

PROTEÇÃO SOLAR EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS E COMERCIAIS - DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA

Iraci M. Pereira (1); Roberta Vieira Gonçalves de Souza (2)

(1) Curso de Pós-Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares - Departamento de Engenharia Nuclear – Escola de Engenharia - Universidade Federal de Minas Gerais – iraci.pereira@uol.com.br

(2) Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo – Escola de Arquitetura – Universidade Federal de Minas Gerais – roberta@arq.ufmg.br

RESUMO

Proposta: Este artigo traz a proposta de uma metodologia para a determinação da necessidade do uso de sistemas de proteção solar em aberturas feita a partir de dados de radiação solar incidente em fachadas e de temperaturas estimadas a partir das Normais Climatológicas do INMET de 1960-91. **Método de pesquisa/Abordagens:** Análise de limites de temperatura obtidos através de índices adaptativos e calculados em função de temperaturas neutras mensais (T_n) para as 206 cidades listadas nas Normais conjugadas a limites de aceitação de radiação solar incidente em aberturas. **Resultados:** serão obtidos requisitos para o dimensionamento prévio de dispositivos de proteção solar: datas e horários para os quais os dispositivos deverão oferecer proteção solar total, além dos ângulos mais adequados para esta proteção. **Originalidade:** Este método poderá ser incorporado em certificações de desempenho energético de edifícios como é o caso da Regulamentação de Eficiência Energética Edifícios proposta pela ELETROBRÁS. Este tipo de análise visa coibir o uso excessivo de sistemas de condicionamento de ar para refrigeração causado por sobrecarga térmica no interior de edifícios devido ao excesso de insolação nos elementos de vedação transparentes ou translúcidos.

Palavras-chave: Dispositivos de proteção solar, conforto térmico, eficiência energética em edificações

ABSTRACT

Propose: This paper proposes de implementation of a determination method of parameters that can be used in the dimensioning of sunprotection devices used in openings. The study determines the need of sun protection as a function of solar radiation an external temperatures, using data from the INMET “Nomais Climatológicas from 1960-91”. **Methods:** analysis of temperature limits obtained by the use of an adaptive index that uses the calculation of monthly neutral temperatures (T_n) for 206 cities presented in the “Normais”, conjugated with the establishment of solar readiation acceptance limits. **Findings:** with the proposed method, the basic requirements for the sun protection devices dimensioning are settled: dates and periods in which sun protection devices must offer total solar protection, given with the sun protection angles recommended for the design of the devices. **Originality/value:** this proposal can be incorporated in building energy performance codes such as the new ELETROBRÁS code for energy efficiency in buildings. This kind of analysis aims to reduce the excessive use of air conditioning for cooling when it is mainly caused due to high solar radiation incidence in the transparent elements of the building envelope.

Keywords: sun protection devices, thermal comfort, energy efficiency in buildings

1 INTRODUÇÃO

A utilização de dispositivos de proteção solar é um item importante na melhoria do desempenho térmico das edificações em climas primordialmente quentes, visto que esses dispositivos conseguem barrar a incidência da radiação solar antes que ela incida nas superfícies translúcidas ou transparentes de vedação da edificação e cause, por transmissão direta de calor, incremento indesejado da temperatura interna. Para edificações localizadas em cidades de climas tropicais e equatoriais como as brasileiras, sua adoção é item crucial, pois pode reduzir significativamente a necessidade de consumo de energia por sistemas de condicionamento de ar, responsável por 40% do consumo desagregado do

setor de edifícios comerciais e de 10 a 39% do setor residencial, em função da região geográfica (ELETROBRÁS, 2008).

Mudei a ordem... A definição de critérios para utilização de dispositivos de proteção solar pode ser uma tarefa complexa, principalmente para arquitetos não familiarizados com o estudo da geometria solar. Quando excessivamente dimensionados estes dispositivos podem obscurecer internamente os ambientes, levando a um conseqüente aumento no uso de energia por sistemas de iluminação artificial. No entanto, se forem corretamente dimensionados, não comprometem a disponibilidade de luz natural nos ambientes. Como colocado por Frota (2004) sendo uma proteção bem dosada, pode permitir adequado uso da luz natural, com aproveitamento da luz refletida por seus elementos.

