alternativas podem ser tomadas então:

- Considerar a situação inviável e escolher outra proporção de abertura ou mesmo não projetar aberturas para a orientação.
- Usar outra estratégia de resfriamento interior além do sombreamento da janela.

Estes cuidados devem ser tomados principalmente nos seguintes casos (FIGURAS 4.10 A 4.17):

✓ Fachada **NORTE**:

25% de janela → no outono e no verão;
100% de janela → no outono.

✓ Fachada **SUL**:

100% de janela → no verão.

✓ Fachada **LESTE**:

100% de janela → no outono e no verão.

✓ Fachada **OESTE**:

25% de janela → no outono e no verão;
100% de janela → no outono e no verão.

Nos casos onde a maior ocorrência dos F_{sd} for na faixa de 0,7, pode-se considerar que há conforto no interior, desde que não se utilize nenhum tipo de proteção solar. Pode-se perceber nas figuras que estes casos se resumem a:

✓ Fachada **NORTE**:

25% de janela → no verão.

✓ Fachada **LESTE**:

25% de janela → no outono, no inverno e no verão.

✓ Fachada **SUL**:

25% de janela → no outono, no inverno e no verão.
100% de janela → no outono.

Nas situações onde a maior faixa de ocorrência de F_{sd} for na frequência de 0,8, o ambiente interior necessitará de mais calor para lograr conforto térmico. Como nestes casos o fator solar desejável é, geralmente, maior que o fator solar do vidro sem proteção, mesmo os ganhos térmicos advindos da janela sem sombras são insuficientes para aquecer o interior. Para esta situação, duas alternativas podem ocorrer ao projetista:

- Tomar a situação como inviável e alterar a proporção de abertura ou mesmo alterar sua orientação.
- Aumentar os ganhos térmicos internos (ganhos casuais) e/ou o isolamento térmico dos fechamentos.

Conforme os histogramas (FIGURAS 4.10 A 4.17), estes casos afiguram-se em:

✓ Fachada **NORTE**:

25% de janela → no inverno e na primavera;

100% de janela → no inverno e na primavera.

✓ Fachada **SUL**:

25% de janela → na primavera;

100% de janela → no inverno e na primavera.

✓ Fachada **LESTE**:

25% de janela → na primavera;

100% de janela → no inverno e na primavera.

✓ Fachada **OESTE**:

25% de janela → no inverno e na primavera;

100% de janela → no inverno e na primavera.

Em todas as outras situações de faixas de frequência para o F_{sd} (entre 0,1 e 0,6), a proteção solar adequada à janela pode ser projetada em função do valor desejável para o fator solar, sempre balanceando a solução ideal de brise de forma a melhor atender às exigências de conforto térmico e lumínico. O recurso de projeto mais imediato para atenuar as dificuldades de se trabalhar com fatores solares tão antagônicos ao longo do ano (altos num período e baixos em outro) é a utilização de proteções solares móveis, pois podem ser adequadas às mais diversas necessidades de sombreamento.

Ressalva-se apenas o necessário cuidado com a manutenção desses elementos e com o esclarecimento ao usuário sobre o seu funcionamento.

As figuras 4.10 a 4.17 mostram os histogramas de fator de ganho térmico solar desejável para todas as fachadas, com estrutura térmica média e para 25 e 100% de área envidraçada. Cada histograma representa o comportamento do F_{sd} para uma estação do ano.

