

GRADISCA DE OLIVEIRA WERNECK DE CAPISTRANO

**Eficiência e forma de protetores solares externos em
edifícios de escritórios: estudo de casos em Curitiba-PR**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental.

Área de concentração:
Tecnologia do Ambiente Construído
Orientador: Prof. Dr. Francisco A. S. Vecchia

**São Carlos - SP
2008**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

C243e Capistrano, Gradisca de Oliveira Werneck de
Eficiência e forma de protetores solares externos em
edifícios de escritórios : estudo de casos em Curitiba – PR
/ Gradisca de Oliveira Werneck de Capistrano ; orientador
Francisco Arthur da Silva Vecchia. – São Carlos, 2008.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação e
Área de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental
-- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, 2008.

1. Brise-soleil. 2. Efeito estufa. 3. Fechamentos
transparentes. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Arquiteta e Urbanista GRADISCA DE OLIVEIRA WERNECK DE
CAPISTRANO

Dissertação defendida e julgada em 10/10/2008 perante a Comissão Julgadora:



Prof. Associado FRANCISCO ARTHUR DA SILVA VECCHIA (Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovada



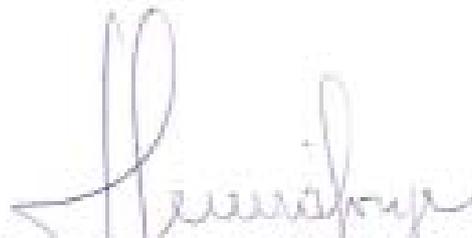
Prof. Titular FRANCISCO ANTONIO ROCCO LAHR
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADA



Prof. Dr. JORGE DANIEL DE MELO MOURA
(Universidade Estadual de Londrina/UEL)

APROVADA



Prof. Titular MARCELO PEREIRA DE SOUZA
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Ciências da Engenharia Ambiental



Prof. Associado GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

AGRADECIMENTOS

Ao prof. Francisco Vecchia, pela atenção e apoio durante o processo de definição do projeto e orientação.

Aos professores Marcos F. Barnabé, Jorge Daniel de Melo Moura e Ricardo Dias Silva, da Universidade Estadual de Londrina, por me incentivarem a buscar o conhecimento e a ver a Arquitetura em toda sua complexidade.

À minha mãe, Wael, pelo exemplo de trabalho e constante busca de aperfeiçoamento, e também por sempre se esforçar para me dar condições de perseguir meus objetivos.

Ao meu pai, Rui, por sempre se fazer presente mesmo estando longe e pelo auxílio com correções e sugestões no texto desse trabalho.

Aos meus avós, Walter e Elza, minhas irmãs, Milena e Anaïs, pelo constante incentivo e carinho.

Ao Giovanni, pela paciência, pelo apoio e companheirismo durante toda realização deste trabalho.

Aos amigos antigos, por compreenderem que em muitos momentos precisei estar distante e aos amigos conquistados durante a realização do mestrado, pela companhia e por tantos novos aprendizados.

À Escola de Engenharia de São Carlos, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

Aos professores e funcionários do PPG-SEA, por todo apoio e solicitude.

À CAPES, pela bolsa concedida para realização desta pesquisa.

**“Para o arquiteto é tão importante saber
projetar um *brise* quanto um pilar”
Louis Kahn**

EFICIÊNCIA E FORMA DE PROTETORES SOLARES EXTERNOS EM EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS: ESTUDO DE CASOS EM CURITIBA-PR

RESUMO

Os protetores solares são elementos arquitetônicos que, quando bem projetados e empregados, podem contribuir para a redução dos ganhos térmicos de uma edificação, e conseqüentemente, do consumo energético necessário para resfriar o ar em seu interior. Isso porque, impedindo a incidência de radiação solar direta nos fechamentos transparentes, diminui o efeito estufa e os aumentos da temperatura interna do ar que ele provoca. É exposto um breve histórico da utilização dos dispositivos de proteção solar na arquitetura brasileira. É apresentada uma discussão sobre a real contribuição dos protetores na redução da penetração da radiação solar direta através dos fechamentos transparentes das edificações. O estudo da eficiência enfoca exemplares de protetores encontrados em edifícios de escritórios da cidade de Curitiba-PR. A análise da eficiência dos protetores é feita graficamente, observando os horários em que recebem insolação e projetam sombra nas aberturas. Percebe-se que a maior parte dos protetores está inadequada para as fachadas e orientações em que são empregados.

Palavras-chave: protetor solar, efeito-estufa, fechamentos transparentes.

EFFICIENCY AND FORM OF EXTERNAL SOLAR PROTECTOR DEVICES FOR OFFICE BUILDINGS: A STUDY OF CASES IN CURITIBA-PR

ABSTRACT

Shading devices are architectural elements which, when well projected and employed, can contribute to the reduction of the thermal gain in buildings and, consequently, the energy consumption necessary to cooling down hot air inside. Avoiding the direct incidence of sunlight through transparent windows, the shading devices contribute to the reduction of the greenhouse effect as well as the temperature increases caused by it. A brief survey on solar protection devices and their usage in Brazilian architecture is presented. The work discuss the actual contribution of protectors in reducing the penetration of direct sunlight through windows or, more generally, transparent glass walls of buildings. The study of efficiency focuses shading devices used for office buildings in the city of Curitiba-PR. That study is accomplished through a graphical method, taking into account the periods in which the solar protection devices receive direct solar radiation and project shadow on the windows. Most part of the protectors considered in the present work do not reach satisfactory performances for the orientations and facades in which they are used.

Keywords: solar protection (shading devices), greenhouse effect, transparent windows.

RESUMO

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO	09
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.1 Objetivo geral	12
1.1.2 Objetivos específicos	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 ARQUITETURA E CLIMA	13
2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	14
2.2.1 As janelas e o consumo energético em edificações	15
2.3 CONFORTO HUMANO	16
2.3.1 Conforto Térmico	16
2.3.2 Conforto Visual	18
2.4 RADIAÇÃO SOLAR	20
2.5 RADIAÇÃO SOLAR E FECHAMENTOS TRANSPARENTES	22
2.5.1 Benefícios do sombreamento dos fechamentos transparentes	25
2.6 DETERMINAÇÃO DA INSOLAÇÃO	27
2.6.1 Equinócios: 21 de março e 23 de setembro	31
2.6.2 Solstício de 21 de junho	31
2.6.3 Solstício de 22 de dezembro	32
2.7 AS TRAJETÓRIAS APARENTES DO SOL	33
2.7.1 Determinação da posição aparente do sol	34
2.7.1.1 Altura e azimute solar	34
2.7.1.1 Declinação solar	36
2.7.2 A confecção das cartas solares	36
2.7.2.1 Horários de insolação	37
2.7.2.2 Determinação gráfica do azimute solar	39
2.7.2.3 Determinação gráfica da altura solar	39
2.7.3 Determinação gráfica dos protetores solares	39
2.7.3.1 Máscara de sombra	40
2.7.3.2 Transferidor auxiliar	40
2.7.3.3 Exemplos de utilização	42
2.8 HISTÓRICO SUCINTO DOS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR NO BRASIL	44
2.8.1 Arquitetura vernacular brasileira e proteção solar	44
2.8.2 O Modernismo e a utilização dos protetores solares	47
2.8.3 A influência do <i>International Style</i>	55
2.8.4 Retomada das preocupações ambientais	59
3 OS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR	61
3.1 TIPOS DE PROTETORES SOLARES	61
3.1.1 Verticais	63
3.1.2 Horizontais	64
3.1.3 Mistos	65
3.1.4 Quanto à localização	66
3.1.5 Quanto à mobilidade	67
3.1.6 Quanto ao tamanho e abrangência	68
3.1.7 Quanto à cor	69
3.1.8 Outros tipos de protetores solares	69
3.2 OS PROTETORES SOLARES COMO ELEMENTOS DE COMPOSIÇÃO ARQUITETÔNICA	71

3.2.1 Escala dimensional	71
3.2.2 Incorporação ao conjunto arquitetônico	71
3.2.3 Posicionamento em relação ao alinhamento da fachada	72
3.2.4 Abrangência espacial	72
3.2.5 Configuração geométrica	72
3.2.6 Importância na composição arquitetônica	73
3.3 ESTUDOS DA EFICIÊNCIA DE PROTETORES SOLARES	73
3.4 ESTADO DA ARTE DA PROTEÇÃO SOLAR NO BRASIL	74
3.4.1 Geometria de insolação	74
3.4.2 Simulações com softwares	76
3.4.3 Práticas experimentais	77
3.4.4 Cálculo de balanço térmico	78
3.5 CONCLUSÕES	78
4 MATERIAIS E MÉTODOS	79
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	79
4.1.1 Localização	79
4.1.2 Caracterização climática	81
4.2 ANÁLISE DA INSOLAÇÃO	82
4.2.1 Insolação nas fachadas de orientação Norte	83
4.2.2 Insolação nas fachadas de orientação Leste	83
4.2.3 Insolação nas fachadas de orientação Sul	84
4.2.4 Insolação nas fachadas de orientação Oeste	84
4.3 DEFINIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	84
4.3.1 Seleção dos edifícios	84
4.4 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA DE ANÁLISE	86
4.4.1 Análise da eficiência dos protetores	86
4.4.2 Análise formal dos protetores	87
5 AVALIAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR	89
5.1 DEPARTAMENTO DE TRÂNSITO DO PARANÁ	89
5.1.1 Orientação nordeste	91
5.1.1.1 Detalhes 'A' e 'B'	91
5.1.1.2 Detalhe 'C'	92
5.1.2 Resultados Obtidos	93
5.2 PALÁCIO DAS ARAUCÁRIAS	95
5.2.1 Orientação noroeste	98
5.2.1.1 Detalhe 'A'	98
5.2.1.2 Detalhe 'B'	99
5.2.1.3 Detalhe 'C'	100
5.2.2 Orientação sudeste	101
5.2.2.1 Detalhe 'A'	101
5.2.2.2 Detalhe 'B'	103
5.2.2.3 Detalhe 'C'	104
5.1.3 Resultados Obtidos	105
5.3 PALÁCIO DAS TELECOMUNICAÇÕES	108
5.3.1 Orientação nordeste	110
5.3.1.1 Detalhe 'A'	110
5.3.1.2 Detalhe 'B'	111
5.3.1.3 Detalhe 'C'	112
5.3.2 Orientação sudoeste	113

5.3.2.1 Detalhe 'A'	113
5.3.2.2 Detalhes 'B' e 'C'	114
5.3.3 Resultados Obtidos	115
5.4 EDIFÍCIO INSS	117
5.4.1 Resultados Obtidos	120
5.5 EDIFÍCIO FIEP	122
5.5.1 Orientação nordeste	123
5.5.1.1 Detalhe 'A'	123
5.5.1.2 Detalhe 'B'	124
5.5.2 Orientação sudoeste	125
5.5.2.1 Detalhe 'A'	125
5.5.2.2 Detalhe 'B'	126
5.5.3 Resultados Obtidos	127
5.6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	128
CONSIDERAÇÕES FINAIS	131
REFERÊNCIAS	133

1 INTRODUÇÃO

O campo de atuação da engenharia ambiental é bastante amplo e tangencia diversas outras áreas do conhecimento. Um dos principais enfoques, atualmente, é dado ao consumo energético decorrente das relações entre o homem e o meio ambiente.

Por meio da arquitetura, o homem interfere diretamente no meio ambiente, seja criando ou simplesmente adaptando espaços às suas necessidades e desejos. A arquitetura, em suas muitas definições, normalmente está associada aos diversos aspectos da construção dos edifícios, sejam eles físicos, técnicos, econômicos ou mesmo estéticos. Um exemplo dessas definições da arquitetura é dado por Marcus Vitruvius Pollio, um engenheiro e arquiteto romano que viveu no século I a.C., deixando como legado o único tratado europeu do período greco-romano que chegou aos nossos dias,

a arquitetura é uma ciência, surgindo de muitas outras e adornada com muitos e variados ensinamentos: pela ajuda dos quais, um julgamento é formado daqueles trabalhos que são o resultado das outras artes (POLLIO¹, apud LOEWEN, 2002).

Em um momento em que, por diversos motivos, são retomadas as preocupações com o meio ambiente e com as relações do homem com ele, torna-se bastante pertinente discutir, também, formas de se fazer arquitetura lançando mão de dispositivos e elementos próprios do seu repertório para contribuir na melhor adaptação das edificações ao meio em que estão inseridas.

Projetos arquitetônicos adequados ao ambiente onde a edificação será implantada podem melhorar sua interação com o entorno, o que significa que uma edificação pode ter melhor desempenho à medida que o projeto arquitetônico se apropria de conceitos e preocupações atribuídos à engenharia ambiental. A elaboração de projetos adequados às condições ambientais e climáticas locais, por exemplo, pode diminuir os períodos em que é necessária a utilização de sistemas considerados complementares, como o de condicionamento de ar.

A adequação da arquitetura ao meio ambiente pode ser discutida de diversas formas, passando por todas as fases do ciclo de vida da edificação. Em sua produção, pelo emprego de

¹ POLLIO M.V. **The ten books on architecture**. Translated by M. H. Morgan. Dover, New York, 1960.

materiais de baixo impacto ambiental, ou ainda pelo aproveitamento de materiais locais, diminuindo, assim, a necessidade de transporte a longas distâncias; durante sua utilização, por meio de projetos arquitetônicos capazes de minimizar o impacto da edificação, como, por exemplo, com a implantação de sistemas coletores de águas pluviais para reutilização, aproveitamento de energia solar, ou ainda com a concepção de um projeto que possa minimizar o consumo energético necessário para desenvolver atividades em seu interior; no final de seu ciclo de vida, por exemplo, com a reutilização de resíduos e materiais.

O enfoque deste trabalho é dado ao período de utilização da edificação e nas maneiras de a arquitetura possibilitar que ela tenha um melhor desempenho, com menor consumo de energia.

A incidência direta de radiação solar nas envolturas dos edifícios (coberturas, paredes ou fechamentos transparentes), provoca o aumento da temperatura do ar no interior. Isso acontece porque, uma vez que a radiação solar penetra no interior das edificações, ela é absorvida pelos elementos em que incide. Estes elementos re-emitem a radiação, mas com comprimento de onda diferente. Essa radiação, com comprimento de onda longo, é incapaz de atravessar barreiras físicas e fica retida no interior dos edifícios, ocasionando uma elevação da temperatura do ar. A esse fenômeno dá-se o nome de efeito-estufa.

Em muitos países do hemisfério norte utiliza-se a formação do efeito estufa para diminuir o consumo energético dos sistemas de aquecimento. No entanto, no caso específico do Brasil ocorre o contrário. Por sua localização geográfica, sendo um país que tem a maior parte de seu território entre o Equador e o Trópico de Capricórnio, o Brasil apresenta elevadas temperaturas durante quase todo o ano. Dessa maneira a formação do efeito estufa é algo problemático, do ponto de vista do consumo energético, porque disso decorre a sobrecarga de sistemas de condicionamento de ar. Além disso, com a entrada de radiação direta no interior das edificações, muitas vezes são empregadas cortinas e elementos similares para barrar a entrada de iluminação excessiva, prejudicando a utilização de iluminação natural, e com isso aumentando a necessidade de utilização de sistemas de iluminação artificial em horas do dia em que ela poderia ser dispensada.

Durante o movimento moderno da arquitetura, os protetores solares foram amplamente utilizados com o intuito de resguardar as extensas aberturas, conhecidas como panos de vidro, cuja utilização estava sendo difundida rapidamente pelo mundo. Entretanto, depois do auge do modernismo na arquitetura, a utilização dos protetores solares ocorreu com menos frequência e em grande parte dessas vezes tinha motivação apenas estética, sem a devida preocupação com a eficácia dos dispositivos.

Neste trabalho estuda-se a eficiência de protetores solares, visando contribuir para o questionamento sobre o conceito de eficiência dos dispositivos de sombreamento, tentando-se também focar a proteção solar não somente como um elemento de composição arquitetônica, mas como parte de um sistema maior capaz de melhorar o desempenho térmico da edificação.

Foram selecionados edifícios com horários e tipos de uso semelhante, preferencialmente com ocupação restrita ao período do dia em que existe luz natural (entre o nascer e o pôr do Sol), para que todos tivessem as mesmas necessidades de proteção nas aberturas. Dessa forma, foram selecionados edifícios de escritórios, tanto públicos quanto privados.

A decisão de analisar edifícios encontrados na cidade de Curitiba-Pr se deve a esta ser a capital brasileira onde são registradas as temperaturas médias mais baixas no decorrer do ano. Dessa forma pretende-se destacar a necessidade de proteger as aberturas da incidência de radiação solar direta mesmo quando se pode pensar que não seja necessário.

No conceito de eficiência utilizado neste trabalho os protetores solares devem projetar sombra nas aberturas durante todo o período de ocupação dos edifícios. A análise da eficiência é feita graficamente com uso de cartas solares e transferidores de sombra realizados com utilização de softwares específicos.

Entre os protetores avaliados, a menor parte está adequada à orientação, existem grandes equívocos nos projetos, como a repetição de protetores iguais em orientações diferentes em um mesmo edifício, refletindo a preocupação meramente estética que freqüentemente norteia a aplicação deste tipo de elementos arquitetônicos.

É de grande importância, para o bom comportamento térmico dos edifícios, sua adequação ao local onde são implantados e o projeto adequado de aberturas e seus respectivos protetores solares.

Uma contribuição que se pretende com este trabalho é a conscientização dos projetistas, em especial dos arquitetos, das consequências da incidência de radiação solar direta sobre fechamentos transparentes nas edificações. Da mesma forma, disseminar a utilização dos processos de projetos de protetores solares, que são bastante simples, e que podem representar contribuições significativas para os usuários das edificações, tanto em termos de otimização do consumo energético quanto de condições menos hostis de habitabilidade.

Não se ambiciona esgotar a discussão sobre a utilização da proteção solar no Brasil, mas contribuir para seu desenvolvimento, debate e para a difusão dos conhecimentos necessários para isso.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Verificar a eficiência de protetores solares encontrados em edifícios de escritórios da cidade de Curitiba-PR, em impedir a incidência de radiação solar direta sobre os fechamentos transparentes nos momentos em que isso é indesejado.

1.1.2 Objetivos específicos

Discutir o papel dos protetores solares na redução dos ganhos térmicos por meio de fechamentos transparentes, de edificações.

Discutir a proteção solar necessária para a orientação de cada uma das fachadas com protetores analisados.

Após diagnosticar a situação dos protetores solares, sugerir possibilidades de melhorar sua eficiência.

Discutir a relação entre eficiência e forma nos exemplares de protetores solares analisados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ARQUITETURA E CLIMA

Para garantir que o edifício possibilite a perfeita integração entre o homem e o meio, o projeto arquitetônico deve tirar partido de cada uma das variáveis que interagem simultaneamente com o meio ambiente e o homem. Nesse sentido, Rivero (1995, p.11) afirma que

uma das funções da arquitetura é a de criar espaços, tanto interiores como exteriores, ajustados às normas de habitabilidade física, química e de segurança, determinadas pelas necessidades dos indivíduos que os ocupam. O que importa realmente é que o arquiteto compreenda que, para se fazer arquitetura, deve-se buscar atender todas as exigências dos indivíduos aos quais ela se destina, e também as exigências temáticas do projeto.

Estudar o clima é importante para entender os fatores externos que condicionam a edificação e, dessa forma, propor dispositivos e soluções arquitetônicas que propiciem um ambiente interno agradável (MONTERO, 2006, p.45).

Frota e Schiffer (2001, p.53) afirmam que “à arquitetura cabe, tanto amenizar as sensações de desconforto impostas por climas muito rígidos, tais como os de excessivo calor, frio ou ventos, como também propiciar ambientes que sejam, no mínimo, tão confortáveis como os espaços ao ar livre em climas amenos”.

De acordo com Vecchia (1997, p.17)

para a obtenção de melhores e mais adequadas recomendações para o projeto construtivo das edificações, integrando-as ao clima e às condições da natureza do local de implantação dessas construções, é necessário buscar indicações mais precisas para obter a melhor resposta térmica (normalmente traduzida pelo desempenho térmico do edifício) do espaço construído, em relação ao meio ambiente em que está inserido. Por isso, depende da adequada interpretação das condições climáticas e das características geofísicas de cada local.

Um desempenho térmico satisfatório da arquitetura, com a utilização apenas de recursos naturais, pode não ser possível em condições climáticas muito rígidas. No entanto, Frota e Schiffer (2001, p.66) destacam que “mesmo nesses casos deve-se procurar propostas que maximizem o desempenho térmico natural, pois, assim, pode-se reduzir a potência necessária dos equipamentos de refrigeração ou aquecimento, visto que a quantidade de calor

a ser retirada ou fornecida ao ambiente resultará menor”. Além disso, existe a possibilidade de o uso contínuo desses equipamentos não ser necessário nas épocas do ano cujas condições térmicas climáticas não sejam tão severas.

Um dos objetivos da arquitetura é dar a máxima satisfação possível às exigências humanas sobre o conforto térmico, com base nos princípios do condicionamento natural. (...) As bases fundamentais do condicionamento devem estar presentes na idéia original; integradas à concepção desde o instante em que nasce o projeto. Fazer outra coisa seria simplesmente remendar, fazer menos ruim um edifício. (RIVERO, 1985, p.141)

Nesse contexto, percebe-se que a arquitetura tem uma relação bastante direta com o clima. Isso significa que o arquiteto tem o dever de pensar o projeto e adequá-lo às características do local onde será implantado, a fim de que esta relação seja benéfica tanto para o meio ambiente quanto para o edifício.

2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência energética é definida por Lamberts, Dutra e Pereira (1997) como “a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia”. Dessa maneira, para que um edifício seja mais eficiente energeticamente que outro, deve proporcionar as mesmas condições de habitabilidade com menor consumo de energia.

Para Rivero (1985, p.68) “o edifício (pelo seu projeto, orientação, materiais e dispositivos) deve ser suficiente para defender seus ocupantes da agressividade térmica do meio”. Segundo o autor, isso é necessário porque a imensa maioria das habitações e dos edifícios construídos nos países em vias de desenvolvimento não tem equipamentos de aquecimento adequado e praticamente nenhuma instalação de ar condicionado. No entanto, essa situação, que poderia existir em 1985 (data da publicação do livro), não é mais a realidade brasileira. Atualmente, no Brasil, os usuários que contratam arquitetos para projetar suas residências, são, normalmente, os mesmos que dispõem de recursos para ter equipamentos de ar condicionado. Apesar de resolver um problema, isso gera outro: a realização de projetos que não consideram os fatores relacionados ao local onde serão implantados, pretendendo-se utilizar sistemas complementares para resolver qualquer condição desfavorável a que o edifício esteja sujeito. Dessa forma, problemas que não são solucionados na etapa de projeto vinculam as boas condições de habitabilidade em um edifício à utilização destes sistemas complementares (entre eles, o de condicionamento de ar),

Atualmente, embora a discussão sobre a eficiência energética seja feita em âmbito mundial, os problemas energéticos enfrentados normalmente são locais. Dessa forma, a adequação do projeto ao meio onde um edifício será implantado é um fator determinante para

que ele seja dotado de eficiência energética em todas as etapas de seu ciclo de vida. Isso significa buscar a melhor integração entre o edifício e seu entorno, seja durante sua construção, utilização, ou no descarte dos materiais empregados.

Apesar de o discurso ambiental já estar associado às preocupações energéticas há cerca de 30 anos, no Brasil essa relação demorou mais tempo a ser estabelecida. De acordo com Gutierrez e Labaki (2005, p.880), “a retomada da discussão do condicionamento natural das edificações aconteceu, de forma mais acentuada, após a crise de infra-estrutura do setor elétrico, com conseqüente racionamento e elevação do custo da energia ao consumidor, ao final dos anos 90”.

No ano de 2001, ocorreram racionamentos de energia elétrica em várias regiões do Brasil. Nesse momento a economia e o uso racional da energia elétrica passaram a ser mais discutidos, impulsionando, por exemplo, a certificação ambiental de aparelhos eletrodomésticos, facilitando a opção por aparelhos de menor consumo.

A participação da arquitetura na eficiência energética pode ser obtida de diversas formas: na elaboração de projetos adaptados ao clima, considerando a iluminação natural integrada à artificial, na especificação de acabamentos e materiais com comportamento térmico adequado ao clima, no uso de ventilação natural, entre outros aspectos.

Meiriño (2004) defende a elaboração de uma edificação “de fato inteligente, menos casuística e desnecessariamente automatizada” e afirma que,

de certa forma, essa nova onda que irreversivelmente está chegando ao Brasil, traz de volta o projeto consciente, perdido há muito pela grande maioria dos arquitetos e engenheiros. Traz consigo, também, novos horizontes de mercado de trabalho, tanto na elaboração de projetos novos como na adequação de edificações existentes; essas oportunidades vão desde estudos de sombreamento até a elaboração de cadernos de encargos para empresas privadas, simulação computacional, elaboração de normas públicas, certificação de edificações, entre outras.

Nos EUA e em muitos países europeus, já se faz uso de certificação de edificações, assim como ocorre, no Brasil, com os aparelhos eletrodomésticos. Isso possibilita aos usuários optarem por edificações energeticamente eficientes que, portanto, contribuem para a conservação de energia e, conseqüentemente, com o meio ambiente. Além, é claro, de diminuir os gastos dos usuários com energia elétrica (MEIRIÑO, 2004).

2.2.1 As janelas e o consumo energético em edificações

Pode-se encontrar alguns estudos relacionando as janelas ao consumo energético total de uma edificação, embora não exista uma regra que determine de que maneira se dá essa

relação. Marinoski (2005, p.3) afirma que o condicionamento de ar no interior das edificações é o principal causador de consumo energético relacionado às janelas.

Mascaró e Mascaró (1992) afirmam, com base em dados obtidos em pesquisa de campo, que, da energia consumida em uma edificação, apenas 20 a 30% são gastos para seu funcionamento. Do consumo restante, de 30 a 50% são desperdiçados por falta de controles adequados da instalação, de manutenção e também por utilização em momentos em que poderia ser evitada. Além disso, 25 a 45% da energia são consumidos indevidamente por orientação e desenho inadequado das fachadas. Sobre isso, Santos, R. (2002) afirma que “a mesma edificação, quando implantada em Belém e Porto Alegre pode apresentar uma variação de consumo energético de até 80%”.

Estima-se que, em média, a transferência de calor através de janelas corresponda a 31% da carga de resfriamento e 17% da carga de aquecimento em edifícios comerciais dos EUA; no caso de construções residenciais esses números seriam de 34% e 23%, respectivamente (WINKELMANN², 2001, *apud* MARINOSKI, 2005, p.3).

2.3 CONFORTO HUMANO

As necessidades do conforto humano exigem das envolventes do ambiente construído adequadas respostas em relação às excitações provocadas pelos elementos do clima sobre elas, que podem ser expressas de acordo com alguns de seus elementos. Esses elementos do clima, transformados em parâmetros do conforto térmico, permitem a avaliação de desempenho térmico dos elementos (VECCHIA, 1997, p.31).

2.3.1 Conforto Térmico

A definição mais difundida de conforto térmico é dada pela ASHRAE (1993), que o descreve como um “estado mental que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa”. A NBR 15220 apresenta uma definição similar do conforto térmico, como “satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente” (ABNT/NBR 15220-1, 2003, p.5).

De acordo com Vecchia (1997, p.40), fisiologicamente “há conforto térmico quando para uma atividade sedentária e uma dada indumentária, os sistemas termorreguladores não

² WINKELMANN, F.C. **Modeling windows in EnergyPlus**. Simulation Research Group, EETD Lawrence Berkeley National Laboratory, Maio 2001. Proc. Building Simulation 2001, IBPSA, Rio de Janeiro, September 2001.

precisam intervir na adequação do equilíbrio ou do balanço térmico do organismo, conforme estabelecem os índices, quando determinados valores ultrapassam os limites estabelecidos”.

Sobre os ditos mecanismos termorreguladores, Givoni (1976, p.71) explica que, quando o corpo está no ponto neutro de condições de conforto, eles constituem o primeiro mecanismo fisiológico ativado para ajustar a velocidade com que ocorrem os ganhos e as perdas térmicas do corpo por variações na temperatura do ambiente, e consistem em uma regulação do fluxo de sangue nas camadas superficiais do corpo.

A temperatura do sangue é de 37°C, diminuindo em direção às extremidades do corpo, e variando entre 34°C na cabeça e 27°C nos pés (Figura 1). Essa temperatura não pode ultrapassar os 42°C nem ser menor que 32°C. Já a temperatura média superficial do corpo é de 33°C. Estes limites tão estreitos fazem com que o organismo seja suficientemente sensível para alertar quando as trocas de calor entre o corpo e o meio ocorrem em uma velocidade inadequada. Perdendo uma quantidade maior experimentará uma sensação de frio. Se for menor, a sensação será de calor (RIVERO, 1985, p.57).

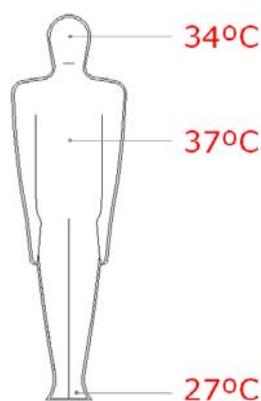


Fig. 1 – Variação da temperatura corporal.
Fonte: Adaptado de RIVERO (1985, p.57).

Quando uma pessoa permanece exposta a meios desconfortáveis, está mais suscetível à ocorrência de fadiga, extenuação física e nervosa, diminuição do rendimento, aumento dos erros e riscos de acidentes no trabalho, além de expor o organismo a diversas doenças. Sobre isso, Frota e Schiffer (2001, p.20) afirmam que “a termorregulação, apesar de ser o meio natural de controle de perdas de calor pelo organismo, representa um esforço extra e, por conseguinte, uma queda de potencialidade de trabalho”.

Na figura 2 é exposto um gráfico que compreende o resultado da pesquisa realizada por Missenard³ (1955, *apud* Rivero, 1985, p.68), relacionando a frequência de acidentes em uma fábrica com as variações de temperatura do ar ocorridas no local. Os resultados

³ MISSEARD, A. **La chaleur animale**. Paris: Presses Universitaires de France, 1955.

comprovam que, na medida em que o meio é termicamente mais hostil, aumenta a preocupação do indivíduo com esse problema, afastando sua atenção da atividade específica que está realizando, favorecendo a distração e, conseqüentemente, a perda de eficiência e segurança no trabalho.

Olgay (1963, p.14) concorda com essa relação entre as condições do meio e o rendimento da pessoa nas atividades que desenvolve, afirmando que nas zonas climáticas onde prevalece o calor ou o frio excessivo, o esforço biológico de adaptação às condições a que essa pessoa está exposta diminui sua energia.

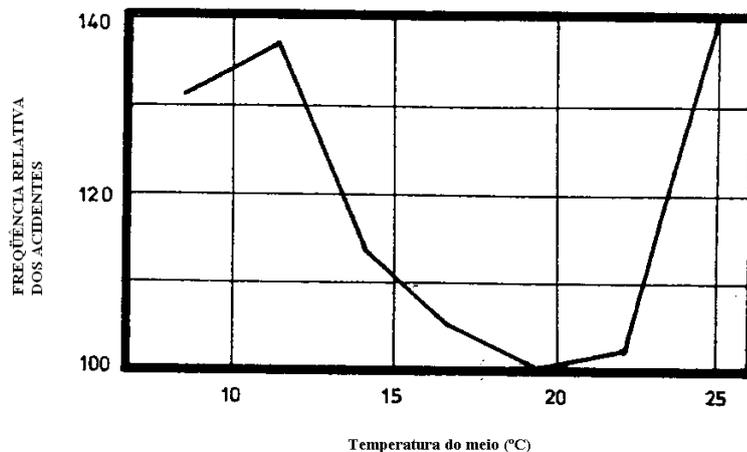


Fig. 2 – O desconforto térmico aumenta a frequência de acidentes e erros, e diminui a eficiência e o rendimento no trabalho.
Fonte: RIVERO (1985, p. 57).

Assim como a temperatura do ar inadequada, a existência de uma superfície radiante dentro de um ambiente pode provocar sensação de desconforto nas pessoas próximas a ela. Isso acontece porque essas superfícies emitem radiação e submetem o corpo humano a uma velocidade grande de trocas de calor, que, de acordo com Vecchia (1997, p. 16) “é de onde advém o conceito de estresse térmico, uma vez que quanto mais rápido ocorrem essas trocas térmicas, maior será a sensação de frio e vice-versa”.

Quando ocorre incidência direta de radiação solar nos fechamentos, a temperatura superficial deles pode se tornar bastante elevada. Sobre isso, Rivero (1985, p.68) acrescenta que “nessas condições, as instalações de ar condicionado poderão somente absorver o calor que ingressa no local de modo a manter estacionária a temperatura do ar interior, mas as altas temperaturas superficiais permanecem inalteradas”.

2.3.2 Conforto visual

Além de desempenhar um importante papel na obtenção do conforto térmico no interior dos edifícios, o sombreamento das aberturas dos edifícios pode favorecer, também, a

iluminação adequada. A otimização do emprego da luz natural em edificações usadas principalmente de dia, pode, ao diminuir a utilização de iluminação artificial, produzir uma contribuição significativa para a redução do consumo de energia elétrica, melhoria do conforto visual e bem-estar dos ocupantes. Aberturas, em geral, proporcionam aos ocupantes o contato visual com o mundo exterior e permitem também o relaxamento do sistema visual pela mudança das distâncias focais (ABNT/ NBR 151215-1, 2005).

O conforto visual, de acordo com Vecchia (1997, p.15), trata da “aplicação e utilização das cores nos ambientes, dos níveis de iluminamento adequados, assim como avalia as características da temperatura de cor (definida como a cor predominante de uma fonte de luz), peculiares a cada tipo de fonte de luz, que definem o ‘tom’ dos ambientes”.

O conforto visual é o principal determinante da necessidade de iluminação em um edifício. Lamberts, Dutra e Pereira (1997) definem conforto visual como “a existência de um conjunto de condições, em determinado ambiente, no qual o ser humano pode desenvolver suas tarefas visuais com o máximo de acuidade e precisão visual, com o menor esforço, com menor risco de prejuízos à vista e com reduzidos riscos de acidentes”. A boa iluminação deve ter direcionamento adequado e intensidade suficiente sobre o local de trabalho, bem como proporcionar boa definição de cores e ausência de ofuscamento.

A incidência da radiação solar direta sobre o plano de trabalho é indesejável, e, com o sombreamento das aberturas pode-se permitir apenas a entrada de radiação difusa. Com aproveitamento dessa radiação, melhora-se a qualidade da iluminação natural e evita-se a necessidade de cortinas nas aberturas (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

A norma brasileira define luz natural, que incide no ambiente construído, como luz proveniente diretamente do sol, luz difundida na atmosfera (abóbada celeste) e luz refletida no entorno (ABNT/ NBR 151215-2, 2005).

A luz natural é qualitativamente superior à luz artificial. O jogo de intensidades diferenciadas de luz, sombras e de reprodução de cores são informações espaço-temporais que a luz natural fornece ao homem, fundamentais ao funcionamento do seu relógio biológico. Já a iluminação artificial permite ao homem estender suas atividades em momentos em que a luz natural não é suficiente ou em locais onde a iluminação natural não é possível.

Didoné e Bittencourt (2006) desenvolvem um estudo sobre a influência da utilização de proteção solar na iluminação natural de salas de aula em Maceió. Para isso, são feitas simulações utilizando-se o programa computacional *LumenMicro*, em salas de aula de diversas dimensões, nas orientações Norte e Sul. Foram analisados, também, protetores com configurações diferentes, inclusive de superfícies com refletâncias diferentes. Foi constatado

que os protetores solares podem funcionar como anteparos para a radiação direta no interior das salas de aulas, diminuindo o contraste de luminosidade e aumentando a uniformidade luminosa, além do espaçamento entre eles influenciar tanto na distribuição da luz quanto na iluminância obtida (DIDONÉ; BITTENCOURT, 2006, p.294).

2.4 RADIAÇÃO SOLAR

Radiação, de acordo com Frota e Schiffer (2001, p.33) “é o mecanismo de troca de calor entre dois corpos – que guardam entre si uma distância qualquer – através de sua capacidade de emitir e de absorver energia térmica”. Essa é a única forma de troca de calor que pode ocorrer na ausência de qualquer meio, assim como é a única forma de transferência de calor através do vácuo (PERROT, 1998, p.185).

A energia radiante solar é constituída por ondas eletromagnéticas que se propagam à velocidade de 300.000 km/s no vácuo. As ondas eletromagnéticas são classificadas usualmente em função de seu comprimento, que é a distância entre dois máximos sucessivos (Figura 3). A propagação de radiação se realiza sempre que o meio imediato ao corpo emissor permita a passagem da energia emitida. O ar é transparente a quase todos os comprimentos de onda.

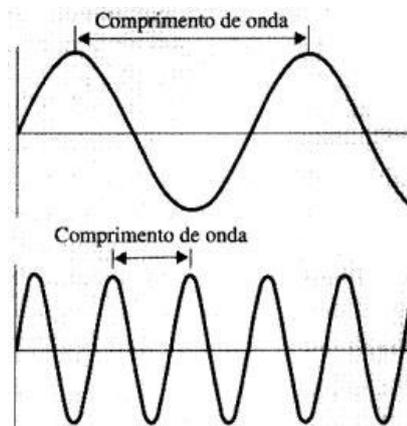


Fig. 3 – Comprimento de onda é a medida entre dois máximos sucessivos.
Fonte: PINTO; MENDES, (2007).

Para Frota e Schiffer (2001, p.53) a radiação solar pode ser definida como “uma energia eletromagnética, de onda curta, que atinge a Terra após ser parcialmente absorvida pela atmosfera” e Givoni (1976, p.1) complementa afirmando que ela constitui “o principal elemento climático que interfere diretamente no bem-estar humano, em relação ao conforto térmico nas edificações”.

Após passar pela atmosfera a radiação solar chega à superfície terrestre com duas componentes: uma vinda diretamente do sol, cuja intensidade depende da altura solar e do

ângulo de incidência dos raios solares em relação à superfície receptora; e uma difusa, composta pela radiação que sofre espalhamento na atmosfera, tendo sua direção alterada (e é tanto maior quanto mais nublado for o céu). Na radiação difusa existe, também, a parcela da radiação refletida no entorno (SANTOS, J., 2002, p.45).

As radiações, ao chegarem a um corpo, são absorvidas, refletidas ou transmitidas. Quando absorvida, a energia radiante se transforma em calor e pode ser re-emitada, dependendo da temperatura do referido corpo. Quanto mais quente o corpo radiante, menor é o comprimento de onda da máxima radiação⁴.

De acordo com Caram (2002, p.38), “a radiação solar que chega à superfície terrestre é compreendida por uma região espectral que vai de 290 a 2.500nm, desde o ultravioleta (com comprimentos de onda de 290 a 380nm), passando pelo visível (380 a 780nm) até o infravermelho próximo e médio (780 a 2.500nm). Os comprimentos de onda inferiores a 290nm são absorvidos pela camada de ozônio”.

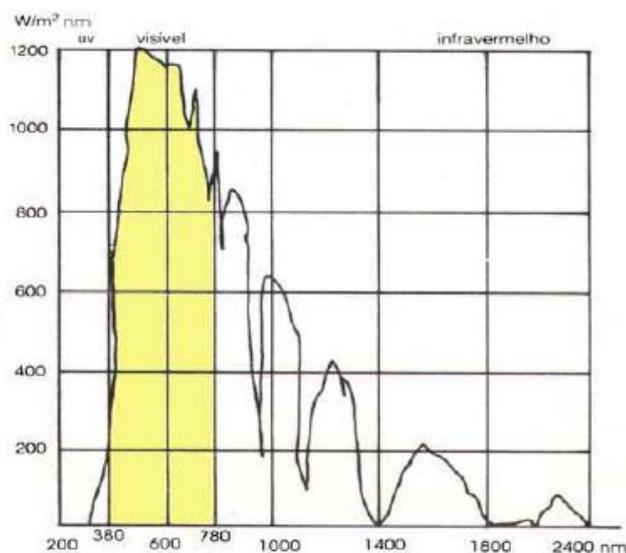


Fig. 4 – Distribuição espectral padrão da energia solar.
Fonte: DUFFIE; BECKMAN⁵ (1980, *apud* CARAM, 2002, p.48).

A Figura 4 ilustra a distribuição espectral da energia solar depois de atravessar a atmosfera, ao nível do mar. Pode-se observar claramente que a radiação com comprimentos de onda superiores a 1.500nm, chega à superfície terrestre uma quantidade pequena em relação ao total.

A radiação que atravessa a atmosfera e atinge a superfície terrestre distribui-se nas seguintes proporções, aproximadamente: ultravioleta de 1 a 5%; visível de 41 a 45%; e

⁴ Da ‘lei de Stefan-Boltzmann’ pode se concluir que corpos com maior temperatura emitem mais energia total por unidade de área que aqueles com temperatura menor.

⁵ DUFFIE, J.A.; BECKMAN, W.A. Solar Engineering of Thermal Processes - **Wiley Interscience Publ.**, USA 1980.

infravermelho de 52 a 60%. Essas proporções variam segundo as condições atmosféricas, nebulosidade, e presença de vapor de água (CARAM, 2002, p.61).