Neste trabalho é discutida uma metodologia para definição de critérios para uso de dispositivos de proteção solar para as cidades brasileiras. O objetivo deste trabalho é gerar subsídios para a definição de critérios de avaliação do desempenho do uso desses dispositivos para fins de incorporação em códigos de avaliação de desempenho energético de edificações.

Tal estudo foi desenvolvido a partir da análise da equação para a determinação do indicador de consumo, IC, proposto no item 3.2 da Regulamentação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos (LABEEE, 2008), cujo texto está disponível em www.labee.ufsc.br. Este indicador estabelece o desempenho da envoltória a partir uma série de variáveis relacionadas às características físicas do envelope externo das edificações. Entre elas estão os ângulos de proteção solar, definidos como: “ângulos que determinam a obstrução à radiação solar gerada pela proteção solar nas aberturas. Na regulamentação são usados dois ângulos: ângulo vertical de sombreamento (referente a proteções horizontais) e ângulo horizontal de sombreamento (referente a proteções verticais)”.

Estes ângulos variam de 0° a 45°, sendo 0° indicador da inexistência de proteção solar. Sabe-se que a proteção solar faz sombreamento de parte ou de totalidade da abertura em que está colocada e conseqüentemente diminui a área de exposição desta à radiação solar direta. O efeito de diversos tipos de proteção no consumo final de edificações foi simulado por Signor (1999) e por Joyce Correna em sua tese de doutorado, da qual às equações para cálculo de IC foram extraídas (tese defendida em 2008 junto à UFSC e ainda não disponível para consulta). Da forma como colocado nas equações propostas, estes ângulos são independentes da orientação das fachadas, representando um desempenho típico obtido a partir da regressão paramétrica de mais de 5.000 simulações. Sabe-se, que devido às diferenças em horários e épocas do ano em que as fachadas recebem insolação, haverá diferentes comportamentos de uma mesma proteção solar colocada em orientações distintas e, portanto, a consideração de ângulos verticais e horizontais em equações nem sempre expressará com exatidão o desempenho térmico da proteção solar que representam. Para tal, seria necessária a introdução de um procedimento mais complexo, que considerasse não só o sombreamento causado nos planos de abertura, mas também os horários e épocas do ano em que este sombreamento ocorre.

É no sentido de refinar este desempenho que a presente proposta se configura. Para tal, foram considerados as seguintes variáveis: latitude local; carga térmica devido à radiação solar; clima da cidade e aclimatação da população; tipo de uso da edificação; área das aberturas em relação à área do piso.

Os resultados obtidos, desenvolvidos para as 206 cidades das Normais Climatológicas, são apresentados aqui para duas cidades brasileiras: Brasília (DF) e Porto Alegre (RS), escolhidas por exemplificar variações distintas de temperatura ao longo do ano, o que permite avaliar a flexibilidade da metodologia frente a condições climáticas diversas.

2 CRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DOS HORÁRIOS DE PROTEÇÃO SOLAR

2.1 Latitude local

Neste trabalho foram utilizadas cartas solares traçadas em projeção estereográfica com variação de dois em dois graus, sendo que o estudo de cada cidade foi feito sobre a carta solar que mais se aproximasse à latitude local.

2.2 Incidência radiação solar sobre as fachadas

Mesmo que a temperatura ar externa não esteja elevada, a incidência solar pode representar um excesso de carga térmica para os ambientes que ficam expostos ao sol, causando a elevação da temperatura do ar interno para valores acima do limite de conforto térmico. Por outro lado, em horários próximos ao nascer e ao pôr-do-sol, a radiação solar incidente possui pouca carga térmica, não sendo necessário assim proteção solar, o que simplifica o trabalho dos projetistas.

Para se determinar com exatidão a quantidade de calor incidente sobre uma superfície vertical proveniente da radiação solar direta é necessário informações sobre a latitude local, horário e características da atmosfera, como a nebulosidade e massa de ar ótica atravessada pelos raios solares. O cálculo preciso da carga térmica é, portanto, tarefa complexa que exige uma maior quantidade de dados, que não estão disponíveis para grande número de cidades brasileiras.