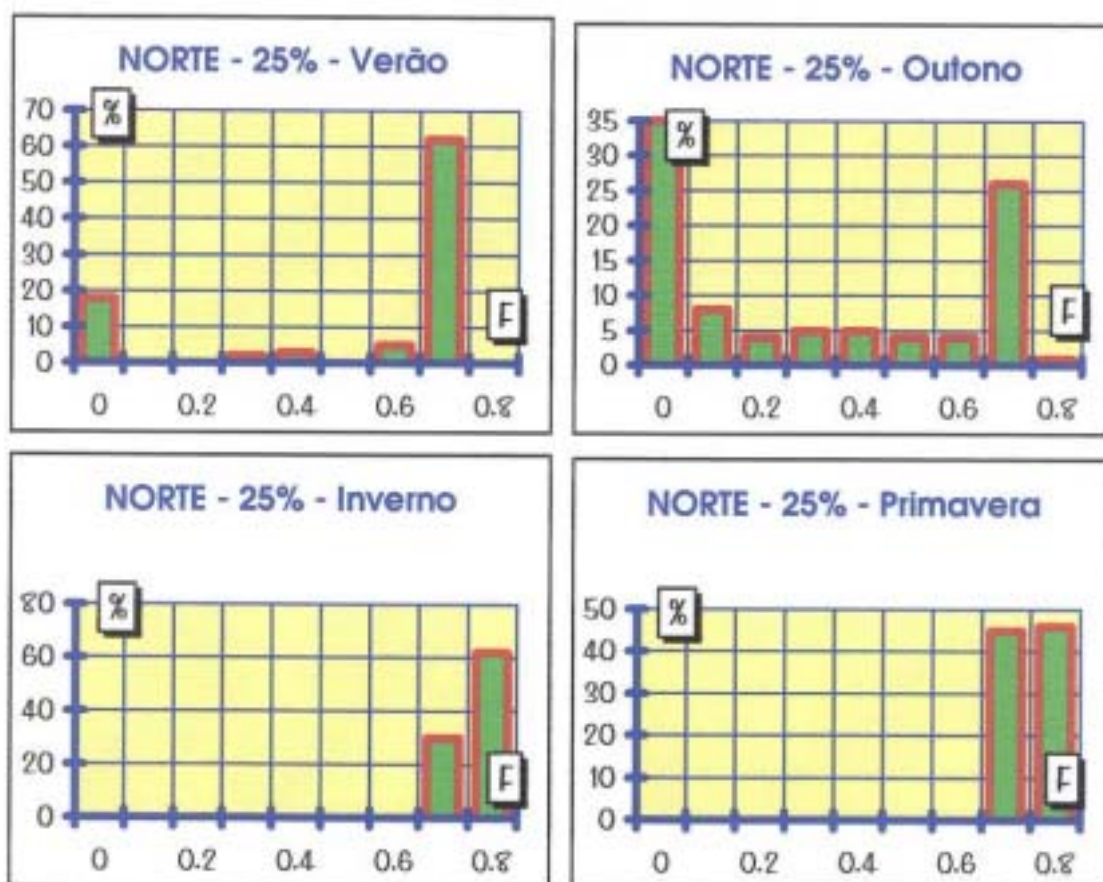


FIGURA 4.10 - Fachada NORTE - 25% de janela - HISTOGRAMAS

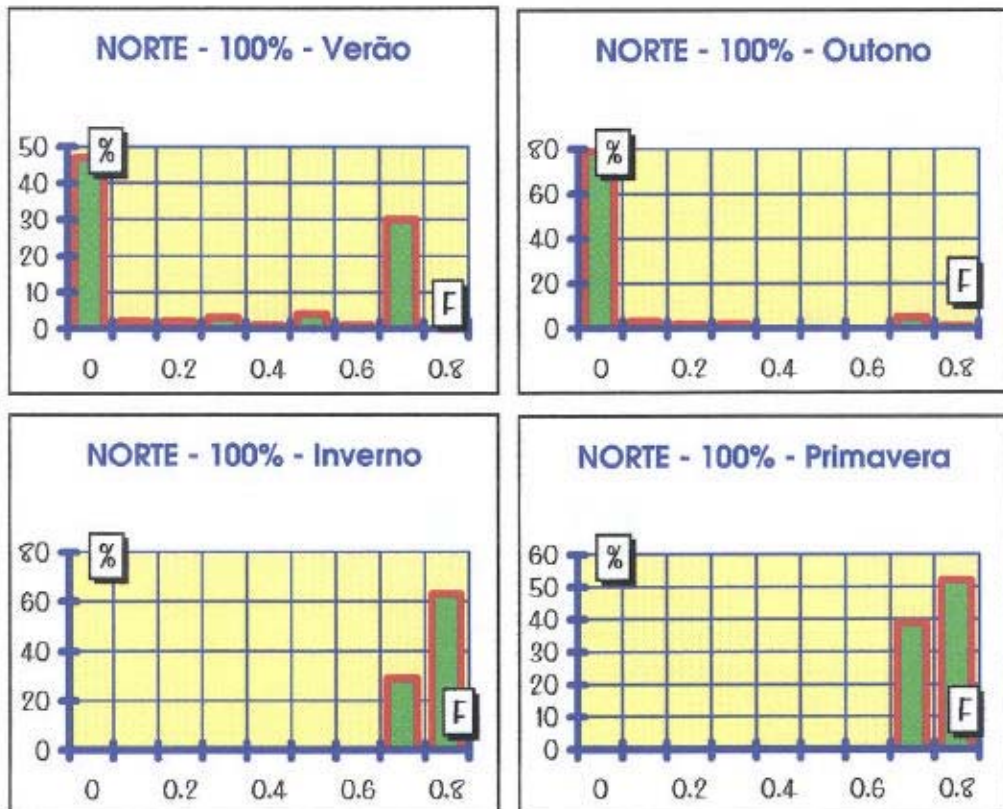


FIGURA 4.11 - Fachada NORTE - 100% de janela - HISTOGRAMAS

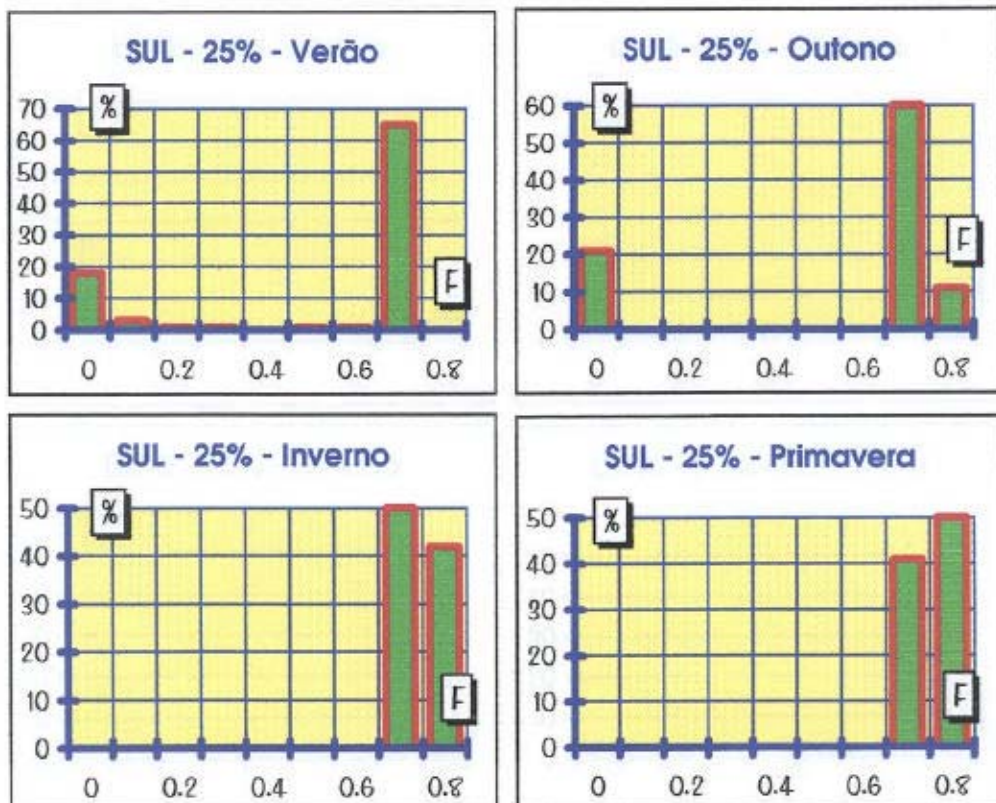


FIGURA 4.12 - Fachada SUL - 25% de janela - HISTOGRAMAS

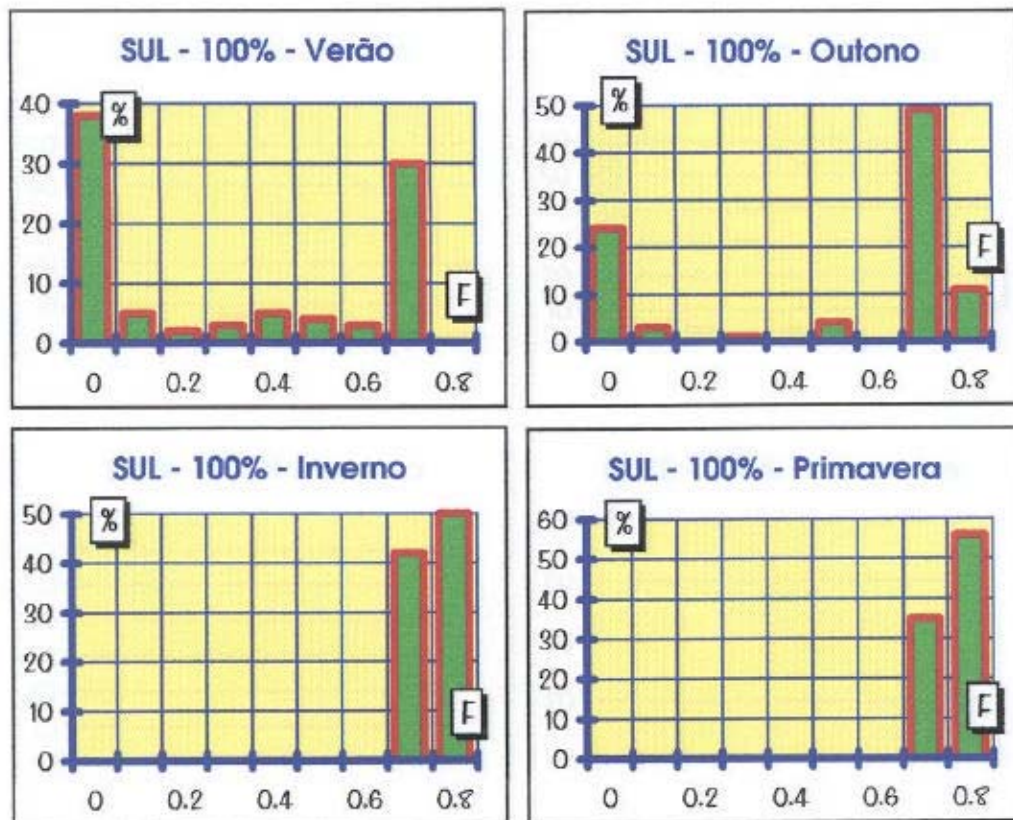


FIGURA 4.13 - Fachada **SUL** - 100% de janela - HISTOGRAMAS

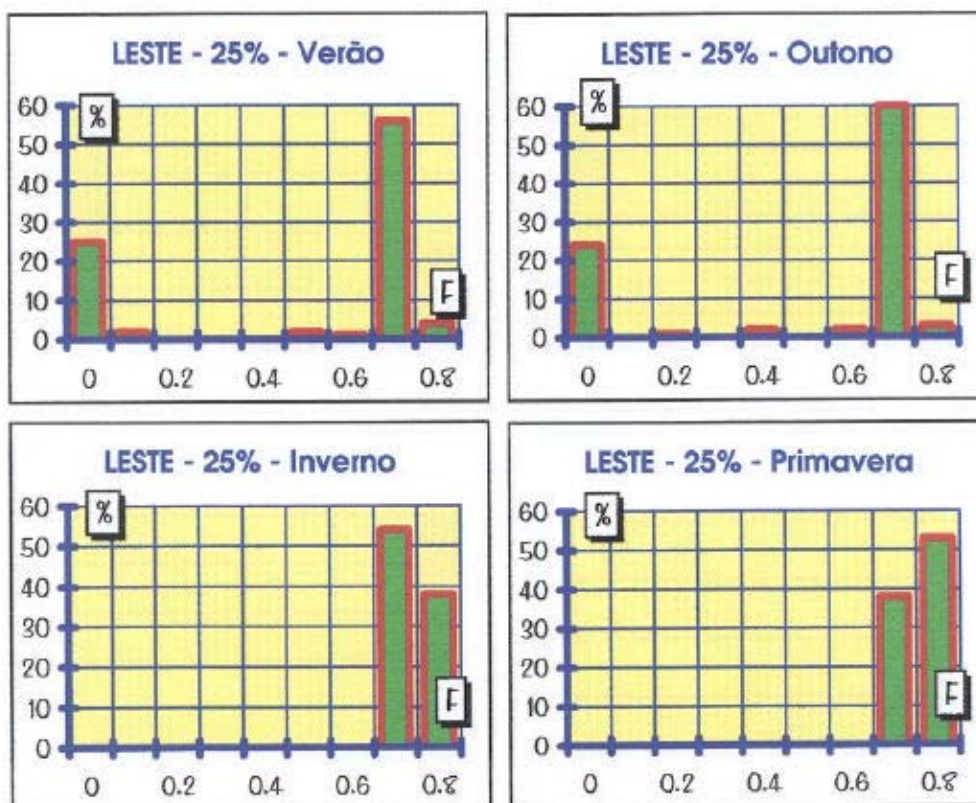


FIGURA 4.14 - Fachada **LESTE** - 25% de janela - HISTOGRAMAS

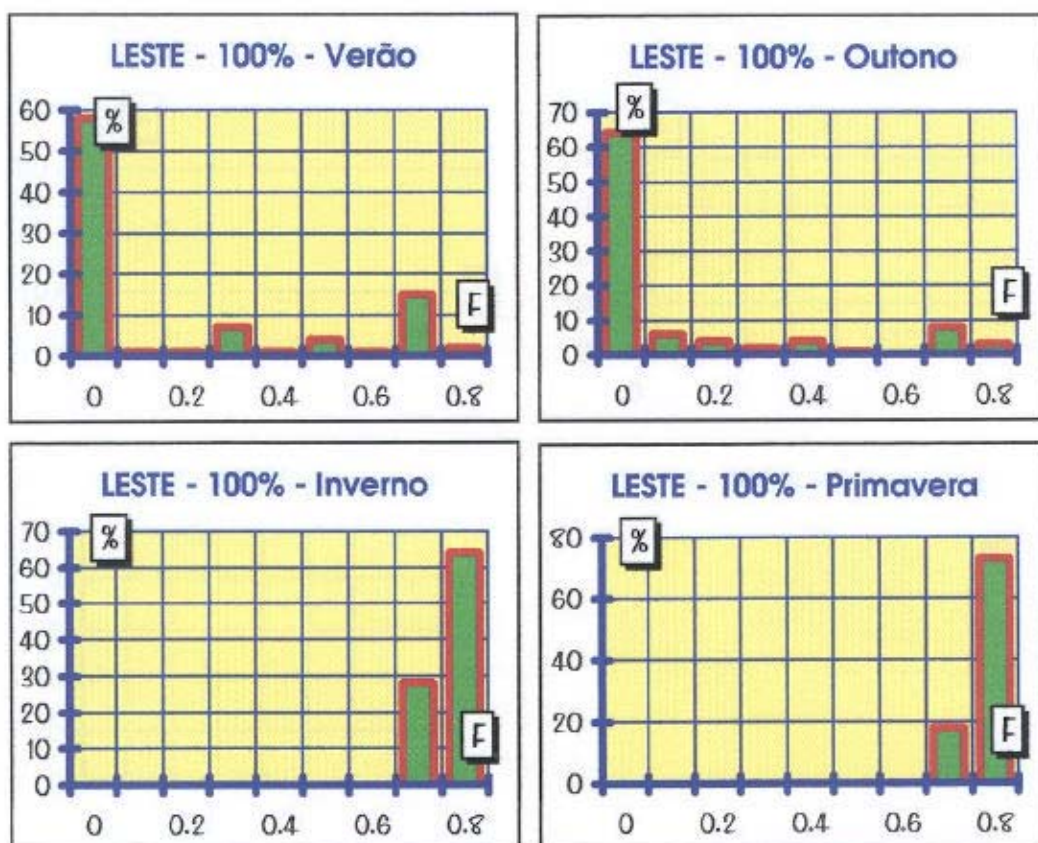


FIGURA 4.15 - Fachada LESTE - 100% de janela - HISTOGRAMAS

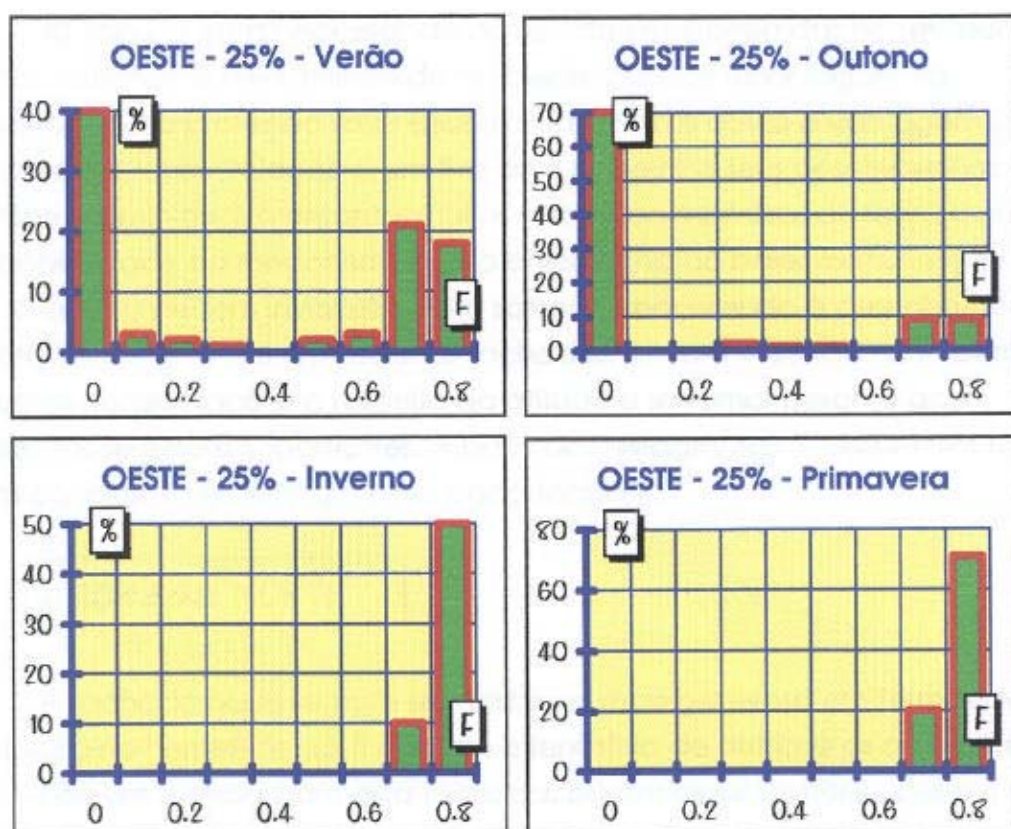


FIGURA 4.16 - Fachada OESTE - 25% de janela - HISTOGRAMAS

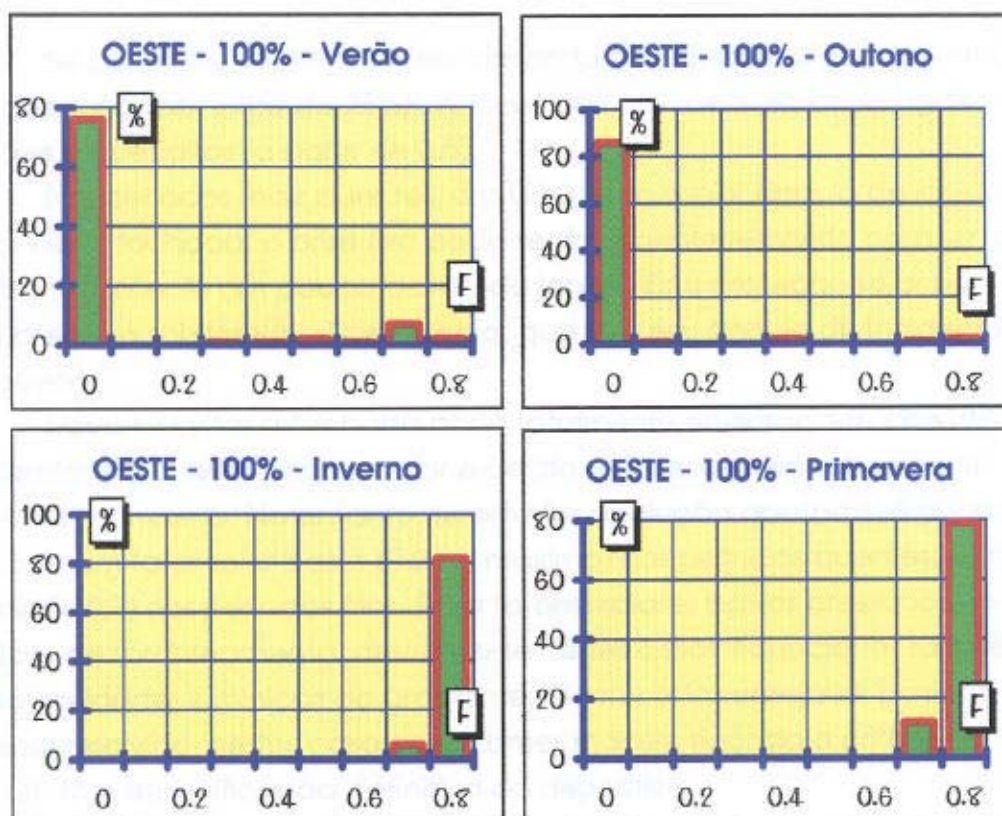


FIGURA 4.17 - Fachada OESTE - 100% de janela - HISTOGRAMAS