Os raios solares provêm de luz e calor a Terra, contribuem de forma determinante para a vida dos vegetais (por meio da fotossíntese), evaporam a água dos oceanos e de outros corpos de água (iniciando o ciclo da água), exercem um papel muito importante na origem dos ventos (já que aquecem o ar atmosférico e iniciam o fenômeno convectivo, que somado à rotação do planeta originam os grandes deslocamentos de massas de ar), além de muitas outras funções úteis para a existência de vida na Terra (GARCIA; MARTIÑON, 1997, p.15).

2.5 RADIAÇÃO SOLAR E FECHAMENTOS TRANSPARENTES

De acordo com Caram (2002), a maior parte das superfícies transparentes utilizadas em fachadas é praticamente transparente, em maior ou menor grau, às regiões do espectro solar que conseguem chegar à superfície terrestre. Por isso “o vidro, depois que deixou de ser apenas um complemento da janela para se tornar um material de fechamento, passou a interferir de modo significativo no conforto térmico interno das edificações” (MAGALHÃES, 1993, p.897).

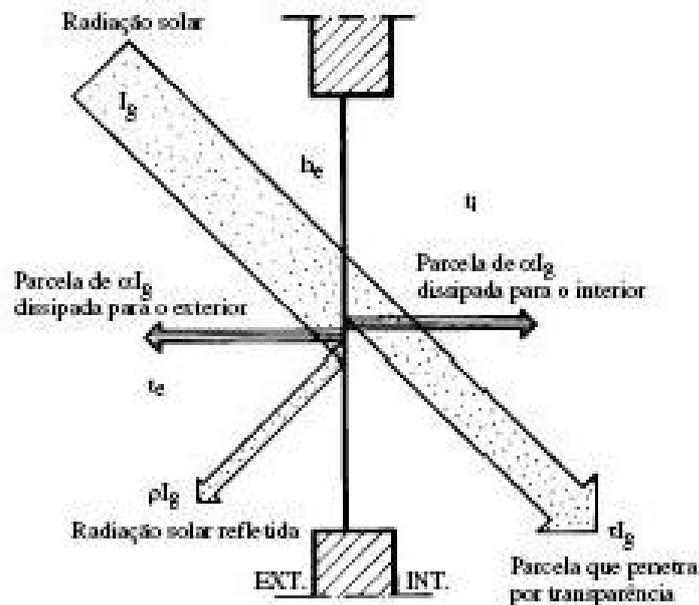


Fig. 5 – Trocas térmicas através de superfícies transparentes ou translúcidas.
Fonte: FROTA; SCHIFFER (2001, p.45).

No caso de uma parede transparente ou translúcida exposta à incidência da radiação solar, os mecanismos de troca podem ser esquematizados como na figura 5.

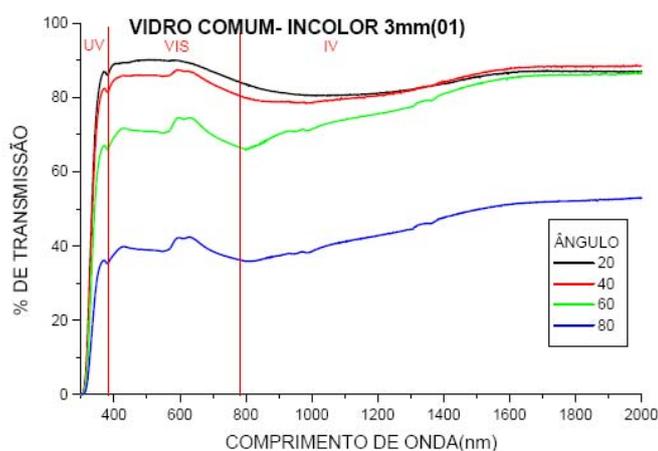


Fig. 6 – Valores de transmissão de radiação para vidro comum incolor.
Fonte: CARAM (2002, p.83).

Uma vez que a radiação solar penetre através do vidro, é absorvida pelos objetos no interior do edifício e re-irradiada, com comprimento de onda menor, em forma de calor. Os vidros são transparentes a quase toda radiação infravermelha de comprimento de onda longo que chega diretamente do sol (Figura 6), mas opacos à radiação infravermelha com comprimento de onda curto (emitidos pelos corpos que absorveram a radiação solar). Dessa maneira, o calor fica retido no interior do ambiente e não consegue atravessar o vidro para se dissipar. Como consequência da concentração de radiação de onda longa dentro do ambiente, a temperatura do ar no interior do ambiente se eleva, situação conhecida como ‘efeito estufa’.

Bittencourt (2000, p.19) descreve que,

além do efeito estufa, que sobrecarrega o sistema de ar condicionado, as fachadas envidraçadas forçam a colocação de cortinas (para evitar a forte insolação tropical nos ambientes) o que reduz a luminosidade natural e elimina uma das maiores vantagens do vidro: a permeabilidade visual através do fechamento, que permite observação do interior para o exterior e vice-versa.

Dessa maneira, a utilização de fachadas com grandes áreas envidraçadas sem elementos adequados de proteção (prática largamente adotada em muitos países), tem sido questionada devido aos problemas gerados pelo ganho de calor e pelo consumo energético necessário para a redução da temperatura do ar no interior das edificações. Dependendo da orientação geográfica e das características óticas dos materiais transparentes utilizados nessas fachadas, pode haver um significativo acúmulo de energia térmica no interior das edificações, traduzindo-se em desconforto para os usuários.

Nos fechamentos transparentes podem ocorrer os três tipos básicos de trocas térmicas: condução, convecção e radiação. Com relação às duas primeiras, o comportamento é semelhante ao dos fechamentos opacos. A radiação tem o principal papel devido à sua parcela

diretamente transmitida para o interior (inexistente nos fechamentos opacos), que depende da transmitância⁶ do vidro. De acordo com Rivero (1985, p.25) os materiais se comportam seletivamente com relação à radiação incidente; isso significa que a quantidade de energia que absorvem, refletem e transmitem é diferente para cada comprimento de onda.

Foram encontrados estudos a respeito do desempenho dos mais variados tipos de vidro frente à radiação solar. O que foi constatado é que não existe um vidro que seja capaz de barrar a radiação infravermelha e deixar passar a luz visível, ou seja, a única maneira de evitar a formação do efeito estufa é impedir a incidência de radiação solar diretamente sobre os fechamentos transparentes.

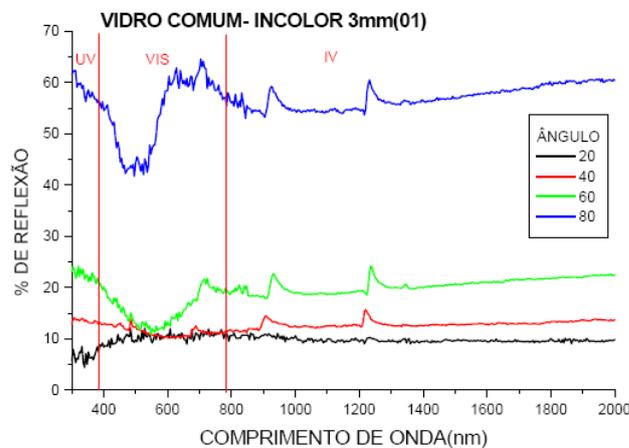


Fig. 7 – Valores de reflexão de radiação para vidro comum incolor.
Fonte: CARAM (2002, p.83).

Na figura 7 podem ser vistos os valores de reflexão de radiação solar, com quatro diferentes ângulos de incidência, sobre o vidro comum incolor.

Sobre a escolha dos tipos de vidros Magalhães (1993, p.897) afirma que

ao projetar um ambiente onde se deseja utilizar os recursos da luz natural, a escolha do vidro a ser empregado deve levar em conta várias características para que este cumpra sua função no controle da luz: a quantidade e a qualidade espectral da luz transmitida pelo vidro, se ele colorido, obscurecido por tingimento ou impresso; o ângulo de difusão dos vidros impressos e obscurecidos; o poder de ocultamento dos vidros obscurecidos, impressos, fortemente coloridos, metalizados e riscados; o redirecionamento do ângulo do fluxo luminoso pelos vidros prismáticos.

Em relação ao controle visual e térmico, Santos, J. (2002, p.73) classifica os vidros de controle solar como: vidros absorventes, vidros refletivos e vidros com película de poliéster refletiva.

⁶ TRANSMITÂNCIA: Quociente da taxa de radiação solar que atravessa um elemento pela taxa de radiação solar incidente sobre esse mesmo elemento (ABNT/NBR 15220-1, 2003, p.3).

Todos esses vidros e películas têm como principal objetivo, no caso de climas quentes, a redução da transmissão da radiação solar e do ofuscamento interior, e, em períodos frios, a diminuição das perdas do calor interior. A diferenciação entre absorvente e refletivo está relacionada à parcela de radiação que não é transmitida, que pode ser na maior parte absorvida, no caso dos absorventes, ou refletida, nos refletivos.

Para Caram (2002, p.194)

a análise das características óticas dos materiais ensaiados aponta para o fato de que não há ainda no mercado um tipo de fechamento transparente que seja ideal, quando se trata de desempenho térmico e visual adequado a países ou regiões de clima mais quente. A característica desejada para fachadas transparentes deveria admitir a luz visível e passar o mínimo possível de infravermelho. Quando apenas os gráficos de transmissão são observados, poder-se-ia dizer que entre as opções disponíveis, aquelas que mais se aproximariam do ideal seriam o vidro comum verde e o azul. Além desses seriam indicados também o vidro refletivo pirolítico verde e vidro metalizado a vácuo verde (Sun Guardian). Todos eles apresentam razoável transmissão à luz visível e baixa ao infravermelho.

O tipo de vidro a ser empregado deve ser estudado de acordo com as condições de insolação da abertura e das necessidades de cada edificação. Magalhães (1993) destaca que para a iluminação natural é preferível usar o vidro transparente incolor, que permite a entrada de maior quantidade de luz. No entanto, a autora aponta outras soluções, que seriam “os dispositivos que regulam a entrada da luz, impedindo a incidência de radiação solar direta. São formas geométricas, marquises, recuos, beirais, *brise-soleil*, muxarabis, venezianas, etc, recursos esses fartamente utilizados por arquitetos brasileiros do movimento moderno” (MAGALHÃES, 1993, p.898).

2.5.1 Benefícios do sombreamento dos fechamentos transparentes

O sombreamento é uma estratégia fundamental para a redução dos ganhos solares através do envelope da edificação. Uma proteção solar corretamente projetada deve evitar os ganhos solares nos períodos mais quentes, do dia e do ano, sem obstruí-los no inverno e sem prejudicar a iluminação natural através das aberturas. Uma proteção solar mal projetada pode obstruir além da radiação solar direta, uma porção da abóbada celeste que possibilitaria o uso da luz difusa do céu para iluminação natural. Para tanto, é necessário que o projetista conheça a geometria solar de inverno e verão em relação ao lugar de implantação dos edifícios (BRASIL, 2006).

É importante que o estudo da insolação também considere o entorno da área edificada, para posteriormente planejar a orientação da edificação e as proteções necessárias às fachadas. Muitas vezes a edificação já é sombreada por áreas construídas ou mesmo por vegetação próxima a ela, o que pode tornar desnecessária a construção ou instalação de dispositivos de

proteção.

O uso da vegetação nas áreas externas adjacentes ou integradas às edificações (pátios) proporciona o sombreamento da edificação e de suas aberturas, possibilitando a diminuição da temperatura no exterior próximo à edificação, enquanto o solo vegetado reduz a quantidade de poeira carregada pelo vento (GIVONI, 1991, p.291).

Empregando-se soluções simples como pergolados, por exemplo, é possível manter o ar resfriado do pátio separado do ar externo aquecido. Promovendo-se o resfriamento dessas áreas, minimizam-se as condições de temperatura externa às quais a edificação está exposta, favorecendo também a redução dos ganhos de calor através das suas paredes e janelas (GIVONI, 1991, p.292).

A proteção solar de paredes transparentes ou translúcidas pode ser feita através de dispositivos internos ou externos, ou ainda, em caso de vidros duplos, entre os dois vidros. Quanto a isso, Frota e Schiffer (2001, p.45) salientam que “a proteção externa normalmente tende a ser mais eficiente, posto que barra a radiação solar antes de sua penetração por transmissividade através do material”. As figuras 8 e 9, respectivamente, ilustram a penetração da radiação solar em aberturas com protetores instalados externa e internamente.

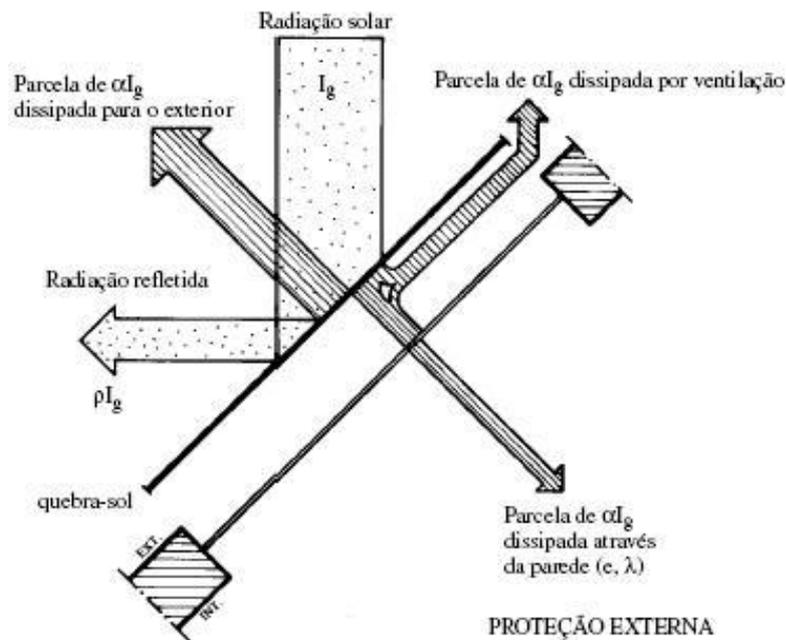


Fig. 8 – Ganhos de calor através de parede transparente (supondo transparência de 100%) e proteção externa, opaca 100%.

Fonte: FROTA; SCHIFFER (2001, p.47).

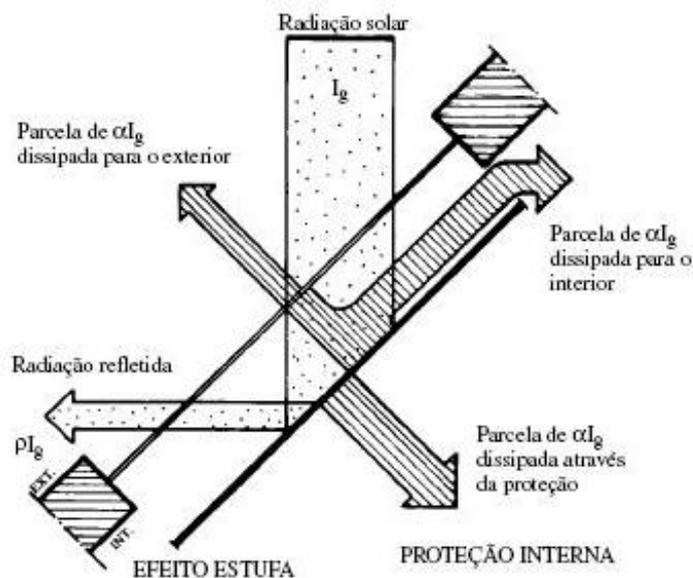


Fig. 9 – Ganhos de calor através de parede transparente, supondo transparência de 100%, proteção interna e opaca 100%.
Fonte: FROTA; SCHIFFER (2001, p.47).

De acordo com Góes (1995, p.257) os elementos de sombreamento externo têm mais eficiência térmica que os de sombreamento interno. Isso porque enquanto uma janela com proteção interna permite a passagem de 40% a 80% dos ganhos de calor relativos a uma janela de vidro comum desprotegida, dependendo do modelo e cor do sombreamento empregado, uma janela com sombreamento externo pode admitir apenas de 5% a 30% dos mesmos ganhos.

Para proteger a envoltória de uma edificação, seja com elementos construídos, seja com vegetação, é necessário determinar a posição do sol, para o local em questão, na época do ano em que se deseja barrar seus raios diretos. Para tal, tem-se que recorrer a algumas noções básicas da geometria da insolação, que possibilitarão determinar os ângulos de incidência da radiação solar, em função da latitude, da hora e da época do ano (FROTA; SCHIFFER, 2001, p.75).

2.6 DETERMINAÇÃO DA INSOLAÇÃO

Para localização de um ponto na superfície terrestre são utilizadas duas coordenadas, denominadas latitude e longitude.

A longitude é medida em graus, com relação ao meridiano de referência (Figura 11). “Esse meridiano é, por definição, o semicírculo que passa pelos pólos e pelo observatório de Greenwich, situado na Inglaterra. As longitudes são medidas de 0° a 180° , a leste ou a oeste do Meridiano de Greenwich” (FROTA; SCHIFFER, 2001, p.54).

A latitude é medida a partir do Equador, imaginando-se que cada ponto da superfície da Terra esteja contido em um semicírculo paralelo ao Equador e distante deste segundo um ângulo definido pela altura do círculo (Figura 10). Mede-se a latitude de 0° a 90° e se dirá que ela é Norte, se estiver acima da linha do Equador, e Sul, se estiver abaixo (FROTA; SCHIFFER, 2001, p.54).

De uma forma geral, latitudes mais distantes do Equador terão maior duração da luz do dia nos períodos de verão e menor nos períodos de inverno. Já as latitudes mais próximas ao Equador terão a duração da luz do dia com menores alterações no inverno e no verão.

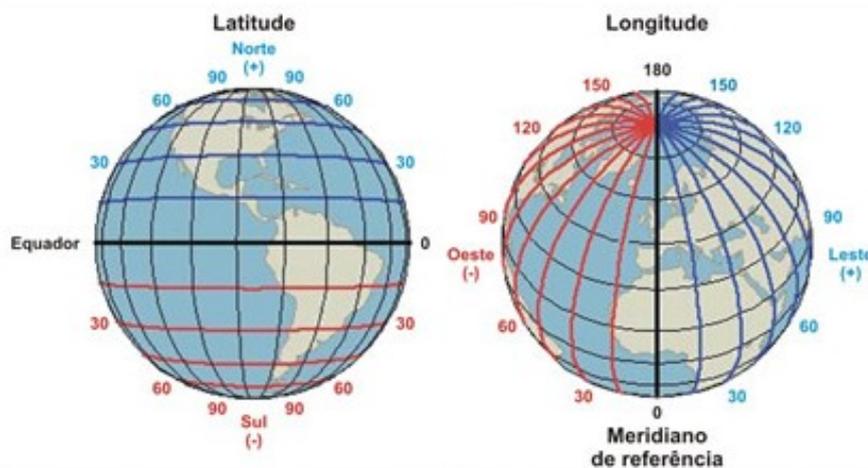


Fig. 10 – Divisões da Terra por meio de paralelos e meridianos.
Fonte: LUCCI; BRANCO; MENDONÇA (2007).

Em função da latitude também varia o ângulo de incidência dos raios solares na superfície terrestre. Em alguns lugares os raios incidem com um menor ângulo (são medidos em relação à normal, que corresponde a 0°) e em outros lugares os raios podem atingir valores maiores de incidência, chegando a um máximo de 90° , quando atingem a superfície de forma tangencial ou quase tangencial à superfície, como pode ser verificado na figura 11.

Além da variação de incidência de radiação solar de acordo com a latitude, o ângulo de incidência dos raios solares é variável para cada hora e dia do ano. Essa variação é provocada, respectivamente, pelos movimentos de rotação e translação da Terra.

Devido à forma esférica da Terra, os feixes de luz solar iluminam sempre metade da superfície, dividindo o planeta em duas zonas, uma iluminada e outra sombreada. Graças ao movimento de rotação, a insolação atinge diferentes locais no decorrer do dia. Analisando-se a rotação da Terra pode-se estabelecer um padrão de variação do ângulo dos raios solares que chegam até a superfície de uma determinada região, em função de sua localização dentro da zona de iluminação (GARCIA; MARTIÑON, 1997, p.27).

O padrão que se observa é que, quando um local entra na zona de iluminação, o ângulo de incidência de radiação nele é máximo, vai diminuindo com o deslocamento desse local pela zona iluminada, até alcançar o mínimo diário, quando se põe de frente ao sol. Após isso, o ângulo volta a aumentar, na medida em que o local se aproxima da zona sombreada. Sendo assim, locais posicionados sobre uma mesma linha de latitude possuem o mesmo padrão de variação do ângulo de incidência.

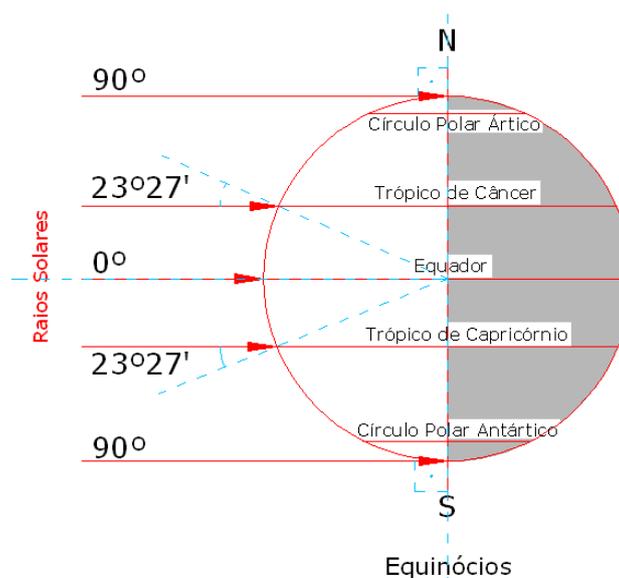


Fig. 11 – Incidência de radiação solar com diferentes ângulos de inclinação (em vermelho) em relação à normal à superfície (em azul).

Garcia e Martiñon (1997, p.35) dividem a Terra em três diferentes zonas, conforme a região se afasta do Equador: zona tórrida ou tropical - localizada entre a latitude $23^{\circ}27'N$ (Trópico de Câncer) e a latitude de $23^{\circ}27'S$ (Trópico de Capricórnio), incluindo a latitude do Equador (0°); zonas temperadas (norte e sul) - localizadas a partir dos trópicos até a latitude $66^{\circ}33'N$ ou $66^{\circ}33'S$ (os círculos polares); zonas polares - a partir dos círculos polares até o extremo do Pólo Norte ou do Pólo Sul.

No movimento de translação a Terra descreve, ao redor do Sol, uma órbita sobre um plano em forma de elipse. O Sol não se encontra no centro desta elipse, mas em um de seus focos (Figura 12), o que faz com que a Terra não esteja sempre à mesma distância do Sol; no decorrer do ano ela vai se afastando, até chegar a seu máximo afastamento, conhecido como afélio no dia 4 de julho. Posteriormente, a Terra começa a se aproximar do Sol, até chegar ao periélio, dia 1^o de janeiro, que é o ponto onde a distância entre o Sol e a Terra é a menor do ano (GARCIA; MARTIÑON, 1997, p.37).

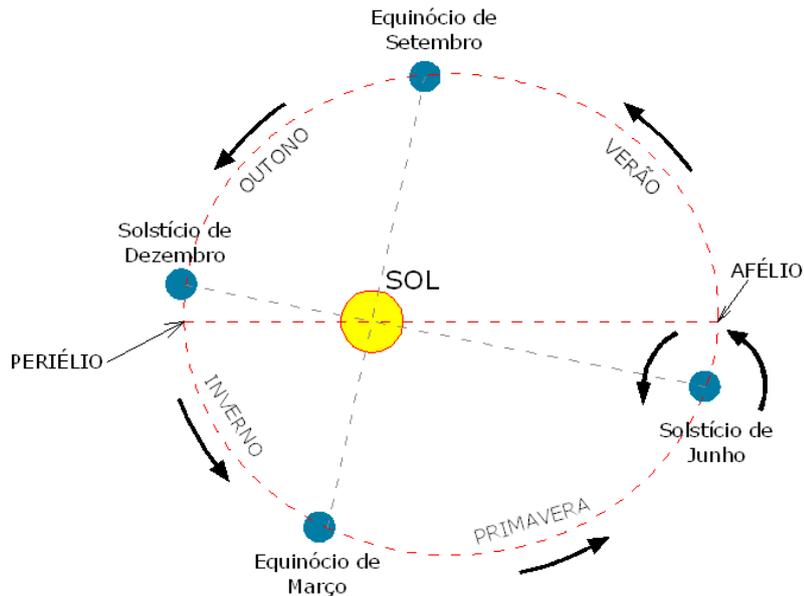


Fig. 12 – Percurso da Terra na translação, com indicação dos principais momentos (hemisfério Sul).

O eixo terrestre de rotação sempre conserva sua mesma direção, mas a trajetória de translação, vista como um plano, não é perpendicular a ele. Esse desvio ocasiona modificações na direção dos raios solares que iluminam a Terra, no decorrer do ano (Figura 13).

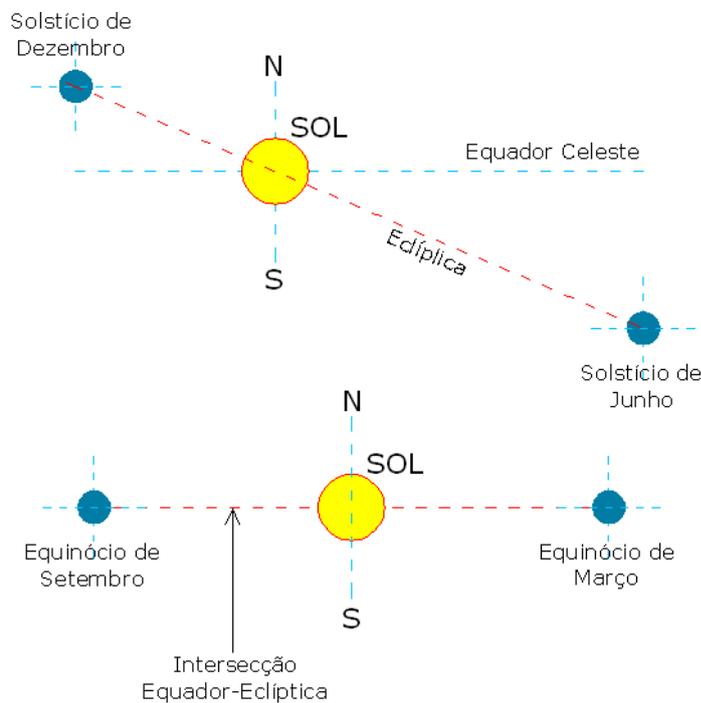


Fig. 13 – Inclinação do eixo de translação da terra em relação ao Equador celeste.

Nas figuras 12 e 13 estão indicados os momentos mais importantes na órbita de translação terrestre, que recebem nomes particulares: os equinócios (de primavera e outono) e os Solstícios (de verão e inverno).

2.6.1 Equinócios: 21 de março e 23 de setembro

Equinócio é um dia em que a duração do dia e da noite, para todos locais, é a mesma, independente das latitudes onde se encontram. A única exceção se dá nos pólos, onde os raios incidem tangencialmente durante todo o dia (Figura 14).

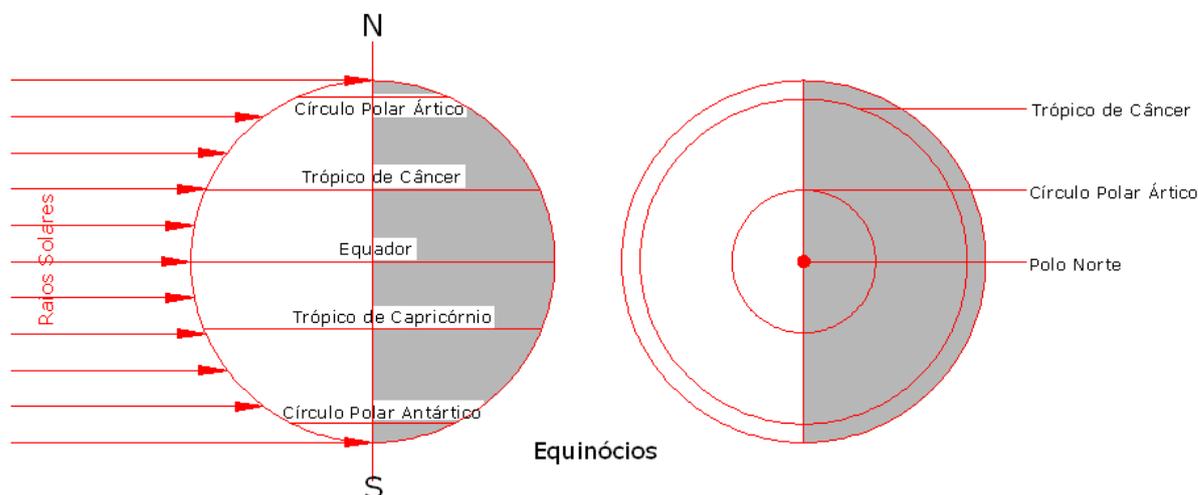


Fig. 14 – Incidência da radiação solar na Terra nos equinócios.

Nas latitudes do hemisfério Sul, o dia 21 de março é conhecido como equinócio de outono, e o dia 23 de setembro como equinócio de primavera. No hemisfério Norte ocorre o oposto.

Nos equinócios, o eixo de rotação da Terra é perpendicular aos raios solares, permitindo uma distribuição simétrica da energia solar nos dois hemisférios. Isso faz com que a zona de máxima incidência solar seja a latitude 0° (o Equador) diminuindo gradativamente até os pólos.

2.6.2 Solstício de 21 de junho

Depois do equinócio de março, a Terra vai se deslocando, conservando a mesma direção do eixo de rotação, girando sobre esse eixo, mas em um movimento descendente, para baixo do plano equatorial celeste (GARCIA; MARTIÑON, 1997, p.41), até chegar ao ponto mais baixo da órbita de translação, que acontece no dia 21 de junho.

Nesse dia pode-se observar que a direção dos raios solares que chegam à Terra já não é perpendicular ao eixo de rotação, mas apresenta uma inclinação de $23^\circ 27'$ (Figura 15). Por isso, a zona onde os raios solares podem alcançar seu mínimo valor diário de incidência (0°) não se localiza mais sobre o Equador, mas sim na latitude $23^\circ 27'N$, o Trópico de Câncer. A distribuição de energia solar se realiza a partir dessa latitude, que é a zona de incidência máxima por unidade de superfície, e diminuindo conforme o local se afasta dela.

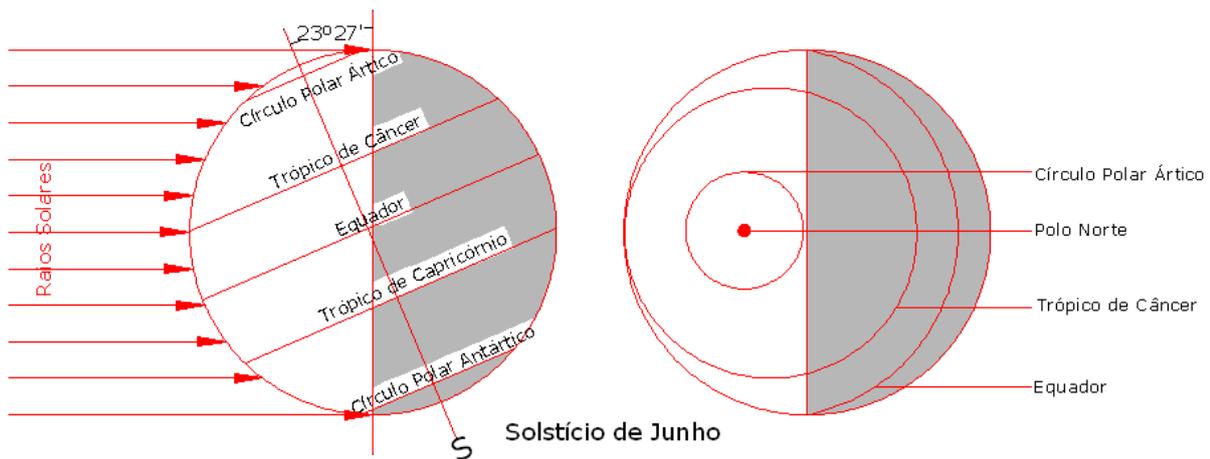


Fig. 15 – Incidência da radiação solar na Terra no solstício de 21 de junho.

Esse fenômeno faz com que a duração dos dias e das noites seja diferente para diferentes regiões do planeta. Nas latitudes do Hemisfério Sul, a duração do dia (tempo em que o local está dentro da zona de iluminação) diminui quanto maior o seu afastamento do Equador. Já nas latitudes do Hemisfério Norte acontece o contrário, os dias são mais longos, quanto mais os locais estejam afastados do Equador.

2.6.3 Solstício de 22 de dezembro

Após o equinócio de 23 de setembro a Terra segue seu movimento de translação até chegar ao ponto mais alto da órbita.

A direção dos raios solares volta a apresentar uma inclinação de $23^{\circ}27'$ com relação ao eixo de rotação, no entanto nesse momento é o Hemisfério Sul que recebe maior iluminação. A zona onde se pode alcançar o ângulo mínimo de incidência (0°) ocorre na latitude $23^{\circ}27'S$, o Trópico de Capricórnio (Figura 16).

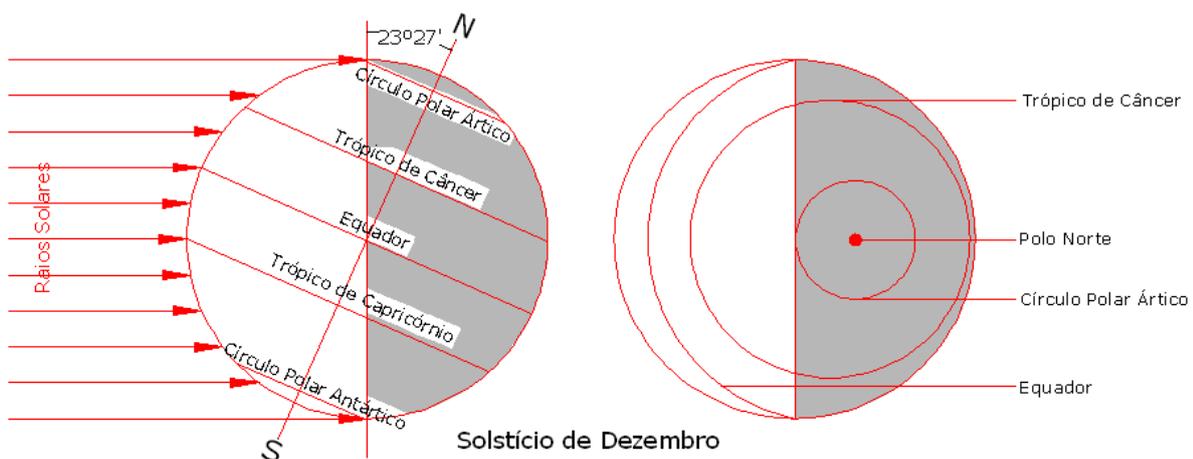


Fig. 16 – Incidência da radiação solar na Terra no solstício de 22 de dezembro.

Essa incidência de raios solares diminui de acordo com o maior distanciamento do Trópico de Capricórnio. A duração do dia e da noite é diferente para cada região, nesse momento as latitudes do Hemisfério Sul possuem os dias mais longos (quanto maiores as latitudes, ou seja, quanto mais próximo do Pólo Sul, mais longo o dia).

Com esses conhecimentos é possível determinar a posição aparente do Sol na abóbada celeste e as diferentes insolações que recebem os espaços construídos, ou seja, a direção e a inclinação dos raios que incidem nesses espaços.

2.7 AS TRAJETÓRIAS APARENTES DO SOL

Para determinar as diferentes condições de insolação a que um local está submetido nas diferentes horas do dia e épocas do ano, é necessário conhecer as rotas do deslocamento aparente do sol pela abóbada celeste.

O movimento aparente do Sol ao longo do dia e do ano, como consequência dos movimentos de rotação e translação da Terra, é semelhante a uma espiral quase paralela (Fig.17). Na Terra, esse percurso solar corresponderá à zona situada entre os Trópicos de Câncer e de Capricórnio, demorando seis meses em cada direção (FROTA; SCHIFFER, 2001, p.81).

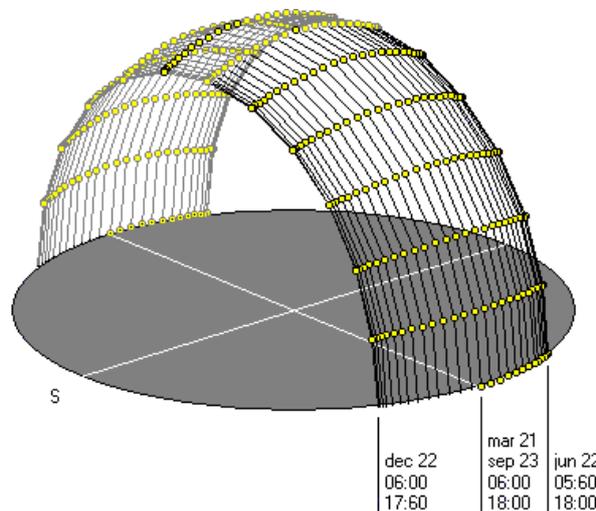


Fig. 17 – Trajetória aparente do Sol no decorrer do ano, para Latitude 0°.
Fonte: Adaptado de Sunpath (RORIZ, 2000).

Pode-se determinar uma trajetória aparente do Sol para cada dia do ano, em função de cada latitude diversa da Terra. Em função da latitude varia a inclinação da trajetória solar aparente sobre o plano do horizonte.

Graficamente são representadas três trajetórias significativas: as trajetórias dos solstícios, que são as extremas do percurso, e as trajetórias dos equinócios, intermediárias.

Na figura 17 pode-se ver a representação das trajetórias aparentes do Sol no decorrer do ano para a Latitude 0° (Equador). As datas destacadas são: o solstício de 22 de dezembro, os equinócios de 21 de março e 23 de setembro e, por fim, o solstício de 22 de junho.

2.7.1 Determinação da posição aparente do Sol

Para saber a localização do sol na abóbada celeste e, conseqüentemente, como a insolação atinge um determinado edifício, Koenisberger *et al* (1980) apontam três principais métodos: os métodos físicos (modelos em escala como heliodon, solarscópio ou relógio solar); os métodos gráficos (diagramas solares e transferidor de ângulo de sombra); e os métodos computacionais.

“O método gráfico é um dos mais usados pela simplicidade de utilização” (ATEM, 2001, p.71), além disso, pode ser aplicado para qualquer localidade.

As cartas solares, também chamadas de diagramas ou gráficos solares, são representações gráficas do percurso do Sol na abóbada celeste da Terra, nos diferentes períodos do dia e do ano. Trata-se, de forma geral, das projeções do percurso solar em um plano (BITTENCOURT, 2000, p.25).

Quando não se dispõe de cartas solares pode-se utilizar as equações que serão apresentadas a seguir, na determinação da posição solar.

2.7.1.1 Altura e azimute solar

Altura solar e azimute são dois ângulos que servem como coordenadas por meio das quais pode ser localizada qualquer posição do sol na abóbada celeste (Figura 18). De acordo com Bittencourt (2000, p.25), “a altura solar é o ângulo formado pelo sol e pelo plano horizontal da direção dos raios solares, enquanto azimute é o ângulo formado pela projeção horizontal do raio solar com uma direção estabelecida (geralmente o Norte geográfico)”.

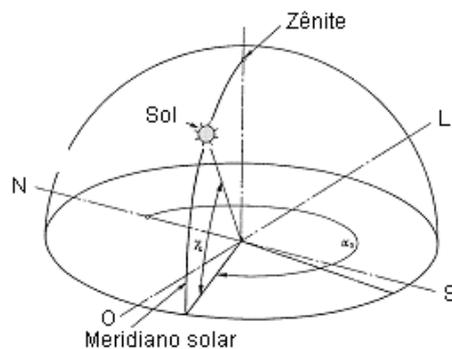


Fig. 18 – Altura e azimute solar.
Fonte: ABNT/ NBR 151215-2, 2005, p.6.

A altura solar está relacionada com a hora do dia. No nascer do Sol ela é igual a zero e vai aumentando até atingir seu valor máximo diário, ao meio-dia. Depois disso diminui e volta a ser zero, no pôr-do-sol. Altura solar (γ_s) é o ângulo entre o raio do sol e o horizonte, do ponto de vista do observador. É obtido em função da hora do dia, da época do ano e da latitude e longitude geográfica do local considerado. A variação da altura é de 0° a 90° , sendo que, quando o sol encontra-se no zênite sua altura é igual a 90° (ABNT/ NBR 151215-2, 2005).