Para simplificar este processo, optou-se pela adoção de método gráfico para cálculo dos horários de incidência solar excessiva em função apenas da posição do sol na abóbada celeste em relação à fachada, para nebulosidade média de 5 décimos, como proposto por Koenigsberger et al. (1977). Os valores de carga térmica considerados como elevados foram 500W e 600W para edifícios com alta e pequena carga térmica interna, respectivamente. A proposta para se determinar a carga térmica é apresentado no item 4.4.

2.3 Uso da edificação

As edificações de uso comercial possuem geralmente carga térmica interna mais elevada do que as edificações residenciais; portanto considera-se que os critérios de proteção solar devem ser mais restritivos nessas edificações. Para compensar esta existência de elevadas cargas térmicas internas, optou-se por adotar uma faixa mais estreita de variação admissível em relação temperatura neutra para as edificações de uso não-residencial. Estes critérios são descritos no item seguinte.

2.4 O Clima das cidades e aclimação da população

O clima local determina a condição de aclimação da população e a esta análise de aclimação auxilia na determinação dos períodos do ano nos quais há desejabilidade de incidência de radiação solar para auxiliar no aquecimento passivo da edificação (geralmente nas manhãs dos meses de inverno) e aqueles períodos em que há indesejabilidade de incidência de radiação (em geral, os períodos críticos se dão nas tardes dos meses de verão).

Para a definição dos limites de temperatura nas quais a incidência solar é desejável, buscou-se a definição de zonas de conforto térmico específicas para cada cidade, em função da adoção de um índice de conforto adaptativo, visto que este tipo de índice é capaz de representar a adaptação natural das pessoas a diferentes tipos de climas e à variação anual da temperatura de um clima.

O centro da zona de conforto térmico foi determinado pelo cálculo da temperatura neutra, conceito proposto por Humphreys (1998), modificado por Auliciems (1983) e descrito por Bittencourt & Cândido (2006). O cálculo da temperatura neutra, considerada como aquela temperatura na qual uma população aclimatada, em atividade sedentária, se sente confortável é apresentado pela eq. 1.

$$T_n = 0,31T_e + 17,6^{\circ}\text{C} \quad (\text{eq. 1})$$

Sendo T_n a temperatura neutra

T_e a temperatura média mensal do ar, em $^{\circ}\text{C}$, extraída das Normais Climatológicas

Visto que este tipo de índice é indicado para edificações que adotam estratégias passivas de controle térmico, a faixa de conforto dependerá da adaptação do usuário ao clima em termos de sua vestimenta e da capacidade do usuário em interferir nos sistemas da edificação.

Segundo Nicols e Humphreys (2002), o conforto térmico adaptativo é função tanto das possibilidades de mudança quanto das temperaturas efetivamente obtidas. A largura da faixa da zona de conforto se medida apenas em termos físicos, dependerá, portanto, do balanço destes dois tipos de situação. Em uma situação em que não haja possibilidade da mudança de roupa ou de atividade, e em que o

movimento do ar não possa ser usado para garantir conforto, a zona de conforto pode ser tão estreita quanto $\pm 2^{\circ}\text{C}$ em relação à temperatura neutra.

Essa condição de pouco controle sobre o uso da edificação, o tipo de vestimenta ao longo do dia e nível de atividade é a que mais se assemelha à das edificações comerciais, e por isso, é proposto utilizar o valor de T_n mensal + 2°C como limite superior a partir do qual é necessária a proteção solar.

Para edificações residenciais, onde o usuário possui maior flexibilidade de escolha do tipo de vestimenta, nível de atividade e de interferência na edificação, a faixa pode ser ampliada, como colocado por Nicols e Humphreys (2002). Nestas situações as oportunidades de adaptação às variações do clima são mais disponíveis e mais facilmente apropriadas e a zona de conforto térmico pode ser consideravelmente ampliada.