Já ficou clara a necessidade do estudo simultâneo das necessidades de conforto térmico e lumínico do ambiente para se estar seguro na adequação da proteção solar à janela. Também é óbvia a vantagem de um brise móvel em relação a um fixo com respeito a seus desempenhos térmico e lumínico. No entanto, muitos fatores econômicos ou tecnológicos (disponibilidade de mecanismos para articulação do brise; manutenção onerosa; etc) podem inviabilizar esta solução, requerendo o desenho de proteções solares fixas em todas as fachadas. Se esta situação for imperativa, algumas considerações a respeito da atitude a se tomar perante aos resultados se fazem importantes. A partir dos histogramas (FIGURAS 4.10 A 4.17), estas conclusões emergiram para cada fachada.

Fachada NORTE

A fachada norte sempre se mostrou a mais generosa em termos de insolação no hemisfério sul. É comum a tentativa de distribuir os ambientes nobres de um edifício para esta fachada, porém alguns critérios devem ser estudados antes de se projetar suas aberturas.

Se a proporção de área envidraçada da parede externa do ambiente for pequena (por volta de 25%), se deve permitir o acesso do sol, garantindo fatores solares altos (a partir de 0,5).

Nos períodos mais quentes, em virtude do maior ângulo de incidência solar nesta fachada, o brise fixo pode ser facilmente resolvido com um plano horizontal saliente um pouco acima da janela. Esta proteção solar não sombreará o sol desejável de inverno, que terá seu ângulo de incidência pequeno.

Deve-se evitar a fachada norte totalmente envidraçada pois isto acarretaria em extremos de calor e de frio no interior, respectivamente no verão e no inverno. No entanto, se esta for a solução adotada, é necessário garantir um fator solar baixo (0,2 no máximo) nos períodos quentes, e alto (a partir de 0,7) nos períodos frios. Para fatores solares baixos pressupõe-se altos índices