Pode-se determinar a altura solar por meio da seguinte expressão:

$$\gamma_s = \text{arc sen} [\text{sen } \phi * \text{sen } \delta_s - \text{cos } \phi * \text{cos } \delta_s * \text{cos} (15^\circ \cdot h_s)]$$

Onde:

γ_s é a altura solar, em graus;

ϕ é a latitude do local, em graus (negativo caso localizado ao sul do equador); e

h_s é a hora solar verdadeira, dada pela expressão:

$$h_s = h + \frac{(\lambda_p - \lambda)}{15} + x_h - c$$

h é a hora local (marcada no relógio);

λ é a longitude do local, em graus, (positivo caso localizado a oeste de Greenwich);

λ_p é a longitude do meridiano padrão do local, em graus e múltiplo de 15;

c é a correção do horário de verão, quando em vigor (1 para o verão e 0 para o inverno);

x_h é a expressão horária, dada por:

$$x_h = 0,170 \cdot \text{sen}[1,93 (J) - 154,4] - 0,129 \cdot \text{sen}[1,01 (J) - 8,08]$$

Esta expressão horária é o termo de correção entre a hora solar e a hora do relógio, causada devido às flutuações da duração do dia solar e a órbita elíptica da terra.

Já o azimute solar é a medida angular tomada a partir da orientação norte do observador.

O azimute do sol é determinado através das seguintes expressões:

$$\alpha_s = \arccos \left[\frac{(\cos \varphi \operatorname{sen} \delta_s + \operatorname{sen} \varphi \cos \delta_s \cos 15 h_s)}{\cos \gamma_s} \right] \quad \text{para } h_s \leq 12\text{h}00\text{min}$$

$$\alpha_s^{12\text{h}00\text{min} - 24\text{h}00\text{min}} = 360^\circ - \alpha_s \quad \text{para } h_s > 12\text{h}00\text{min}$$

2.7.1.2 Declinação solar

De acordo com a norma brasileira que versa sobre iluminação natural

“Declinação solar (δ_s) é o ângulo entre o raio do sol, do ponto de vista do observador e com vértice neste, e o equador celeste, ou seja, a inclinação do eixo da terra em relação a elíptica da trajetória, compreendida entre os limites : $- 23,45^\circ \leq \delta_s \leq + 23,45^\circ$. Os valores da declinação do sol são positivos quando o sol apresenta-se ao norte do equador celeste e negativos quando o mesmo apresenta-se ao sul.” (ABNT/ NBR 151215-2, 2005).

A figura 19 mostra esse parâmetro geográfico do sol.

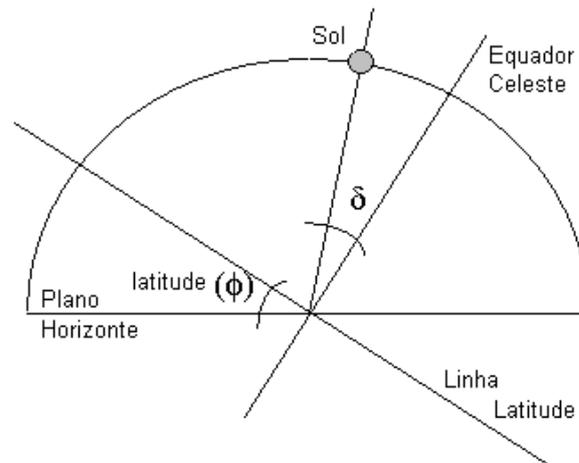


Fig. 19 – Desenho esquemático apresentando o ângulo de declinação solar (δ).
Fonte: ABNT/ NBR 151215-2, 2005, p.6.

2.7.2 A confecção das cartas solares

A elaboração das cartas solares é feita, para cada latitude específica, por meio da projeção do percurso do sol, ao longo do ano, e nas diversas horas do dia, num plano horizontal.

Existem vários métodos de projeção cartográfica que podem ser utilizados para representação das trajetórias aparentes do Sol, dentre os quais destacam o ortográfico, o equidistante e o estereográfico (Figura 20). Em todos esses métodos a abóbada celeste é representada por um círculo cujo centro é a projeção do zênite do observador no plano do horizonte. Os azimutes solares são representados por linhas irradiadas do centro, e as alturas solares são indicadas por círculos concêntricos, em cada um dos métodos considerados (FROTA; SCHIFFER, 2001, p.86).

Neste trabalho é utilizada a projeção estereográfica porque os softwares utilizados, ‘Luz do Sol’ (RORIZ, 1995) e ‘Analysis SOL-AR’ (LAMBERTS; MACIEL, 2006), elaboram as cartas solares e máscaras de sombreamento por meio de projeção estereográfica.

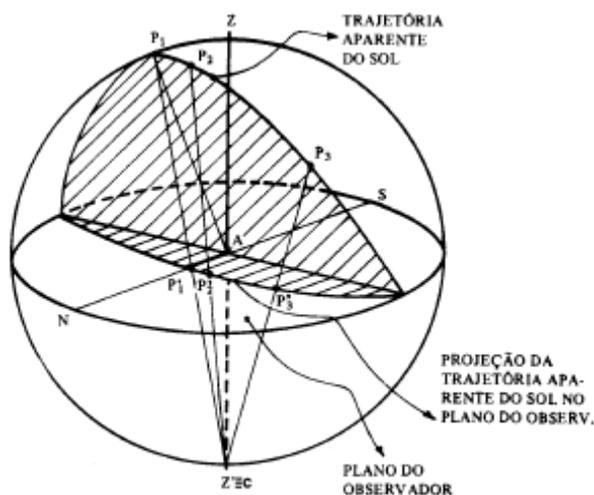


Fig. 20 – Projeção estereográfica de uma trajetória aparente do Sol.
Fonte: FROTA; SCHIFFER, 2001, p 87.

Na figura 21 é apresentado um exemplo de carta solar elaborada por meio de projeção estereográfica, para a latitude de 25°25' S, correspondente à cidade de Curitiba-PR.

Quanto à precisão dos valores da latitude a ser utilizada para determinação da insolação em um determinado local, “na prática, utilizar cartas solares cuja variação da latitude representada, com relação à real, seja até por volta de 3°, não resulta em desvios significativos” (FROTA; SCHIFFER, 2001, p.88).

2.7.2.1 Horários de insolação

Por meio da análise das cartas solares podem-se determinar os horários de insolação a que uma orientação está sujeita, para uma determinada latitude.

A circunferência está dividida em quatro quadrantes, onde cada divisão corresponde a um dos quatro principais pontos cardeais (Norte, Leste, Sul, Oeste).

Na figura 21, as linhas contínuas pretas são as projeções estereográficas do percurso solar na abóbada celeste, para as diversas épocas do ano, já as linhas azuis indicam as horas do dia, desde quando o sol nasce até quando se põe.

Para analisar em que orientação está o sol, em um determinado momento, basta cruzar a linha correspondente à data, com a linha correspondente à hora do dia, e verificar em que quadrante está esse ponto.

Observando-se a linha correspondente ao solstício de verão, para a latitude representada na carta solar, pode-se ver que ela se inicia no quadrante inferior direito, antes da linha azul correspondente a 6 horas, e termina no quadrante inferior esquerdo, após a linha azul que indica 18 horas. Isso significa que, em 22 de dezembro, o sol nasce em sudeste, por volta de 5 horas, e se põe em sudoeste, por volta de 19 horas.

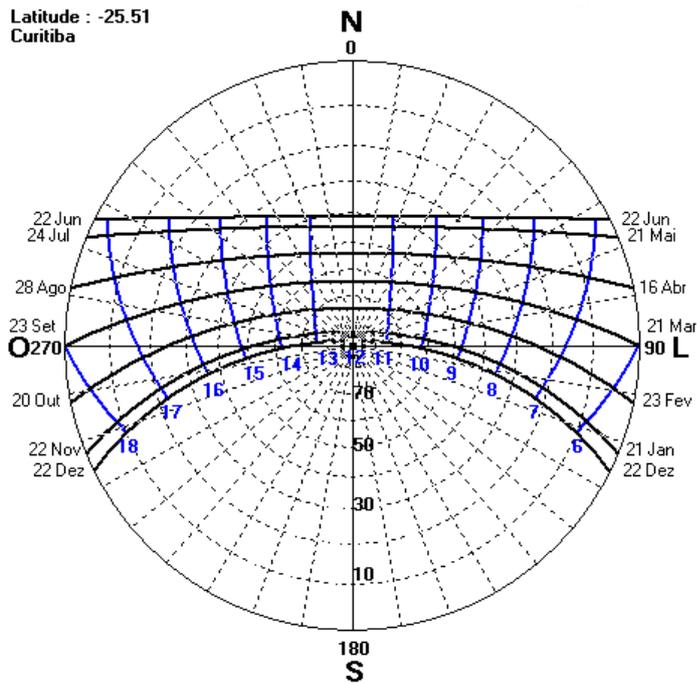


Fig. 21 – Carta solar para a latitude de Curitiba-PR (25°25'S).
Fonte: Adaptado de Analysis SOL-AR (LAMBERTS; MACIEL, 2006).

No percurso representado pela referida linha, pode-se perceber que desde o nascer do sol até, aproximadamente, 10h30 ela está no quadrante inferior direito, ou seja, o sol está na orientação sudeste. Depois das 10h30 até 12 horas, o sol está no quadrante superior direito, correspondente à orientação nordeste. Após 12 horas, até 14h30, a linha está no quadrante superior esquerdo, orientação noroeste. Por fim, após 14h30 e até o pôr-do-sol, a linha está no quadrante inferior esquerdo, que corresponde ao sol na orientação sudoeste.

Já na linha correspondente ao solstício de inverno, para a latitude considerada, o sol nasce no quadrante superior direito (nordeste) por volta de 6h45 e permanece nesse quadrante até 12 horas. Após as 12 horas, a linha entra no quadrante superior esquerdo (noroeste), onde permanece até cerca de 17h15, quando o sol se põe. Pode-se verificar que a linha preta, correspondente ao percurso solar nesse período, está sempre nos quadrantes superiores, o que significa que não há insolação na fachada sul.

2.7.2.2 Determinação gráfica do azimute solar

Nas cartas solares as medidas do azimute estão marcadas sobre a circunferência, a cada 10° , começando a partir do norte e aumentando no sentido horário.

Para localizar o azimute solar para um determinado dia e horário, basta localizar o ponto correspondente na trajetória solar e passar uma reta, simultaneamente, por esse ponto e pelo centro da circunferência. Prolonga-se, então, essa reta até onde ela atingir a circunferência, onde estará indicado o azimute (Figura 22).

2.8.2.3 Determinação gráfica da altura solar

Para determinação gráfica da altura solar, deve-se localizar na carta solar o ponto correspondente ao dia e horário desejado. Por esse ponto, deve-se passar uma circunferência concêntrica à principal. Onde essa circunferência cortar a linha que vai desde o centro até o sul está indicada a altura solar (Figura 22).

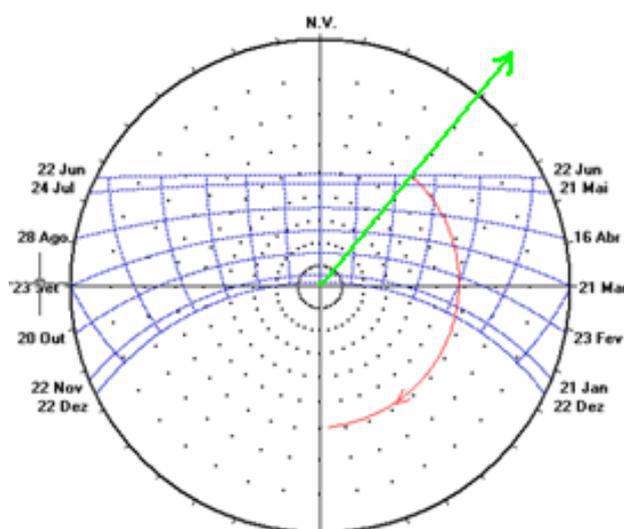


Fig. 22 – Carta solar com indicação de azimute, aproximadamente 40° , (linha verde) e altura solar de, aproximadamente, 30° (arco vermelho).

Fonte: Adaptado de Luz do Sol (RORIZ, 1995).

2.7.3 Determinação gráfica dos protetores solares

A determinação do tipo e da dimensão de um dispositivo de proteção solar é feita em função da eficácia desejada. De acordo com Frota e Shiffer (2001, p.90), “um dispositivo de proteção solar será eficaz quando for capaz de barrar a radiação solar direta sobre uma dada superfície ou abertura no período que se julgar conveniente”.

Com base no método desenvolvido por Olgyay e Olgyay (1957), a primeira informação necessária para o projeto de protetores solares é ‘quando’ se quer evitar a incidência de radiação solar direta. Após isso, com a utilização da carta solar, pode-se definir

que orientações estão sujeitas à insolação nesse período, ou seja, pode-se determinar ‘onde’ devem estar os protetores. Em seguida determina-se ‘como’ devem ser as proteções, ou seja, o tipo e a posição destes dispositivos. Por fim, o último passo do método é o desenho do protetor solar para o sombreamento desejado.

2.7.3.1 Máscara de sombra

“A máscara de sombra é a representação gráfica, nas cartas solares, dos obstáculos que impedem a visão da abóbada celeste por parte de um observador (BITTENCOURT, 2000, p.43). Dessa maneira, deve-se estudar o sombreamento que as edificações vizinhas proporcionam no edifício.

Para dimensionamento dos protetores solares, aplica-se um método gráfico denominado ‘traçado de máscaras’, o qual se utiliza dos ângulos de sombra resultantes de um dispositivo externo em relação a um determinado ângulo de incidência do sol, conforme a figura 23 (FROTA; SCHIFFER, 2001, p.90).

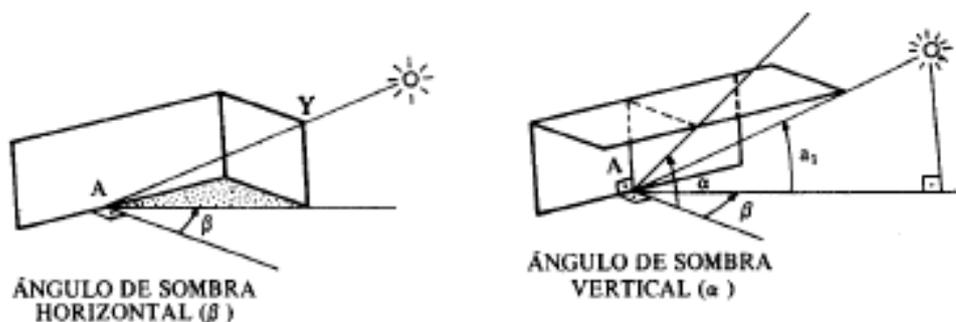


Fig. 23 – Ângulos de sombra gerados por dispositivo de proteção solar.
Fonte: FROTA; SCHIFFER (2001, p.91).

2.7.3.2 Transferidor auxiliar

Os ângulos de sombra utilizados no método de projeto gráfico de protetores solares são projetados estereograficamente no plano do horizonte do observador. Disso surge o chamado ‘transferidor auxiliar’, ou ‘medidor de ângulos verticais e horizontais’.

Na figura 24 pode-se ver o modelo de transferidor auxiliar utilizado por Olgyay e Olgyay (1957), os ângulos verticais (frontais e laterais) são marcados no quadrante inferior, e os horizontais no superior.

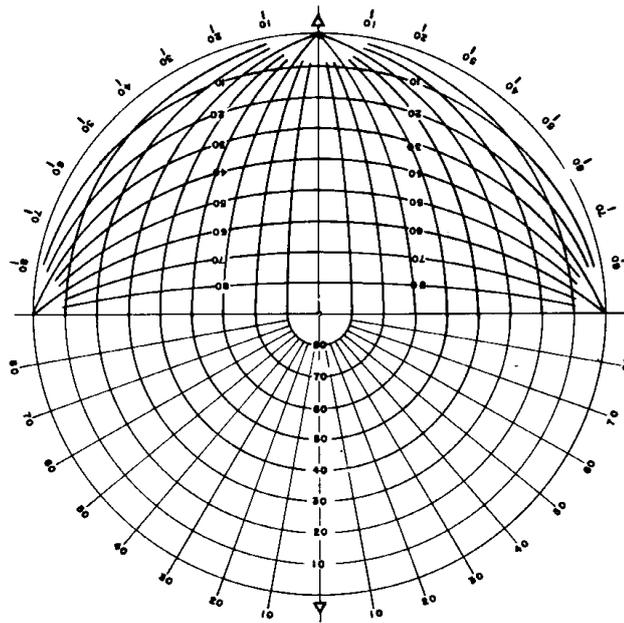


Fig. 24 – Medidor de ângulos verticais (frontais e laterais) e ângulos horizontais.
Fonte: OLGAYAY; OLGAYAY (1957, p.88).

No modelo de transferidor apresentado na figura 24, as sombras obtidas a partir de protetores horizontais são representadas nas projeções em forma de arco, e o ângulo da sombra é marcado na linha que divide os dois quadrantes da semicircunferência. Já as sombras obtidas por meio de protetores verticais são representadas nas projeções radiais, cujo ângulo é marcado na intersecção dos raios com a circunferência.

Frota e Schiffer (2001, p.94) utilizam no método de desenvolvimento de protetores solares um transferidor auxiliar simplificado (Figura 25), que apresenta apenas os ângulos horizontais e os ângulos verticais frontais, porque os ângulos verticais laterais, na prática, “podem ser obtidos através dos ângulos horizontais, girando-se a figura em 90°”. Este é o modelo de transferidor auxiliar utilizado na realização desse trabalho.

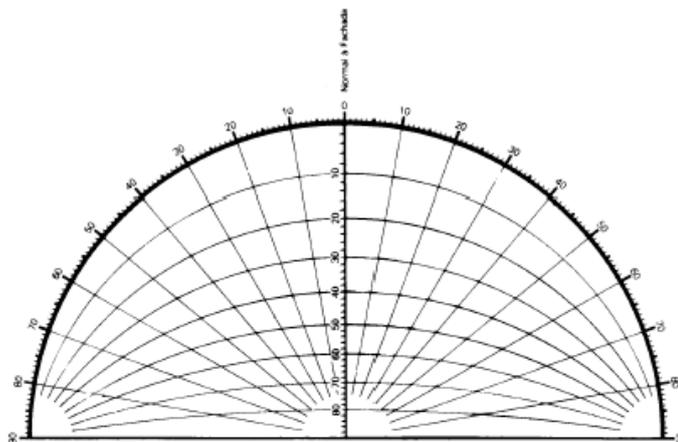


Fig. 25 – Modelo de transferidor auxiliar simplificado.
Fonte: FROTA; SCHIFFER (2001, p.94).

2.7.3.3 Exemplos de utilização

O método representado nas Figuras 26 a 28 é semelhante ao empregado na realização deste trabalho. A diferença entre os dois, é que neste trabalho são representados apenas os ângulos de proteção total, enquanto nos exemplos a seguir são representados os ângulos referentes a 100% e 50% de sombreamento.

Na figura 26 podem-se ver exemplos de protetores solares horizontais em corte, planta, e a respectiva máscara de sombra.

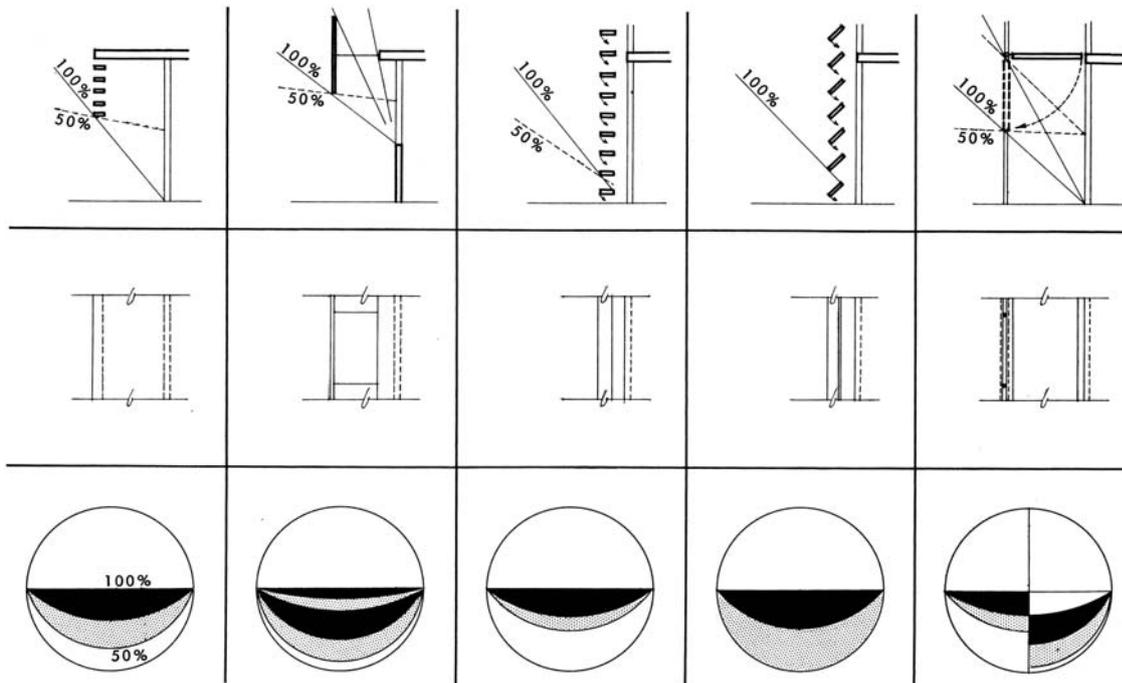


Fig. 26 – Exemplos de protetores solares horizontais com respectivas máscaras de sombra.

Fonte: OLGAYAY; OLGAYAY (1957, p.94).

Na figura 27 estão exemplos de protetores solares verticais em corte, planta, e as respectivas máscaras de sombra. Nas três primeiras colunas estão representados protetores verticais fixos, enquanto na quarta são protetores verticais móveis (com duas representações, uma de quando estão abertos e uma quando estão fechados).

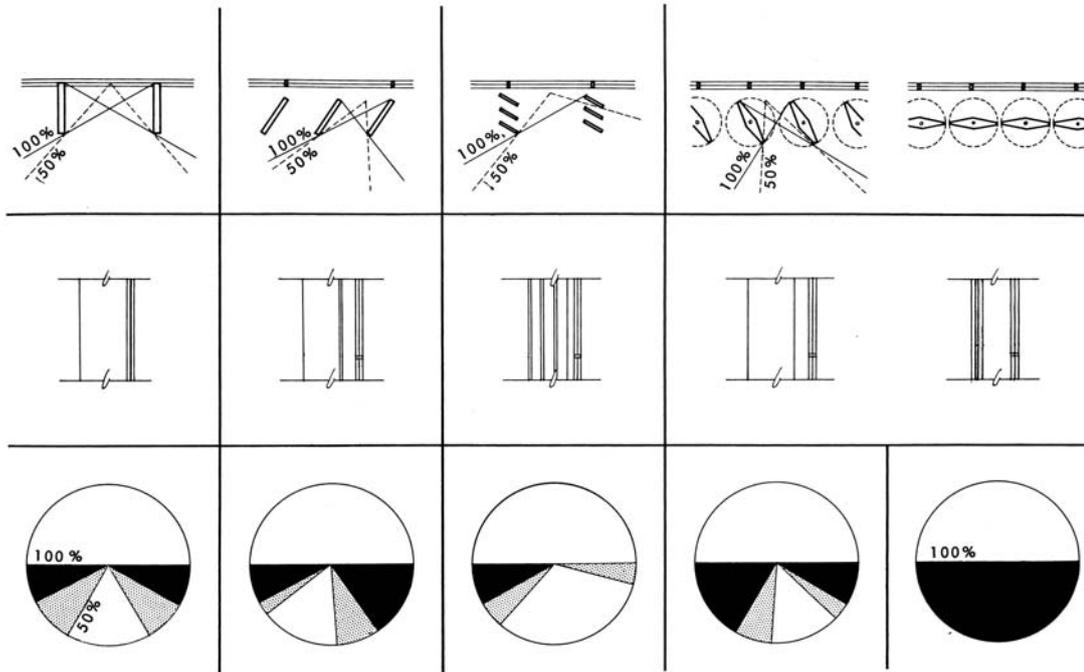


Fig. 27 – Exemplos de protetores solares verticais com respectivas máscaras de sombra.
Fonte: OLGAYAY; OLGAYAY (1957, p.91).

Por fim, na figura 28, estão exemplos de protetores solares mistos e fixos em elevação, planta e corte, e as respectivas máscaras de sombra.

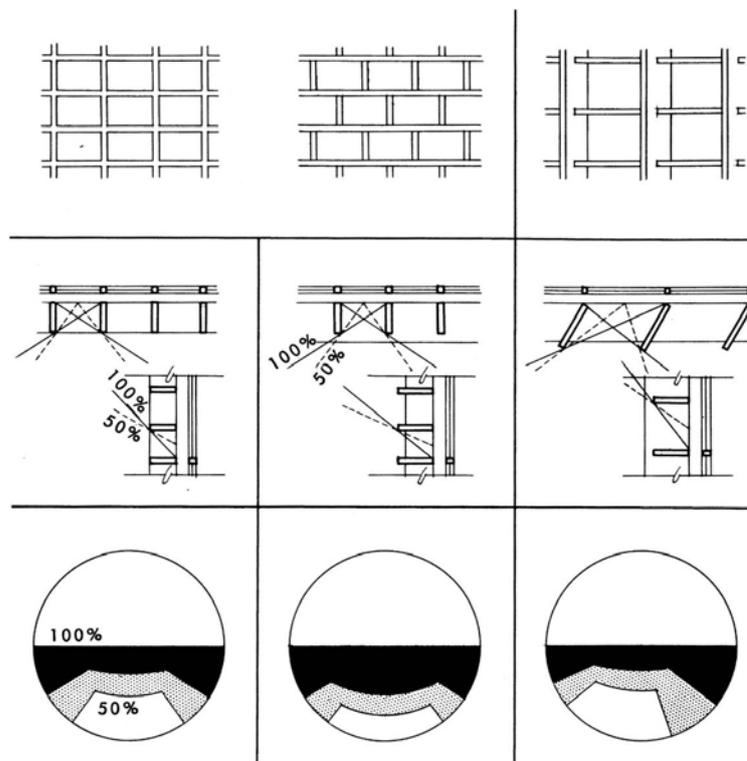


Fig. 28 – Exemplos de protetores solares mistos com respectivas máscaras de sombra.
Fonte: OLGAYAY; OLGAYAY (1957, p.92).

2.8 HISTÓRICO SUCINTO DOS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR NO BRASIL

Os dispositivos de proteção solar são encontrados em diversos momentos e lugares, na história da arquitetura. De acordo com Corona e Lemos (1972, p.81) “o elemento arquitetônico com função de quebrar a direção dos raios solares já comparece em muitas arquiteturas, mesmo de épocas mais remotas”. Pode-se destacar, por exemplo, as inúmeras formas de filtragem da luz presentes na arquitetura mediterrânea, resultantes da influência mourisca⁷ na região, como pode ser visto na figura 31.

2.8.1 Arquitetura vernacular brasileira e proteção solar

Em países como o Brasil, com clima tropical e insolação intensa durante todo o ano em grande parte do território, pode-se perceber na arquitetura vernacular⁸ a constante busca pela sombra. A vegetação, as varandas e até mesmo protetores solares sempre estiveram presentes nas edificações construídas no Brasil. Atem (2003, p.48) descreve que

o uso de proteção solar em aberturas não é uma prática nova, ou moderna, há muito tempo o homem se protege dos raios solares, utilizando-se dos conhecimentos e da cultura de seus povos. Ele se protegeu com suas próprias construções através de seus assentamentos urbanos, como no caso do Brasil colônia onde o uso de sacadas e varandas com rótulas que se projetavam protegendo as fachadas dos raios solares.

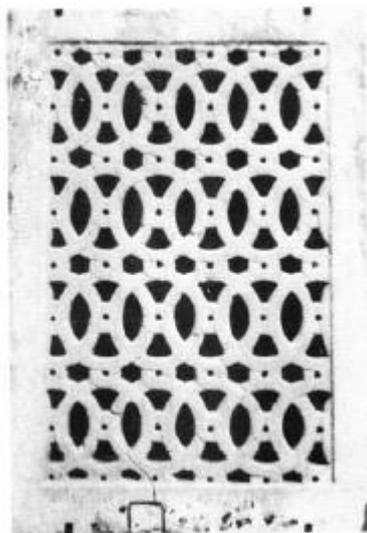


Fig. 29 – Janela de mosteiro em Córdoba, Espanha.
Fonte: MIANA (2005, p.18).

Freqüentemente eram utilizados na arquitetura brasileira elementos desenvolvidos para filtragem da luz, pela cultura mediterrânea (Figura 29), sob influência árabe, como muxarabis, gelsias e rótulas.

⁷ MOURISCA: relativa aos mouros, influência árabe fortemente percebida nos povos mediterrâneos (MIOTTO, 2002, p.58)

⁸ VERNACULAR: que se refere às construções tradicionais de um povo (RIVERO, 1985).



Fig. 30 – Exemplo de janela com muxarabi.
Fonte: SENAC (2007).

O muxarabi (Figura 30) é uma herança do repertório arquitetônico árabe, e era, originalmente, um local onde se colocavam as bilhas a fim de refrescar a água. Podiam ocupar a quase toda a fachada da habitação, em cuja verga se vinha apoiar o prolongamento do telhado ou apenas em uma ou duas janelas (MIOTTO, 2002, p.59). Góes (1995, p.341) descreve os muxarabis como um tipo de “balcões em balanço nas fachadas”.

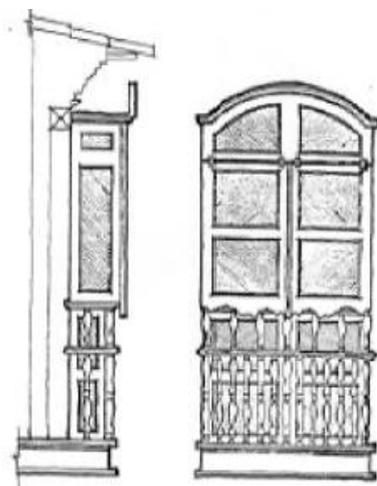


Fig.31 - Exemplo de janela com gelosia.
Fonte: MIOTTO (2002, p.59).

Algranti (1997, p.97) acrescenta que “os muxarabis, assim como as alcovas, representavam o enclausuramento feminino, no entanto, mais recentemente receberam outras interpretações, relacionando esses elementos com as adaptações das edificações ao clima quente”.

Já a gelosia (Figura 31), de acordo com Miotto (2002, p.59), “era uma espécie de caixote sobreposto às janelas, acima do pavimento térreo, formando estruturas que aproveitam os balcões das janelas para sustentação”. A gelosia é constituída por um treliçado de madeira, sua metade superior é composta por folhas de abrir, fixadas em sua parte superior. Possibilita

a ventilação constante dos ambientes, com pouca entrada de luz, e protege o interior da habitação de sua visualização (MIOTTO, 2002).

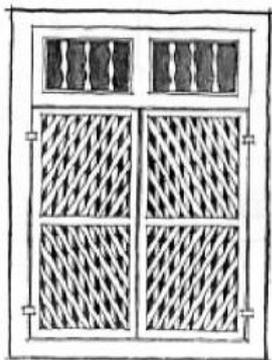


Fig. 32 – Exemplo de janela com rótula.
Fonte: MIOTTO (2002, p.59).

A rótula era feita com um treliçado de madeira mais espaçado que a gelosia, como pode ser visto na figura 32. Ela possibilitava, de forma eficaz, o controle da iluminação e da ventilação adequado ao clima quente, além de resguardar o interior da habitação da visualização externa.

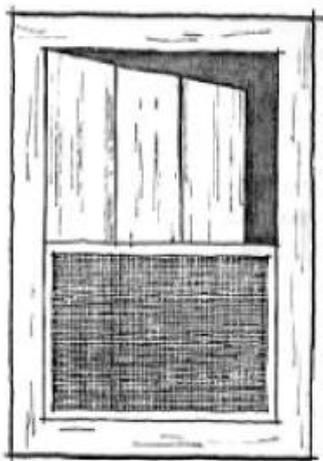


Fig. 33 – Exemplo de janela com urupema.
Fonte: MIOTTO (2002, p.59).

Miotto (2002, p.59) ainda descreve que existiam as urupemas⁹ (Figura 33), que eram simplificações das gelosias e rótulas, encontradas em habitações menos sofisticadas. As urupemas são constituídas de uma folha de treliça de palha tipo guilhotina, em uma das metades do vão e deixando a outra metade livre.

Além desses elementos, Bittencourt (2000) destaca a utilização das varandas, como adaptação da arquitetura portuguesa ao clima ensolarado brasileiro, na época das construções de casas de senhores de engenho nordestinos. Isso porque, “as varandas, além de

⁹ Palavra proveniente do termo indígena uru, que significa treliçado de palha (Miotto, 2002, p.59).

desempenharem o papel de espaço de transição entre interior e exterior, eliminavam quase totalmente a insolação das paredes exteriores” (BITTENCOURT, 2000, p.17).

2.8.2 O Modernismo e a utilização dos protetores solares

O movimento conhecido como Modernismo, na arquitetura, sofreu a influência dos ideais de racionalização da produção difundidos pela Revolução Industrial. Segundo Magalhães (1993, p.896)

a Revolução Industrial reduziu em vários aspectos os requisitos naturais da edificação. Pelo desenvolvimento dos materiais estruturais, abriu-se a possibilidade de ampliar o número de pavimentos; pelos novos sistemas mecânicos de condicionamento térmico – aquecimento e refrigeração – as qualidades térmicas das construções foram modificadas; pela invenção da iluminação a gás, da lâmpada incandescente e da lâmpada fluorescente, as profundidades dos edifícios também puderam ser ampliadas, pois não mais dependiam exclusivamente da luz natural, nem da ventilação através de janelas.

De forma geral, o Modernismo negava as referências históricas da arquitetura, considerando-as como ornamento, e, portanto, desnecessárias. Magalhães (1993, p.896) segue afirmando que nesse momento “alguns arquitetos incorporaram os novos recursos tecnológicos mas não abandonaram os princípios naturais de orientação, ventilação e iluminação. Outros, consideraram as novas tecnologias como um fim em si mesmas, ignorando os climas”.

O arquiteto russo Gregori Warchavchik foi o responsável pela primeira casa construída segundo princípios modernistas no Brasil. No final da década de 1920, de acordo com Bacoccini e Slompo, 2001 “com telhado plano, paredes nuas e janelas sem molduras, a casa, no seu rigor geométrico, suscitou polêmica entre os paulistas”.

Assim como Warchavchik, as principais influências arquitetônicas desse período eram européias, vindas do arquiteto franco-suíço Le Corbusier e da Escola alemã ‘Bauhaus’ (por meio dos projetos dos arquitetos Walter Gropius e Mies van der Rohe).

Le Corbusier, apesar dos ideais racionalistas estimulados pelo recente desenvolvimento industrial, também levava em consideração o local onde seus edifícios eram implantados. Ele era um dos arquitetos que, como destaca Miana (2005, p.30), “buscaram exemplos de como proteger a edificação do excesso de radiação solar, e também de outros aspectos desfavoráveis do clima, na arquitetura vernacular e também na arquitetura mediterrânea”.

O *brise-soleil* surge, então, como resposta às novas funções e características dos fechamentos na arquitetura moderna. De acordo com Corona e Lemos (1972, p.81) temos que

“o brise é um elemento arquitetônico de proteção solar, com a finalidade principal de interceptar os raios solares, quando estes forem inconvenientes”.

Maragno (2001, p.2) descreve que

Le Corbusier enfrentou esta dificuldade no projeto da *Cité de Refuge* (Paris, 1929), em que previa um envoltório de vidro hermeticamente fechado de mil metros quadrados com condicionamento artificial do ar em seu interior. O sistema mostrou-se problemático resultando em sérias deficiências ambientais, e isso fez com que o arquiteto alterasse radicalmente sua forma de enfrentar esses problemas.

Após isso, em 1933, ao desenvolver projetos habitacionais para Barcelona e para o norte da África, Le Corbusier buscou elementos estruturais que pudessem proteger a superfície vertical da incidência direta da radiação solar direta. Começou assim a utilização do *brise-soleil*¹⁰ no modernismo, resgatando a relação entre arquitetura e meio ambiente, em resposta às transformações arquitetônicas introduzidas pelas possibilidades tecnológicas e pelos conceitos da arquitetura moderna. Apesar disso, os primeiros projetos realizados com utilização dos dispositivos de proteção solar não foram construídos.



Fig. 34 – Ministério da Educação e da Saúde, Rio de Janeiro, 1936.
Fonte: MELENDO (2004).

No ano de 1936, durante a realização de estudos para o concurso que escolheria o projeto do MES - Ministério da Educação e Saúde (Figura 34), no Rio de Janeiro, Le Corbusier se deparou com a contradição entre a desejável visibilidade da paisagem e a necessidade de controle da radiação solar. Como resposta propôs a utilização de um sistema que combinava seus estudos para Barcelona e Argel, sugerindo a adoção do *brise-soleil*. Os arquitetos brasileiros responsáveis pelo projeto aperfeiçoaram a idéia inicial desenvolvendo

¹⁰ “Termo de aplicação constante na linguagem comum da arquitetura contemporânea brasileira, provém do francês. Sua tradução literal “quebra-sol”, apesar de designar a mesma coisa, não atingiu a popularidade do vocábulo ‘brise’” (CORONA & LEMOS, 1972, p.81).

um sofisticado sistema que combinava placas verticais fixas com horizontais móveis (MARAGNO, 2001, p.2).

O projeto, marco internacional da arquitetura moderna, foi o primeiro em grande escala a aplicar os cinco pontos da arquitetura postulados por Le Corbusier: planta livre, fachada livre, pilotis, teto-jardim e aberturas horizontais. Foi também o primeiro edifício de grande porte a utilizar a cortina de vidro e protetores solares móveis (BRUAND, 1997, p.5).

No memorial do projeto há constantes referências às soluções adotadas com objetivo de melhorar o comportamento térmico do edifício (Figura 35). Costa¹¹ (1995 *apud* MELENDO, 2004) justifica a utilização dos protetores solares descrevendo que “a face NNO, insolada quase todo o ano durante as horas de expediente, deveria ser protegida para evitar excessivos ganhos térmicos”.

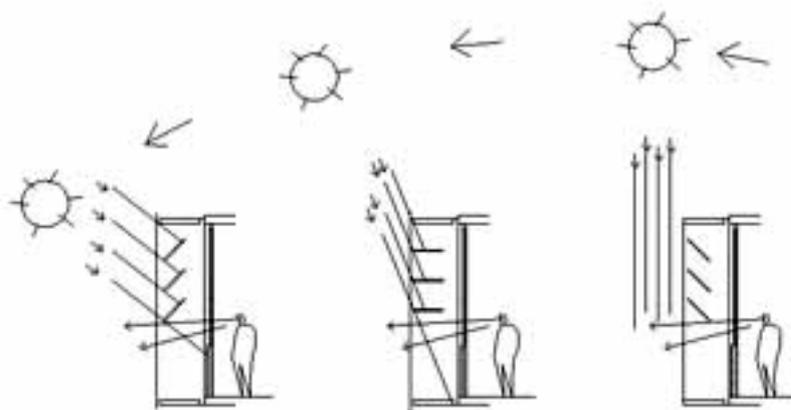


Fig. 35 – Croqui dos *brises* projetados para o Ministério da Educação e da Saúde, Rio de Janeiro, encontrado no memorial do projeto.
Fonte: OLGAYAY; OLGAYAY (1957, p.186).

Melendo (2004) descreve que a opção dos arquitetos em relação ao tipo de protetor a ser empregado foi feita em função da análise da inclinação do sol e de sua trajetória em relação à referida fachada. Essa análise indicou que o sistema de proteção constituído por placas horizontais seria o adequado (Figura 36) porque, de outra forma, seria necessário adotar vãos diminutos, acarretando perda de visibilidade. Quanto à mobilidade das placas, a adoção de placas fixas, ainda que resolvesse o problema de insolação, seria menos satisfatória no tocante à iluminação, pois, tendo sido calculada para dias claros, resultaria, por força, deficiente em dias sombrios, obrigando ao uso de luz elétrica em horas que poderia dispensá-la. Além disso, considerando que, a direção dos raios solares é variável em relação à fachada, o sistema de proteção mais eficiente seria composto por placas móveis, a fim de que a

¹¹COSTA, L. **Lúcio Costa**: registro de uma vivência. São Paulo: Empresa das artes, 1995.

proteção pudesse ser ajustada de acordo com a necessidade (COSTA, 1995 *apud* MELENDO, 2004).

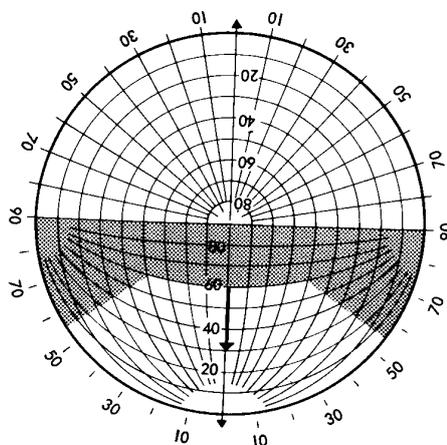


Fig. 36 – Máscara de sombra referente ao *brise-soleil* projetado para o Ministério da Educação e da Saúde.
Fonte: OLGAYAY; OLGAYAY (1957, p. 5).