Alguns índices térmicos comumente utilizados para definição de estratégias bioclimáticas em edificações residenciais definem limites para a faixa de conforto térmico em edificações residenciais a partir das temperaturas externas:

- a) A carta bioclimática de Olgyay (1963) estipula os limites de 21° e 30°C , com uma zona de 9°C de amplitude térmica
- b) Givoni (1998), propõe como os limites do seu Diagrama Bioclimático as faixas de 18° a 25°C para o inverno e 20° a 27°C para o verão, com zonas de 7°C de amplitude térmica em ambos os casos;
- c) as Tabelas de Mahoney apresentam faixas variáveis de conforto térmico, com amplitudes de 5°C , para climas mais quentes e úmidos, até 9°C , para climas mais secos e frios.

Após a análise de diversas cidades dentro de cada zona bioclimática estabelecida pela NBR 15.220 (ABNT, 2005) e buscando um valor referencial para a definição da amplitude térmica admissível para a zona de conforto que atendesse à variedade de climas existente no Brasil optou-se por um valor médio de amplitude de 8°C como zona de conforto para edificações residenciais, considerado adequado para todos os casos estudados. Portanto, definiu-se que acima de 4 graus a partir da T_n , será necessário o uso de dispositivos de proteção solar; e 4 graus abaixo de T_n é o limite a partir do qual deverá ser permitida a incidência de insolação nas residências, ou seja, a proteção solar desenvolvida não deverá obstruir o sol nesta região de céu. O valor de 4°C abaixo da T_n também é adotado para edificações comerciais, de serviços e públicas.

2.5 Área das aberturas

Quanto maior a área de abertura, maior a carga térmica percentual resultante no ambiente devido à incidência solar, e, portanto, maior a necessidade controle da radiação solar através do uso de dispositivos de proteção solar. Neste trabalho, recomendam-se ângulos mais restritivos para ambientes com grandes aberturas.

A maioria dos códigos de obra brasileiros define a área mínima de abertura por ambiente em função da área do piso. Por isso, esta proporção foi adotada para se definir pequenas aberturas – aquelas que possuem área entre 16% (1/6) e 25% (1/4) da área do piso, e grandes aberturas – aquelas que possuem área superior a 25% (1/4) da área do piso.

3 DIMENSIONAMENTO DE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR

Neste item são apresentados os limites estabelecidos neste trabalho para dimensionamento dos dispositivos de proteção solar conforme os critérios discutidos, separados por uso da edificação e por área de abertura. Estes limites, mostrados nas equações 2, 3, 4 e 5, irão representar áreas na carta solar em cujas a admissão de sol pelas aberturas deve ser eliminada.

3.1 Edificações residenciais

3.1.1 Indesejabilidade da incidência da radiação solar

1.1.1.1 Aberturas inferiores a 25% da área do piso:

Áreas de abertura em que haja incidência de solar em horários do dia de alta temperatura coincidente com alta incidência de radiação, como apresentado pela (eq. 2 (apenas regiões em que há sobreposição das manchas de temperatura e radiação solar devem ser consideradas).

$$T_{ar} > T_n + 4^{\circ}\text{C} \text{ em que haja coincidência com } I_g > 500 \text{ W} \quad (\text{eq. 2})$$

Onde:

T_{ar} é a temperatura do ar média mensal horária,

T_n é a temperatura neutra ($^{\circ}\text{C}$)

I_g é a radiação solar global incidente sobre a fachada (W/m^2).

1.1.1.2 Aberturas superiores a 25% da área do piso:

Áreas de abertura em que haja incidência de solar em horários do dia de alta temperatura ou em que a incidência de radiação seja elevada, mostrado pela eq. 3 (as duas situações devem ser observadas, mesmo que não haja coincidência e ambas as situações devem ser evitadas).

$$T_{ar} > T_n + 4^{\circ}\text{C} \text{ ou } I_g > 600 \text{ W} \quad (\text{eq. 3})$$

3.1.2 Desejabilidade da incidência da radiação solar

Em ambos os casos, não deverá haver proteção solar quando a temperatura T_{ar} for inferior à temperatura neutra menos 5 graus ($T_n - 4^{\circ}\text{C}$), à exceção dos quartos que deverão sempre possuir dispositivos externos de sombreamento controláveis, como gelosias ou venezianas.