de sombreamento, devendo-se nestes casos equacionar também as desejabilidades lumínicas do ambiente. O fator solar desejável poderia ser melhor resolvido, nestes casos, com brises móveis, ficando a critério do arquiteto a especificação definitiva do dispositivo.

Fachada SUL

A fachada sul, por receber menor incidência solar ao longo do ano, não necessita de proteção solar em nenhuma das quatro estações. Um F_s de pelo menos 0,7 se mostra mais adequado para esta fachada, principalmente no inverno e primavera. A cortina de vidro deve ser evitada, no entanto, pelo conseqüente excesso de perdas de calor nos períodos frios.

Fachada LESTE

Para pequenas proporções de abertura (25% ou menor) o fator solar mais adequado para a fachada se situa na faixa entre 0,7 e 0,8.

Para proporções de janela maiores (a partir de 50%) deve-se garantir baixos F_s para os períodos quentes ($\approx 0,2$) e altos para os períodos frios (0,8 ou maior).

Também nesta fachada a proporção de 100% de vidro não se mostra adequada, pois requer fatores solares oposicionais ao longo do ano, o que induziria ao uso de proteções solares móveis — nem sempre possível.

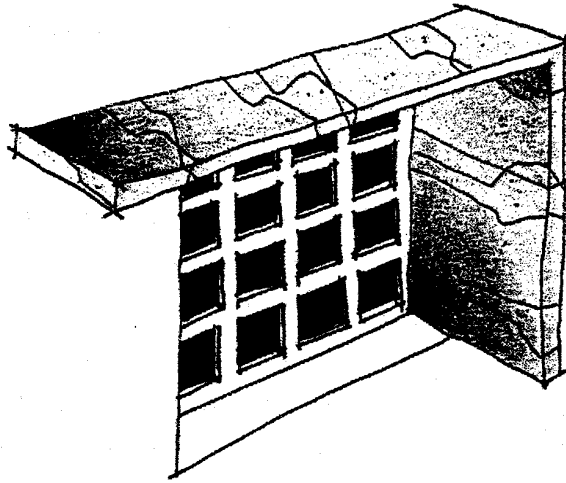
Fachada OESTE

De todas, a fachada oeste foi a que se mostrou mais exigente em termos de F_{sd} . A desejabilidade do fator solar oscila entre os valores extremos, tanto para pequenas quanto para grandes áreas de aberturas. Se possível, na apropriação espacial de um edifício deve se evitar a distribuição dos ambientes mais nobres para esta orientação, salvo, é claro, as situações onde a vista para a paisagem do exterior impeça esta postura. Neste caso, talvez a melhor solução sejam os brises móveis, ou então, o uso de árvores com folhas caducas, que sombreiam a fachada no verão e permitem a insolação no inverno.