Por fim, o sistema empregado no edifício do MES (Figura 37) foi composto de lâminas verticais fixas, de concreto, ligadas aos pisos e placas horizontais basculantes, de fibrocimento. Costa (1995 *apud* MELENDO, 2004) descreve que “as placas horizontais ficam afastadas cerca de 0,50m das esquadrias, formando um vazio para circulação do ar, a fim de evitar a entrada de calor por irradiação nas salas de trabalho; quanto às verticais, foram criados apenas dois pontos de contato com a estrutura, o que dificulta a transmissão de calor por condução”.



Fig. 37 – Vista externa dos *brises* empregados no edifício do Ministério da Educação e da Saúde, Rio de Janeiro.
Fonte: MELENDO (2004).

Le Corbusier passou, a partir de então, a adotar os protetores solares em grande parte de seus projetos, difundindo amplamente seu uso. Miana (2005, p.27) destaca que a influência de Le Corbusier no Brasil não contribuiu apenas para a difusão de seus princípios arquitetônicos, mas para que “os arquitetos locais compreendessem que seus princípios não

poderiam ser aplicados simplesmente, como se fossem um molde”, mas que deveriam ser adaptados ao meio.



Fig. 38 – *Brise-soleil* utilizado na Associação Brasileira de Imprensa, Marcelo e Milton Roberto, Rio de Janeiro, 1936.
Fonte: MELENDO (2004).

Antes mesmo da chegada de Le Corbusier ao Brasil, os arquitetos brasileiros já demonstravam grande interesse em incorporar elementos de proteção solar nos edifícios. Melendo (2004) afirma que “em 1936, meses antes da chegada do mestre europeu, os irmãos Marcelo e Milton Roberto ganharam o concurso para a nova sede da Associação Brasileira da Imprensa (ABI) com um projeto que incorporava um dispositivo de proteção solar de báculos verticais de alumínio protegendo as fachadas”. Na execução do projeto, por motivos econômicos, o alumínio foi substituído por concreto (Figura 38).



Fig. 39 – *Brise-soleil* utilizado na Obra do Berço, Oscar Niemeyer, Rio de Janeiro.
Fonte: MELENDO (2004).

No projeto da Obra do Berço, em 1937, o arquiteto Oscar Niemeyer utilizou protetores solares (Figura 39), Melendo (2004) explica que “inicialmente foram colocadas lâminas verticais inclinadas, contudo se comprovou que o sol entrava nos cômodos. Finalmente foi

construído o *brise-soleil* que aparece na imagem. É uma clara demonstração das dificuldades que havia na hora de se calcular a insolação”. Na figura 40 pode-se ver a máscara de sombra resultante dos protetores solares utilizados.

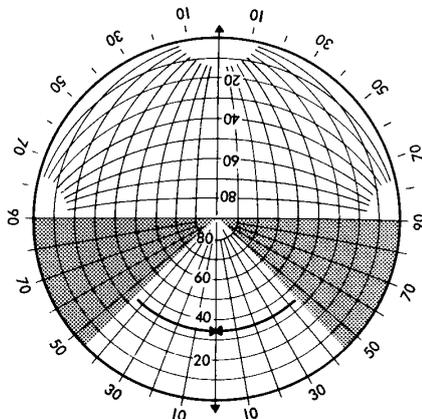


Fig. 40 – Máscara de sombra referente ao *brise-soleil* utilizado na Obra do Berço.
Fonte: OLGAYAY; OLGAYAY (1957, p.154)

Miana (2005, p.31) destaca a importância do projeto feito por Oscar Niemeyer e Lucio Costa para o pavilhão do Brasil na Feira Mundial de New York, com a proteção solar feita com a utilização de um painel fixo em formato de colméia (Figura 41), para a fachada sul.



Fig. 41 – Pavilhão do Brasil, New York, 1939, fachada principal.
Fonte: MIANA (2005, p.32).

Para assegurar a eficiência da proteção solar para esta fachada, na latitude específica, foi feita uma análise com uso do método do traçado de máscara de sombra (Figura 42).

Dessa forma fica claro que o movimento inicial da arquitetura moderna brasileira, que ficou conhecido como Escola Carioca, assumiu a postura de controle ambiental natural, projetando em função do clima. Isso tornou constantes os elementos de proteção solar nos projetos do período, e logo a solução se proliferou e passou a estar presente na arquitetura moderna de todo o país, apreciada e elogiada internacionalmente.

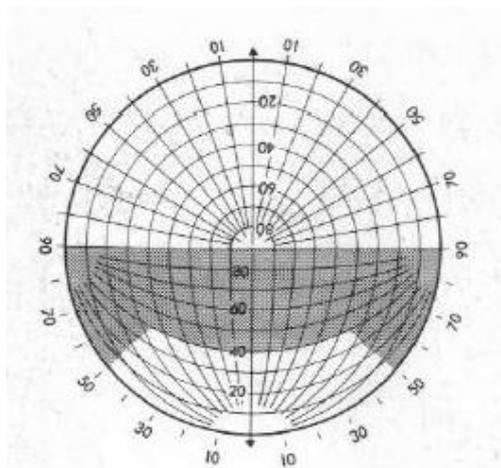


Fig. 42 – Pavilhão do Brasil, New York, 1939, máscara de sombra do *brise-soleil*.
Fonte: OLGAYAY; OLGAYAY (1957, p.177).

Na cidade de São Paulo, o arquiteto Rino Levi se destacou buscando uma arquitetura moderna adequada ao Brasil. De acordo com Serapião (2001, p.65), “apesar da inspiração racionalista, Levi produziu um modernismo sem ruptura, que utiliza a técnica e a ciência a serviço do bem-estar, seja ele o conforto térmico, acústico ou visual. Sua arquitetura procurava integrar-se à paisagem”.

O edifício projetado para o Banco Sul-Americano, construído na Avenida Paulista em 1960, “devido à sua orientação e adequação dos protetores solares, ficou muitos anos sem ar condicionado e sem apresentar grandes problemas quanto ao conforto térmico” (IWASHITA, 1999, p.7).

Na cidade de Curitiba o início das manifestações da arquitetura moderna se deu com a construção da residência do arquiteto Frederico Kirchgässner, em 1930.

Em 1930, quando Frederico Kirchgässner concluiu sua casa, no alto da rua 13 de maio, certamente boa parte dos curitibanos centraram suas atenções e comentários sobre aquela inusitada construção que, de uma hora para outra, rompia com os padrões ecléticos das residências da cidade. Ainda hoje, passados setenta anos, o imóvel atrai a curiosidade popular. A residência de Kirchgässner representou o início da arquitetura modernista em Curitiba e sua concepção foi contemporânea à da casa de Warchavchik, construída em São Paulo em 1927 – e tida como a primeira casa de arquitetura moderna no Brasil. (...) Nas duas décadas seguintes a arquitetura de Curitiba passou por uma fase de transição entre o eclétismo e o modernismo propriamente dito (BACOCINI; SLOMPO, 2001).

No início da década de 1950, em virtude das comemorações do centenário de emancipação política do Paraná, o governo estadual iniciou várias obras na cidade de Curitiba. De acordo com Gonçalves (2003), o conjunto de obras oficiais edificado nesse

período tem características semelhantes às de várias obras de grande importância no desenvolvimento da arquitetura moderna brasileira.



Fig. 43 – Palácio do Governo do Estado do Paraná.
Fonte: Arquivo do autor (2007).

Um projeto deste conjunto que até hoje se destaca por suas características modernas é o Palácio Iguçu (Figura 43). Projetado pelo arquiteto David Xavier de Azambuja para sediar o Governo do Estado do Paraná, o edifício foi concebido como bloco predominantemente horizontal construído sobre pilotis. Pode ser avistado desde longe, com aspecto monumental por estar situado no eixo da Avenida Cândido de Abreu. Um dos conceitos mais divulgados no Brasil, em relação a protetores solares é referente a fachadas de orientação Sul. Muitos arquitetos desenvolvem seus projetos com grandes fachadas envidraçadas nesta orientação, alegando que ela recebe pouca insolação, no Brasil.

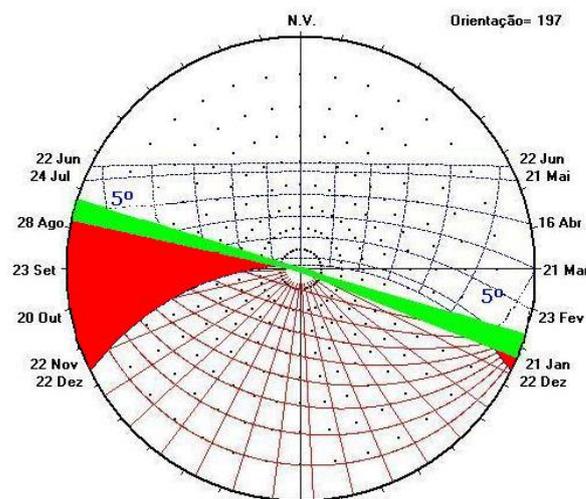


Fig. 44 – Carta solar com indicação do período em que a fachada SO é sombreada pelos protetores solares (área verde) e do período em que é exposta à incidência de radiação solar direta (área vermelha).
Fonte: Adaptado de Luz do Sol (RORIZ, 1995).

Na Figura 44 pode-se ver a carta solar referente à fachada envidraçada do Edifício Palácio Iguçu, de orientação Sudoeste. A área hachurada em verde corresponde ao período

em que ocorre o sombreamento da fachada (ângulo de sombra de 5°), e a área em vermelho corresponde ao período em que esse sombreamento não ocorre. Nos meses de verão (quando a temperatura externa do ar apresenta seus maiores valores), a fachada está exposta à incidência de radiação solar direta desde o meio-dia até o pôr do Sol.

Desde as obras realizadas neste período já se pode perceber que a arquitetura realizada na cidade de Curitiba não se apropria da utilização dos protetores solares externos nos edifícios. Entre os projetos que se destacam no cenário arquitetônico da cidade são poucos os exemplares com protetores solares. Entre eles, os que apresentam conjuntos de protetores solares mais significativos são analisados neste trabalho.

2.8.3 A influência do *International Style*

De acordo com Gutierrez e Labaki (2005, p.880),

em um determinado momento, apesar de não se observar uma ruptura nítida, vários fatores contribuíram para o abandono da solução representada pelo *brise-soleil*. A massificação da expressão plástica resultante da utilização do *brise-soleil*, adotado sem critérios, reduziu sua aplicação a uma estética equivocada que caracteriza inúmeras obras posteriores. (...) Nesse contexto, os próprios arquitetos passaram a criticar essa solução como contrária aos preceitos modernistas, pois havia se tornado nada além de um ornamento, um detalhe sem função.

Na primeira metade do século XX, a arquitetura passa por grandes transformações e tenta incorporar os ideais da recém-formada, sociedade industrial. A tecnologia desenvolve-se em função da necessidade da produção em série, introduzindo na construção civil o uso do aço e do concreto armado, ambos facilitadores do uso do vidro em grandes superfícies (CARAM, 2002, p.35). Sobre isso, Miana (2005, p.43) afirma que “o baixo custo de energia, o surgimento da estrutura independente e o desenvolvimento das indústrias de vidro contribuíram para a construção de edifícios condicionados artificialmente à custa de um alto consumo energético”.

Nesse contexto aconteceu a redução dimensional dos elementos autoportantes e sua separação dos elementos de vedação, acarretando a utilização do vidro em superfícies cada vez maiores até chegar às fachadas totalmente transparentes. Sua utilização proporcionava transparência e integração visual dos espaços internos e externos “além de um efeito plástico adequado aos princípios da arquitetura moderna, que despontava” (MARAGNO, 2001, p.2).

Gammarano (2002, p.808) descreve que, “a partir do movimento moderno e da implantação do *International Style*, a utilização do vidro passou a ser uma tendência quase obrigatória na composição das fachadas na maior parte dos projetos de arquitetura”.

De acordo com Atem (2003 p. 15), “a arquitetura vernacular de países como o Brasil apresenta soluções relacionadas à manutenção do conforto humano no interior dos edifícios”, no entanto, com a inserção de modelos arquitetônicos importados esta interação com o meio foi sendo perdida e o arquiteto, cada vez mais, se afastando das soluções que se adequavam ao clima e ao meio em que os edifícios estavam inseridos. Com a implantação do *International Style*, os mesmos princípios construtivos eram empregados em países com realidades sociais, climáticas e arquitetônicas totalmente diferentes.

As idéias modernas de universalidade romperam as fronteiras de países e atravessaram até continentes, sendo incorporadas em diversos lugares, como aconteceu no Brasil. Essas idéias traziam primeiramente a idéia de internacionalismo, que, de acordo com Atem (2003, p.27), “era a idéia de uma arquitetura igual para todo o homem, com traços racionais e puros”.

Nesse contexto, a influência dos princípios de Le Corbusier na arquitetura brasileira foi enfraquecida e passou a dividir espaço com a influência da arquitetura de Mies van der Rohe, que, com suas torres de vidro (Figura 45), praticamente ignorava o clima local (MARAGNO, 2001, p.2).



Fig. 45 – Lake Shore Drive, Chicago, arquiteto Mies van der Rohe.
Fonte: COX (2004).

LAM¹² (1986, *apud* MAGALHÃES, 1993, p.896) critica essa posição ao afirmar que

muitos arquitetos abdicaram da responsabilidade do projeto do ambiente interno em favor dos engenheiros em troca da liberdade de projetar qualquer caixa de vidro que satisfizesse sua fantasia, sem se preocupar com limitações funcionais. Separando a pele da estrutura, eles achavam que nada tinha sido comprometido. A exaltação das formas exteriores dos edifícios ‘curtain-walls’ à moda de Mies, sem referência aos desconfortos ambientais (luminosidade, superaquecimento no lado do sol, subaquecimento no lado da sombra), encorajou cada vez mais a construção de tais edifícios.

¹² LAM, William M.C. **Sunlighting as Formgiver for Architecture**. New York, Ed. Van Nostram Reinhold, 1986.

Gammarano (2002, p.807) classifica a arquitetura de Mies van der Rohe como pragmática e resume seus projetos como “uma torre com núcleo central, planta livre, volume prismático e indiferenciado” (com o mesmo tratamento em todas as fachadas).

As rápidas mudanças ocorridas no mundo, próprias do vertiginoso desenvolvimento tecnológico, encontraram os arquitetos preocupados excessivamente com aspectos formais e pouco informados sobre as conseqüências técnicas de seus atos. Gabarra (2000, p.39) acrescenta que, além do grande avanço tecnológico do século XX, as questões voltadas para a adequação das condições naturais e o edifício “sofreram interferência da fragmentação da profissão do projetista, que levou o problema do conforto a ser deixado para uma etapa posterior do projeto, prevista com a adição de sistemas mecânicos auxiliares”. Abusou-se, assim, do emprego de fachadas envidraçadas desprotegidas ou mesmo com utilização de brises equivocados (ATEM, 2003, p.16).

Nesta fase da arquitetura internacional e brasileira a participação do arquiteto na concepção das soluções ambientais passa para um plano inferior (MASCARÓ J.; MASCARÓ L., 1992).

Foi perdido o domínio da técnica da utilização do *brise-soleil* não somente em relação à proteção solar e iluminação natural, mas também de sua participação na composição arquitetônica dos edifícios. Essas técnicas foram esquecidas e substituídas pelas possibilidades de incorporação de outras técnicas de calefação e climatização (MARAGNO, 2001, p.2).

Dependendo da orientação geográfica e das características óticas dos vidros utilizados, essa utilização dos vidros na arquitetura, essa prática, sem critério adequado, pode implicar diretamente num significativo acúmulo de densidade de energia térmica no interior das edificações, traduzindo-se em desconforto para os usuários, ou em grande consumo energético, necessário para o condicionamento térmico das edificações (LABAKI; CARAM; SICHIERI, 1995, p.215).

De acordo com Santos, R. (2002, p.57), “a valorização da estética dos edifícios, sem preocupações com sua adequação ao meio em que estavam inseridos vigorou até que os profissionais da área tivessem sido levados a repensar suas prioridades de projeto”. Isso ocorreu, sobretudo, nos países desenvolvidos no início da década de 70, quando ocorreram duas crises do petróleo, com aumento no preço e embargo nas exportações, o que despertou o mundo para nova consciência quando passou a prevalecer a preocupação sobre os novos aspectos do controle ambiental (MASCARÓ J.; MASCARÓ L., 1992). Foi iniciada, então, a busca da redução no uso da luz artificial e de sistemas de condicionamento de ar.



Fig. 46 – Exemplos de edifícios com grandes áreas envidraçadas na fachada: duas imagens acima e imagem abaixo/esquerda são de edifícios situados no Centro Cívico. Abaixo/direita – Teatro Guaíra, pça Santos Andrade.

No Brasil, Góes (2001) traçou um perfil da evolução do uso da proteção solar externa entre 1930 e 1990 para a cidade do Rio de Janeiro. A partir disso, afirma que a maior ocorrência de utilização dos elementos de proteção solar foi registrada entre 1930 e 1960. Nessa época ocorreu o desenvolvimento de diversas tipologias e recursos variados utilizando-se, sempre que possível, materiais recentemente introduzidos no mercado pela indústria nacional: elementos vazados cerâmicos ou de concreto, placas fixas ou móveis em madeira, cimento amianto ou alumínio. Nas edificações construídas entre 1960 até 1990 é constatada a inibição do uso de elementos de sombreamento externo, em decorrência da proliferação das fachadas revestidas com vidro. Estes elementos, quando existentes, muitas vezes não atendem aos critérios de orientação das fachadas e de dimensionamento, por atenderem apenas a preocupações formais.

No trabalho desenvolvido por Góes (2001) são analisados apenas edifícios localizados na cidade do Rio de Janeiro, mas as conclusões dessa análise retratam uma situação que pode ser verificada em todo Brasil.

Na cidade de Curitiba pode ser encontrada grande quantidade de edifícios com grandes áreas envidraçadas nas fachadas, como pode ser visto na Figura 46.

2.8.4 Retomada das preocupações ambientais

Como foi discutido no item 2.2, “os anos 70 são caracterizados pelo início de uma mudança de postura de alguns arquitetos, e o surgimento do denominado ‘Desenvolvimento Sustentável’” (MIANA, 2005, p.44).

As estruturas que, em um entorno determinado, reduzem tensões desnecessárias aproveitando todos os recursos naturais que favorecem o conforto humano, são estruturas ‘climaticamente equilibradas’. A estabilidade perfeita raramente pode ser alcançada, é possível somente em circunstâncias ambientais excepcionais, mas o processo lógico deve ser trabalhar com as forças da natureza e não contra elas, aproveitando suas potencialidades para criar condições de vida adequadas (OLGYAY, 1963, p.10).

Um arquiteto brasileiro que explora primorosamente as relações entre a arquitetura e o meio-ambiente é João Filgueiras Lima (Lelé). De acordo com Perén (2007, p.32), ‘em visita à Europa, Lelé abstraiu a essência das tecnologias que lá se desenvolviam e, com um olhar consciente à realidade social do Brasil – e de seu clima – desenvolveu uma tecnologia própria, adaptada ao país. (...) As preocupações climáticas fazem parte de sua filosofia e, conseqüentemente, de sua postura projetual.’

Ele foi capaz de desenvolver ao longo de sua carreira uma obra única, mesmo no contexto internacional, extremamente ligada a dois aspectos básicos da construção: o clima e a pré-fabricação (Ekerman, 2005).



Fig. 47 – Hospital Sarah Kubitschek, Salvador, Projeto do arquiteto João Filgueiras Lima
Fonte: Perén, 2007, p.187.

3 OS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR

Os dispositivos verticais e horizontais de proteção solar são apontados por Laar (2001, p.1321) como “soluções óbvias da adaptação da arquitetura moderna desenvolvida em climas moderados, quando aplicada a climas com insolação particularmente alta”. Rivero (1985) concorda com essa afirmação, ao destacar que a função essencial do dispositivo de proteção solar é o controle do ganho de calor a partir da radiação solar.

Já Gutierrez e Labaki (2005, p.865) fazem uma descrição mais completa dos protetores solares e seu funcionamento, afirmando que

a função primordial desses elementos é impedir que a incidência da radiação solar direta atinja as superfícies verticais da edificação, principalmente as transparentes ou translúcidas, interceptando os raios solares. Desta forma, atua no controle e redução do ganho de calor solar, pois promove o sombreamento das superfícies por eles protegidas, dependendo fundamentalmente da orientação da fachada. Possui também funções secundárias como o controle do excesso de luminosidade, característico de regiões de climas quentes. Outros aspectos que também sofrem influência desses elementos são: a visibilidade para o exterior e a ventilação da edificação.

3.1 TIPOS DE PROTETORES SOLARES

Os protetores solares se tornaram parte da linguagem universal da arquitetura moderna. Eles possibilitavam a adaptação dos edifícios às hostilidades do clima, por meio da utilização de um elemento puro, abstrato, tecnicamente projetado, ou seja, um elemento que condizia com os princípios arquitetônicos da época (ATEM; BASSO, 2005, p.30).

Olgyay e Olgyay (1957) afirmam que “através dos protetores solares, conhecidos como *brise-soleil*, a arquitetura teria superado o estágio do funcionalismo ortodoxo, com formas de maior caráter plástico”. A utilização de protetores solares viabilizou o uso abundante dos panos de vidro contínuos e transparentes nas fachadas, pois permitia o aproveitamento da iluminação natural, da integração visual do interior com o exterior e, simultaneamente, evitava a incidência direta dos raios solares nos vidros, bem como os ganhos térmicos por ela ocasionados.

Bruand (1997, p.12) aponta características peculiares oferecidas pela incorporação dos protetores solares ao repertório do modernismo arquitetônico brasileiro:

Capaz de se prestar a composições tão engenhosas quanto variáveis, este elemento, concebido originalmente com finalidade puramente prática, transformou-se num meio de expressão plástica que marcou profundamente a arquitetura brasileira contemporânea.

De fato, as possibilidades compositivas, a partir dos princípios de criação dos protetores solares, são inúmeras, podendo ser adequadas para cada região e estilo arquitetônico.

O controle do clima não constitui situação direta de causa e efeito em relação à forma, nem mesmo nas arquiteturas primitivas (MAHFUZ, 1995). Olgyay e Olgyay (1957) destacam que a expressão criativa pode dominar totalmente o processo de projeto dos protetores solares, porque entre as muitas possibilidades tecnicamente corretas pode-se ter uma infinidade de soluções plásticas diferenciadas.

Alguns modelos de proteção deixam o ar penetrar no interior do ambiente, provendo uma eficiente ventilação, como é o caso dos elementos vazados. Outros, quando a malha é suficientemente fina, podem dar privacidade a quem está no lado interno. As lâminas que compõem os protetores podem ser agrupadas ou bem distantes, permitindo controle da visibilidade que se tem do interior para o exterior e vice-versa.

Existem elementos totalmente geométricos, verticais, horizontais, ou uma combinação de ambos. Outros são fluidos e provêm de uma luminosidade rica em efeitos. Algumas vezes são agrupados a outros elementos como ocorreu no Brasil, no início do movimento moderno, quando os velhos muxarabis ficavam lado a lado às lâminas dos protetores com linhas modernas, chamados de *brise-soleil*, ou, ainda, quando foram combinadas varandas e protetores solares (BRUAND, 1997, p.56). Enfim, podem transformar as fachadas em verdadeiras esculturas, se bem aproveitados os jogos de luz e sombra que podem ser criados.

Os motivos são variados, porém, como explica Atem (2003, p.51), devem estar sempre subordinados ao sol, seus movimentos, alturas e azimutes, e levar em conta a latitude, localização e orientação da fachada a ser protegida. Eles podem expressar um caráter espacial forte, adicionar novos elementos ao vocabulário arquitetônico através de composições variadas, relações geométricas, diversidade e movimento, mas não podem colocar em risco a salubridade, a iluminação interna e o conforto térmico dos ambientes internos. Aliás, muitos foram os arquitetos que exploraram somente as características plásticas dos dispositivos de proteção solar, esquecendo-se mesmo de seus objetivos primordiais.

Os protetores solares podem ser classificados quanto à movimentação - móveis e fixos - e quanto à posição que ocupam nas fachadas - ser verticais, horizontais ou mistos.

Outros critérios podem ainda classificar os diferentes tipos de protetores solares, de acordo com a forma de controle solar que apresentam. Eles podem ser negativos, quando simplesmente excluem o sol, seletivos, quando admitem o sol nas horas do dia e épocas do ano em que é desejado ou excluindo-o, caso possa contribuir para o superaquecimento, ou ainda ajustáveis, quando permitem ampla liberdade de controle. O tamanho e a estrutura física do dispositivo de proteção não têm qualquer importância do ponto de vista geométrico, pois diferentes soluções formais podem oferecer uma mesma eficiência. Esta característica proporciona aos arquitetos plena liberdade de seleção da forma final após determinar o período em que a proteção é desejada e a correspondente máscara de sombra (SZOKOLAY, 1978).

3.1.1 Verticais

Protetores solares verticais (Figura 47) são placas situadas perpendicularmente em relação ao plano horizontal da fachada.

Para a maior parte das latitudes existentes no Brasil, os protetores verticais fixos apresentam maior eficiência nas fachadas em que o posicionamento aparente do sol é oblíquo à fachada, especialmente nas horas próximas à aurora e ao alvorecer. Nas fachadas leste e oeste, grande parte da incidência está localizada no trecho próximo à perpendicular da fachada, por isso os protetores verticais apresentam pouca ou nenhuma eficiência, dependendo da época do ano.



Fig. 47 – Exemplo de edifício com protetor solar vertical, São Carlos - SP.

Os protetores solares verticais dependem da variação do azimute solar em seu movimento no horizonte. No Hemisfério Sul, orientações norte e sul, eles protegem no início e no final do dia, ou seja, quando o sol está mais próximo do horizonte.

Quanto ao espaçamento entre os protetores verticais, Bittencourt, Mello e Ferreira (1999, p.6) descrevem que “investigando os protetores solares verifica-se que o espaçamento

entre eles influencia a intensidade e distribuição da luz natural no interior do ambiente, principalmente quando combinados com refletâncias claras proporcionando acréscimos de até 30% nos níveis de iluminância, em comparação com os pintados em cores escuras”.

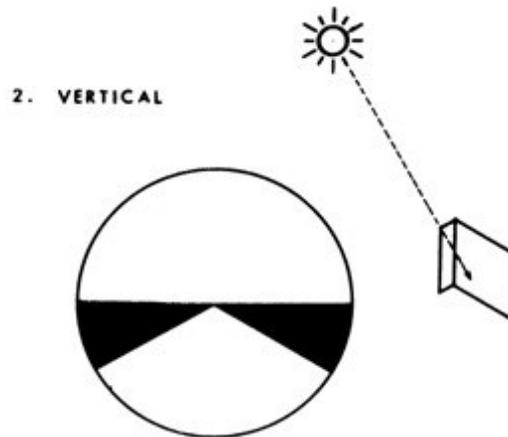


Fig. 48 – Protetor solar vertical com respectiva máscara de sombra.
Fonte: OLGAY; OLGAY (1957, p.48).

Na figura 48 pode-se ver um exemplo de protetor solar vertical com a máscara de sombra por ele proporcionada.

3.1.2 Horizontais

Protetores solares horizontais (Figura 49) são placas cujos eixos horizontais estão paralelos à fachada a ser protegida e também ao plano horizontal (BITTENCOURT, 2000, p.52).



Fig. 49 – Exemplo de fachada com protetor solar horizontal,
Agência da Caixa Econômica Federal em Curitiba – Pr.

Os protetores horizontais são mais eficientes nas horas do dia e épocas do ano em que o sol apresenta maiores alturas, ou seja, quando está mais alto na abóbada. Em contrapartida são pouco eficientes nas primeiras e últimas horas do período diurno. Quando se utiliza protetores horizontais para obstruir raios solares em horários próximos ao nascer e pôr-do-sol,

eles normalmente acarretam obstrução da visibilidade exterior, redução da luminosidade e bloqueio da ventilação.

Algumas vezes o simples prolongamento do beiral pode eliminar a necessidade de um projeto específico, pois o próprio beiral pode funcionar como um protetor horizontal (Figura 50).

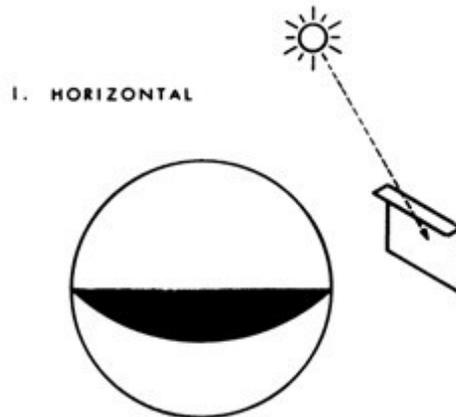


Fig. 50 – Protetor solar horizontal com respectiva máscara de sombra.
Fonte: OLGAYAY; OLGAYAY (1957, p.48).

3.1.3 Mistos

Protetores solares mistos são originados pela combinação ou utilização simultânea de protetores verticais e horizontais (Figura 51). Em muitos casos os protetores mistos se apresentam como os mais indicados, pois se complementam com muita eficiência.

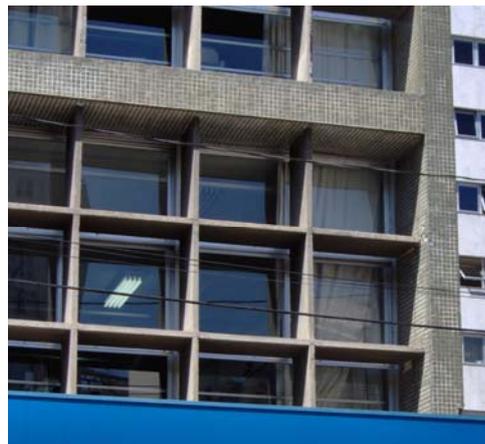


Fig. 51 – Protetor solar misto, com placas verticais e horizontais conjugadas, Edifício do Instituto Nacional do Seguro Social em Curitiba-PR.

A máscara de sombra originada por protetores solares combinados resulta da combinação da máscara dos componentes horizontais e verticais (Figura 52).

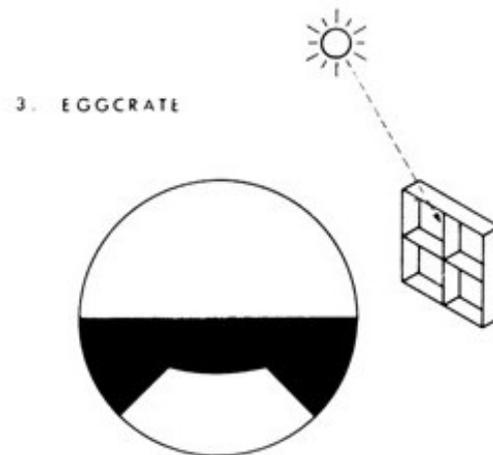


Fig. 52 – Protetor solar misto, com placas verticais e horizontais conjugadas e respectiva máscara de sombra.
Fonte: OLGAYAY; OLGAYAY (1957, p.48).

3.1.4 Quanto à localização

Para Rivero (1985) os protetores solares podem ser classificados em internos (Figura 53) ou externos (Figura 54).



Fig. 53 – Exemplo de protetor solar interno, auditório do Campus de Ciências Agrárias – UFPR em Curitiba- PR.

De acordo com Frota e Schiffer (2001, p.46)

a proteção externa normalmente tende a ser mais eficiente, posto que barra a radiação solar antes de sua penetração por transmissividade através do material. Porém, como a proteção solar é projetada segundo a especificidade de cada edifício, de acordo com sua localização, função e orientação, há casos em que a proteção interna pode ser mais adequada.

As vantagens de utilização dos protetores internos e externos foram discutidas mais extensamente no item 2.6.1.



Fig. 54 – Exemplo de protetor solar externo, Funicolare - Stazione di Montesanto, Nápoles, Itália.

3.1.5 Quanto à mobilidade

Um outro critério de classificação dos tipos de protetores solares diz respeito à sua mobilidade, sendo eles divididos em móveis (Figura 55) e fixos (Figura 56).



Fig. 55 – Protetores solares móveis, aeroporto de Madri – Barajas, Espanha, Projeto do arquiteto Richard Rogers.

Os protetores móveis são mais eficientes uma vez que podem ser ajustados em função da variação dos raios solares, ao longo do ano e até mesmo das horas do dia. No entanto, esses protetores normalmente são mais caros que os fixos que atendem às mesmas necessidades.

Os *brises* móveis são constituídos por lâminas flexíveis que podem acompanhar o movimento do sol e satisfazer a necessidade dos usuários de mais ou menos luz natural. São especialmente úteis para as radiações solares com grandes ângulos de incidência. Seus sistemas de controle devem ser de fácil utilização permitindo o acompanhamento da inclinação dos raios solares ao longo do dia ou para as diferentes estações do ano (GIVONI, 1998).

De acordo com Bruand (1997, p.3)

teoricamente o *brise-soleil* móvel, que pode ser orientado conforme muda a posição do sol, é a melhor solução, porque assegura a máxima visibilidade exterior e regula ou combate convenientemente a incidência dos raios solares. Contudo, quando

avariado, pela falta de manutenção correta dos equipamentos, essa vantagem se transforma em inconveniência.

Os protetores solares fixos, que podem até mesmo ser parte integrante da estrutura do edifício, não exigem qualquer cuidado especial, sendo normalmente mais econômicos que os móveis. Eles são particularmente indicados para fachadas com orientação norte, onde algumas lâminas bem dispostas protegem as dependências de uma excessiva insolação, preservando uma perfeita visão para o exterior (BRUAND, 1997, p.3).



Fig. 56 – Protetores solares fixos,
Centro Integrado de Diagnóstico por Imagem da Santa Casa de São Carlos-SP.

Os protetores solares fixos normalmente são constituídos de sistemas de fácil instalação e manutenção, além de normalmente serem mais baratos. Normalmente se aponta como vantagem dos *brises* fixos o fato de que eles são ajustados segundo estudos prévios, dispensando a intervenção de pessoas que muitas vezes não acertam a inclinação adequada do protetor móvel. Além disso, é possível estender seus efeitos aos fechamentos opacos, como acontece algumas vezes com beirais, ao serem criados espaços protegidos da chuva (RIVERO, 1985, p.103).

3.1.6 Quanto ao tamanho e abrangência

De acordo com Maragno (2001, p.6), os elementos de grande escala, que constituem parte integrante da própria estrutura da construção, podem ser combinados com outros elementos. São mais duráveis e requerem menos manutenção. Já os elementos de pequena escala tendem a ser mais frágeis, requerem mais manutenção e, eventualmente, precisam ser substituídos total ou parcialmente. Podem ser adicionados posteriormente a uma edificação, mas devem, preferencialmente, fazer parte do conceito inicial do projeto. Quanto aos elementos de escala média, não são grandes o suficiente para emoldurar janelas nem pequenos o suficiente para configurar uma textura única, além de tenderem a obstruir a visão. Seu uso,

como um segundo envoltório, tende a determinar a linguagem predominante na concepção do edifício.

3.1.7 Quanto à cor

De acordo com Givoni (1981), para elevar a eficiência dos protetores solares o ideal seria a utilização de cores escuras, principalmente o preto. Considerando que as cores escuras possuem um coeficiente de absorção elevado, assim também será sua emissividade. O *brise-soleil* negro funcionaria bem na proteção de superfícies transparentes e translúcidas, pois emitiria as radiações absorvidas em onda longa, para as quais esses materiais são opacos. Rivero (1985) aponta na direção contrária, afirmando que, a melhor eficiência é obtida com a utilização de protetores de cores claras, com alto índice de reflexão, pois deixam de absorver o calor em função do aumento da parcela refletida. Para países como o Brasil, onde a utilização de protetores solares nas aberturas visa diminuir os ganhos térmicos, a opinião de Rivero (1985) está mais adequada, uma vez que refletindo radiação para o exterior os protetores deixam de absorver e, conseqüentemente, reemitir. Nesse caso, a limpeza dos dispositivos de proteção solar é essencial para assegurar sua eficácia.

3.1.8 Outros tipos de protetores solares

Alguns tipos de protetores solares recebem denominação particular. Maragno (2001, p.4) cita, por exemplo, os cobogós ou combogós (Figura 57), que são, na verdade, protetores solares combinados em escala reduzida, funcionando como filtro de excesso de luz natural sem impedir a ventilação e a visibilidade do exterior.

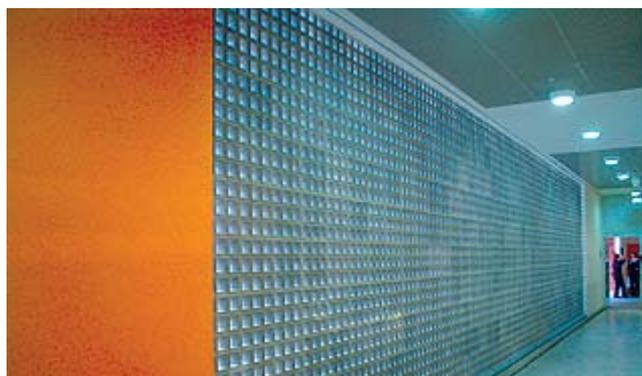


Fig. 57 – Parede em cobogó, Campus USP Leste.
Fonte: MELENDEZ (2005).

Outro exemplo são as prateleiras de luz, também conhecidas como *lightshelf*. Elas são constituídas por uma lâmina horizontal com a face superior refletora em cor clara dividindo

uma janela em duas partes, uma superior destinada à iluminação e uma inferior destinada à visibilidade e à ventilação.

As prateleiras de luz funcionam como protetores solares horizontais, impedindo que a radiação solar direta atinja o interior das edificações. Ao mesmo tempo, elas redirecionam parte da radiação incidente, refletindo-a para o forro (Figura 58).



Fig. 58 – Prateleiras de luz na Nova Escola de Engenheiros Industriais, em Sevilha.
Fonte: MELENDO (2004).

Os pergolados também são exemplos de protetores solares, comumente utilizados em países mediterrâneos, que recebem denominação especial. Normalmente são utilizados em áreas abertas, para diminuir a incidência de radiação solar em espaços de descanso e lazer. Também é comum a utilização de pergolados como base para plantas trepadeiras (Figura 59), o que atenua ainda mais a incidência solar.



Fig. 59 – Exemplo de pergolado com vegetação, Residência em Capri, Itália.

As venezianas são protetores solares de pequena escala frequentemente empregados em edifícios residenciais, normalmente protegendo fechamentos transparentes em fachadas de dormitórios (Figura 60).



Fig. 60 – Veneziana, Edifício residencial em Roma, Itália.

3.2 OS PROTETORES SOLARES COMO ELEMENTOS DE COMPOSIÇÃO ARQUITETÔNICA

O conceito de composição arquitetônica utilizado neste trabalho foi dado por Maragno (2001, p.5), e trata do “arranjo das partes para a obtenção de um todo, sendo o *brise-soleil* como uma das referidas partes do edifício, analisado em sua participação na definição formal geral”. Mahfuz (1995) reforça essa idéia definindo o ‘todo’ como um objeto construído por partes em que essas estão organizadas por meio de algum princípio reconhecível e apresentam relações ativas com seus contextos.

A metodologia de análise desenvolvida por Maragno (2001, p.5), e que será realizada para desenvolvimento das análises que serão realizadas no prosseguimento desse trabalho, propõe a classificação dos protetores solares como elementos compositivos segundo os aspectos que serão detalhados a seguir.

3.2.1 Escala dimensional

Quanto à escala dimensional, os protetores são analisados de acordo com a classificação utilizada por Maragno (2001):

Grande escala ou escala do edifício como beirais, protetores horizontais simples e duplos, prateleiras de luz, verticais fixos, vigas, etc;

Média escala como protetores horizontais e verticais múltiplos, fixos ou móveis;

Pequena escala ou escala dos componentes, como pequenos protetores verticais fixos ou móveis, cobogós e venezianas.

3.2.2 Incorporação ao conjunto arquitetônico

Elemento integrado ao todo ou elemento adicionado ao todo, existindo entre os dois extremos um grande número de interpolações possíveis quanto ao maior ou menor grau de

integração. Os conceitos de integração ou adição referem-se, neste estudo, às características plástico-formais e não propriamente à constituição físico-estrutural do edifício.

3.2.3 Posicionamento em relação ao alinhamento da fachada

Podendo estar à frente (saliente), recuado e no alinhamento. Há a possibilidade de o protetor acompanhar a projeção avançada da cobertura, constituindo uma galeria sombreada (Figura 61).



Fig. 61 – Protetores à frente do alinhamento da fachada, Cia Jardim do Café, Rino Levi, 1943.
Fonte: SERAPIÃO (2001).

3.2.4 Abrangência espacial

Individual, sobre uma única abertura; coletiva, protegendo um grupo de aberturas (compreendendo um conjunto que pode ser, por exemplo, de um pavimento, de um grupo de pavimentos ou de toda uma fachada).

3.2.5 Configuração geométrica

Painéis, faixas, linhas, ou mesmo formando uma circulação sombreada, como nas *loggias* (Figura 62).



Fig. 62– Loggia na Piazza Plebiscito, Nápoles-IT.

3.2.6 Importância na composição arquitetônica

Sem participação destacada; constituindo um detalhe de valorização (ou mesmo de não valorização) da fachada; como um elemento predominante na composição; caracterizando totalmente o edifício constituindo sua principal expressão plástico-funcional.