3.2 Edificações comerciais

3.2.1 Indesejabilidade da incidência da radiação solar

1.1.1.3 Aberturas inferiores a 25% da área do piso:

Áreas de abertura em que haja incidência de solar em horários do dia de alta temperatura coincidente com alta incidência de radiação, como apresentado pela $T_{ar} > T_n + 2^{\circ}\text{C}$ e $I_g > 500 \text{ W}$ (eq. 4) (apenas regiões em que há sobreposição das manchas de temperatura e radiação solar devem ser consideradas).

$$T_{ar} > T_n + 2^{\circ}\text{C} \text{ e } I_g > 500 \text{ W} \quad (\text{eq. 4})$$

1.1.1.4 Aberturas superiores a 25% da área do piso:

Áreas de abertura em que haja incidência de solar em horários do dia de alta temperatura ou em que a incidência de radiação seja elevada, mostrado pela $T_{ar} > T_n + 2^{\circ}\text{C}$ ou $I_g > 600 \text{ W}$ (eq. 5 (as duas situações devem ser observadas, mesmo que não haja coincidência e ambas as situações devem ser evitadas).

$$T_{ar} > T_n + 2^{\circ}\text{C} \text{ ou } I_g > 600 \text{ W} \quad (\text{eq. 5})$$

3.2.2 Desejabilidade da incidência da radiação solar

Em ambos os casos, não deverá haver qualquer proteção solar quando a temperatura T for inferior à temperatura neutra menos 4 graus ($T_n - 4^{\circ}\text{C}$).

4 METODOLOGIA PARA APLICAÇÃO DAS RECOMENDAÇÕES

A definição dos ângulos de proteção solar para uma cidade qualquer seguindo os critérios propostos neste trabalho pode ser feita seguindo sete etapas. Estas etapas são listadas abaixo e os procedimentos adotados em cada etapa são descritos nos sub-itens seguintes.

1. Tratamento dos dados das Normais Climatológicas para obtenção de dados horários de temperatura do ar para todos os meses do ano;
2. Cálculo da temperatura neutra mensal;
3. Classificação dos dados horários em função da temperatura neutra e dos limites estabelecidos para cada caso analisado (tipologia e tamanho de aberturas);
4. Transposição da classificação da temperatura obtida para a carta solar;
5. Marcação das manchas de radiação solar incidente de 500 e 600W por fachada na carta solar;
6. Sobreposição do transferidor auxiliar à carta solar tratada;
7. Proposição de proteção solar para as oito orientações de fachadas principais (Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste e Noroeste), para obstrução da região indicada como de radiação solar indesejável em função dos limites estabelecidos.

4.1 Tratamento de dados climáticos

A partir das temperaturas do ar máxima e mínima mensais, dadas nas Normais Climatológicas, podem ser obtidos os dados horários médios mensais de temperatura do ar, pelo ajuste dos dados locais à curva-padrão da Organização Mundial de Meteorologia (WMO) mostrado pela eq. 6 (ASSIS, 2001).

$$T = T_x - (T_{mx} - T_{mn}).j \quad (\text{eq. 6})$$

onde:

T é a temperatura média mensal horária, (°C)

T_{mx} é a temperatura média mensal das máximas, (°C)

T_{mn} é a temperatura média mensal das mínimas, (°C)

j é o valor de ajuste da curva horária de temperatura, a partir da hora 0 até a hora 23: 0,75; 0,78; 0,82; 0,87; 0,89; 0,96; 1,00; 0,93; 0,76; 0,57; 0,41; 0,28; 0,15; 0,11; 0,02; 0,00; 0,04; 0,08; 0,15; 0,46; 0,56; 0,64; 0,73; 0,70.

4.2 Cálculo da Temperatura neutra

O centro da zona de conforto térmico é determinado pelo cálculo da temperatura neutra, como mostrado no item 2.4 deste artigo.

4.3 Classificação das temperaturas horárias

As temperaturas horárias obtidas devem ser classificadas conforme a faixa de conforto térmico obtido pelo cálculo da temperatura neutra mensal. Os limites adotados para classificação das temperaturas horárias do ar externo são:

1. Temperatura neutra menos 4°C (T_n-4): Quando a temperatura do ar for menor que este limite é desejável a incidência de radiação solar (cor azul nas tabelas 1 e 2);
2. Temperatura neutra mais 2°C (T_n+2): Limite superior da zona de conforto térmico para edificações comerciais (cor amarela nas tabelas 1 e 2);
3. Temperatura neutra mais 4°C (T_n+4): Limite superior da zona de conforto térmico para edificações residenciais (cor laranja nas tabelas 1 e 2).