Entretanto deve-se evitar os "clichês" tecnológicos, ou seja, não querer achar todas as situações possíveis tabeladas e resolvidas. É fundamental estudar cada caso de janela independentemente, garantindo a liberdade de expressão do arquiteto para desenhar as proteções solares e garantindo inclusive a discussão e o aprimoramento de novas soluções que forem surgindo.



5



CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos e ao longo de todo o percurso do trabalho, algumas conclusões foram aflorando a respeito da eficiência de dispositivos de proteção solar. Já houve muitas tentativas frustradas de se chegar a um índice de eficiência para brises. No entanto, fica claro a partir desta pesquisa, que não faz sentido calcular um índice de eficiência se o brise for visto como um elemento isolado. Assim como o brise participa da solução plástica para uma fachada arquitetônica junto ao mais variado elenco de elementos construtivos, também sua participação no conforto térmico de um ambiente é conseqüente de sua integração com as demais características da arquitetura e com os elementos do clima. O percentual de sombras desejáveis para uma janela depende de sua proporção de área em relação à parede externa e de sua orientação, da estrutura térmica dos fechamentos opacos, das características formais e dimensionais e, inclusive, da apropriação espacial do ambiente. Somente após a definição de todas estas especificidades aflorará o desempenho de uma proteção solar, bastante particular para cada situação.

Outra questão importante é a urgente necessidade de se balancear no estudo de brises, a desejabilidade de sombras no verão e de sol no inverno. Geralmente apenas o primeiro critério é adotado, resultando em espaços internos frios e úmidos no inverno. Este trabalho busca responder a este questionamento quando propõe fatores solares desejáveis para cada período do ano.

Também é errônea a definição de sombreamento desejável, considerando como critério apenas a temperatura do ar exterior. A proposta que aqui se faz de trabalhar com as condições de conforto do interior da sala comercial analisada é mais coerente com a realidade do usuário. Desta forma fica evidente a interrelação entre a apropriação espacial, o ambiente arquitetônico e o clima.

Este trabalho está longe de se tornar definitivo, podendo ser aprimorado. Sugere-se sua implementação junto ao método descrito por **PEREIRA E SHARPLES (1991)**, onde se desenvolve um método experimental para estimar o fator solar de sistemas de abertura. Poderá se avaliar os fatores solares reais obtidos de um certo sistema de brises através de uma maquete e, por comparação aos fatores desejáveis, determinar a eficácia do conjunto. Os resultados poderiam ser montados numa espécie de tabela que relacionasse, para uma abertura com certas dimensões, os mais diversos tipos

de brises com outros sistemas de proteção solar (vidro, cortina, veneziana, etc.) e indicasse o fator solar real do conjunto.

A partir do Ano Climático de Referência (TRY) calculado para uma localidade, também se poderá fazer estudos dos tipos mais adequados de proteção solar. Isto vêm a ser uma ferramenta importante para fornecer ao profissional respostas imediatas com relação à idéia mais indicada de brises para o local.

Este trabalho mostrou que, de posse dos dados climáticos do sítio e após se modelar o ambiente arquitetônico e sua apropriação espacial, é possível determinar o fator de ganho térmico solar desejável para uma abertura, desde que não se esqueça de considerar como ponto de partida o comportamento desejável da temperatura do interior.

No estudo aqui desenvolvido, o objetivo foi defender a idéia de que é possível se chegar ao fator solar desejável (F_{sd}) para uma abertura a partir das características físicas do recinto e dos dados climáticos do local. Nessa perspectiva, se mostrou bastante adequado o emprego do Método da Admitância, devido à sua simplicidade de execução e ao pequeno número de variáveis que requer para tornar possível a obtenção dos resultados descritos no capítulo 4. A aprimoração deste trabalho poderia considerar o uso de alguns programas de simulação mais complexos (DOE 2.1E, por exemplo), onde seria possível o estudo mais aprofundado do F_{sd} e de sua interrelação com as variáveis do ambiente analisado.

Certamente alguns critérios tomados no percurso do trabalho podem influenciar nos resultados finais de fator solar desejável. Por exemplo: o tamanho da sala, o número de trocas de ar no inverno e no verão, ganhos casuais internos, número de paredes expostas ao sol, etc. No entanto se quer provar que a idéia do método é válida. Algumas alterações podem ser feitas nas características consideradas (do ambiente e do clima) ou em algum equacionamento que, porventura, não considere de forma apropriada outras variáveis. Por exemplo: a Zona de Conforto poderia ser alterada para mais se adequar a outra localidade. Da mesma forma, os algoritmos de Duffie e Beckman e o Método da Admitância poderiam ser substituídos por outros mais complexos. Entretanto, quaisquer que sejam estas alterações, os novos resultados obtidos sempre serão decorrentes de uma idéia de cálculo que se quer provar neste trabalho.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AROZTEGUI, J. M.; (1980).** *Método para projeto e avaliação de pára-sois externos, visando à otimização do seu desempenho térmico para um clima dado.* Caderno Técnico (CT 17/80), Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil - UFRGS, Porto Alegre.
- AROZTEGUI, J. M.; (1983).** *Desempenho térmico de janelas.* Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.
- AKUTSO, M.; OGURA, M. K.; ALUCCI, M. P.; DANTAS, J. A.; (1980).** *Dimensionamento de aberturas e proteções solares.* Relatório nº.: 13.257, IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo.
- BICCA, P.; (1984).** *Arquiteto a máscara e a face.* Projeto Editores Associados, São Paulo.
- BOESIGER, W.; GIRSBERGER, H.; (1971).** *Le Corbusier 1910 - 65.* Editorial Gustavo Gili, S. A., Barcelona.
- CIBS (1980).** *Thermal properties of building structures.* In: CIBS GUIDE (Section A3), The Chartered Institution of Building Services, London.
- CIBSE (1986).** *Summertime temperatures in buildings.* In: CIBSE GUIDE (Section A8), The Chartered Institution of Building Services, London.
- DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A.; (1980).** *Solar engineering of thermal processes.* John Wiley and Sons.
- ENARCH'83; (1983).** *Architettura Bioclimatica - bioclimatic architecture.* De Luca Editore, Roma, Italy.
- EVANS, M.; SCHILLER, S.; (1988).** *Diseño bioambiental y arquitectura solar.* Série de Ediciones Prévias, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Buenos Aires.
- GHISI, E.; (1994).** *Estruturas térmicas mais utilizadas em Florianópolis.* Relatório de Iniciação Científica, Departamento de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis.