3.3 ESTUDOS DA EFICIÊNCIA DOS PROTETORES SOLARES

De acordo com Gutierrez e Labaki (2005, p.866)

a eficiência do *brise-soleil* depende do local, clima, orientação, tipologia, material e período para o qual foi projetado. As avaliações relativas à eficiência dos dispositivos de proteção solar são abordadas basicamente de três formas: geometria de insolação, simulações com softwares, e práticas experimentais em campo ou em laboratório. Um método menos usual é o balanço térmico de radiação e dados climáticos. As pesquisas com enfoque na geometria solar são as mais utilizadas, e os métodos gráficos para a determinação de sua eficiência os mais estudados.

O estudo da eficiência dos dispositivos de proteção solar por meio da geometria da insolação foi realizado por diversos autores e está relacionado, basicamente, com a correta especificação de acordo com a orientação das fachadas em uma determinada latitude.

O trabalho desenvolvido por Olgyay e Olgyay (1957), que inclui um método prático para projeto e dimensionamento dos protetores, ainda hoje é considerado um dos estudos mais importantes sobre proteção solar e o uso dos protetores solares. O método é baseado na resposta a três questões preliminares: quando, onde e como proteger da radiação solar. Largamente aplicado, esse método divide-se em quatro passos: determinação dos períodos de sombra necessária; determinação da posição do sol nesses períodos; determinação do tipo e posição dos protetores; projeto e dimensionamento a partir de máscaras de sombra. Os autores dividem os protetores solares em apenas três categorias: horizontais, verticais e combinados, podendo-se gerar inúmeras outras possibilidades combinando-os entre si.

Quanto aos estudos desenvolvidos com a utilização de programas computacionais, de acordo com Gutierrez e Labaki (2005, p.866) “diferentes softwares são utilizados em simulações para a avaliação da eficiência do *brise-soleil* (...) São programas que abordam desde a geração de tipologias, dimensionamento dos dispositivos para determinadas condições até simulações que quantificam o fluxo térmico e a disponibilidade de luz natural no ambiente”.

Alguns dos softwares citados na literatura são ‘Luz do Sol’ (RORIZ, 1995), ‘*Analysis SOL-AR*’ (LAMBERTS; MACIEL, 2006), ‘Radiação’ (CORBELLA; CASTANHEIRA, 2001), ‘Insolação’ (SANTOS NETO, 1995) e ‘FSM’ (CASTANHEIRA; CORBELLA, 2005).

Poucos estudos sobre a eficiência de protetores solares são realizados por meio de estudos de campo ou mesmo de medições em laboratórios, o que dificulta o estabelecimento de uma metodologia padrão para esse tipo de avaliação. Sobre isso, Gutierrez e Labaki (2005, p.866) relatam que “as pesquisas realizadas em campo normalmente adotam parâmetros de medição baseados em experiências que testam o comportamento de outros elementos construtivos, como as coberturas, vidros e painéis de vedação, coletando dados quantitativos e efetuando análises comparativas entre os elementos ensaiados”.

Os métodos de avaliação da eficiência de dispositivos de proteção solar por meio de cálculos são feitos basicamente de duas formas: determinação da contribuição do sombreamento no balanço térmico da edificação ou determinação do sombreamento desejável.

3.4 ESTADO DA ARTE DA PROTEÇÃO SOLAR NO BRASIL

Podem ser encontrados alguns estudos realizados recentemente no Brasil sobre projeto e eficiência de dispositivos de proteção solar. Na maior parte destas pesquisas a análise é feita por meio do estudo da geometria de insolação. Os principais trabalhos nessa área foram desenvolvidos por Frota e Schiffer (1987), Bittencourt (2000), Maragno (2001) e Atem e Basso (2005). Nos trabalhos desenvolvidos por Góes (2001), Corbella e Castanheira (2001) e Castanheira e Corbella (2005), a eficiência dos protetores é analisada por meio de softwares. Miana e Caram (2005) e Gutierrez e Labaki (2005) desenvolveram estudos experimentais da eficiência de protetores solares. Por fim, o trabalho desenvolvido por Dutra, Lamberts e Pereira (1995) realiza a análise de eficiência de dispositivos de proteção solar por meio de cálculos.

Apesar de existirem alguns estudos recentes sobre o uso de protetores solares no Brasil, eles ainda não possuem uma sistematização. Um ponto recorrente nos estudos encontrados, independentemente da metodologia utilizada para análise, é a justificativa de que o Brasil é um país de clima essencialmente quente, e que conseqüentemente deve ter fechamentos transparentes protegidos da radiação solar direta é um ponto recorrente nos estudos encontrados, independente da metodologia utilizada para análise.

3.4.1 Geometria de insolação

O trabalho desenvolvido por Frota e Schiffer (1987) considera a orientação das fachadas, os períodos de sombreamento necessário, a carta solar local e o dimensionamento dos dispositivos de proteção solar com o uso do transferidor auxiliar para determinação das

máscaras de sombra. A funcionalidade do protetor solar para a radiação solar direta é avaliada em termos de eficiência total, parcial ou nula. A máscara de sombra é sobreposta à carta solar local, e, com base nisso, é determinado o atendimento ou não do período de proteção proposto. Este trabalho não avalia protetores, apenas sugere um método de projeto que pode ser utilizado para análises de eficiência.

Bittencourt (2000) realiza um trabalho que sintetiza informações sobre os protetores solares. Essas informações vão desde a verificação da necessidade de proteção, passando pela utilização dos gráficos solares para o projeto dessa proteção, até orientações quanto à escolha dos protetores solares adequados para cada necessidade. Trata-se de uma reunião de diretrizes de projeto e sugestões, mas o autor não realiza análise de protetores, apenas expõe uma metodologia de projeto.

Maragno (2001) estuda a utilização de protetores solares na arquitetura, analisando as relações entre sua eficiência ambiental e participação no resultado plástico e formal dos edifícios, a partir da análise de exemplares da arquitetura de Campo Grande – MS. A análise de eficiência dos dispositivos é feita com base em diagramas de sombra feitos para cada protetor, com utilização de software específico. De acordo com Maragno (2001, p.8), “em Campo Grande o *brise-soleil* vem sendo empregado com razoável frequência na arquitetura considerada referencial, aquela de reconhecida qualidade de projeto ou importância programática que caracterizam as obras mais significativas, mas, de maneira ainda incipiente na arquitetura coloquial”. O trabalho apresenta grande contribuição à discussão dos protetores solares utilizados com eficiência e plasticidade na composição das fachadas e até mesmo dos edifícios como um todo.

Atem e Basso (2005) desenvolvem um estudo sobre a eficiência dos protetores solares utilizados pelo arquiteto Vilanova Artigas em projetos realizados na cidade de Londrina-PR. Primeiramente é feita uma caracterização climática da cidade, com utilização das tabelas de Mahoney, em conjunto com o Projeto de Norma de Conforto Térmico (ABNT/NBR 15220, 2003), a fim de se estabelecer a proteção adequada para cada fachada nas diferentes épocas do ano. É verificada a diferença de fluxos de calor em um ambiente padrão com e sem protetores solares nas aberturas, com a utilização do software computacional *Arquitrop* 3.0¹³. Depois disso são cruzados os dados obtidos com as diferentes ferramentas para determinar a proteção ideal para cada fachada e época do ano. Por fim, os protetores solares empregados nos edifícios previamente selecionados são comparados com as necessidades de proteção

¹³ BASSO, A.; RORIZ, M. **Arquitrop**: conforto ambiental e economia de energia. Versão 3.0. São Carlos: Universidade de São Carlos, 1989.

encontradas e com os protetores ideais estabelecidos. A conclusão é de que os protetores analisados não foram projetados apenas por funções estéticas, mas para proporcionar sombreamento das fachadas. Entretanto, alguns deles não atendem corretamente às necessidades. A metodologia empregada neste trabalho é um pouco confusa. Utiliza diversas ferramentas para determinar os períodos em que a radiação solar direta deve ou não ser impedida de incidir nos fechamentos transparentes, revelando certa insegurança em relação ao que realmente deve ser considerado para isso.

3.4.2 Simulações com softwares

Góes (2001) critica os estudos de protetores solares que consideram apenas informações geométricas, ignorando massa, densidade, cor ou mesmo mobilidade dos elementos. Para o autor 'um sistema adequado para o atendimento às demandas apontadas deve englobar: a simulação geométrica completa (incluindo condições de mobilidade), e simulação termo física, considerando os dados climáticos locais e dados térmicos dos elementos envolvidos' (GÓES, 2001, p.346).

A solução proposta com este trabalho é o programa '*Radbrise*' que calcula os ganhos térmicos diários do edifício. Para isso são consideradas as áreas que efetivamente recebem insolação e a refletividade dos planos receptores da janela e dos anteparos (estes passíveis de mobilidade). Concluindo este estudo o autor afirma que o tratamento da proteção solar externa dos edifícios sofreu um processo involutivo na produção arquitetônica carioca, excetuando-se iniciativas isoladas de caráter regional. Apesar de considerar tantas variáveis na análise dos protetores com utilização do software, não é feita nenhuma medição a fim de verificar a real validade dos dados apresentados como resultados.

Corbella e Castanheira (2001) realizam estudos sobre a necessidade de proteção das fachadas orientadas na direção sul nas latitudes entre 10° e 35°. Por meio de simulações feitas com o programa '*Radiação*'¹⁴, foi obtido o valor de radiação incidente para as fachadas norte, sul, leste e oeste. Esses valores foram, então, comparados e foi verificada a necessidade de se proteger a fachada sul, porque, no verão, para as latitudes consideradas, ela recebe mais insolação que a fachada norte. Este trabalho é de grande relevância, uma vez que, nas latitudes sul existe a crença generalizada de que fachadas de orientação sul podem ser totalmente envidraçadas porque não recebem insolação. Essa informação não é verdadeira,

¹⁴ CASTANHEIRA, R.G. radiação solar incidente em planos inclinados, fachadas e telhados no Rio de Janeiro. 2001. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) FAU, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

observando-se a carta solar referente à latitude de Curitiba (Figura 21, p.38) pode-se observar que nos meses de novembro, dezembro e janeiro a orientação sul recebe insolação durante quase todo o dia.

Castanheira e Corbella (2005) apresentam outra ferramenta computacional, chamada *FSM*, desenvolvida para analisar o comportamento do ‘ganho solar’¹⁵ nas janelas e fachadas envidraçadas dos edifícios. Essa ferramenta visa permitir aos projetistas a análise do comportamento das superfícies envidraçadas com orientações e inclinações genéricas, em relação à radiação solar. São avaliados o comportamento dos vidros e o ganho solar por meio dessas superfícies. Trata-se de uma ferramenta complementar ao processo de projeto e de análise de eficiência de protetores, no entanto, a verificação do software por meio de medidas realizadas em condições semelhantes às simuladas pelo programa não é realizada.

3.4.3 Práticas experimentais

Gutierrez e Labaki (2005) desenvolveram, na cidade de Campinas-SP, um estudo experimental para avaliar o desempenho térmico de três tipologias de protetores solares fixos: horizontal, vertical e combinado. A metodologia utilizada é baseada em pesquisas de desempenho térmico de elementos e componentes construtivos realizadas em protótipos. Os dispositivos foram instalados e monitorados nas fachadas norte e oeste. Em cada orientação foram realizadas medições durante uma semana, em períodos próximos aos equinócios e solstícios. Nesses ensaios, os resultados mostraram uma redução pontual de até 4,14°C na temperatura interna, com utilização de protetores solares. O melhor desempenho térmico foi obtido no protótipo com protetores verticais e horizontais combinados. O protetor vertical fixo, perpendicular à fachada, apresentou os piores resultados na fachada oeste, o que as autoras relacionaram a eventuais problemas ocorridos na medição. Apesar dos autores afirmarem que o resultado não fosse esperado, ele é correto, porque protetores verticais fixos, quando instalados perpendicularmente à fachada, não protegem a maior parte do tempo em que ela está exposta à insolação direta. Isso ocorre porque a trajetória solar é frontal à fachada.

Miana e Caram (2005) realizaram estudos experimentais, comparando o desempenho de cinco tipos de protetores solares feitos de vidro, instalados em células de teste idênticas sob as mesmas condições. Foram monitoradas seis células de teste com protetores nas fachadas norte e oeste: uma com abertura envidraçada, mas sem proteção nenhuma; quatro com vidros

¹⁵ Termo utilizado pelos autores no referido trabalho.

de diferentes tipos, espessuras e cores; e uma com protetor opaco metálico, *aeroscreen* fabricado pela *Hunter Douglas*. A conclusão das autoras foi de que os protetores transparentes, quando dimensionados corretamente e selecionado o tipo de vidro adequado para a sua função, contribuem positivamente para o desempenho térmico da edificação. Também foi destacada a importância da escolha do vidro, de acordo com suas características ópticas, para a eficiência dos protetores.

3.4.4 Cálculo de balanço térmico

Dutra, Lamberts e Pereira (1995) apresentam um método de cálculo para obtenção do Fator de Ganho Térmico Solar Desejável em aberturas, que visa auxiliar no projeto de uma abertura bem como na escolha da proteção solar adequada, objetivando “uma arquitetura mais eficiente sob o ponto de vista do conforto térmico e do consumo de energia” (DUTRA; LAMBERTS; PEREIRA, 1995, p.359). O método foi desenvolvido por Dutra¹⁶ para tentar vencer as limitações dos métodos anteriores: por considerar a temperatura interior para analisar a necessidade de sombra ou sol; quantificar a necessidade de sombras para estabelecer os níveis de conforto no ambiente; e usar dados climáticos no formato TRY para estudar o fator solar diário. Os dados obtidos são apresentados em histogramas de frequência e de ocorrência para cada estação do ano, para que sejam vistos “de forma mais significativa como ferramenta de auxílio ao projeto” (DUTRA; LAMBERTS; PEREIRA, 1995, p.363).

3.4.5 Conclusões

Embora os protetores solares sejam objeto de pesquisa com diversos métodos diferentes, como se pôde verificar na compilação apresentada, não existe uma sistematização das pesquisas. Existem diversas tentativas de identificar os momentos em que a incidência de radiação solar direta é ou não desejada, entretanto, não foi encontrado trabalho com medição realizada neste sentido.

Sendo assim, como pretende-se neste trabalho apenas verificar a eficiência dos protetores, seria necessário ter uma definição dos períodos em que a insolação é ou não desejada. Na ausência desses dados na bibliografia, e em virtude das limitações de tempo e de recursos para realização desta pesquisa de mestrado, optou-se por selecionar edifícios em que a incidência de radiação solar diretamente sobre os fechamentos transparentes seja sempre indesejada.

¹⁶ DUTRA, L. Uma metodologia para a determinação do fator solar desejável em aberturas. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil), PGEC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1994.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto adequado de um protetor solar deve considerar fatores como: eficiência, forma, material, ventilação, visibilidade, durabilidade, custos de instalação e manutenção, entre outros. Neste trabalho são analisadas apenas a eficiência e a forma dos protetores e as relações entre ambas.

No conceito de eficiência utilizado neste trabalho os protetores solares devem projetar sombra nas aberturas durante todo o período de ocupação dos edifícios. A análise da eficiência é feita graficamente com uso de cartas solares e transferidores de sombra realizados com utilização de softwares específicos.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1.1 Localização

A decisão de analisar edifícios encontrados na cidade de Curitiba-Pr se deve a esta ser a capital brasileira onde são registradas as temperaturas médias mais baixas no decorrer do ano. Dessa forma pretende-se destacar a necessidade de proteger as aberturas da incidência de radiação solar direta mesmo quando se pode pensar que não seja necessário.

Curitiba é a capital do estado do Paraná, um dos três que compõem a Região Sul do Brasil. Está localizada no primeiro planalto paranaense, sob as coordenadas de latitude 25°25'48"S e longitude 49°16'15" (Figura 63). Garcia e Martiñon (1997, p.35) classificam a zona onde está situada a latitude de Curitiba como temperada, que compreende as latitudes entre os Trópicos (23°27'N e 23°27'S) e os Círculos Polares (66°33'N e 66°33'S). Nas latitudes situadas nessa zona temperada a tendência é que sejam registradas temperaturas mais baixas que nas zonas tropicais¹⁷ e mais altas que nas zonas polares.

¹⁷ Ver descrição das zonas climáticas de Garcia e Martiñon (1997) no item 2.6.

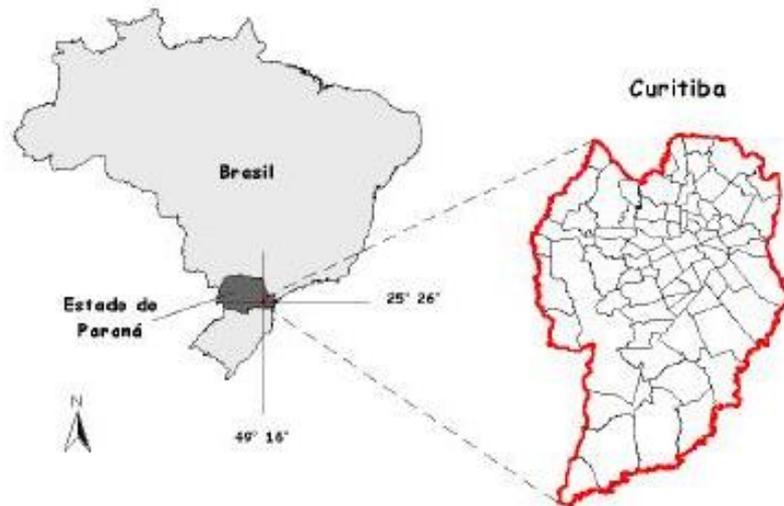


Fig. 63 – Localização da cidade de Curitiba.
Fonte: VERÍSSIMO; MENDONÇA (2004, p. 3).

Cerca de 52% do território do Paraná encontram-se acima de 600m de altitude e 89% acima de 300m; somente 3% ficam abaixo de 200m. O relevo é plano e levemente ondulado, com fortes elevações na Serra do Mar. Cinco unidades de relevo se sucedem de leste para oeste, na seguinte ordem (Figura 64): baixada litorânea; Serra do Mar; planalto cristalino (ou Planalto de Curitiba); planalto paleozóico (ou Planalto de Ponta Grossa); planalto basáltico (ou Planalto de Guarapuava).



Fig. 64 – Mapa de relevo do Estado do Paraná
Fonte: RELEVO (2007).

Em razão da proximidade do mar (cerca de 70 quilômetros da cidade), a maritimidade tem grande influência no clima de Curitiba. Ela é responsável por suavizar as ondas de frio do inverno e evitar dias de calor intenso no verão, além de tornar a cidade bastante úmida. Praticamente em todos os dias a umidade relativa do ar supera os 90% (CURITIBA, 2001).

4.1.2 Caracterização climática

O clima de Curitiba, segundo a classificação de Köppen é do tipo **Cfb**, clima temperado marítimo úmido.

A letra ‘**C**’ indica climas mesotérmicos, ou seja, com temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C e superior a -3°C e ao menos um mês com média igual ou superior a 10°C.

A letra ‘**f**’ indica clima sempre úmido, com precipitação superior a 60mm no mês menos chuvoso. O mês menos chuvoso em Curitiba é agosto, e a precipitação total média nesse mês é de 74,5mm (BRASIL, 1992, p.53)

Por fim, a letra ‘**b**’ indica verões brandos, em que a temperatura média do mês mais quente não ultrapassa 22°C.

Em Curitiba encontram-se temperaturas mais elevadas nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, quando a quantidade de energia solar disponível é maior e predomina a atuação de sistemas atmosféricos intertropicais; e temperaturas mais baixas nos meses de junho, julho e agosto, quando a energia solar disponível é menor e predomina a atuação dos sistemas atmosféricos polares. Associada a isso, a situação topográfica assegura à cidade um caráter de clima mesotérmico úmido com verão quente (VERÍSSIMO; MENDONÇA, 2004, p.4).

Monteiro (1963) descreve que as massas de ar que atuam na Região Sul do Brasil são: Massa Tropical Atlântica (MTA), Massa Polar Atlântica (MPA), Massa Tropical Continental (MTc) e Massa Equatorial Continental (MEc). Durante o inverno atuam MPA e MTA, dando origem, em suas sucessões, à Frente Polar Atlântica, que vem acompanhada de intensa nebulosidade e chuvas, indicando neste período do ano, a chegada da massa fria (MPA) com conseqüente diminuição da temperatura e, em muitas ocasiões, formação de geada. No verão, além das duas massas de ar já mencionadas, atuam também MTc e MEc. A primeira, quente e seca, provoca ondas de calor e tempo bom, enquanto a segunda, quente e úmida, ocasiona chuvas convectivas (VERÍSSIMO; MENDONÇA, 2004, p.4).

Os verões são brandos, dada a disponibilidade de energia solar neste período do ano, e também pela atuação de MTA, MEc e MTc, que se alternando com a então enfraquecida Polar Atlântica, provoca temperaturas absolutas de até 35°C, embora a temperatura média não ultrapasse os 22°C. O inverno é rigoroso, sendo geralmente registradas no mês de junho as temperaturas mais baixas. Neste período do ano a disponibilidade de energia solar é reduzida e passa a exercer maior influência na região a MPA, responsável pela ocorrência de baixas temperaturas (VERÍSSIMO; MENDONÇA, 2004, p.5).

Com relação à precipitação, Curitiba caracteriza-se por apresentar chuvas bem distribuídas durante todos os meses do ano, embora o verão apresente maior concentração,

principalmente nos meses de janeiro e fevereiro. A instabilidade adquirida na MTA e seus confrontos com a MPA, bem como a atuação da MEc, respondem pelos valores mais elevados de precipitação durante esse período do ano. Já o inverno, um pouco menos chuvoso, apresenta maior estabilidade do ar, dada principalmente pela participação da Massa Polar Atlântica, tendo-se o mês de agosto como o mais seco (VERÍSSIMO; MENDONÇA, 2004).

4.2 ANÁLISE DA INSOLAÇÃO

Na Figura 65 pode-se ver uma ilustração que representa a trajetória aparente do Sol para a latitude de Curitiba, no decorrer do ano. O arco mais próximo do Norte corresponde ao dia 22 de junho, solstício de inverno nas latitudes ao Sul do Equador. O arco intermediário corresponde aos dias 21 de março e 23 de setembro, respectivamente equinócio de outono e equinócio de primavera nas latitudes Sul. Por fim, o arco mais próximo do Sul corresponde ao dia 22 de dezembro, solstício de verão nas latitudes Sul.

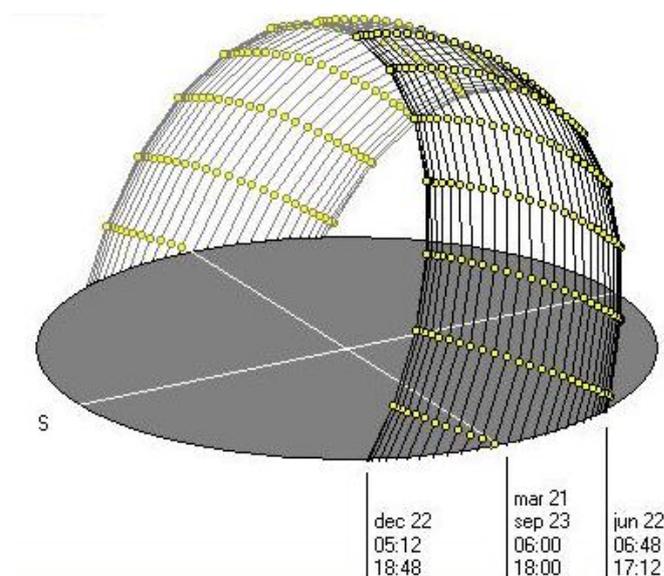


Fig. 65 – Variação da trajetória aparente do Sol na abóbada celeste para a latitude de Curitiba, no decorrer do ano..

Fonte: Adaptado de *Sunpath* (RORIZ, 1995).

Pode-se perceber que a trajetória aparente do Sol apresenta uma declinação no sentido Norte, por isso costuma-se dizer que a orientação Norte é a que mais recebe insolação no decorrer do ano. No dia 22 de junho, a altura solar é a menor do ano, crescendo até 22 de dezembro e voltando a decrescer até atingir outra vez a menor altura em 22 de junho.

Como já foi descrito no item 2.8, por meio da carta solar correspondente à latitude de uma cidade pode-se determinar a posição do Sol em sua abóbada celeste, para o ano todo.

4.2.1 Insolação nas fachadas de orientação Norte

Na carta solar acima, à esquerda (Figura 66), está destacada a área correspondente à insolação na orientação Norte. Para latitudes a Sul do Equador, essa é a orientação que mais recebe insolação no decorrer do ano.

Pode-se observar que de 21 de março a 23 de setembro toda trajetória solar está na orientação Norte. Já nos dias 20 de outubro e 23 de fevereiro a insolação ocorre entre, aproximadamente, 7h30 e 16h30. De 22 de novembro a 21 de janeiro o Sol está no Norte entre 10h e 14h. Apenas no dia 22 de dezembro, solstício de verão para latitudes a Sul do Equador, a trajetória solar não passa em nenhum momento pelo Norte.

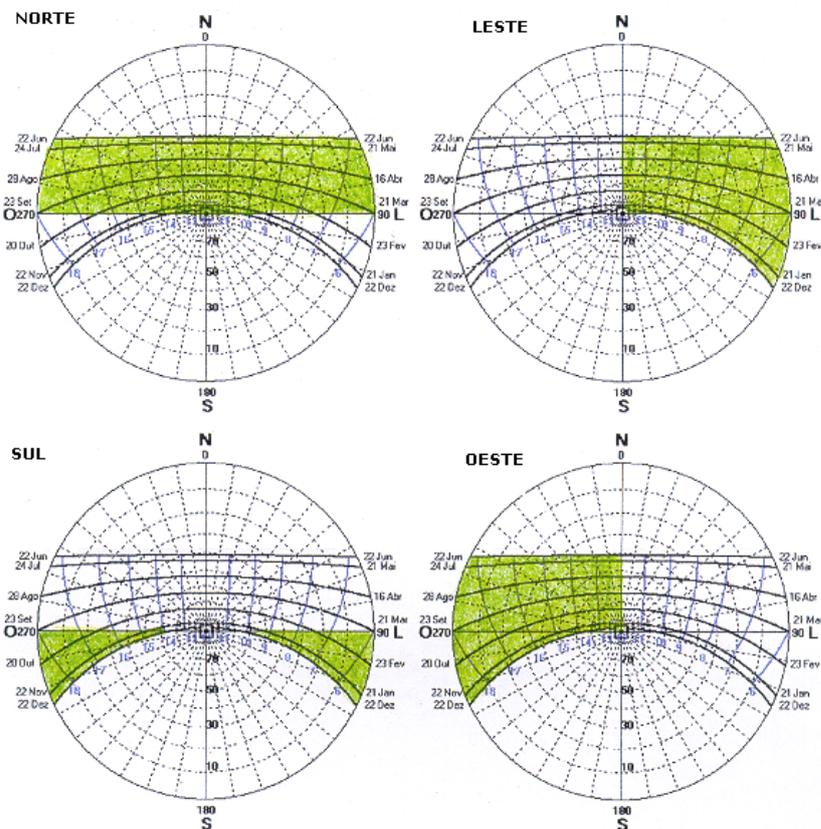


Fig. 66 – Carta solar com destaque na trajetória solar na orientação Norte (acima, esquerda), Leste (acima, direita), Sul (abaixo, esquerda), Oeste (abaixo, direita).

Fonte: Adaptado de *Analysis SOL-AR* (LAMBERTS; MACIEL, 2006).

4.2.2 Insolação nas fachadas de orientação Leste

Na carta solar acima, à direita (Figura 66) está destacada a parte da trajetória solar que incide nas fachadas de orientação Leste.

A insolação na orientação Leste está limitada ao período da manhã, durante todo o ano: começa no nascer do sol, e termina 12h, quando o sol está no ponto mais alto de sua trajetória.

4.2.3 Insolação nas fachadas de orientação Sul

A orientação Sul, destacada na carta solar à esquerda e abaixo na Figura 66, é a que menos recebe insolação na cidade de Curitiba. Isso acontece somente no período do ano compreendido entre 23 de setembro e 21 de março. Nos dias 20 de outubro e 23 de fevereiro, o Sol está na orientação Sul desde, aproximadamente, entre 5h30 e 7h30 e entre 16h30 e 18h30. Nos dias 22 de novembro e 21 de janeiro, o Sol nasce por volta de 5h10 e se põe por volta de 18h50, desse período, apenas entre 10h e 14h ele não está na orientação Sul. Por fim, no solstício de verão, dia 22 de dezembro, o Sol nasce às 5h, permanece na orientação Sul até 11h e depois volta a essa orientação de 14h até 19h.

4.2.4 Insolação nas fachadas de orientação Oeste

A orientação Oeste recebe insolação sempre no período da tarde, ou seja, desde 12h até o pôr-do-sol, durante todo ano.

De acordo com a figura 66 pode-se ver que o solstício de inverno, 22 de junho, é o dia em que a cidade de Curitiba, assim como as demais latitudes a Sul do Equador, recebe menos horas de insolação. O pôr-do-sol nesse dia acontece por volta de 17h15, enquanto no solstício de verão (dia com mais horas de insolação) isso acontece por volta de 18h50.

4.3 DEFINIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

4.3.1 Seleção dos edifícios

Foi feito um levantamento prévio de exemplares, mas observou-se que na cidade de Curitiba não existem muitos edifícios com utilização de dispositivos de proteção solar nos fechamentos transparentes. A maior verticalização da cidade é encontrada na região central, assim como a maior parte dos edifícios selecionados está localizada lá.

Foram selecionados edifícios com horários e tipos de uso semelhante, preferencialmente com ocupação restrita ao período do dia em que existe luz natural (entre o nascer e o pôr do Sol), para que todos tivessem as mesmas necessidades de proteção nas aberturas. Além disso, procurou-se edifícios com protetores com diferentes orientações e características, para possibilitar uma análise o mais abrangente possível.

Finalmente, foram selecionados cinco edifícios de escritórios, tanto públicos quanto privados, com horário de utilização concentrado entre 8h e 18h, conforme a Tabela 1:

Tabela 1 – Edifícios com protetores solares analisados.

Edifício	Caracterização	Imagem
1-Departamento de Trânsito do Paraná Endereço: Av. Victor Ferreira do Amaral, 2940, Capão da Imbuia	8h – 16h – segunda a sexta	
	Protetores móveis	
	Protetores horizontais	
	Orientação Nordeste	
2-Palácio das Araucárias Endereço: R. Jacy Loureiro de Campos, s/nº, Centro Cívico	8h – 18h – segunda a sexta	
	Protetores móveis	
	Protetores verticais	
	Orientação Noroeste Orientação Sudeste	
3-Brasil Telecom Endereço: Av. Manoel Ribas, 215, Mercês	8h – 18h – segunda a sexta	
	Protetores móveis	
	Protetores verticais	
	Orientação Sudoeste Orientação Nordeste	
4-Edifício INSS Endereço: Rua João Negrão, 11, Centro	8h00 – 18h – segunda a sexta	
	Protetores combinados	
	Protetores fixos	
	Orientação Noroeste	
5-Edifício FIEP Endereço: Av. Candido de Abreu, 200, Centro Cívico	8h – 18h – segunda a sábado	
	Protetores verticais	
	Protetores fixos	
	Orientação Sudoeste Orientação Nordeste	

4.4 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA DE ANÁLISE

A análise feita neste trabalho é sobre a eficiência dos protetores solares existentes em edifícios da cidade de Curitiba- Pr.

Uma exigência dos sistemas de sombreamento das aberturas, é que eles barrem a incidência de radiação solar nos fechamentos transparentes apenas nos momentos e localidades em que ela seja indesejável. No entanto é necessário estabelecer quais os fatores relacionados com a determinação dos momentos em que a incidência de radiação solar é desejável e em que é indesejável. A temperatura do ar é constantemente utilizada como parâmetro de referência para essa determinação, entretanto, como descrito no item 2.3, o Conforto Humano está associado a outros diversos fatores, que passam pela atividade desempenhada ou pelos equipamentos existentes no interior do edifício.

Dessa maneira, para este trabalho, considera-se eficiência a capacidade de um protetor impedir a incidência de radiação solar direta sobre os fechamentos transparentes nos edifícios selecionados.

4.4.1 Análise da eficiência dos protetores

A análise da eficiência dos protetores solares selecionados é realizada graficamente, por meio do estudo da geometria de insolação, com base no método de projeto desenvolvido por Olgyay e Olgyay (1957), no trabalho de Bittencourt (2000) e na sistematização da análise proposta por Maragno (2001). As análises são feitas com a utilização do programa Luz do Sol (Roriz, 1995) e do programa Analysis SOL-AR (Lamberts; Maciel, 2006).

Após a determinação gráfica da insolação na cidade de Curitiba-PR, para cada orientação e período do ano, é feito um estudo do posicionamento aparente do sol em relação às fachadas com protetores que estão sendo analisados. É determinada a máscara de sombra proporcionada por cada protetor e comparada com o período de insolação a que cada fechamento transparente está sujeito, a fim de que seja verificado se os protetores utilizados estão impedindo a incidência solar.

A proteção é analisada a cada hora dos dias destacados nas cartas solares e, a partir disso, os momentos em que existe proteção (S), não existe proteção (N) e sem insolação (X) são preenchidos em uma tabela conforme modelo apresentado a seguir (Tabela 2):

Tabela 2 – Modelo de tabela na síntese dos dados obtidos na análise da eficiência dos protetores solares.

DATA	HORA LOCAL															S/Total	%	
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			
22 Jun																		
21 Mai																		
24 Jul																		
16 Abr																		
28 Ago																		
21 Mar																		
23 Set																		
23 Fev																		
20 Out																		
21 Jan																		
22 Nov																		
22 Dez																		

S – protege N – não protege X – não há insolação

Nas duas últimas colunas da direita é preenchido, para cada dia, o total de horas de sombra/total de horas de insolação. A partir disso é calculada a porcentagem de horas de insolação em que os protetores proporcionam sombra, para cada mês. Por fim, é feita uma média anual, a fim de se obter a porcentagem estimada de horas em que os protetores apresentam eficiência.

Para protetores móveis são analisadas as posições em que eles podem ser mantidos para verificar as diferentes condições de sombreamento que proporcionam. Após isso, é feito um cruzamento entre os dados dos diversos posicionamentos, a fim de que seja encontrada a proteção máxima possível de ser obtida sem fechar completamente os protetores.

4.4.2 Análise formal dos protetores

Os protetores são analisados de acordo com os parâmetros estabelecidos por Maragno (2001), descritos no item 3.2.

Tabela 3 – Tabela de síntese da análise formal e compositiva dos protetores.

Fonte: Adaptado de MARAGNO (2001).

Posição	Vertical – Horizontal – Combinado, cobogó – Dois tipos
Tipo	Fixo – Móvel
Material	Concreto – metálico – fibrocimento - cerâmico
Posicionamento em relação à fachada	Alinhado – Saliente – Recuado
Leitura	Painel – Faixa – Platibanda, marquise – balcão, sacada – moldura - outros
Importância	- Definem plasticamente a fachada - Valorizam e compõem a fachada - Detalhe discreto sem grande participação - Sem participação
Eficiência	Percentual relativo às horas em que protege e em que não protege

É feita uma discussão sobre a participação do tipo e da forma dos protetores na eficiência que eles proporcionam.

5 AVALIAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR

5.1 DEPARTAMENTO DE TRÂNSITO DO PARANÁ

O conjunto de protetores solares utilizado no edifício do Departamento de Trânsito do Paraná (DETRAN) é constituído por lâminas horizontais móveis combinadas com lâminas verticais fixas e é encontrado somente na fachada principal do edifício. Orientada a 26° nordeste (Figura 67), essa é a fachada que mais recebe insolação durante o ano.

A utilização do edifício é feita entre 9h e 18h, de segunda a sexta-feira (das 9h às 14h atendimento ao público e das 14h às 18h expediente interno).

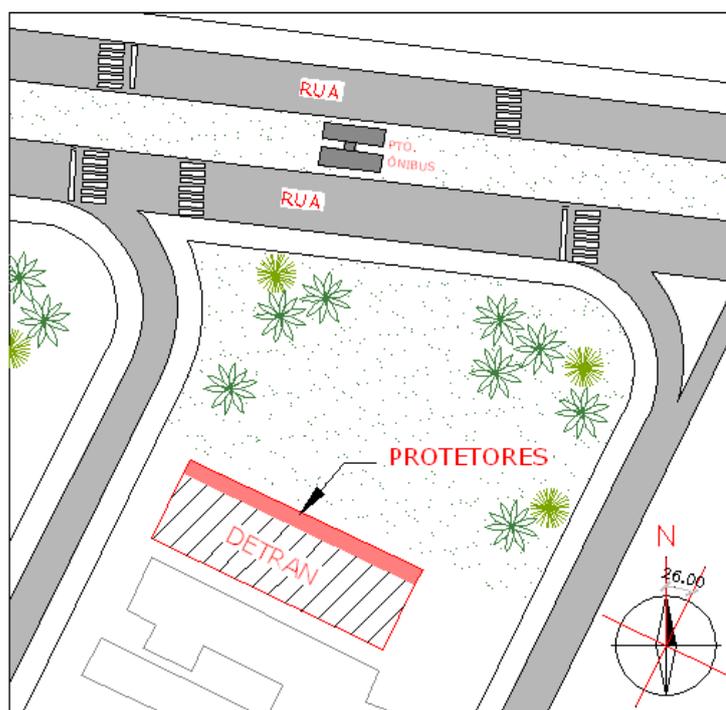


Fig. 67 – Representação esquemática da localização do edifício do Detran-PR, com indicação da fachada Nordeste(26°), que contém os protetores.

No caso desse edifício, a presença dos protetores solares valoriza a composição formal da fachada em que estão instalados e também protege da insolação excessiva.

O conjunto dos protetores horizontais, intercalado pelos verticais contínuos desde o térreo até a cobertura do edifício, provoca uma leitura de painéis verticais justapostos. As

lâminas horizontais são movimentadas de forma manual e individualmente, o que permite uma grande variedade de posicionamentos no mesmo painel (Figura 68).



Fig. 68 – Prédio do Detran-PR, Curitiba.

Tabela 4 – Síntese da análise dos protetores

Fonte: Adaptado de MARAGNO (2001).

Posição	Horizontal e vertical
Tipo	Móvel e fixo
Material	Fibrocimento
Cor	Branca
Posicionamento	Alinhado
Leitura	Painéis verticais
Importância	Valorizam e compõem a fachada
Eficiência	A = 100%; B = 100%; C = 85% Média = 95%

A planta e o corte esquemático da fachada do edifício com os protetores verticais e horizontais estão representados, respectivamente, nas Figuras 69 e 70. Devido à mobilidade das lâminas da proteção horizontal, sua eficiência é analisada nos três posicionamentos possíveis: fechadas (abertura de 30°), abertura intermediária (45°) e abertura máxima (90°).

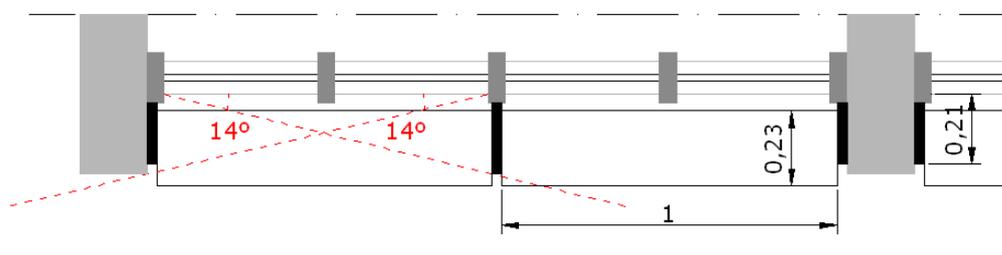


Fig. 69 – Planta esquemática com protetores verticais com cotas em metro (m).

O ângulo de sombreamento obtido por meio dos protetores verticais é pequeno, apenas 14°. Já por meio dos protetores horizontais, o ângulo de sombreamento varia de 56° a 109° (que equivale a 90°, a proteção máxima).

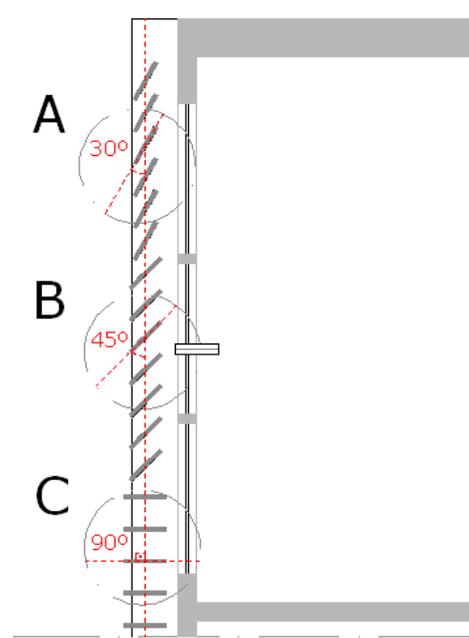


Fig. 70 – Corte esquemático com protetores horizontais.

Os ângulos de proteção oferecidos pelos protetores em cada posicionamento estão representados na Figura 71.