Tabela 1: Limites mensais da zona de conforto térmico calculados para Brasília/DF e Porto Alegre/RS

Brasília /DF													Porto Alegre/RS												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Tn-4	20	20	20	20	20	20	20	20	21	20	20	20	Tn-4	21	21	20	19	19	18	18	18	19	19	20	21
Tn	24	24	24	24	24	24	24	24	25	24	24	24	Tn	25	25	24	23	23	22	22	22	23	23	24	25
Tn+2	26	26	26	26	26	26	26	26	27	26	26	26	Tn+2	27	27	26	25	25	24	24	24	25	25	26	27
Tn+4	28	28	28	28	28	28	28	28	29	28	28	28	Tn+4	29	29	28	27	27	26	26	26	27	27	28	29

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos de faixa de conforto térmico em função da temperatura neutra para as cidades de Porto Alegre e Brasília. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos da variação horária de temperatura e da classificação em função da sensação térmica para as cidades de Brasília e Porto Alegre.

Tabela 2: Dados horários mensais calculados e classificados em função da temperatura neutra para as cidades de Brasília/DF e Porto Alegre/RS

Porto Alegre/RS													Brasília /DF												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
06	19	20	18	15	12	9	10	10	11	14	16	18	06	17	17	18	17	15	13	13	15	16	17	18	18
07	20	20	19	15	13	10	10	11	12	14	17	19	07	18	18	18	17	16	14	14	15	17	18	18	18
08	22	22	20	17	14	12	12	13	14	16	18	21	08	20	20	20	19	18	16	16	18	19	20	20	20
09	24	24	22	19	16	14	14	15	16	18	21	23	09	21	21	22	21	20	18	18	20	21	22	21	21
10	26	26	24	21	18	15	16	16	17	20	22	25	10	23	23	23	23	21	20	20	22	23	23	23	23
11	27	27	25	22	19	17	17	18	19	21	24	26	11	24	24	24	24	23	22	22	24	25	25	24	24
12	29	29	27	24	21	18	18	19	20	23	25	27	12	25	25	26	25	24	23	23	25	26	26	25	25
13	29	29	27	24	21	18	19	19	21	23	26	28	13	26	26	26	26	25	24	24	26	27	26	26	25
14	30	30	28	25	22	19	19	20	22	24	26	29	14	27	26	27	26	25	25	25	27	28	27	26	26
15	30	30	28	25	22	19	20	20	22	24	27	29	15	27	27	27	27	26	25	25	27	28	28	27	26
16	30	30	28	25	22	19	19	20	21	24	26	29	16	27	26	27	26	25	25	25	27	28	27	26	26
17	29	29	27	24	21	19	19	20	21	24	26	28	17	26	26	26	26	25	24	24	26	27	27	26	26
18	29	29	27	24	21	18	18	19	20	23	25	27	18	25	25	26	25	24	23	23	25	26	26	25	25

4.4 Incidência da radiação solar sobre o plano vertical

A incidência radiação solar sobre superfícies verticais em cada período do ano pode ser graficamente determinada sobrepondo-se as manchas de incidência sobre as cartas solares, de acordo com metodologia descrita em Frota (2004). As Figuras 1 e 2 apresentam exemplos para as cidades de Brasília e Porto Alegre, nas quais foram marcadas as manchas de incidência de radiação solar sobre a carta solar para estas cidades.

4.5 Cartas solares

A avaliação conjunta da sensação térmica e da incidência de radiação solar horária permite definir com maior precisão os períodos do ano nos quais a utilização de dispositivos de proteção solar se faz necessária. Esta avaliação pode ser feita de modo gráfico, destacando-se nas cartas solares os períodos do ano no qual a incidência solar é desejável ou indesejável (obtidos no item 4.2) e marcando-se as manchas de incidência de radiação solar excessiva (descritos no item 4.4).