- GIVONI, B.; (1992).** *Comfort, climate analysis and building design guidelines.* *Energy and Building*, vol. 18, july/92, pp. 11-23.
- GONZALEZ, E.; HINZ, E.; OTEIZA, P.; QUIROZ, C.; (1986).** *Proyecto clima y arquitectura.* Ediciones Gustavo Gili S. A., México, vol. 3.
- GOULART, S. V. G.; (1993).** *Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis.* Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, setembro/1993.
- IZARD, J. L.; GUYOT, A.; (1983).** *Arquitetura bioclimática.* Ediciones Gustavo Gili S.A., México, D.F..
- JORGE, J.; PUIGDOMÈNECH, J.; CUSIDÓ, J. A.; (1993).** *A practical tool for sizing optimal shading devices.* *Building and Environment*, Vol. 28, nº 1, pp. 69-72, Great Britain.
- KOENIGSBERGER, O. H.; INGERSOLL, T. G.; MAYHEW, A.; SZOKOLAY, S. V.; (1977).** *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales.* Paraninfo S.A., Madrid, Espanha.
- KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; LABAKI, L. C.; (1993).** *O projeto arquitetônico e o conforto ambiental = necessidade de uma metodologia.* In: ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, São Paulo, vol. 2, pp. 785-794.
- MCCLUNEY, W. R.; (1991).** *The death of the shading coefficient?* *ASHRAE Journal*, March/91, pp. 36-45.
- MCCLUNEY, W. R.; MILLS, L. R.; (1993).** *The benefits of using window shades.* *ASHRAE Journal*, November/93, pp. 20-27.
- NARCISO FILHO, P.; (1993).** *Estimativa da radiação solar a partir da nebulosidade.* Relatório Interno do SITERPA, Nº.: 4/93, UFSC, Florianópolis.
- OLGYAY, V.; (1963).** *Design with climate.* Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.

- PEREIRA, F. O. R.; (1992).** *Luminous and thermal performance of window shading and sunlighting reflecting devices.* School of Architectural Studies, University of Sheffield, Sheffield.
- PEREIRA, F. O. R.; SHARPLES, S.; (1991).** *The development of a device for measuring solar heat gain and shading coefficients of windows in scale model.* *Energy and Buildings*, vol. 17, pp. 271-281.
- PROJETO EDITORES ASSOCIADOS, LTDA; (1989).** Nº.: 124, agosto/89, pp. 81-83.
- PROJETO EDITORES ASSOCIADOS, LTDA; (1989).** Nº.: 125, setembro/89, pp. 150-151.
- RAUBER, D. L.; (1993).** *Unidade de cálculo de radiação solar baseada no método de Duffie e Beckman.* Grupo de Análise Térmica de Ambientes (SITERPA), Universidade Federal de Santa Catarina, janeiro/1993.
- RAUBER, D. L.; (1993).** *Comparação de modelos de cálculo de radiação solar em superfície inclinada.* Grupo de Análise Térmica de Ambientes (SITERPA), Universidade Federal de Santa Catarina, janeiro/1993.
- RIVERO, R.; (1985).** *Arquitetura e clima.* Editora da Universidade, UFRGS, Porto Alegre.
- RIVERO, R.; (1993).** *Factor solar de los vidrios.* Servicio de Climatología Aplicada a la arquitectura, Facultad de Arquitectura, Universidad de la Republica, Montevideo.
- RUDAFSKY, B.; (1981).** *Architecture without architects - a short introduction to non pedigreed architecture.* London: Academy.
- SALEH, A. M.; (1982).** *The shadow template - a new method of design of sunshading devices.* *Solar Energy*, vol. 28, Nº.: 3, pp. 239-256.
- SZOKOLAY, S. V.; (1980).** *Environmental science handbook.* Halsted Press, New York, USA.
- VITRUVIO, M. L.; (1982).** *Los diez libros de arquitectura.* Editora Iberia S. A., Barcelona.

ZEVI, B.; (1984). *A linguagem moderna da arquitetura*. Publicações Dom Quixote, Lisboa.