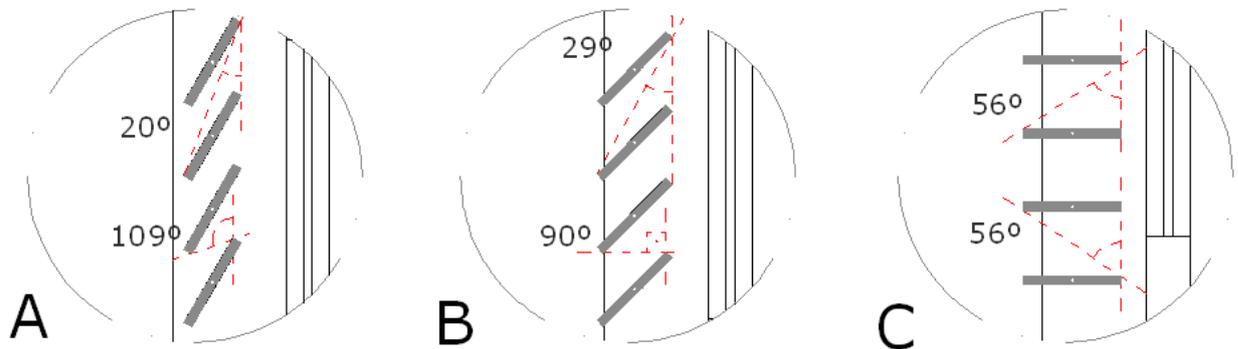


Fig. 71 – ‘A’: protetores horizontais fechados; ‘B’: protetores horizontais em abertura intermediária; ‘C’: protetores verticais em abertura máxima.

Para essa orientação, a insolação na fachada ocorre no período da manhã, o ano todo. No período da tarde varia, atingindo o máximo de insolação no mês de junho e o mínimo em dezembro (Figura 72).

5.1.1 Orientação nordeste

5.1.1.1 Detalhes ‘A’ e ‘B’

Para o posicionamento representado no detalhe ‘A’ e no detalhe ‘B’, o sombreamento proporcionado é total durante todo o ano. A parte em laranja corresponde ao sombreamento proporcionado pelos protetores verticais e a parte em amarelo aos protetores horizontais.

Ainda que não houvesse proteção vertical, a proteção horizontal seria suficiente para impedir a incidência de radiação solar direta nos vidros.

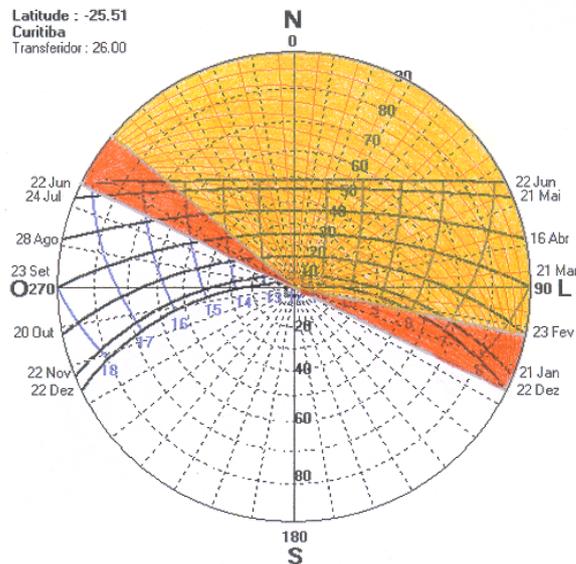


Fig. 72 – Carta solar com sombreamento referente aos posicionamentos dos protetores representados nos detalhes ‘A’ e ‘B’.

Fonte: Adaptado de *Analysis SOL-AR* (LAMBERTS; MACIEL, 2006).

Na tabela 5 estão reunidas as informações obtidas analisando-se a carta solar com sombreamento correspondente aos posicionamentos dos protetores representados nos detalhes ‘A’ e ‘B’ (Figura 71).

Tabela 5 – Análise da sobreposição da máscara de sombra correspondente aos detalhes ‘A’ e ‘B’ à carta solar.

DATA	HORA														S/Total	%
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
22 Junho	X	X	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	X	10,5/10,5	100
21 Maio	X	X	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	X	10,5/10,5	100
24 Julho		S														
16 Abril	X	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	X	X	X	10,0/10,0	100
28 Agosto	X	S	S	S	S	S	S	S	S	S	X	X	X	X	9,0/9,0	100
21 Março	X	S	S	S	S	S	S	S	S	S	X	X	X	X	8,5/8,5	100
23 Set.	X	S	S	S	S	S	S	S	S	X	X	X	X	X	8,5/8,5	100
23 Fev.	X	S	S	S	S	S	S	S	S	X	X	X	X	X	8,5/8,5	100
20 Out.	S															
21 Janeiro	S	S	S	S	S	S	S	S	X	X	X	X	X	X	8,0/8,0	100
22 Nov.	S	S	S	S	S	S	S	X	X	X	X	X	X	X	7,0/7,0	100
22 Dez.	S	S	S	S	S	S	S	X	X	X	X	X	X	X	7,0/7,0	100

Média – 100%

5.1.1.2 Detalhe ‘C’

Quando os protetores estão com abertura máxima das lâminas (Figura 71, detalhe ‘C’), sua eficiência é parcial. Pode-se verificar na carta solar correspondente (Figura 73) que esse posicionamento das lâminas permite a passagem de radiação solar direta, em diferentes

períodos da manhã, durante todo o ano, exceto no mês de dezembro. No período da tarde não são verificadas falhas na proteção.

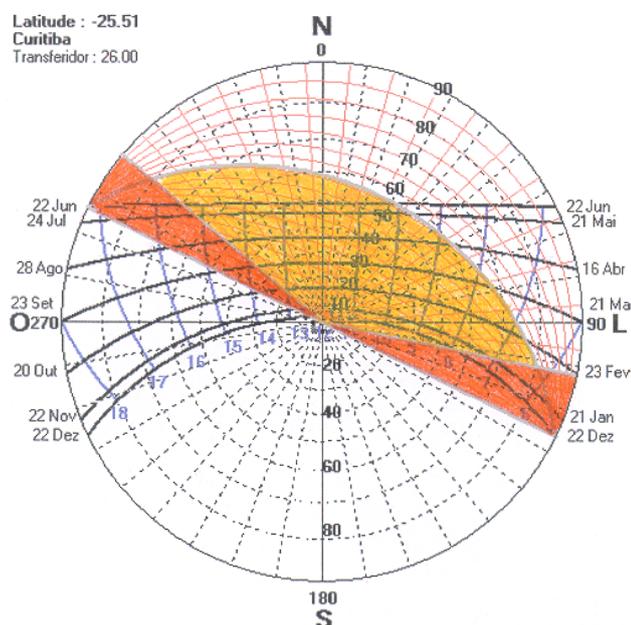


Fig. 73 – Carta solar com sombreamento referente ao posicionamento dos protetores representado no detalhe ‘C’.
Fonte: Adaptado de *Analysis SOL-AR* (LAMBERTS; MACIEL, 2006).

Tabela 7 – Análise da sobreposição da máscara de sombra correspondente ao detalhe ‘C’ à carta solar.

DATA	HORA														S/Total	%	
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
22 Jun	X	X	N	N	N	S	S	S	S	S	S	S	S	X	X	7,5/10,5	71
21 Mai	X	X	N	N	S	S	S	S	S	S	S	S	X	X	X	8/10,5	76
24 Jul		N															
16 Abr	X	N	N	S	S	S	S	S	S	S	S	X	X	X	X	8/10	80
28 Ago																	
21 Mar	X	N	S	S	S	S	S	S	S	S	X	X	X	X	X	8/9	89
23 Set																	
23 Feb	X	N	S	S	S	S	S	S	S	X	X	X	X	X	X	7/8,5	82
20 Out	N																
21 Jan	S	S	S	S	S	S	S	S	X	X	X	X	X	X	X	8/8	100
22 Nov																	
22 Dez	S	S	S	S	S	S	S	X	X	X	X	X	X	X	X	7/7	100

Média – 85%

5.1.2 Resultados obtidos

Os protetores horizontais móveis empregados no edifício do Detran – PR são os que apresentam os melhores resultados. Em dois dos três posicionamentos possíveis de suas lâminas (fechadas e parcialmente abertas), os protetores não permitem a passagem da radiação solar direta, demonstrando que o projeto foi bem adequado à orientação da fachada que recebeu a aplicação dos protetores. Quando as lâminas estão totalmente abertas, a proteção atinge um percentual médio de 85%. Além da eficiência elevada, quanto ao impedimento da

radiação solar direta atingir os fechamentos transparentes, os horários em que a proteção não ocorre podem ser apontados como menos problemáticos, pois são quase todos horários em que o edifício não está ocupado. De todas as horas em que é verificada falha na proteção, somente em uma hora no mês de junho (das 9h às 10h) ocorre a penetração da radiação solar, durante o horário de ocupação do edifício.

Quanto à visibilidade do exterior, em cada um de seus posicionamentos os protetores permitem a visão de uma pequena região (Figura 73). Caso fosse necessário ou desejável aumentar a visibilidade, mantendo-se a proteção solar, poderia ser aumentada a dimensão dos protetores, aumentando-se, também o distanciamento entre eles, a fim de se conservar o ângulo de proteção. Entretanto, aumentando-se a visibilidade de dentro para fora, também é possível observar o interior do edifício estando fora, o que muitas vezes não é desejável.

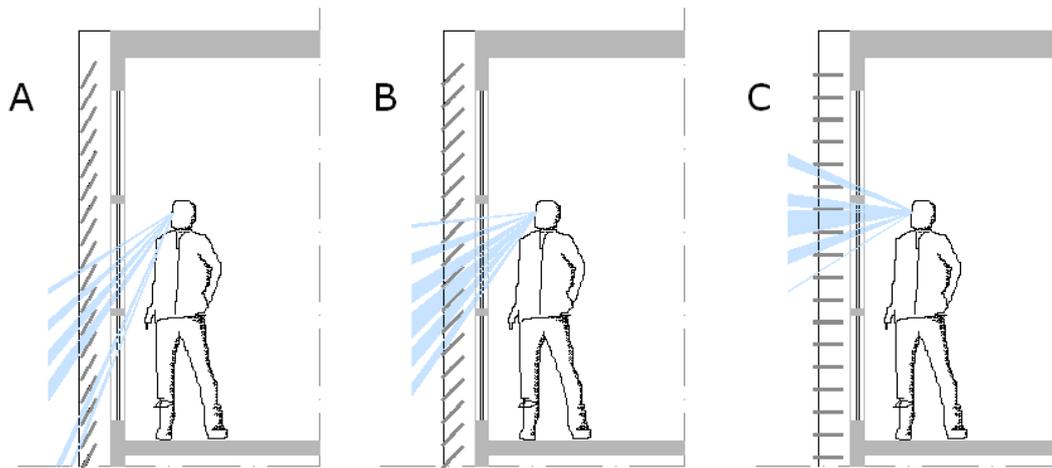


Fig. 73 – Estudo da permeabilidade visual através dos três posicionamentos estudados para os protetores.

5.2 PALÁCIO DAS ARAUCÁRIAS

Palácio das Araucárias é o nome de um novo edifício do Centro Cívico que a partir de 14 de maio de 2007 é a sede oficial do Governo do Estado do Paraná. “O Palácio das Araucárias foi originalmente projetado para abrigar o Fórum de Curitiba. Entretanto, a obra foi interrompida há 20 anos, após a conclusão da estrutura (...).” (PARANÁ, 2007).



Fig. 74 – Estrutura de concreto abandonada (esquerda) e atual Palácio das Araucárias (direita).
Fonte: PARANÁ (2007).

Em 2004 o governo estadual deu início a uma reforma na estrutura abandonada (Figura 74). Foram desmontados os quatro pavimentos superiores, que estavam comprometidos, reforçadas as estruturas e redefinido o projeto arquitetônico.

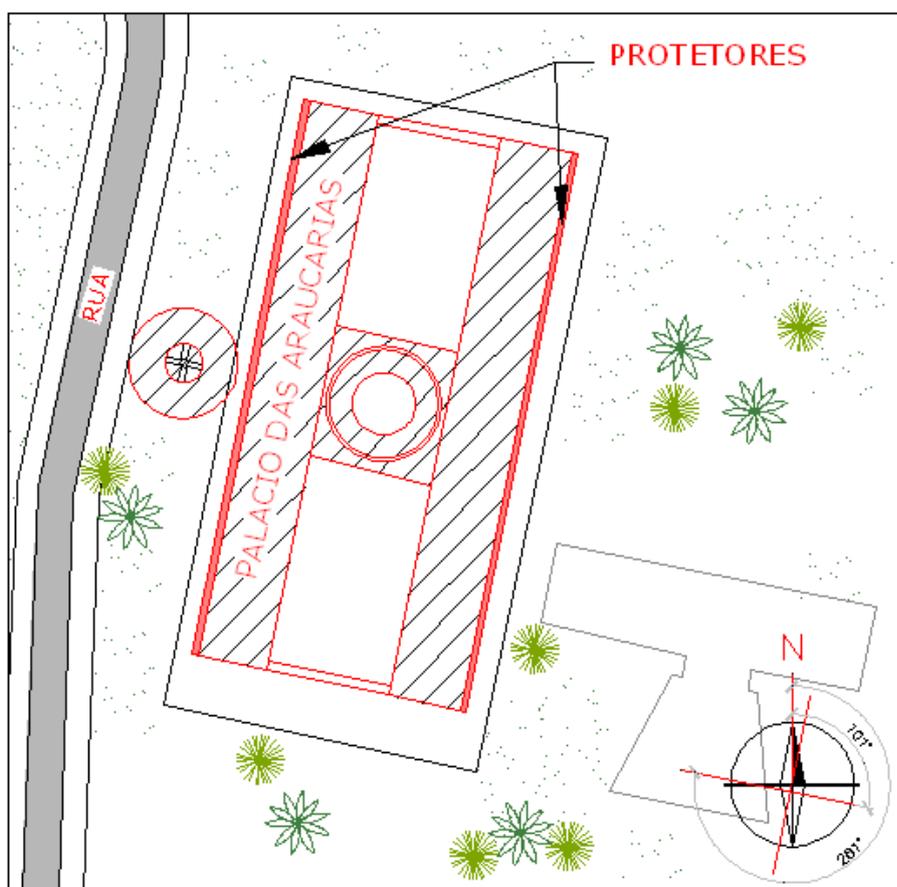


Fig. 75 – Representação esquemática da localização do edifício Palácio das Araucárias, com indicação da inclinação das fachadas que contêm os protetores, em relação ao norte (101° e 281°).

Os protetores solares utilizados nesse edifício são constituídos de lâminas verticais móveis dispostas em painéis horizontais, aplicados tanto na fachada noroeste (281°) quanto na sudeste (101°), como está representado na figura 75. Além das lâminas móveis os pilares sobressalentes na fachada, onde são fixados os painéis de protetores móveis, funcionam como protetores verticais fixos, embora o ângulo de proteção que ofereçam seja pequeno.

As fachadas em que estão aplicados os protetores são a principal (281°), onde fica a porta de acesso ao público, e a posterior, que dá acesso ao pátio onde se localiza o estacionamento dos funcionários.



Fig. 76 – Palácio das Araucárias, detalhes dos protetores móveis.
Fonte: Arquivo do autor (2007).

O expediente de trabalho no edifício é das 8h às 18h, de segunda a sexta-feira.

A leitura proporcionada pelos conjuntos de protetores é de painéis horizontais, com diferentes alturas, o que valoriza a composição formal da fachada. As cores utilizadas são apenas duas, prateada e outra azul claro. Quando as lâminas são colocadas em diferentes angulações de abertura, essas mesmas cores aparentam diferentes tonalidades (Figura 76).

Os protetores solares são empregados somente nos pavimentos superiores do Palácio das Araucárias. Como consequência disso, pode-se perceber na imagem à direita da Figura 76, a utilização de persianas internamente, no pavimento térreo.

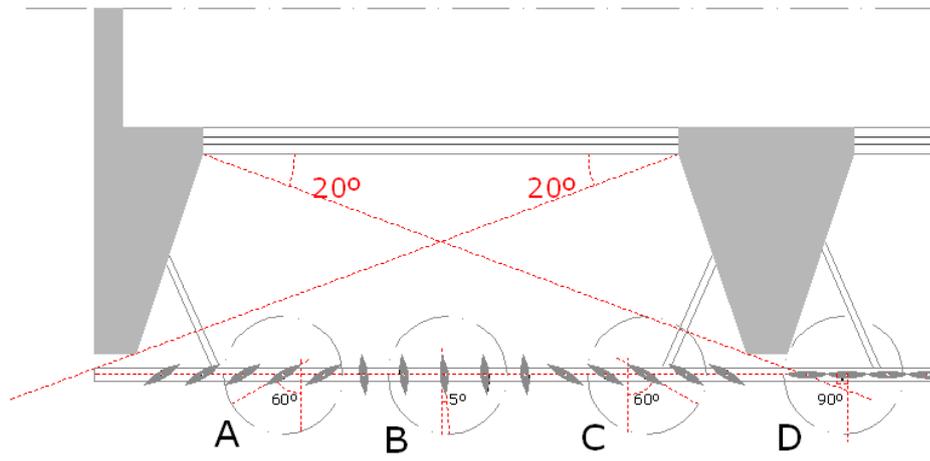
Pode-se questionar a escolha de protetores verticais, apesar de móveis, porque as trajetórias aparentes do Sol começam frontalmente em relação à fachada sudeste, e terminam frontalmente em relação à fachada noroeste. Sendo assim, os protetores verticais devem estar fechados totalmente em grande parte do ano, a fim de que se possa impedir a incidência de radiação solar nos fechamentos transparentes das duas orientações.

Tabela 8 – Síntese da análise dos protetores

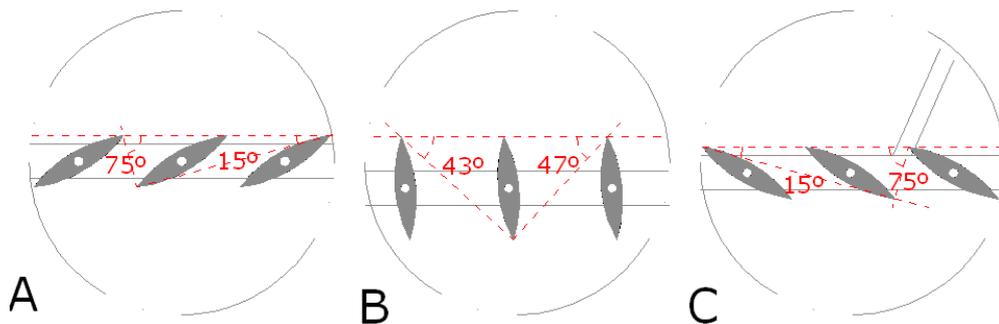
Fonte: Adaptado de MARAGNO (2001).

Posição	Vertical
Tipo	Móveis e fixos
Material	Metálico
Cor	Prateada e azul claro
Posicionamento	Alinhado
Leitura	Painéis horizontais
Importância	Valorizam e compõem a fachada
Eficiência média	NO: A = 30%; B = 23%; C = 53%; D = 100%; Média = 49,5%; MÁX = 73% SE: A = 73%; B = 34%; C = 14%; D = 100%; Média = 55,5%; MÁX = 73%

Na Figura 77 pode-se ver uma planta esquemática das fachadas noroeste e sudeste com os protetores solares. Os pilares onde estão fixados os painéis com os protetores também proporcionam sombreamento nas janelas (ângulo de sombreamento de 20°).

**Fig. 77** – Planta esquemática com protetores verticais.

Na Figura 78 são detalhados os ângulos de proteção oferecidos pelos protetores em suas três posições de abertura: 'A' - inclinação de 60° à esquerda da normal à fachada; 'B' - inclinação de 5° à direita da normal à fachada; e 'C' - inclinação de 60° à esquerda da normal à fachada.

**Fig. 78** – Detalhes 'A', 'B' e 'C', principais inclinações dos protetores, quando abertos.

Observando-se a Figura 78 é possível perceber que, quando os protetores estão abertos, em nenhum dos posicionamentos o ângulo de sombreamento atinge 90°, correspondente à proteção total.

5.2.1 Orientação noroeste

Para orientação noroeste (281°), a insolação ocorre a partir de 11h30 de março a setembro e a partir do meio-dia nos meses de outubro a fevereiro.

A radiação nesse período incide frontalmente na fachada, dificultando a proteção total do fechamento com um único tipo de protetor solar. A melhor opção seria utilizar protetores mistos, combinando lâminas verticais e horizontais.

Os protetores horizontais impedem a incidência de radiação solar direta nos momentos em que a altura solar é maior, que, para esta orientação, coincidem com o período em que a radiação solar apresenta seu maior ângulo de incidência (quando o ângulo de incidência da radiação coincide com a normal à fachada ou está muito próximo dela).

Quanto aos protetores verticais, é interessante que apresentem mobilidade, a fim de que possam projetar sua sombra nas aberturas durante todo ano, independentemente das variações do azimute solar. Além da mobilidade, os protetores verticais devem ser corretamente dimensionados e especificados, evitando a instalação de lâminas com movimentação incapaz de atender às necessidades pré-estabelecidas.

5.2.1.1 Detalhe 'A'

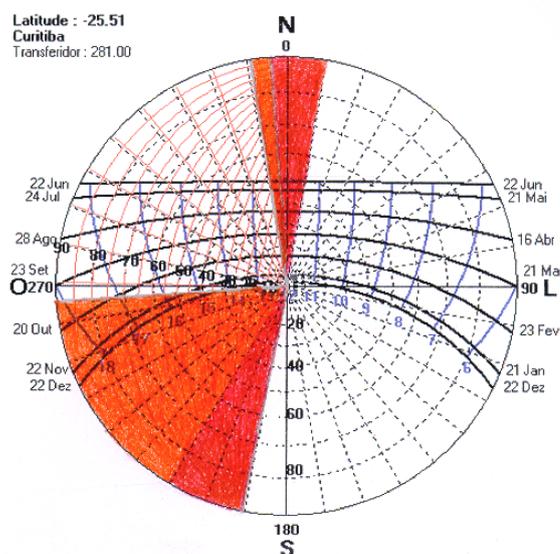


Fig. 79 – Carta solar com sombreamento referente ao detalhe 'A', orientação noroeste.
Fonte: Adaptado de *Analysis SOL-AR* (LAMBERTS; MACIEL, 2006).

Na carta solar (Figura 79) estão representados os ângulos de proteção provenientes do posicionamento representado no detalhe 'A' (75° e 15°, região destacada em vermelho) e também o ângulo de proteção oferecido pelo pilar onde estão fixados os painéis com os protetores (20°, região destacada em cor laranja).

Pode-se perceber que grande parte da área correspondente ao período de insolação da fachada não está sobreposta pela máscara de sombra, ou seja, a proteção é ineficiente nesse período. Da mesma forma pode-se perceber que existe um grande período em que existe a proteção sem necessidade, por não haver insolação na fachada.

Tabela 9 – Síntese das informações contidas na Figura 79.

DATA	HORA														S/Total	%
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
22 Jun	X	X	X	X	X	X	X	S	N	N	N	N	N	X	1/6	17
21 Mai	X	X	X	X	X	X	X	S	N	N	N	N	N	X	1/6	17
24 Jul	X	X	X	X	X	X	X	S	N	N	N	N	N	X	1/6	17
16 Abr	X	X	X	X	X	X	X	S	N	N	N	N	N	X	1/6,5	17
28 Ago	X	X	X	X	X	X	X	S	N	N	N	N	N	X	1/6,5	17
21 Mar	X	X	X	X	X	X	X	S	N	N	N	N	N	X	2/7	29
23 Set	X	X	X	X	X	X	X	N	N	N	N	N	S	S	2/7	29
20 Out	X	X	X	X	X	X	X	N	N	N	N	S	S	S	3,5/7	50
21 Jan	X	X	X	X	X	X	X	N	N	N	N	S	S	S	3,5/7	50
22 Nov	X	X	X	X	X	X	X	N	N	N	S	S	S	S	4,5/7	64
22 Dez	X	X	X	X	X	X	X	N	N	N	S	S	S	S	4,5/7	64

Média – 30%

Os protetores no posicionamento 'A', para orientação noroeste, não proporcionam sombreamento das aberturas na maior parte do período em que elas recebem insolação (ver Tabela 9). A média é de apenas 30% de proteção durante o ano, concentrada em horários próximos ao meio-dia, de março a setembro, e em horários entre 14h e 18h de outubro a fevereiro.

5.2.1.2 Detalhe 'B'

A eficiência dos protetores para esse posicionamento é ainda menor que para o anterior. Concentra-se em torno do meio-dia durante todo o ano, exceto em dezembro, quando não oferece proteção nenhuma. O resultado é uma proteção média de apenas 23% (Tabela 9).

A carta solar na Figura 80 contém a máscara de sombra proporcionada pelos protetores em sua abertura máxima (detalhe 'B').

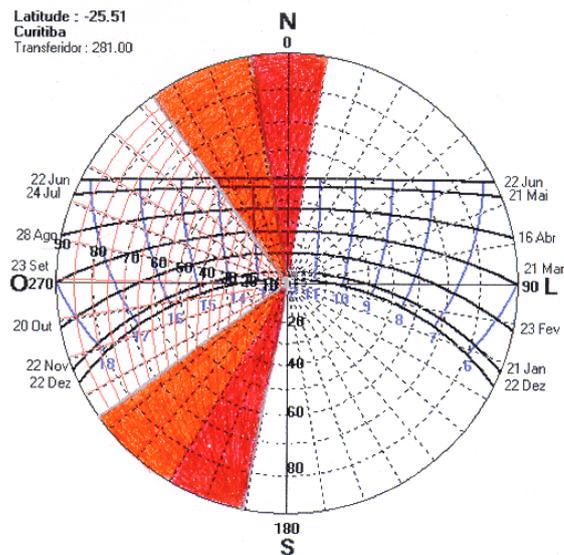


Fig. 80 – Carta solar com sombreamento referente ao detalhe ‘B’, orientação noroeste.
 Fonte: Adaptado de *Analysis SOL-AR* (LAMBERTS; MACIEL, 2006).

Tabela 9 – Síntese das informações contidas na Figura 80.

DATA	HORA														S/Total	%
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
22 Jun	X	X	X	X	X	X	X	S	S	N	N	N	N	X	2,5/6	42
21 Mai	X	X	X	X	X	X	X	S	S	N	N	N	N	X	2,5/6	42
24 Jul							S						X			
16 Abr	X	X	X	X	X	X	X	S	S	N	N	N	N	X	2/6	33
28 Ago							S		N				X			
21 Mar	X	X	X	X	X	X	X	S	N	N	N	N	N	X	1,5/6,5	23
23 Set							S									
23 Fev	X	X	X	X	X	X	X	S	N	N	N	N	N	N	1/7	14
20 Out																
21 Jan	X	X	X	X	X	X	X	S	N	N	N	N	N	N	0,5/7	7
22 Nov								N								
22 Dez	X	X	X	X	X	X	X	N	N	N	N	N	N	N	0/7	0

Média – 23%

5.2.1.3 Detalhe ‘C’

Quando ajustados conforme o detalhe ‘C’, os protetores funcionam em 45% dos períodos em que as aberturas recebem insolação. Essa é, para orientação noroeste, a maior média de proteção sem que as lâminas estejam totalmente fechadas.

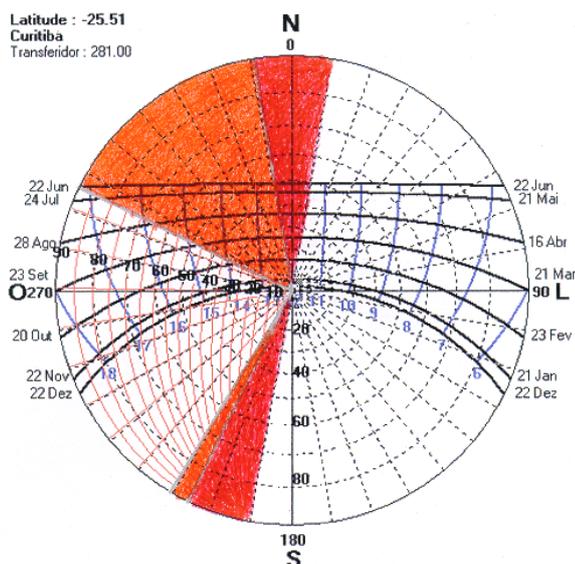


Fig. 81 – Carta solar com sombreamento referente ao detalhe ‘C’, orientação noroeste.
Fonte: Adaptado de *Analysis SOL-AR* (LAMBERTS; MACIEL, 2006).

Tabela 11 – Síntese das informações contidas na Figura 81.

DATA	HORA															S/Total	%
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
22 Jun	X	X	X	X	X	X	X	S	S	S	S	S	S	X	6/6	100	
21 Mai	X	X	X	X	X	X	X	S	S	S	S	S	N	X	5,5/6	92	
24 Jul	X	X	X	X	X	X	S	S	S	S	S	N	X	4,5/6	75		
16 Abr	X	X	X	X	X	X	S	S	S	N	N	N	X	3,5/6,5	54		
28 Ago	X	X	X	X	X	X	S	S	N	N	N	N	N	2/7	29		
21 Mar	X	X	X	X	X	X	S	N	N	N	N	N	N	1/7	14		
23 Set	X	X	X	X	X	X	S	N	N	N	N	N	N	0,5/7	7		
23 Feb	X	X	X	X	X	X	N	N	N	N	N	N	N				
20 Out	X	X	X	X	X	X	N	N	N	N	N	N	N				
21 Jan	X	X	X	X	X	X	N	N	N	N	N	N	N				
22 Nov	X	X	X	X	X	X	N	N	N	N	N	N	N				
22 Dez	X	X	X	X	X	X	N	N	N	N	N	N	N				

Média – 53%

5.2.2 Orientação sudeste

Na orientação sudeste (101°) a insolação é oposta à da orientação noroeste. A incidência de radiação solar também ocorre frontalmente à fachada, porém nos horários complementares do dia (de março a setembro até 11h30 e nos demais meses até meio-dia).

5.2.2.1 Detalhe ‘A’

Para essa orientação, os protetores apresentam eficiência máxima quando posicionados conforme o detalhe ‘A’. Na Figura 82 a cor laranja indica o sombreamento obtido por meio

dos protetores verticais móveis e a cor vermelha por meio dos protetores verticais fixos. A média é de 73% de sombreamento durante o ano (Tabela 12).

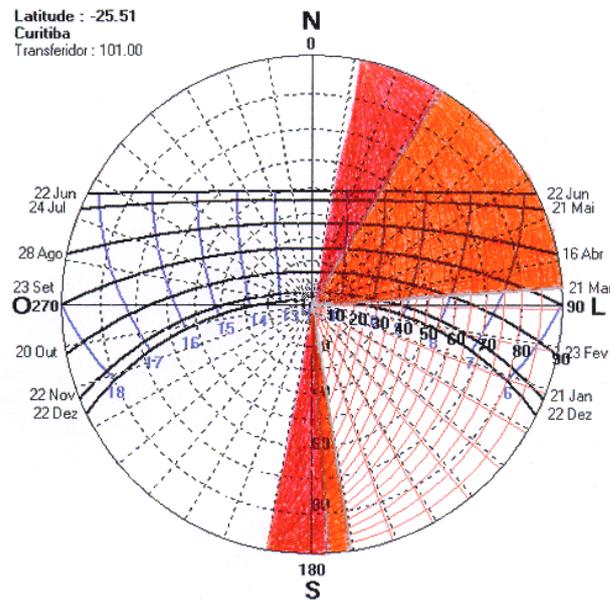


Fig. 82 – Carta solar com sombreamento referente ao det ‘A’, orientação sudeste.
 Fonte: Adaptado de *Analysis SOL-AR* (LAMBERTS; MACIEL, 2006).

Tabela 12 – Síntese das informações contidas na Figura 82.

DATA	HORA														S/Total	%
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
22 Jun	X	X	S	S	S	S	S	X	X	X	X	X	X	X	4,5/4,5	100
21 Mai	X	X	S	S	S	S	S	X	X	X	X	X	X	X	5/5	100
24 Jul		S					X									
16 Abr	X	S	S	S	S	S	S	X	X	X	X	X	X	X	5,5/5,5	100
28 Ago							X									
21 Mar	X	N	S	S	S	S	S	X	X	X	X	X	X	X	5/5,5	91
23 Set		S					X									
23 Fev	X	N	N	S	S	S	S	X	X	X	X	X	X	X	4/6,5	62
20 Out	N															
21 Jan	N	N	N	N	N	S	S	X	X	X	X	X	X	X	2,5/7	36
22 Nov					S											
22 Dez	N	N	N	N	N	N	S	X	X	X	X	X	X	X	1,5/7	21
						S										

Média – 73%

Apesar da falha na proteção ocorrer sempre no período da manhã neste posicionamento, ela acontece nos meses em que a temperatura média do ar é mais elevada (novembro, dezembro e janeiro), ou seja, nos períodos em que a incidência de radiação solar direta sobre os fechamentos transparentes é menos desejada.

5.2.2.2 Detalhe 'B'

Na Figura 83 pode-se ver que em grande parte do período em que a fachada recebe insolação não é protegida com os protetores no posicionamento correspondente ao detalhe 'B'. A área hachurada em vermelho corresponde ao sombreamento obtido por meio dos pilares, que atuam como protetores verticais fixos. A área hachurada em laranja corresponde ao ângulo de sombreamento dos protetores móveis. Em junho acontece a maior eficiência dos protetores nesse posicionamento e em dezembro acontece a mínima.

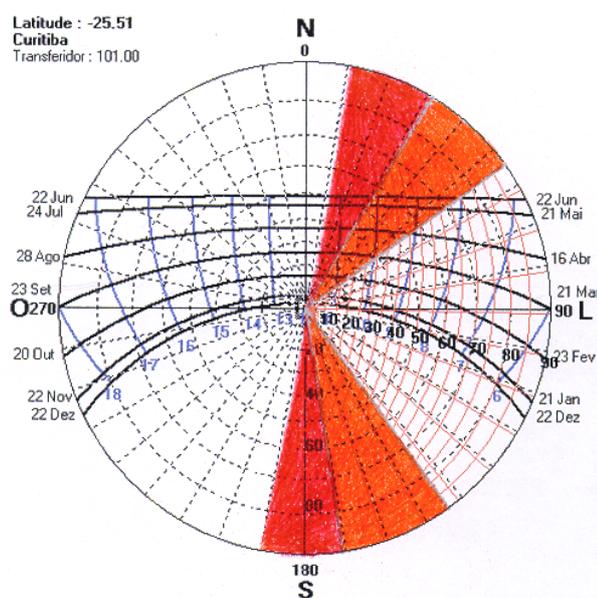


Fig. 83 – Carta solar com sombreamento referente ao detalhe 'B', orientação sudeste.
Fonte: Adaptado de *Analysis SOL-AR* (LAMBERTS; MACIEL, 2006).

A eficiência média obtida com esse posicionamento dos protetores é de 34%, como pode ser visto na Tabela 13.

Tabela 13 – Análise da sobreposição da máscara de sombra correspondente ao detalhe 'B' à carta solar, para orientação sudeste.

DATA	HORA														S/Total	%
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
22 Jun	X	X	N	S	S	S	S	X	X	X	X	X	X	X	3,5/4,5	78
21 Mai	X	X	N	N	S	S	S	X	X	X	X	X	X	X	3/5	60
24 Jul		N		S			X									
16 Abr	X	N	N	N	S	S	S	X	X	X	X	X	X	X	2,5/5,5	45
28 Ago							X									
21 Mar	X	N	N	N	N	S	S	X	X	X	X	X	X	X	1,5/5,5	27
23 Set							X									
23 Feb	X	N	N	N	N	N	S	X	X	X	X	X	X	X	1,5/6,5	23
20 Out	N					S										
21 Jan	N	N	N	N	N	N	N	X	X	X	X	X	X	X	0,5/7	7
22 Nov							S									
22 Dez	N	N	N	N	N	N	N	X	X	X	X	X	X	X	0/7	0

Média – 34%

5.2.2.3 Detalhe ‘C’

Na Figura 84 pode-se perceber que apenas uma pequena parte da trajetória solar para a orientação sudeste esteja sobreposta pelas hachuras correspondentes ao sombreamento obtido com o posicionamento dos protetores segundo o detalhe ‘C’.

A média de proteção é de apenas 14% (Tabela 14). Isso faz com que o detalhe ‘C’ seja o menos adequado para esta orientação.

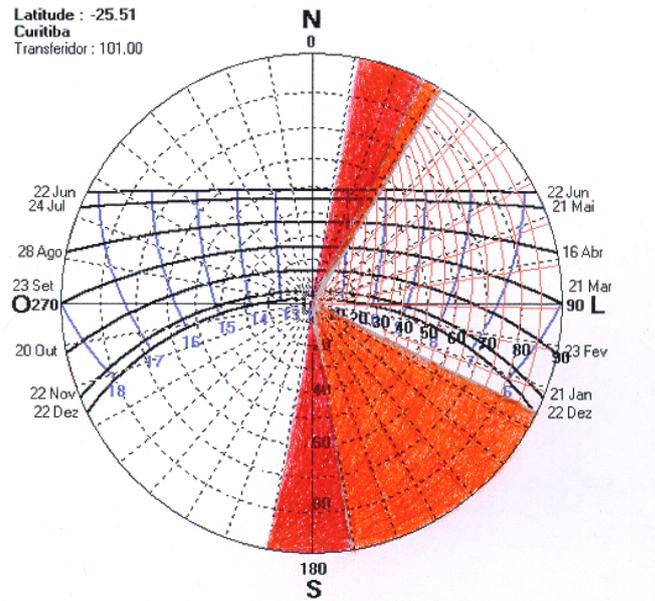


Fig. 84 – Carta solar com sombreamento referente ao detalhe ‘C’, orientação sudeste.
 Fonte: Adaptado de *Analysis SOL-AR* (LAMBERTS; MACIEL, 2006).

Tabela 14 – Análise da sobreposição da máscara de sombra correspondente ao detalhe ‘C’ à carta solar, para orientação sudeste.

DATA	HORA															S/Total	%
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
22 Jun	X	X	N	N	N	S	S	X	X	X	X	X	X	X	1,5/4,5	33	
21 Mai	X	X	N	N	N	S	S	X	X	X	X	X	X	X	1,5/5	30	
24 Jul		N					X										
16 Abr	X	N	N	N	N	N	S	X	X	X	X	X	X	X	1/5,5	18	
28 Ago						S	X										
21 Mar	X	N	N	N	N	N	S	X	X	X	X	X	X	X	0,5/5,5	9	
23 Set							X										
23 Feb	X	N	N	N	N	N	N	X	X	X	X	X	X	X	0,5/6,5	8	
20 Out	N						S										
21 Jan	N	N	N	N	N	N	N	X	X	X	X	X	X	X	0/7	0	
22 Nov																	
22 Dez	N	N	N	N	N	N	N	X	X	X	X	X	X	X	0/7	0	

Média – 14%

5.2.3 Resultados obtidos

A proteção máxima para as duas orientações é resultante de todas as possibilidades de sombreamento obtidas com os posicionamentos analisados para os protetores. São apresentadas na Figura 85 as cartas solares com a combinação do sombreamento obtido com os posicionamentos 'A', 'B' e 'C' dos protetores.

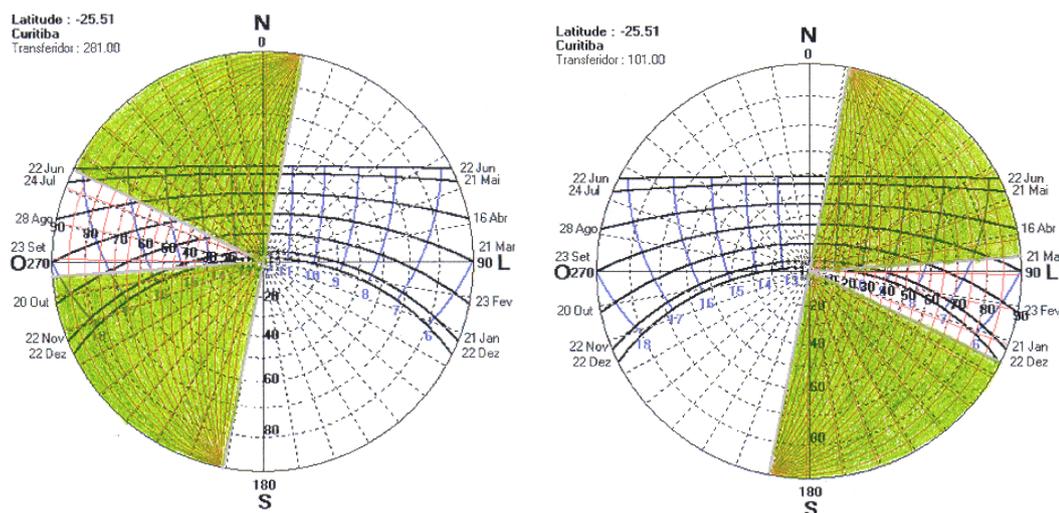


Fig. 85 – Cartas solares com sombreamento máximo: orientação noroeste (esquerda) e orientação sudeste (direita).
Fonte: Adaptado de *Analysis SOL-AR* (LAMBERTS; MACIEL, 2006).