Se olharmos as manchas, verificaremos que em Brasília a necessidade de proteção solar se dá apenas para edificações comerciais e que a coincidência de radiações superiores a 600W/m^2 e $T_n + 4^\circ\text{C}$ se limita ao final dos meses de março e setembro por volta das 16:00. E a coincidência com a mancha de 500W/m^2 (proteção para aberturas maiores que 25% da área do piso), se dá em um período maior de incidência de horários de indesejabilidade entre 14:00 e 16:00 nos meses de abril e setembro. Já se analisarmos Porto Alegre, notaremos a presença de um maior número de horas de desejabilidade do sol e a necessidade de proteção solar tanto em edificações comerciais como em residenciais (menor período), já que as temperaturas no verão se mostram mais elevadas do que no caso de Brasília.

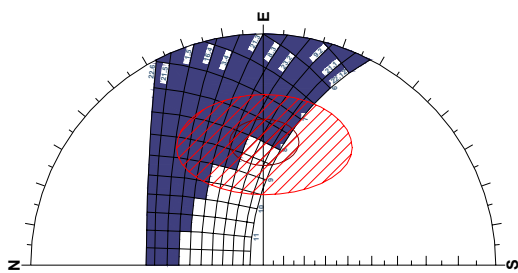


Figura 1: Carta solar tratada - Porto Alegre (30° Sul) – fachadas leste e oeste

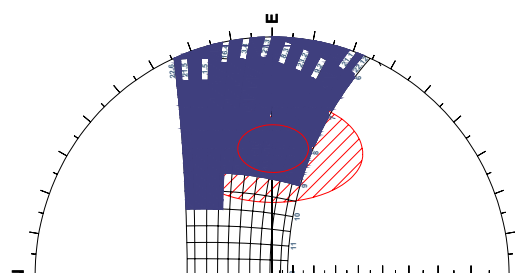
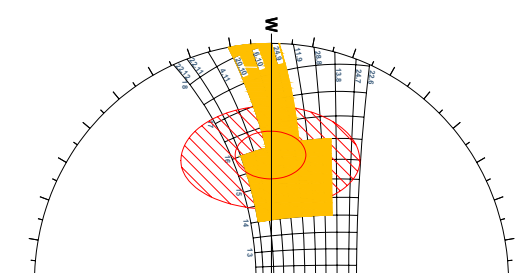
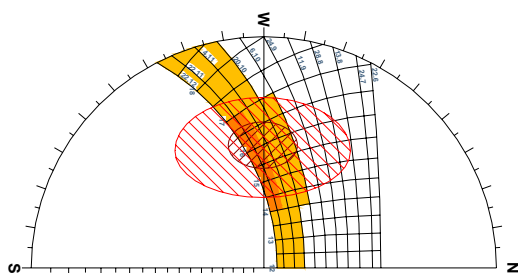


Figura 2: Carta solar tratada - Brasília (16° Sul) fachadas leste e oeste



4.6 Ângulos de proteção solar

Os ângulos de proteção solar mais adequados a cada fachada são obtidos sobrepondo-se um transferidor auxiliar em projeção estereográfica (Figura 1) à carta solar, alinhando-se o eixo central do transferidor com a normal à fachada. Após este procedimento são determinados ângulos que oferecessem obstrução solar total para os períodos do ano nos quais é necessária proteção solar, definidos pelos critérios do item 3.

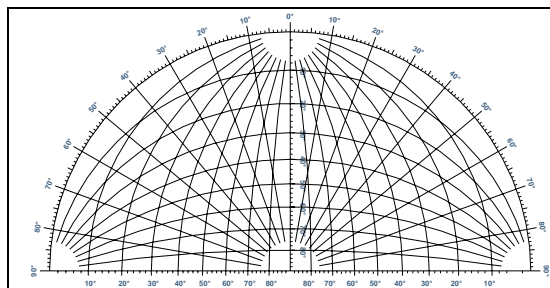


Figura 1: Transferidor auxiliar em projeção estereográfica para traçado de ângulos de proteção solar

5 RESULTADOS

Os procedimentos descritos no item 4 foram aplicados para as 206 cidades brasileiras e ângulos de proteção solar para essas cidades foram determinados. Os Quadros 1 e 2 apresentam os resultados obtidos para edifícios residenciais e comerciais, com pequenas e grandes áreas de aberturas, para as cidades tomadas de Brasília e Porto Alegre, respectivamente. Estes ângulos são indicativos, podendo o projetista lançar mão de outras geometrias para os elementos de proteção solar, desde que o critério do item 3 sejam respeitados.

Brasília não apresenta necessidade de proteção solar nas fachadas NE, E, SE, e S apresenta necessidade de proteção vertical nas fachadas N, S e SO, apenas para edificações comerciais com grandes aberturas. Na fachada oeste há necessidade de placas horizontais e na fachada noroeste, apresenta necessidade de proteção horizontal e vertical conjugadas.

Já na cidade de Porto Alegre apenas as fachadas E e SE não apresentam necessidade de proteção solar, sendo indicadas proteções horizontais tipo platibanda para as fachadas norte, nordeste; proteção vertical nas fachadas sudoeste e sul e brises com placas horizontais e verticais conjugadas para as demais fachadas.

6 CONCLUSÕES

A metodologia proposta demonstrou ser sensível às variações climáticas entre diferentes cidades e às variações de temperatura existentes ao longo do ano de uma cidade, determinando a obtenção de ângulos de proteção solar, nos períodos em que a incidência solar direta é desejável.

Os resultados obtidos de classificação da temperatura do ar e ângulos de proteção solar foram colocados em formato digital e disponibilizados em planilha eletrônica acessível através do site do Laboratório de Conforto da Escola de Arquitetura da UFMG

7 REFERÊNCIAS

ASSIS, Eleonora S. **Método integrado de análise climática para arquitetura aplicado à cidade de Belo Horizonte**, MG. In: VI Encontro Nacional de III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. 2001, São Pedro, SP. Anais...

AULICIEMS, A. Psycho-physiological criteria for global thermal zones of building design. *International Journal of Biometeorology*, 1983. Apud BITTENCOURT, L.; CÂNDICO, C. **Introdução à ventilação natural**. Maceió: EdUFAL, 2006.

BITTENCOURT, L.; CÂNDICO, C. **Introdução à ventilação natural**. Maceió: EdUFAL, 2006.

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Dep. Nacional de Meteorologia (1992). **Normais climatológicas 1961-1990**. Brasília, DNMET, 84p.

ELETROBRÁS, www.eletrobras.gov.br, consultado em 25 maio de 2008.

FROTA, Anésia B. **Geometria da Insolação**. São Paulo: Geros, 2004.

GIVONI B. **Climate considerations in building and urban design**. New York: Van Nostrand Reinhold Publishers Ltd, 1998.

HUMPHREYS, M.A; **Outdoor Temperatures and Comfort Indoors**. *BRE Current Paper*, 53/78, Garston, 1978. Apud BITTENCOURT, L.; CÂNDICO, C. **Introdução à ventilação natural**. Maceió: EdUFAL, 2006.

KOENIGSBERGER, O. H.; INGERSOLL, T. G.; MAYHEW, A. & SZOKOLAY, S. V. **Viviendas y Edificios en Zonas Cálidas y Tropicales**. Trad. E. R. Ros. Madrid, Paraninfo, 1977.

HUMPHREYS, M.A; Nicol, J.F. Understanding the Adaptive Approach to Thermal Comfort. *ASHRAE Transactions*, v. 104, p. 991-1004, 1998.

NICOL, J.F.; HUMPHREYS, M.A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings*, v. 34, n. 6, p. 563-572, July 2002.

OLGYAY, V. **Design with climate, bioclimatic approach and architectural regionalism**. Princeton (NJ): Princeton University Press, 1963.

SIGNOR, Régis. **Análise de regressão do consumo de energia elétrica frente a variáveis arquitetônicas para edifícios comerciais climatizados em 14 capitais brasileiras**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999. 314f.

8 AGRADECIMENTOS

Ao prof. Roberto Lamberts, pela cessão dos dados digitais das Normais Climatológicas. Às arquitetas Camila Ferreira, Daniele Gomes Ferreira, Iara Gonçalves dos Santos, Michelle Moura e Rejane Magiag Louira que participaram do processo de determinação dos ângulos de proteção solar para as cidades estudadas.