Tabela 15 – Síntese da proteção solar máxima para orientação noroeste.

DATA	HORA														S/Total	%
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
22 Jun	X	X	X	X	X	X	X	ABC	BC	C	C	C	C	X	6/6	100
							ABC	BC					X			
21 Mai	X	X	X	X	X	X	X	ABC	BC	C	C	C	N	X	5,5/6	92
							ABC	BC					X			
16 Abr	X	X	X	X	X	X	X	ABC	BC	C	C	N	N	X	4,5/6	75
							ABC	BC					X			
21 Mar	X	X	X	X	X	X	X	ABC	BC	C	C	N	N	X	3,5/6,5	54
							ABC	BC								
23 Fev	X	X	X	X	X	X	X	BC	C	N	N	N	A	A	4/7	57
20 Out															4,5/7	64
								BC	N	N	N	A	A	A		
21 Jan	X	X	X	X	X	X	X	C				A	A	A	5/7	71
22 Dez	X	X	X	X	X	X	X	C	N	N	A	A	A	A	5/7	71
								N		A						

Média – 73%

Para a orientação noroeste, a proteção máxima é obtida com a combinação dos posicionamentos 'A', 'B' e 'C'. Na tabela 15 pode-se ver em quais posicionamentos o sombreamento é obtido no decorrer do ano.

Para orientação sudeste, a proteção máxima coincide com aquela oferecida pelos protetores quando posicionados conforme detalhe 'A' (ver tabela 16).

Coincidentemente, em ambos casos, mesmo com a combinação dos três posicionamentos das lâminas, o sombreamento máximo é de 73%, ou seja, em 27% dos momentos em que a fachada recebe insolação é necessário fechar completamente os protetores a fim de impedir a incidência direta dos raios solares nas aberturas.

A média, de 73%, é pequena, por se tratarem de protetores móveis. Em relação ao período em que são verificadas falhas na proteção existem dois pontos importantes: um positivo que é o prédio estar desocupado na maior parte do tempo; e um negativo, que é a falha na proteção em horários de ocupação, ainda que no período da manhã, nos meses do ano em que as temperaturas médias do ar são mais altas (novembro a janeiro).

Da mesma forma que na orientação noroeste, para obter proteção total em 27% dos períodos em que incide radiação solar direta nas aberturas, é necessário fechar completamente os protetores.

Tabela 16 – Síntese da proteção solar para orientação sudeste.

DATA	HORA															S/Total	%
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
22 Jun	X	X	A	AB	AB	ABC	ABC	X	X	X	X	X	X	X	4,5/4,5	100	
21 Mai	X	X	A	A	AB	ABC	ABC	X	X	X	X	X	X	X	5/5	100	
24 Jul		A		AB		X											
16 Abr	X	A	A	A	AB	AB	ABC	X	X	X	X	X	X	X	5,5/5,5	100	
28 Ago						BC	X										
21 Mar	X	N	A	A	A	AB	ABC	X	X	X	X	X	X	X	5/5,5	91	
23 Set		A					X										
23 Fev	X	N	N	A	A	A	ABC	X	X	X	X	X	X	X	4/6,5	62	
20 Out	N					AB	AB										
21 Jan	N	N	N	N	N	A	A	X	X	X	X	X	X	X	2,5/7	36	
22 Nov					A		AB										
22 Dez	N	N	N	N	N	N	A	X	X	X	X	X	X	X	1,5/7	21	
						A											

Média – 73%

O fato de ser empregado o mesmo tipo de protetores nas duas orientações (Figura 86) também é questionável, do ponto de vista da eficiência; isso porque as duas orientações recebem insolação totalmente diferente e, entretanto, é adotada a mesma solução visando proteger os fechamentos transparentes da incidência de radiação direta. Esse tipo de erro é recorrente em projetos que não consideram a orientação das aberturas na escolha dos protetores solares. Os protetores móveis podem, como no caso desse edifício, impedir totalmente a incidência de radiação solar direta nos fechamentos, no entanto, para isso devem estar fechados em momentos em que isso não seria necessário se estivessem projetados adequadamente.



Fig. 86 – Mesmo tratamento dado às duas orientações diferentes.

No caso desse edifício, a utilização de protetores horizontais, combinados com os verticais, já apresentaria contribuição para o aumento do período de sombreamento das aberturas. Além disso, os protetores, mesmo sendo móveis, poderiam ter mais possibilidades de angulação.

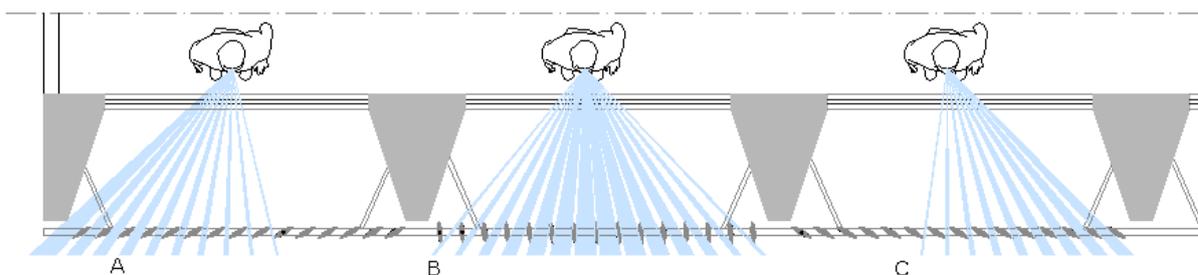


Fig. 87 – Estudo da permeabilidade visual através dos três posicionamentos estudados para os protetores.

Apesar do pouco espaçamento entre os protetores, a permeabilidade visual do interior para o exterior é grande em todas as aberturas possíveis das lâminas (Figura 87).

5.3 PALÁCIO DAS TELECOMUNICAÇÕES

Com 92 metros de altura e uma área de 12.000m², o ‘Palácio das Telecomunicações Presidente Arthur da Costa e Silva’, projetado pelo arquiteto Lubomir Ficinski, foi inaugurado em 1970. Situa-se no segundo ponto mais alto de Curitiba, 1.024m acima do nível do mar.

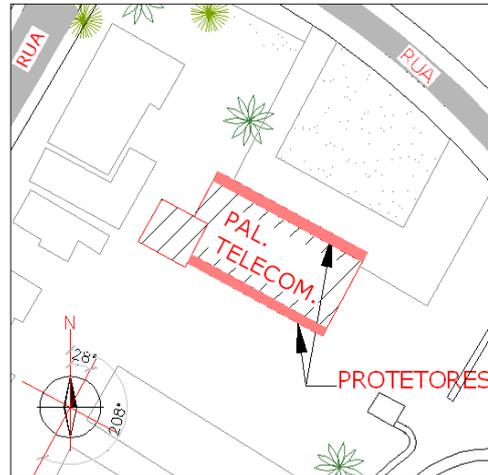


Fig. 88 – Representação esquemática da localização do edifício Palácio das Telecomunicações, com indicação da inclinação das fachadas que contêm os protetores, em relação ao norte (28° e 208°).

Tabela 17 – Síntese da análise dos protetores

Fonte: Adaptado de MARAGNO (2001).

Posição	Vertical
Tipo	Móvel
Material	Metálico
Cor	Prateada
Posicionamento	Alinhado
Leitura	Faixas horizontais
Importância	Valorizam e compõem a fachada
Eficiência	NE: A = 63%; B = 71%; C = 100%; D = 66%; Média = 75%; MÁX = 76% SO: A = 96%; B = 100%; C = 100%; D = 100%; Média = 99%; MÁX = 100%

O edifício possui protetores solares verticais móveis dispostos em faixas nas fachadas de orientação sudoeste e nordeste (Figuras 88 e 89). Além disso, a laje entre os pavimentos é prolongada para o exterior das aberturas, o que faz com que atuem como protetores horizontais.



Fig. 89 – Palácio das Telecomunicações, fachada nordeste (esquerda) e fachada sudoeste (direita).

Os protetores podem ser ajustados de acordo com as quatro posições representadas na Figura 90. No detalhe 'A' as lâminas estão em sua abertura máxima, inclinadas 85° em relação ao plano da fachada. No detalhe 'B' a inclinação é de 60° em relação ao plano da fachada. No detalhe 'C' a inclinação é de 45° em relação ao plano da fachada. E, por fim, no detalhe 'D', os protetores estão fechados (inclinação de 0°).

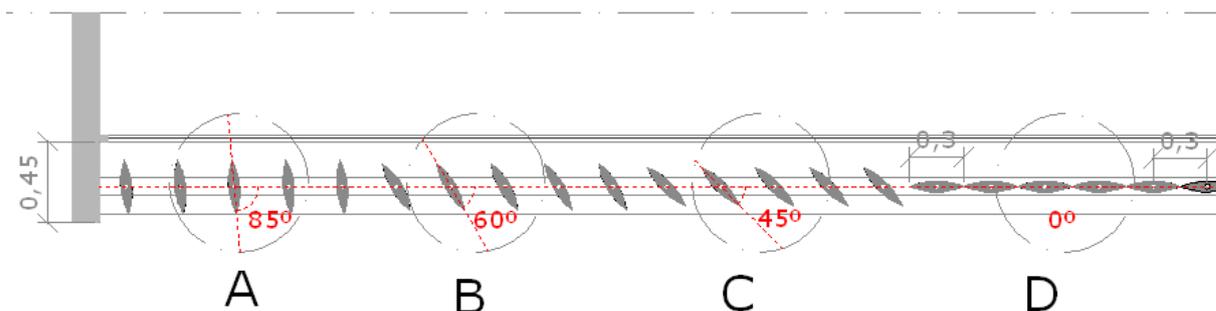


Fig. 90 – Planta esquemática com protetores verticais.

Na figura 91 pode-se ver um corte esquemático com a extensão da laje além das janelas, proporcionando o efeito de protetores horizontais (ângulo de sombreamento com apenas 9°). Na Figura 92 estão reunidos os detalhes 'A', 'B' e 'C' e os ângulos de sombra que cada um deles proporciona para as duas fachadas do edifício em que são utilizados.

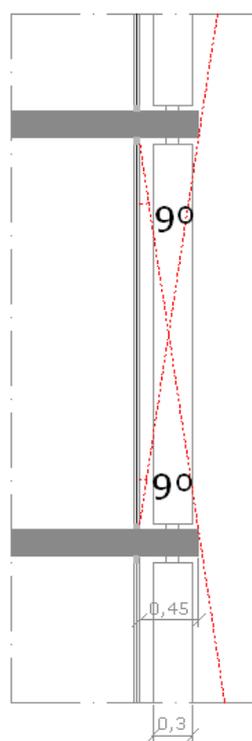


Fig. 91 – Corte esquemático e prolongamento da laje como protetor horizontal.

Observando-se a Figura 92 pode-se verificar que nenhum dos ângulos de sombra dos protetores atinge 90° , correspondente à eficiência total.

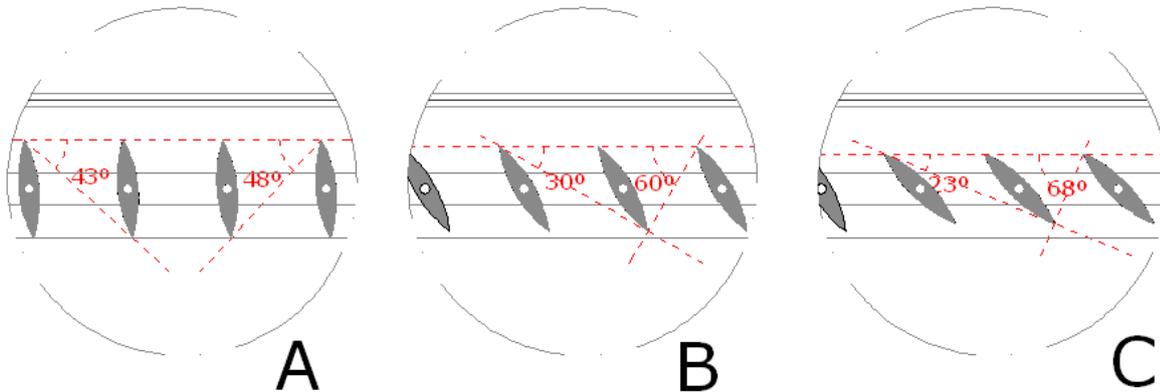


Fig. 92 – Detalhe A: protetores com inclinação de 85° em relação à fachada; detalhe B: protetores com inclinação de 60° em relação à fachada; detalhe C: protetores com inclinação de 45° em relação à fachada.

5.3.1 Orientação nordeste

5.3.1.1 Detalhe 'A'

Quando os protetores estão ajustados de acordo com o detalhe 'A', que corresponde a sua abertura máxima, a proteção falha durante grande parte do ano, no período da manhã. Observando-se a Figura 93, percebe-se que uma região grande da carta solar não está sobreposta pela máscara de sombra.

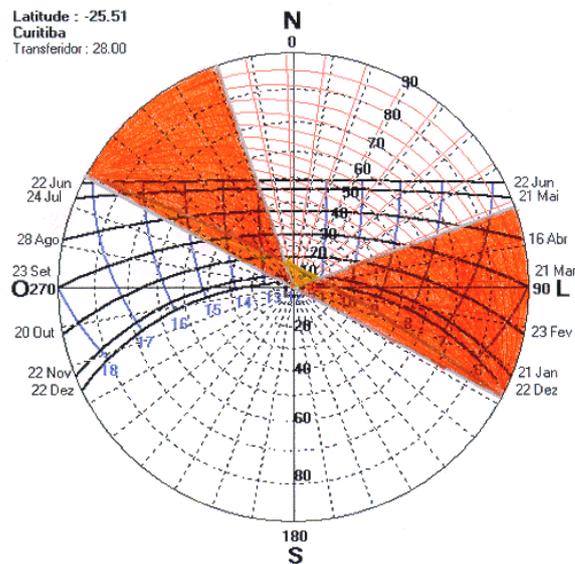


Fig. 93 – Carta solar com sombreamento referente ao detalhe 'A', orientação nordeste.
Fonte: Adaptado de *Analysis SOL-AR* (LAMBERTS; MACIEL, 2006).

Nos meses de novembro, dezembro e janeiro ocorre o sombreamento das aberturas durante todo dia. Para isso é fundamental a existência dos protetores horizontais, ainda que não sejam tão marcantes na composição da fachada do edifício quanto os verticais. Nos

demais meses a proteção é parcial, com os menores valores sendo atingidos em maio, junho e julho, ocorrendo somente depois do meio-dia (Tabela 18). A proteção média obtida com uso dos protetores nesta posição é de 63%.

Tabela 18 – Síntese das informações contidas na Figura 93.

DATA	HORA														S/Total	%
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
22 Jun	X	X	N	N	N	N	N	N	S	S	S	S	X	X	4/10	40
21 Mai	X	X	N	N	N	N	N	N	S	S	S	S	X	X	3,5/10	35
24 Jul		N										X				
16 Abr	X	S	S	N	N	N	N	N	S	S	S	X	X	X	4,5/9,5	47
28 Ago			N					S			X					
21 Mar	X	S	S	S	N	N	N	N	S	S	X	X	X	X	4,5/8,5	53
23 Set				N				S		X						
23 Fev	X	S	S	S	S	N	N	N	S	X	X	X	X	X	5,5/8	69
20 Out	S							S	X							
21 Jan	S	S	S	S	S	S	S	S	X	X	X	X	X	X	8/8	100
22 Nov																
22 Dez	S	S	S	S	S	S	S	X	X	X	X	X	X	X	7/7	100

Média – 63%

5.3.1.2 Detalhe ‘B’

A segunda opção de posicionamento dos protetores (detalhe ‘B’) proporciona sombreamento total das aberturas nos meses de novembro a janeiro. Na carta solar (Figura 94) pode-se ver que grande parte da trajetória solar está fora da área sobreposta pela máscara de sombra, o que indica a falha na proteção em diversos momentos.

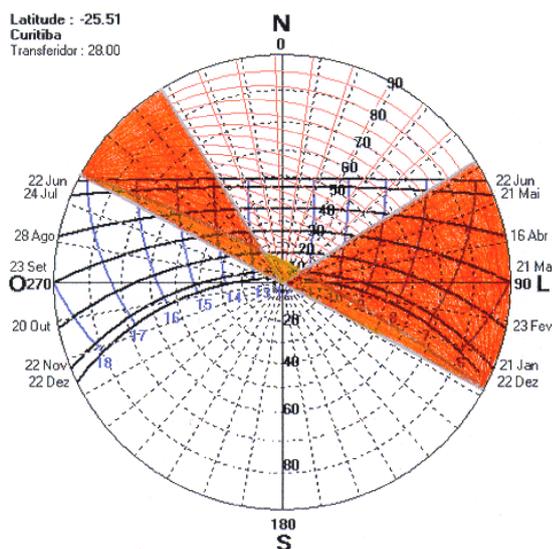


Fig. 94 – Carta solar com sombreamento referente ao detalhe ‘B’, orientação nordeste.
Fonte: Adaptado de *Analysis SOL-AR* (LAMBERTS; MACIEL, 2006)

As falhas na proteção ocorrem, de forma geral, no meio do período em que a fachada recebe insolação (Tabela 19). A maior parte dos momentos em que os protetores são ineficientes nesse posicionamento ocorre no período da manhã e com maior duração nos meses de inverno.

Tabela 19 – Síntese das informações contidas na Figura 94.

DATA	HORA														S/Total	%
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
22 Jun	X	X	S	N	N	N	N	N	N	S	S	S	X	X	3,5/10	35
21 Mai	X	X	S	N	N	N	N	N	N	S	S	S	X	X	4/10	40
24 Jul		S										X				
16 Abr	X	S	S	S	N	N	N	N	N	S	S	X	X	X	5/9,5	53
28 Ago									S		X					
21 Mar	X	S	S	S	S	N	N	N	S	S	X	X	X	X	5/8,5	59
23 Set					N					X						
23 Fev	X	S	S	S	S	S	N	N	S	X	X	X	X	X	6/8	75
20 Out	S					N		S	X							
21 Jan	S	S	S	S	S	S	S	S	X	X	X	X	X	X	8/8	100
22 Nov																
22 Dez	S	S	S	S	S	S	S	X	X	X	X	X	X	X	7/7	100

Média – 66%

5.3.1.3 Detalhe ‘C’

A terceira opção de ajuste dos protetores (detalhe ‘C’), representada na Figura 95, é a que apresenta a maior eficiência sem estar totalmente fechada, uma média de 71% (Tabela 20). De novembro a janeiro a proteção é total, devido à ação combinada dos protetores verticais com a laje, que atua como protetor horizontal.

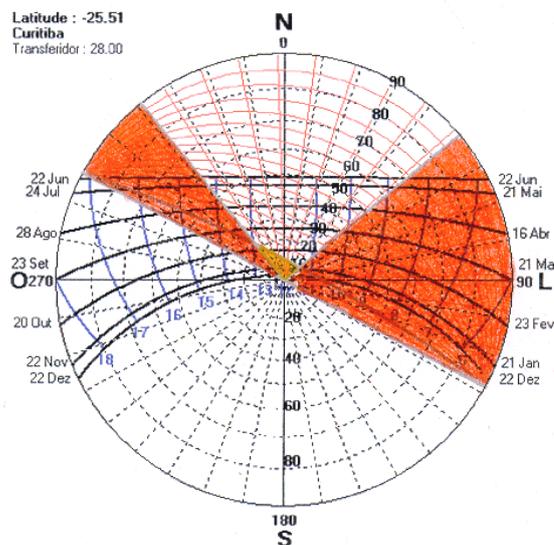


Fig. 95 – Carta solar com sombreamento referente ao detalhe ‘C’, orientação nordeste.

Fonte: Adaptado de *Analysis SOL-AR* (LAMBERTS; MACIEL, 2006).

As falhas são verificadas nos mesmos períodos descritos para detalhe 'B'. Esse caso, entretanto, apresenta algumas horas de proteção a mais que o anterior, pois os protetores, por estarem mais fechados, apresentam ângulo de proteção maior em um dos lados.

Tabela 20 – Síntese das informações contidas na Figura 95.

DATA	HORA															S/Total	%
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
22 Jun	X	X	S	S	N	N	N	N	N	N	S	S	X	X	4/10	40	
21 Mai	X	X	S	S	N	N	N	N	N	S	S	S	X	X	5/10	50	
24 Jul		S										X					
16 Abr	X	S	S	S	S	N	N	N	N	S	S	X	X	X	5,5/9,5	58	
28 Ago					N				S		X						
21 Mar	X	S	S	S	S	N	N	N	S	S	X	X	X	X	5,5/8,5	65	
23 Set										X							
23 Fev	X	S	S	S	S	S	N	N	S	X	X	X	X	X	6,5/8	81	
20 Out	S							S	X								
21 Jan	S	S	S	S	S	S	S	S	X	X	X	X	X	X	8/8	100	
22 Nov																	
22 Dez	S	S	S	S	S	S	S	X	X	X	X	X	X	X	7/7	100	

Média – 71%

5.3.2 Orientação sudoeste

A normal à fachada sudoeste está inclinada 208° em relação ao Norte.

5.3.2.1 Detalhe 'A'

A eficiência da proteção na fachada sudoeste é maior que na nordeste. Isso ocorre porque na orientação sudoeste a trajetória solar não passa em frente à fachada, facilitando interceptação da radiação direta com utilização dos protetores verticais.

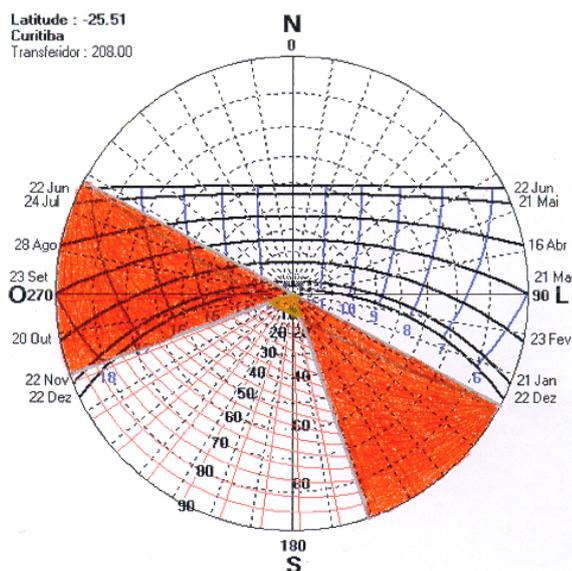


Fig. 96 – Carta solar com sombreamento referente ao detalhe 'A', orientação sudoeste.
Fonte: Adaptado de *Analysis SOL-AR* (LAMBERTS; MACIEL, 2006).

Como pode ser visto na Figura 96, apenas uma parte pequena da carta solar, na região destacada, não está sobreposta pela máscara de sombra proporcionada pelo ajuste dos protetores de acordo com o detalhe ‘A’.

Observando-se a Tabela 21 pode-se perceber que apenas em três meses do ano a proteção não é total, o que faz com que seja alcançada eficiência de 96%.

Tabela 21 – Síntese das informações contidas na Figura 96.

DATA	HORA														S/Total	%
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
22 Jun	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0/0	0
21 Mai	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	S	X	1/1	100
24 Jul												S	X			
16 Abr	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	S	S	X	2/2	100
28 Ago											S		X			
21 Mar	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	S	S	S	S	3,5/3,5	100
23 Set										S						
23 Feb	X	X	X	X	X	X	X	X	X	S	S	S	S	S	5,5/5,5	100
20 Out									S							
21 Jan	X	X	X	X	X	X	X	X	S	S	S	S	S	S	6/6,5	92
22 Nov								S					N			
22 Dez	X	X	X	X	X	X	X	S	S	S	S	S	S	N	6/7	86

Média – 96%

5.3.2.2 Detalhes ‘B’ e ‘C’

Nos outros dois posicionamentos dos protetores a eficiência é total, como pode ser visto na Figura 97 e na Tabela 22.

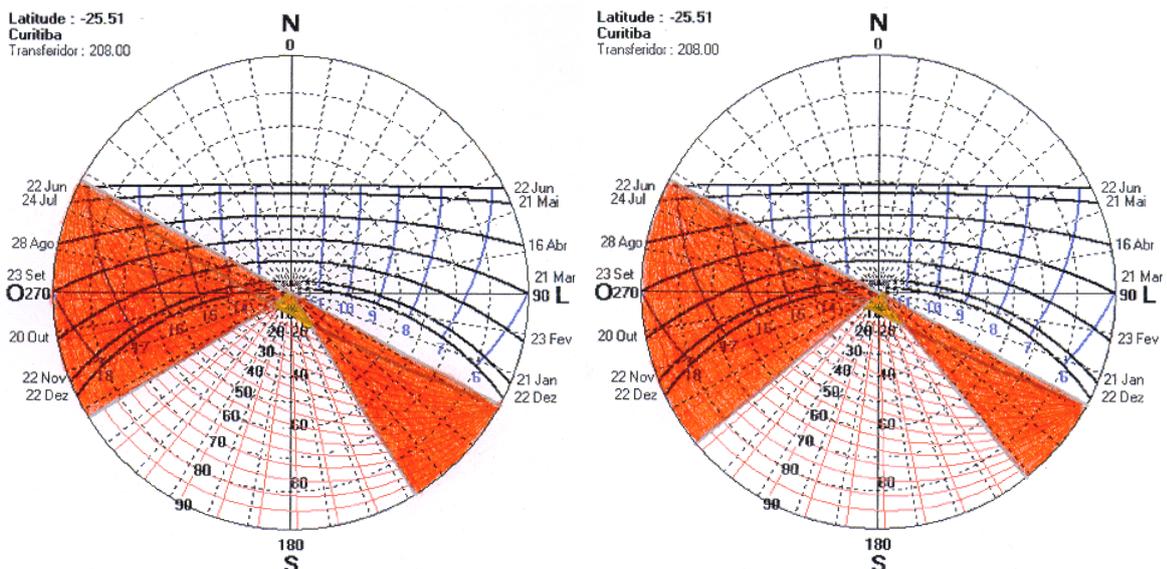


Fig. 97 – Cartas solares com sombreamento referente ao detalhe ‘B’ (esquerda) e ‘C’ (direita), orientação sudoeste.

Fonte: Adaptado de *Analysis SOL-AR* (LAMBERTS; MACIEL, 2006).

Tabela 22 – Síntese das informações contidas na Figura 97.

DATA	HORA															S/Total	%
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
22 Jun	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0/0	0
21 Mai	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	S	X	X	1/1	100
24 Jul												S	X				
16 Abr	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	S	S	X		2/2	100
28 Ago											S		X				
21 Mar	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	S	S	S	S		4,5/4,5	100
23 Set										S							
23 Feb	X	X	X	X	X	X	X	X	X	S	S	S	S	S		5,5/5,5	100
20 Out									S								
21 Jan	X	X	X	X	X	X	X	X	S	S	S	S	S	S		6,5/6,5	100
22 Nov								S									
22 Dez	X	X	X	X	X	X	X	S	S	S	S	S	S	S		7/7	100

Média – 100%

5.3.3 Resultados Obtidos

O edifício ‘Palácio das Telecomunicações’ é um exemplo de erro e acerto na utilização de protetores móveis. Enquanto na orientação sudoeste a proteção máxima possível é 100%, na orientação nordeste é de 76%. Embora seja um percentual grande, observando-se a Figura 98 é possível perceber que, embora os meses em que existem mais falhas sejam maio, junho e julho (os meses que apresentam as temperaturas médias do ar mais baixas durante o ano), os momentos em que essas falhas ocorrem são de grande incidência de radiação solar (entre 9h e 13h).

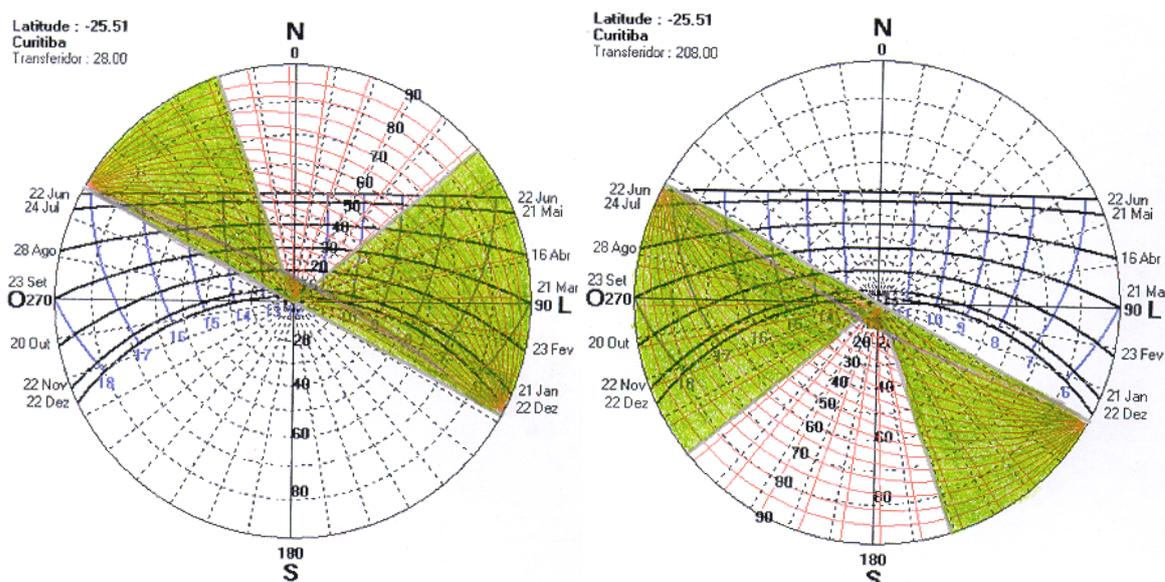


Fig. 98 – Cartas solares com sombreamento máximo: orientação nordeste (esquerda) e orientação sudoeste (direita).
Fonte: Adaptado de *Analysis SOL-AR* (LAMBERTS; MACIEL, 2006).

Isso reflete, como no caso do ‘Palácio das Araucárias’, despreocupação em adequar os protetores à orientação em que são utilizados, provavelmente devido à crença de que os protetores móveis podem proteger da radiação direta do Sol, independentemente de onde ele esteja posicionado. Para que os protetores alcancem 100% de eficiência, para orientação nordeste, é necessário que estejam fechados aproximadamente 25% do tempo (Tabela 23).

Para melhorar as condições de proteção solar poderia ser utilizado um protetor horizontal que se estendesse mais à frente do edifício, ou ainda protetores horizontais com menos espaçamento vertical entre eles. Dessa forma o ângulo de proteção seria maior, aumentando, assim, a eficiência dos dispositivos. Outra alternativa para melhorar a eficiência da proteção seria utilizar lâminas que pudessem ser inclinadas tanto para a direita quanto para a esquerda, que não acontece nesse caso.

Tabela 23 – Síntese da proteção solar para orientação nordeste

DATA	HORA														S/Total	%
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
22 Jun	X	X	BC	C	N	N	N	N	A	AC	ABC	ABC	X	X	5,5/10	55
			C	N						ABC						
21 Mai	X	X	BC	C	N	N	N	N	A	ABC	ABC	ABC	X	X	6/10	60
24 Jul		BC										X				
16 Abr	X	ABC	ABC	BC	C	N	N	N	A	ABC	ABC	X	X	X	6,5/9,5	68
28 Ago					N			A	ABC		X					
21 Mar	X	ABC	ABC	ABC	BC	N	N	N	ABC	ABC	X	X	X	X	6/8,5	71
23 Set					C			A		X						
23 Fev	X	ABC	ABC	ABC	ABC	BC	N	N	ABC	X	X	X	X	X	6,5/8	81
20 Out	ABC					C		ABC	X							
21 Jan	ABC	ABC	ABC	ABC	ABC	ABC	ABC	ABC	X	X	X	X	X	X	8/8	100
22 Nov																
22 Dez	ABC	ABC	ABC	ABC	ABC	ABC	ABC	X	X	X	X	X	X	X	7/7	100

Média – 76%

A permeabilidade visual, do interior para o exterior do edifício é boa, em qualquer um dos posicionamentos possíveis das lâminas dos protetores (Figura 99).

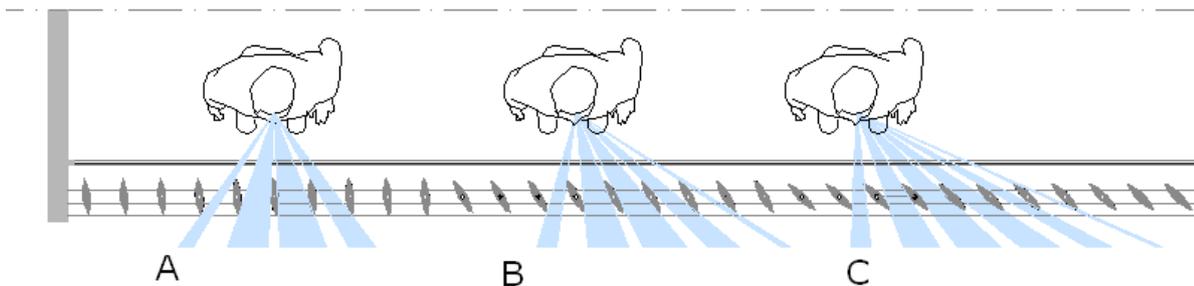


Fig. 99 – Estudo da permeabilidade visual através dos três posicionamentos estudados para os protetores.

5.4 EDIFÍCIO INSS

O edifício, projetado pelo arquiteto Oscar Niemeyer, é composto de dois blocos: um alto de base estreita e um baixo de base larga (Figura 100).

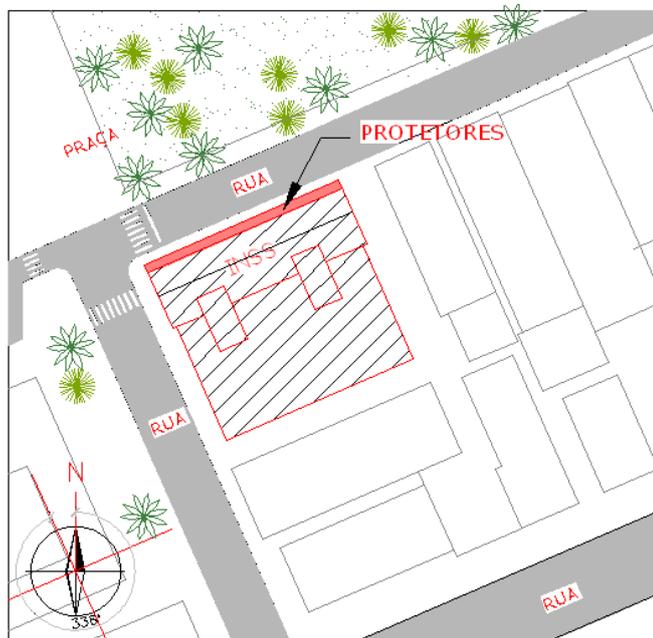


Fig. 100 – Representação esquemática da localização do edifício INSS, com indicação da inclinação da fachada que contém os protetores, em relação ao norte (336°).

O bloco mais alto, de orientação noroeste (336°) constitui a fachada principal do edifício, onde estão aplicados, apenas nos pavimentos inferiores, os protetores solares mistos, fixos (Figuras 100 e 101).

O expediente de trabalho nesse edifício é das 8h às 18h, de segunda a sexta-feira.



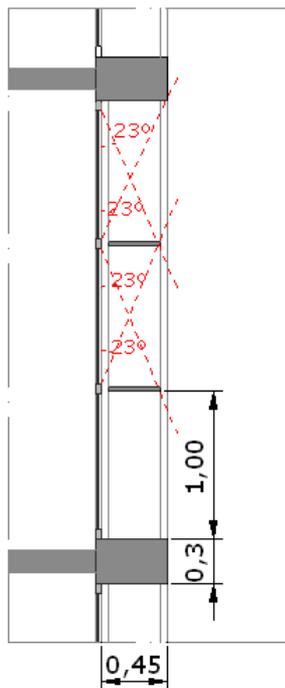
Fig. 101 – Edifício INSS, Curitiba.

Tabela 24 – Síntese da análise dos protetores

Fonte: Adaptado de MARAGNO (2001).

Posição	Combinado
Tipo	Fixo
Material	Concreto
Cor	Concreto aparente
Posicionamento	Saliente
Leitura	Moldura
Importância	Valorizam e compõem a fachada
Eficiência	Média = 52%

As molduras compostas pelos protetores combinados são representadas esquematicamente no corte (Figura 102) e na planta (Figura 103) apresentados abaixo.

**Fig. 102** – Detalhe dos protetores utilizados nos pavimentos inferiores do edifício.**Fig. 103** – Corte esquemático com protetores horizontais com cotas em metro (m).

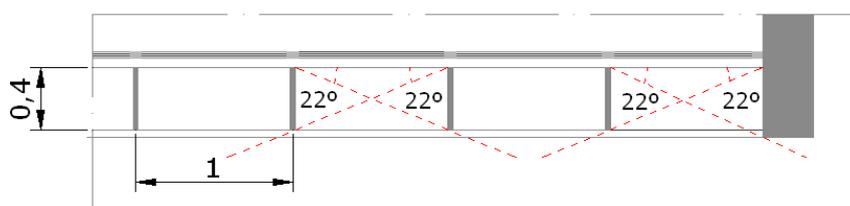


Fig. 104 – Planta esquemática com protetores verticais com cotas em metro (m).

Os ângulos de sombra proporcionados pelos protetores foram transferidos para a carta solar correspondente à latitude de Curitiba e orientação do edifício (Figura 104). As áreas hachuradas em laranja são correspondentes ao sombreamento dos protetores verticais e em amarelo dos protetores horizontais.

Observando-se a carta solar pode-se verificar que em grande parte do período de insolação na fachada a proteção existente não impede a incidência de radiação direta nos fechamentos transparentes.

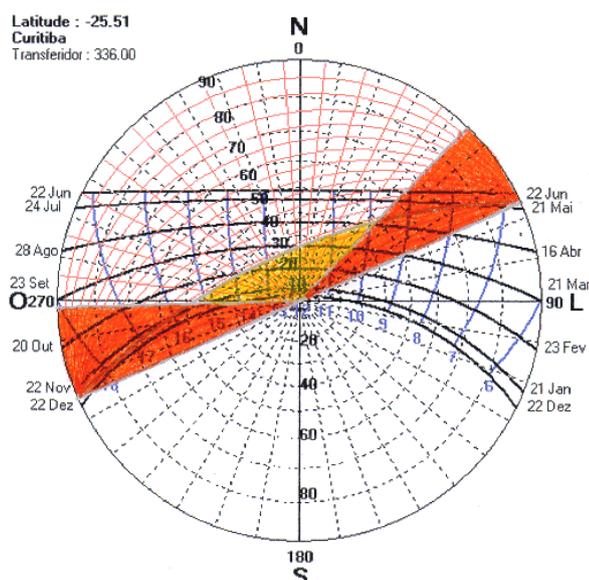


Fig. 105 – Carta solar com sombreamento referente aos protetores combinados.
Fonte: Adaptado de *Analysis SOL-AR* (LAMBERTS; MACIEL, 2006).

Na tabela 25 estão reunidas as informações obtidas por meio da análise da carta solar, referentes à insolação na fachada que recebe aplicação dos protetores (Figura 105). Nos meses mais frios (maio, junho e julho) a proteção é praticamente inexistente, já nos meses mais quentes (novembro, dezembro e janeiro) a proteção é total.

Tabela 25 – Síntese das informações contidas na Figura 105.

DATA	HORA														S/Total	%
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
22 Jun	X	X	S	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	X	2/10,5	19
21 Mai	X	X	S	S	S	N	N	N	N	N	N	N	N	X	2,5/11	23
24 Jul		N			N								X			
16 Abr	X	X	X	S	S	N	N	N	N	N	N	N	N	X	2/9,5	21
28 Ago													X			
21 Mar	X	X	X	X	S	S	S	N	N	N	N	N	N	X	3/9	33
23 Set																
23 Fev	X	X	X	X	X	S	S	S	S	N	N	N	S	S	6/9	67
20 Out																
21 Jan	X	X	X	X	X	X	S	S	S	S	S	S	S	S	8/8	100
22 Nov																
22 Dez	X	X	X	X	X	X	X	S	S	S	S	S	S	S	7/7	100

Média – 52%

5.4.1 Resultados Obtidos

Os protetores fixos combinados do edifício do INSS apresentam uma média de 52% de eficiência. Esse valor é baixo porque estão inadequados para a orientação da fachada que visam proteger. Para aumentar a eficiência, poderia ser diminuído o espaçamento entre os protetores verticais e horizontais, ou prolongadas suas lâminas. Além disso, em relação à fachada em que se encontram os protetores, a trajetória aparente do Sol está situada quase inteiramente à frente e à esquerda do edifício. Sendo assim, as lâminas verticais poderiam ter inclinação para a direita, em relação à fachada, resultando em um aumento do ângulo de proteção com conseqüente aumento da eficiência.



Fig. 106 – Pavimentos superiores da orientação NO e todos da orientação SO sem proteção.

Nesse edifício fica clara a motivação exclusivamente formal para utilização dos protetores solares. Eles estão aplicados na fachada principal do edifício, apenas até a altura correspondente ao bloco mais baixo (Figura 106). Para a orientação em que são utilizados nesse edifício a eficiência é mínima.

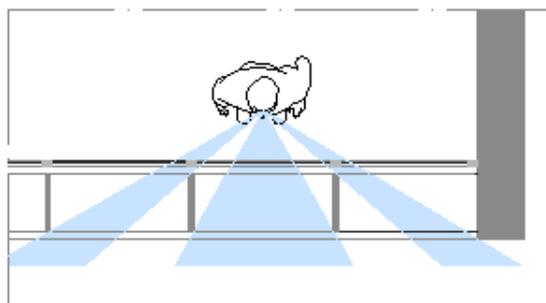


Fig. 107 – Estudo da permeabilidade visual através dos protetores verticais.

A fachada do bloco mais baixo (orientação sudoeste), nesse caso é a que recebe a maior insolação e, entretanto, não recebe nenhum tipo de proteção, pelo contrário, é uma fachada totalmente envidraçada.

Quanto à permeabilidade visual, o espaçamento entre as lâminas dos protetores é suficiente para que eles não bloqueiem a visão do exterior para o interior e vice-versa (Figuras 107 e 108). De fato, mesmo com a diminuição do espaçamento seria possível ter boa visibilidade do exterior e também melhorar a eficiência dos protetores (aumentando o ângulo de proteção).

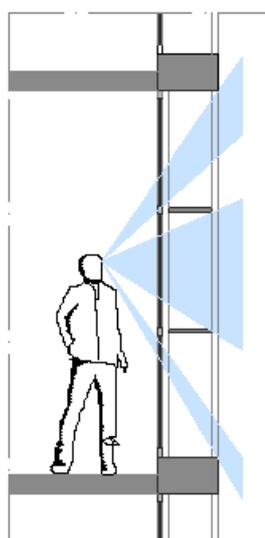


Fig. 108 – Estudo da permeabilidade visual através dos protetores horizontais.

5.5 EDIFÍCIO FIEP

“O engenheiro Rubens Meister influenciou como poucos o cenário arquitetônico de Curitiba, principalmente nos anos 1950 (...) entre suas obras mais importantes destaca-se o Edifício da Federação das Indústrias do Paraná, FIEP, em 1964” (PARANÁ, 2007).

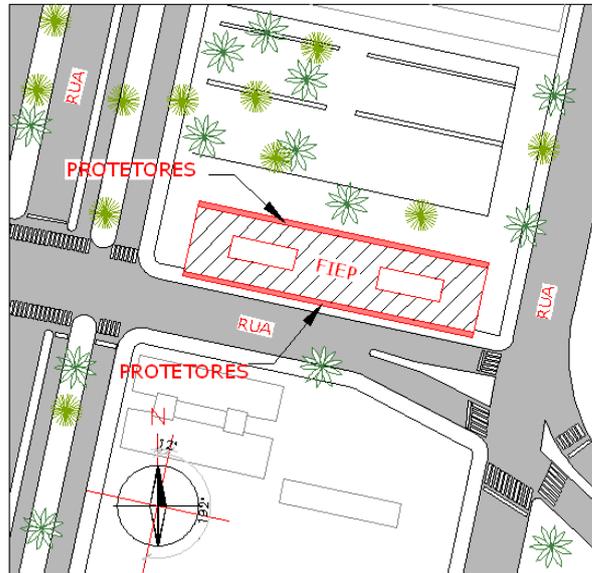


Fig. 109 – Representação esquemática da localização do edifício FIEP, com indicação da inclinação das fachadas que contêm os protetores, em relação ao norte (12° e 192°).

Nesse edifício são utilizados protetores verticais fixos nas fachadas de orientação sudoeste (192°) e nordeste (12°), como pode ser visto nas Figuras 109 e 110. O horário de ocupação se concentra entre 8h e 18h, de segunda a sexta-feira.



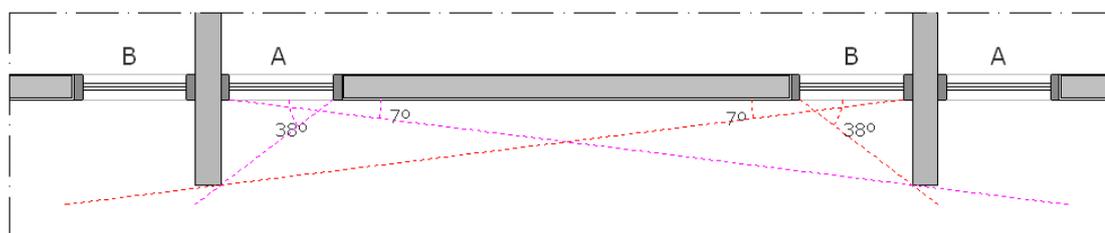
Fig. 110 – Edifício sede da FIEP, fachada nordeste (esquerda) e fachada sudoeste (direita).

Tabela 26 – Síntese da análise dos protetores

Fonte: Adaptado de MARAGNO (2001).

Posição	Vertical
Tipo	Fixo
Material	Concreto
Cor	Concreto aparente
Posicionamento	Saliente
Leitura	Moldura
Importância	Valorizam e compõem a fachada
Eficiência	NE: A = 43%; B = 31%; Média = 37% SO: A = 93%; B = 41%; Média = 67%

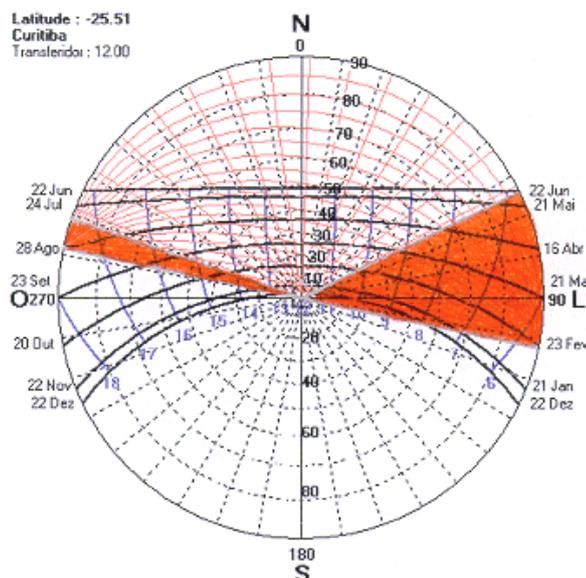
Cada uma das aberturas recebe proteção diferente, por isso foram consideradas como dois detalhes diferentes ao se fazer a análise do sombreamento que recebem.

**Fig. 111** – Planta esquemática com ângulos de proteção.

5.5.1 Orientação nordeste

5.5.1.1 Detalhe 'A'

Os ângulos de sombra referentes ao detalhe 'A' foram transferidos para a carta solar (Figura 112) onde se pode verificar que grande parte do período em que a fachada recebe insolação não está sobreposto pela máscara de sombra.

**Fig. 112** – Carta solar com sombreamento referente ao detalhe 'A', orientação nordeste.Fonte: Adaptado de *Analysis SOL-AR* (LAMBERTS; MACIEL, 2006).

Na tabela 27 fica claro que na maior parte do período em que a orientação noroeste recebe insolação os protetores solares não barram a incidência de radiação solar direta, oferecendo uma proteção média de apenas 43%.

Tabela 27 - Síntese das informações contidas na Figura 112.

DATA	HORA															S/Total	%
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
22 Jun	X	X	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	X	0/10,5	0	
21 Mai	X	X	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	X	1/11	9	
24 Jul		S	N										X				
16 Abr	X	S	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	X	3/11,5	26	
28 Ago												S	X				
21 Mar	X	S	S	S	N	N	N	N	N	N	N	S	X	X	4/10,5	38	
23 Set											S	X					
23 Fev	X	S	S	S	S	N	N	N	N	S	X	X	X	X	5,5/9,5	58	
20 Out	S																
21 Jan	X	X	S	S	S	S	N	N	S	X	X	X	X	X	4,5/6,5	69	
22 Nov									X								
22 Dez	X	X	X	S	S	S	S	S	X	X	X	X	X	X	5/5	100	

Média – 43%

5.5.1.2 Detalhe ‘B’

As aberturas que correspondem ao detalhe ‘B’ recebem ainda menos proteção que as correspondentes ao detalhe ‘A’. Os protetores apresentam apenas 31% de eficiência.

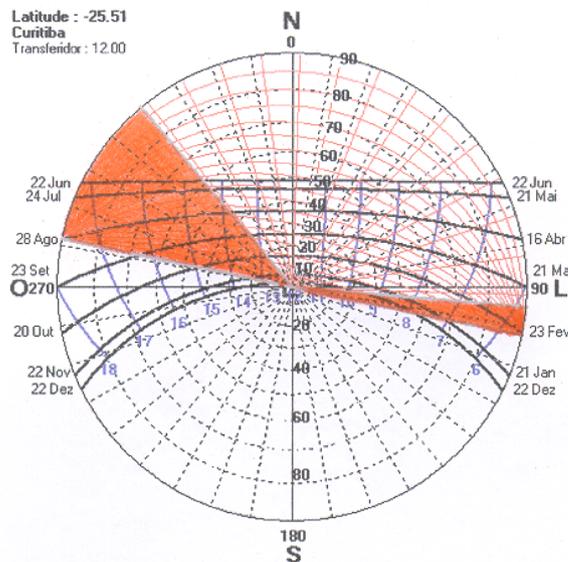


Fig. 113 – Carta solar com sombreamento referente ao detalhe ‘B’, orientação nordeste.
 Fonte: Adaptado de *Analysis SOL-AR* (LAMBERTS; MACIEL, 2006).

Tabela 28 - Síntese das informações contidas na Figura 113.

DATA	HORA															S/Total	%
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
22 Jun	X	X	N	N	N	N	N	N	N	N	S	S	S	X	3/10,5	29	
21 Mai	X	X	N	N	N	N	N	N	N	N	S	S	S	X	3/11	27	
24 Jul		N								S			X				
16 Abr	X	N	N	N	N	N	N	N	N	S	S	S	S	X	3,5/11,5	30	
28 Ago													X				
21 Mar	X	N	N	N	N	N	N	N	N	S	S	S	X	X	3/10,5	29	
23 Set									S			X					
23 Fev	X	S	N	N	N	N	N	N	S	S	X	X	X	X	3/9,5	32	
20 Out	S	N															
21 Jan	X	X	S	S	N	N	N	N	S	X	X	X	X	X	2,5/6,5	38	
22 Nov				N				S	X								
22 Dez	N	N	N	S	S	N	N	S	X	X	X	X	X	X	2,5/8	31	
					N												

Média – 31%

5.5.2 Orientação sudoeste

5.5.2.1 Detalhe 'A'

O detalhe 'A', na orientação sudoeste é o único que apresenta alta eficiência dos protetores, atingindo uma média de 93%. Isso porque, nesse caso, os protetores estão adequados à orientação. Apenas em um curto período de tempo, no início da manhã, a radiação solar direta consegue atingir as janelas (Figura 114 e Tabela 29).

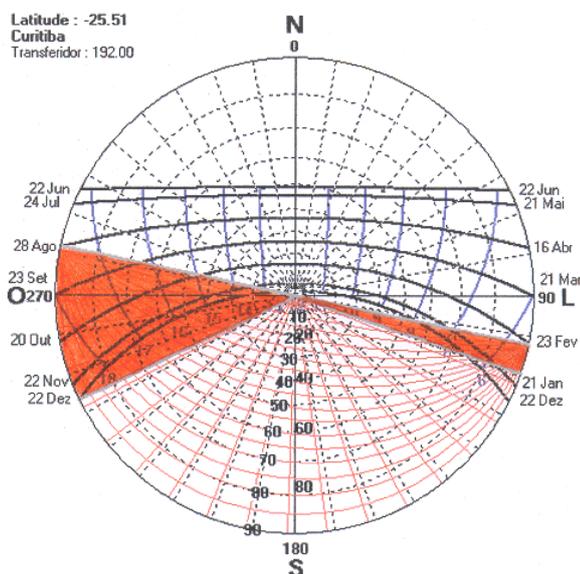


Fig. 114 – Carta solar com sombreamento referente ao detalhe 'A', orientação sudoeste.
Fonte: Adaptado de *Analysis SOL-AR* (LAMBERTS; MACIEL, 2006).

Tabela 29 – Síntese das informações contidas na Figura 114.

DATA	HORA														S/Total	%
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
22 Jun	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0/0	X
21 Mai	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0/0	X
24 Jul																
16 Abr	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0/0	X
28 Ago																
21 Mar	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	S	S	X	2/2	100
23 Set																
23 Fev	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	S	S	S	S	4/4	100
20 Out																
21 Jan	N	S	X	X	X	X	X	X	S	S	S	S	S	S	7/8	88
22 Nov																
22 Dez	N	N	S	X	X	X	X	S	S	S	S	S	S	S	8,5/10	85
		S														

Média – 93%

5.5.2.2 Detalhe ‘B’

Nas janelas correspondentes ao detalhe ‘B’, para esta orientação, ocorre o oposto do que foi descrito para o detalhe ‘A’. O posicionamento dos protetores em relação à janela não está adequado à orientação, por isso a proteção é menor, em média 41%.

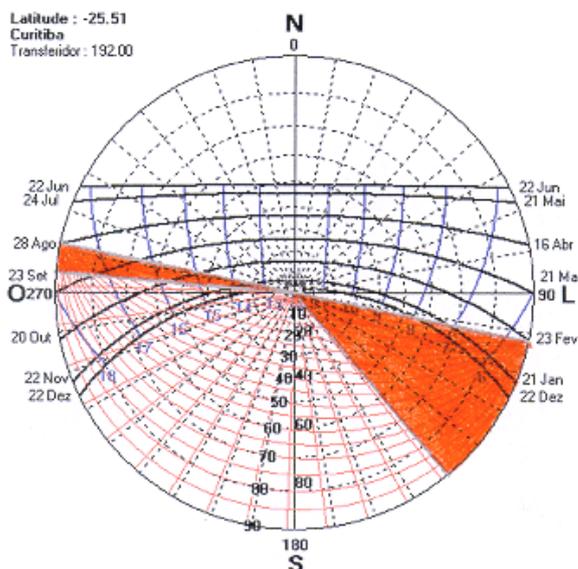


Fig. 115 – Carta solar com sombreamento referente ao detalhe ‘B’, orientação sudoeste.

Fonte: Adaptado de *Analysis SOL-AR* (LAMBERTS; MACIEL, 2006).

Tabela 30 – Síntese das informações contidas na Figura 115.

DATA	HORA															S/Total	%
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
22 Jun	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0/0	X	
21 Mai 24 Jul	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0/0	X	
16 Abr 28 Ago	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0/0	X	
21 Mar 23 Set	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	S	N	X	1/2	50		
23 Fev 20 Out	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	S	N	N	N	1/3,5	29	
21 Jan 22 Nov	S	S	X	X	X	X	X	X	S	N	N	N	N	N	3/8	38	
22 Dez	S	S	S	X	X	X	X	S	S	N	N	N	N	N	4,5/10	45	

Média – 41%

5.5.3 Resultados obtidos

Para a orientação noroeste, a principal falha na proteção se deve à falta de protetores horizontais, que teriam melhor desempenho frente ao deslocamento do sol em relação à fachada que deve ser protegida.

Já para a orientação sudoeste, a falha ocorre por despreocupação no posicionamento dos protetores em relação à janela. A configuração simétrica das janelas localizadas entre cada dois protetores resulta em diferentes condições de sombreamento para cada uma delas.

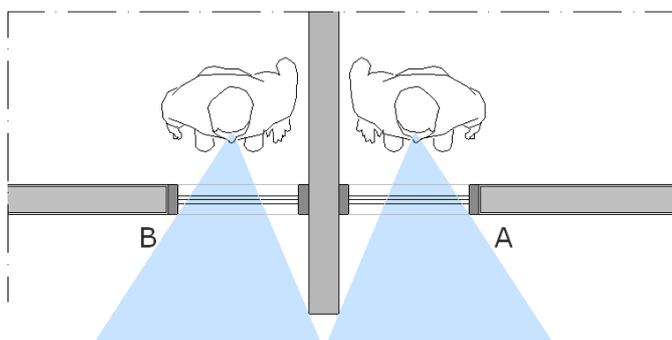


Fig. 111 – Estudo da permeabilidade visual através dos protetores verticais.

No caso deste edifício é difícil pensar que os protetores foram projetados em função da orientação e da insolação que ele recebe. Apenas em uma das quatro formas de utilização dos protetores apresenta eficiência em impedir a incidência de radiação solar direta sobre as janelas.

5.6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Observando-se os valores percentuais de eficiência dos protetores analisados, pode-se perceber que grande parte não atende ao conceito de eficiência utilizado na realização deste trabalho.

Protetores solares móveis, que deveriam oferecer melhores condições de proteção, apresentam resultados insatisfatórios, de forma geral, pois devem estar fechados totalmente (impedindo também a entrada de luz) para impedir a incidência de radiação direta sobre os fechamentos transparentes.

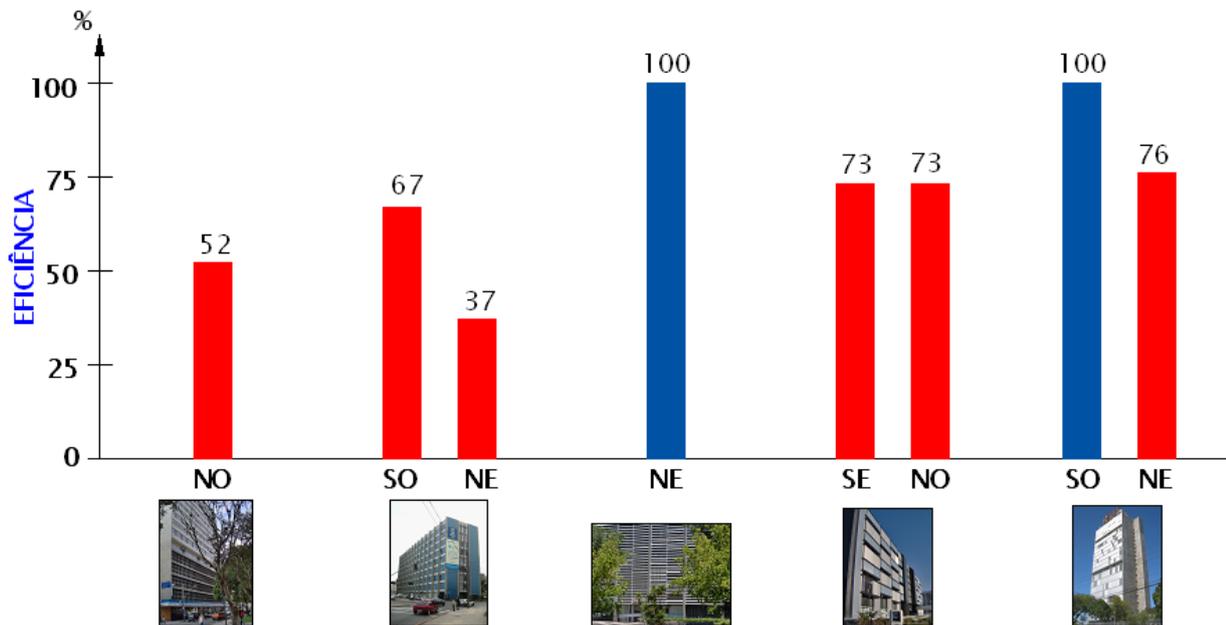


Fig. 112 – Síntese dos valores obtidos na análise da eficiência dos protetores.

Na Figura 112 pode-se ver uma síntese das informações obtidas na análise de eficiência dos protetores. Apenas dois apresentam 100% de eficiência, ambos protetores móveis, um conjunto composto de lâminas verticais (orientação SO do Palácio das Telecomunicações) e um composto de lâminas horizontais (DETRAN).

Em relação aos protetores móveis, dos três exemplos analisados, apenas os horizontais, empregados no edifício do DETRAN, apresentam adequação à orientação da fachada em que estão instalados. No Palácio das Telecomunicações fica evidente a falta de cuidado com a escolha dos protetores, pois em uma orientação obtêm 100% de eficiência e para outra a proteção máxima fica em torno de 75%. Já no Palácio das Araucárias a situação é ainda pior, pois em nenhuma das duas orientações a proteção máxima é de 73%.

Quanto aos protetores fixos, no edifício do INSS pode-se perceber que foram projetados apenas por motivos estéticos. Na mesma fachada onde estão os protetores existe

uma área envidraçada desprotegida muito maior que a protegida. Além disso, na orientação Sudoeste também existe uma grande área envidraçada sem nenhum tipo de proteção, o que a deixa exposta a incidência de radiação solar direta durante toda manhã, o ano todo.

Já no caso do edifício da FIEP, os protetores desempenham papel de grande importância na composição formal, mas quanto à eficiência da proteção não apresenta bom desempenho. As dimensões são insuficientes para a orientação Sudoeste, enquanto para a orientação Noroeste, além disso, também falham por serem somente verticais, enquanto seria necessário utilizar protetores combinados.

Na busca e seleção dos edifícios a serem estudados, foi constatado que os dispositivos externos de proteção solar são utilizados em uma parcela muito pequena dos edifícios de escritórios encontrados na cidade de Curitiba. Além disso, ainda na etapa de pré-seleção, por meio da simples observação desses poucos exemplares existentes percebe-se a utilização com finalidade meramente formal e compositiva.

Com base nos resultados das análises realizadas neste trabalho, pode-se perceber que os protetores solares, de forma geral, apresentam problemas de concepção e/ou dimensionamento. A repetição dos erros no projeto e posicionamento dos dispositivos salienta o pouco cuidado com os mesmos uma vez que os projetistas já dispunham de métodos de projeto bastante difundidos e simplificados.

Vários fatores podem ter contribuído para os recorrentes erros: a utilização com finalidade de composição formal, ou seja, projetos realizados sem se levar em consideração a real contribuição dos protetores; o desconhecimento do processo de projeto dos protetores solares, com repetição de conceitos divulgados, sem reflexão e sem a preocupação de adaptar esses conceitos à realidade do local onde se pretende implantá-los; ou, ainda, a ignorância da necessidade de se impedir a incidência de radiação solar direta em fechamentos transparentes.

Três dos edifícios analisados apresentam o mesmo tipo de protetores aplicados em duas fachadas opostas, que recebem insolação com ângulos de incidência totalmente diferentes. Em dois desses casos as lâminas dos protetores são móveis, o que confirma a idéia errônea de que protetores móveis, de qualquer tipo, sejam eficientes para qualquer orientação. Muitas vezes as lâminas móveis devem estar completamente fechadas para impedir a incidência da radiação solar direta sobre os fechamentos transparentes. Isso porque as lâminas, apesar de móveis, estão mal posicionadas em relação às trajetórias aparentes do sol.

Alguns outros erros também são verificados com frequência na utilização de protetores solares como, por exemplo, a proteção parcial da área envidraçada ou mesmo a aplicação de protetores em apenas uma fachada. Muitas vezes essa é a fachada principal, mas

não a que apresenta maior necessidade de proteção. Isso tudo reafirma o projeto dos protetores desvinculado da preocupação com sua eficiência.

Como foi discutido nesse trabalho, nem sempre é desejável permitir que a radiação solar direta possa incidir diretamente sobre os fechamentos transparentes dos edifícios, mas a determinação de quando é ou não desejável ainda não está claramente definida. Sendo assim, um desdobramento interessante desse trabalho poderia averiguar, por meio de medidas, os períodos em que se deve ou não proteger as aberturas.

A partir dessas informações, poderia ser quantificada a contribuição dos protetores solares na redução de ganhos térmicos das edificações. Por fim, seria possível discutir a influência dos protetores na diminuição do consumo de energia, tanto para aquecimento e resfriamento do ar interno, quanto para iluminação.

Na realização deste trabalho foi possível perceber que a arquitetura não pode estar desvinculada do meio para o qual é projetada. A repetição de estilos e de concepções em meios completamente diversos pode prejudicar os usuários do edifício, seja pela necessidade de soluções posteriores que corrijam os problemas do projeto, ou até mesmo expondo esses usuários a condições de insalubridade.

A utilização de protetores solares nos fechamentos transparentes, recorrente em tantos momentos da história do Brasil, atualmente é subutilizada. Grande parte dos arquitetos desconsidera essa necessidade em seus projetos e abre mão da possibilidade de solucionar problemas do edifício no projeto, deixando isso para as etapas posteriores, com a adição de sistemas complementares (como os de condicionamento de ar).

O arquiteto deve assumir uma postura mais responsável nos projetos que desenvolve, seja com os materiais e tecnologias, ou com os elementos projetuais empregados. É importante a conscientização dos arquitetos de que a maior parte das decisões importantes para o bom desempenho de um edifício deve ser tomada na etapa de projeto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa contribui para a discussão da necessidade de se proteger os fechamentos transparentes da incidência de radiação solar direta. Também contribui para a percepção de que os protetores solares, e os edifícios como um todo, devem ser adequados para o local de sua implantação e de acordo com sua orientação no local.

Percebeu-se, ao longo da realização deste trabalho, que no projeto de dispositivos de proteção solar muitos mitos são divulgados e perpetuados, e que muitas vezes o projeto não é baseado nesses mitos, o que resulta em erros no emprego de determinados tipos de protetores.

Um erro que se verificou em muitos edifícios, não somente entre os exemplares analisados na cidade de Curitiba, mas em outros exemplos estudados em diferentes lugares do Brasil, é a utilização de protetores verticais em fachadas de orientação oeste. Esse é um conceito amplamente difundido no Brasil, no que diz respeito a projeto de dispositivos de proteção solar, entretanto, como foi verificado neste trabalho, dependendo da latitude da cidade onde o edifício será implantado, os protetores verticais não são capazes de oferecer proteção às aberturas nos momentos mais críticos de insolação, que são os horários que se aproximam do meio-dia.

É importante que o arquiteto, ao projetar, não se limite a aplicar conceitos, ainda que largamente difundidos, sem um questionamento sobre a adequação destes conceitos para cada projeto a ser realizado.

Da mesma forma, é necessário que exista sempre um questionamento a respeito das necessidades de cada edifício e de cada local.

Por fim, este trabalho contribui para a discussão de que existem soluções simples que podem ser determinadas na fase de projeto de um edifício, evitando assim a necessidade de soluções posteriores, muitas vezes caras, de alto consumo energético e impacto ambiental, e que, ainda assim não garantem a satisfação das necessidades dos usuários. O melhor momento para se adequar um edifício ao local e às necessidades dos usuários é a etapa de projeto deste edifício.

Este trabalho pode ser retomado de posse de dados referentes a períodos em que seja desejável ou indesejável a incidência de radiação solar direta nos fechamentos transparentes, dessa maneira a discussão será ainda mais frutífera e mais facilmente aplicada.

REFERÊNCIAS

- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15220. Desempenho térmico de edificações. São Paulo: ABNT, 2003.
- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 151215. Iluminação Natural. São Paulo: ABNT, 2005.
- ALGRANTI, Leila Mezan. Famílias e Vida Doméstica. In: SOUZA, Laura de Melo e (Org). **História da vida privada no Brasil: Cotidiano e vida privada na América portuguesa.** São Paulo: Cia das Letras, 1997.
- ARZTEGUI, José M. **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, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, 1980.
- ASHRAE, 1993. **Handbook of Fundamentals.** American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, New York, USA.
- ATEM, Camila Gregório. Uso do brise-soleil na arquitetura de Artigas em Londrina. In: ENCAC 7, 2003, Curitiba. **Anais do V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, III Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações.** Curitiba, 2003, p.1358-1365.
- ATEM, Camila Gregório; BASSO, Admir. Apropriação e eficiência do *brise-soleil*: o caso de Londrina (PR). **Ambiente Construído.** Porto Alegre. v.5, n.4, p.29-45, outubro de 2005.
- BACCOCCINI, Luiz; SLOMPO, S. **Percursos da arquitetura: Arquitetura em Curitiba 1721-1962.** Curitiba: Due Design+Comunicação, 2001. CD-ROM
- BITTENCOURT, Leonardo S. **Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos.** 3. ed. Ver. Maceió: EDUFAL, 2000.
- BITTENCOURT, Leonardo S; MELO, M.C.; FERREIRA D.B. A influência dos protetores solares verticais na iluminação natural de edificações escolares no município de Maceió – Alagoas. In: ENCAC 5, 1999, Fortaleza. **Anais do V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído.** Fortaleza, 1999, p.1-7.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas (1961 – 1990).** Brasília: Departamento Nacional de Meteorologia, 1992.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Eletrobrás. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Manual de Prédios Eficientes em Energia Elétrica.** Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2006.
- BRUAND, Yves. **Arquitetura Contemporânea no Brasil.** 3ª ed. São Paulo: Ed. Perspectiva, 1997.

CARAM, Rosana M. **Estudo e caracterização de fachadas transparentes para uso na arquitetura**: ênfase na eficiência energética. São Carlos, 2002. Texto de livre docência, EESC/USP.

CASTANHEIRA, Renato G.; CORBELLA, Oscar D. Ganho solar médio em aberturas envidraçadas através de uma ferramenta computacional. In: ENCAC 5, 2005, Maceió. **Anais do VIII Encontro Nacional, IV Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**. Maceió, 2005. P.377-386.

CORBELLA, Oscar D.; CASTANHEIRA, Renato G. Sobre a necessidade de proteção da radiação solar incidente nas fachadas Sul, para edifícios situados entre as latitudes 10° e 35°. In: ENCAC 6, 2001, São Pedro. **Anais do VI Encontro Nacional e III Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído**, São Pedro, 2001.

CORONA, E.; LEMOS C. **Dicionário da Arquitetura Brasileira**. São Paulo: Edart, 1972.

COX, Cristián F. Afirmação cultural: uma atitude ativa na busca da identidade da arquitetura. **Vitruvius**. Tradução de Anita Regina di Marco. São Paulo, n.055, artigo 055.00, dezembro de 2004. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arg055/arg055_00.asp>. Acesso em: 18/03/2007.

CURITIBA. Prefeitura de Curitiba. Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. **Curitiba em dados**. Curitiba: IPPUC, 2001. Disponível em: < http://ippucnet.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/Curitiba_em_dados_Pesquisa.asp>. Acesso em: 19/05/2007.

DIDONÉ, Evelise L.; BITTENCOURT, Leonardo S. Avaliação do desempenho de diferentes configurações de protetores solares na iluminação natural de salas de aula. In: ENTAC 11, 2006, Florianópolis. **Anais do XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Florianópolis, 2006. p.294-306.

DUTRA, Luciano; LAMBERTS, Roberto; PEREIRA, Fernando O. R. Determinação do fator solar desejável em aberturas. In: ENCAC 3, 1995, Gramado. **Anais do III Encontro Nacional, I Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Gramado, 1995. P.359-364a.

EKERMAN, Sergio Kopinski. Le oeuvre multiforme de Lelé. Lausanne, **Tracés**, n° 15/16, ano 131, 17 agosto 2005, p. 26-28.

FERRAZ NETTO, Luiz; MOURA, Marcelo. Céu e Terra – noções básicas. **Feira de ciências**. 2 ilustrações. Disponível em: <<http://www.feiradeciencias.com.br/sala19/texto71a.asp>>. Acesso em: 25/05/2007.

FROTA, Anésia B.; SCHIFFER, Sueli R. **Manual de conforto térmico**. 5ª edição. São Paulo: Studio Nobel, 2001. 244p.

GABARRA, Valéria. **Luz na Arquitetura Contemporânea**: a interface entre poética e técnica (um exemplo na obra de Jean Nouvel). 2000. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

GAMMARANO, Bianca. Arquitetura moderna x qualidade e sustentabilidade. In: Seminário Internacional NUTAU'2002 - Seminário Internacional - Sustentabilidade, Arquitetura e Desenho Urbano, 2002, São Paulo. **Seminário Internacional NUTAU'2002 - Sustentabilidade, Arquitetura e Desenho Urbano**. São Paulo: FUPAM/NUTAU/FAUUSP, 2002, v.1, p.804-814.

GARCÍA, Humberto R.; MARTIÑON, Maria de L. S. **Arquitetura: Una alternativa de enseñanza**. Análisis del Sítio: Sol. Azcapotzalco: Casa abierta al tiempo, 1997.

GIVONI, Baruch. **Man, Climate and Architecture**. London: Applied Science Publishers Ltda, 1976. 483p.

_____. Impact of planted areas on urban environmental quality: a review. **Atmospheric environment**, London, v.25b, n.3, p.289-299, May 1991.

_____. **Climate Consideration in Building and Urban Design**. New York: J. Wiley & Sons, 1998.

GÓES, Carlos A. F.O. Cálculo de radiação solar sobre brise-soleil e janela. In: ENCAC 3, 1995, Gramado. **Anais do III Encontro Nacional, I Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Gramado, 1995. P.257-262.

GONCALVES, Josilena M. Z. . A Arquitetura Moderna e o Sesquicentenário de Emancipação Política do Paraná: o tombamento de marcos de referência da arquitetura moderna paranaense. In: 5º Seminário Docomomo Brasil, 2003, São Carlos. **Anais do 5º Seminário Docomomo Brasil**. São Carlos: SAP/EESC/USP, 2003.

GRIMM, Marlene A. **Meteorologia Básica: Notas de aula**. Curitiba: UFPR, 1999. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/>>. Acesso em: 29/05/2007.

GUTIERREZ, Grace C. R.; LABAKI, Lucila C. Considerações sobre o brise-soleil na arquitetura brasileira. In: ENCAC 5, 2005, Maceió. **Anais do VIII Encontro Nacional, IV Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**. Maceió, 2005. P.874-881.

IWASHITA, J. Estudo da iluminação natural em edifícios de escritórios na cidade de São Paulo: estudo de casos. In: ENCAC 5, 1999, Fortaleza. **Anais do V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**. Fortaleza, 1999, p.1-8

KOENISBERGER, O.H. et al. (1980). **Manual of tropical housing and building: Climatic design (part one)**. New York: Longman Group Ltd.

LAAR, Michael. Brise-soleil – Classical elements of tropical modernism. Rio de Janeiro, 2001. P.1321-1328.

LABAKI, L. C; CARAM, R. M; SICHIERI, E. P. Os vidros e o conforto ambiental. In: ENCAC 3, 1995, Gramado. **Anais do III Encontro Nacional, I Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Gramado, 1995. P.215-220.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997.

LAMBERTS, Roberto; MACIEL, Alexandra A. **Analysis SOL-AR**. Versão 6.1.1. (2006), Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, LabEEE.

LAS CASAS, Renato. As estações do ano. In: **Observatório Astronômico Frei Rosário**. Caeté: UFMG, 2002. Disponível em: <<http://www.observatorio.ufmg.br/pas44.htm>>. Acesso em: 26/05/2007.

LOEWEN, Andréa B. Alberti e Vitruvio. **Projeções**. Curitiba, v.19/20, p.37-42, jan.2002.

LUCCI, Elian A.; BRANCO, Anselmo L.; MENDONÇA, Cláudio. Geografia geral e do Brasil. 1 ilustração, disponível em: <<http://www.geografiaparatodos.com.br/img/Latitude%20e%20longitude.jpg>>. Acesso em: 22/05/2007.

MAGALHÃES, Maria Amália, A.de A. As fachadas de vidro e a iluminação natural. In: ENTAC 1, 1993, São Paulo. **Anais do I Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, São Paulo, 1993. v.2, p.893-900.

MAHFUZ, Edson. **Ensaio sobre a razão compositiva**. Belo Horizonte: AP Cultural, 1995.

MARINOSKI, Deivis L. **Aperfeiçoamento de um sistema de medição de ganho de calor através de aberturas**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) PPEC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MASCARÓ, J.L.; MASCARÓ, L.E.R. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios**. 2ª edição, Porto Alegre, Sagra-DC Luzzatto, 1992.

MARAGNO, Gogliardo V. Eficiência e forma do brise soleil na arquitetura de Campo Grande – MS. In: ENCAC 6, 2001, São Pedro. **Anais do VI Encontro Nacional e III Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído**, São Pedro, 2001.

MEIRIÑO, Marcelo J. Arquitetura e Sustentabilidade. **Vitruvius**. São Paulo, n.047, artigo e227, abril de 2004. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arg000/esp227.asp>>. Acesso em: 08/02/2007.

MELLENDEZ, Adilson. Módulos retangulares formam prédios em novo campus da USP. **Projeto Design**, São Paulo, n.304, p.35, junho de 2005. 1 fotografia colorida.

MELENDO, José M. A. Da janela horizontal ao brise-soleil de Le Corbusier: análise ambiental da solução proposta para o Ministério da Educação do Rio de Janeiro. **Vitruvius**. São Paulo, n. 051, artigo 051.02, agosto de 2004. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arg051/arg051_02.asp>. Acesso em: 12/04 /2007.

MIANA, Anna Christina. **Avaliação do desempenho térmico de brises transparentes: Ensaio em células-teste**. 2005. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

MIANA, Anna C.; CARAM, Rosana A. avaliação do desempenho térmico e luminoso de *brise-soleils* transparentes. In: ENCAC 5, 2005, Maceió. **Anais do VIII Encontro Nacional**,

IV Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Maceió, 2005. p.2280-2281.

MIOTTO, J.L. Evolução das esquadrias de madeira no Brasil. **Unopar Científica, Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v.1, n.1, p.55 a 62, novembro de 2002.

MONTEIRO, Carlos A.F. **Geografia do Brasil: Grande Região Sul.** Rio de Janeiro: IBGE, v.4, t.1, 1963.

MONTERO, Jorge I.P. **Ventilação e iluminação naturais na obra de João Filgueiras Lima, Lelé:** Estudo dos Hospitais da Rede Sarah Kubitschek Fortaleza e Rio de Janeiro. 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

NOBRE, Eduardo A.C. Desenvolvimento Urbano e Sustentabilidade: Uma reflexão sobre a Grande São Paulo no começo do século XXI. In: NUTAU 2004 - Demandas sociais, inovações tecnológicas e a cidade, São Paulo, 2004. **Anais do Seminário Internacional NUTAU 2004.** São Paulo: FUPAM/NUTAU/FAUUSP, 2004. v.1.

OLGYAY, Victor. **Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism.** Princeton: Princeton University Press. 1963.

OLGYAY, A, OLGAY, V. **Solar Control & Shading Devices.** Princeton: Princeton University, 1957.

PARANÁ. Governo do Estado do Paraná. Secretaria de Estado da Comunicação Social. Agência Estadual de Notícias. Curitiba: AEN, 2007. Disponível em: <<http://www.agenciadenoticias.pr.gov.br/modules/news/print.php?storyid=28293>>. Acesso em: 23/02/2008.

PERROT, Pierre. **A to Z of Thermodynamics.** Oxford: Oxford University Press, 1998.

PINTO, Ana R.; MENDES, Maria J. O contributo da luz no estudo do átomo. **CiênciaJ**, n.33-34, julho-dezembro 2003. 1 ilustração, disponível em: <<http://www.ajc.pt/cienciaj/n33/atomo.php>>. Acesso em: 17/05/2007.

RELEVO do Paraná. 1 ilustração, disponível em <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Paran%C3%A1>> . Acesso em: 20/07/2007.

RIVERO, Roberto. **Arquitetura e clima:** condicionamento natural. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 1985.

RORIZ, Maurício. **Luz do sol – Radiação Solar e Iluminação Natural – versão 1.1.** São Carlos, 1995: Universidade Federal de São Carlos.

_____. **Sunpath.** Versão 1.1. São Carlos, 2000: Universidade Federal de São Carlos.

SANTOS, Romeo Ferreira dos. **A arquitetura e a eficiência nos usos finais da energia para o conforto ambiental.** 2002. Dissertação (Mestrado em Economia) FEA, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SANTOS, Joaquim C.P., **Desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação solar**. 2002. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais). IQSC/EESC/IFSC, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

SANTOS NETO, Antonio A. **Automação dos traçados de máscaras de sombra para avaliar os dispositivos de proteção solar: uma aplicação compugráfica**. 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

SCRHOEDER, Daniel R. **Thermal Physics**. New York: Addison Wesley Longman, 2000.

SENAC – Portal Descubra Minas. 1 fotografia colorida. Disponível em: <http://www.descubraminas.com.br/fotosminas/hpg_albumcompleto.asp?id_album=3&id_subalbum=&pagina=5>. Acesso em: 15/03/2007.

SERAPIÃO, Fernando. Rino Levi: o racionalista dos trópicos. **Projeto Design**. São Paulo, n. 262, p.65-68, dezembro 2001.

_____. Uma grande varanda. **Projeto Design**. 1 fotografia colorida. São Paulo, n.293, P.74-75, julho 2004.

SZOKOLAY, Steve. **Energia Solar y Edificacion**. Barcelona: Blume, 1978.

VECCHIA, F., **Clima e Ambiente Construído: A abordagem dinâmica aplicada ao Conforto Humano**. 1997. Tese (Doutorado em Geografia) FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

VERÍSSIMO, Maria E. Z.; MENDONÇA, Francisco de A. Algumas considerações sobre o clima urbano de Curitiba e suas repercussões na saúde da população. In: II Encontro da ANPPAS, Indaiatuba, 2004. **Papers Apresentados no II Encontro da ANPPAS**. Indaiatuba: Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, 2004, disponível em <http://www.anppas.org.br/encontro_anual/encontro2/GT/GT12/elisa_verissimo.pdf>. Acesso em: 10/05/2007.