

Miguel Aloysio Sattler  
Fundação de Ciência e Tecnologia - CIENTEC  
Rua Washington Luiz, 675  
90010 - Porto Alegre, RS

#### RESUMO

Este trabalho descreve o método utilizado na caracterização climática de Porto Alegre, RS (300 021 S; 510 131 W), através de dias típicos de verão e inverno, visando o projeto térmico de edificações. São apresentados resultados relativos a dois dias típicos (um de verão e outro de inverno), com valores horários de temperatura do ar, unidade relativa, radiação solar e direção e velocidade de vento.

#### ABSTRACT

This work describes the method used to characterize climatically the city of Porto Alegre, RS (300 021 S; 510 131 W), by means of typical design days, both for summer and winter, aiming at the thermal design of buildings. Two typical design days (one summer day and one winter day) are presented, showing hourly values of dry-bulb temperature, relative humidity, solar radiation and wind speed and direction.

#### 1. INTRODUÇÃO

De uma maneira geral observa-se, em nosso meio, uma reduzida preocupação, por parte de projetistas de edificações, quanto à qualidade do produto no que concerne a conforto ambiental e conservação de energia. Assim, quer consideremos prédios destinados a usuários de poucos recursos, quer sejam prédios de luxo, o desempenho do ponto de vista térmico apresentado por tais edificações é usualmente pobre, fazendo com que, somente a adoção de sistemas ativos de condicionamento, de alto custo e com alto consumo de energia, seja possibilitada a obtenção de um nível desejável de conforto térmico. É claro que, face ao custo desses dispositivos de climatização, à população mais carente não resta outra alternativa senão a de suportar os resultados de maus projetos arquitetônicos.

É inegável que cada situação climática requer procedimentos específicos para que se alcance a solução ótima. A literatura nos mostra a ampla gama de soluções encontradas pelo Homem, para fazer frente aos diversificados climas encontráveis na superfície terrestre, desde o iglú esquimó até as edificações maciças e aglomeradas dos povos vivendo em climas desérticos. Então, neste contexto, entendemos como ótima a solução mais harmonizada com o ambiente circundante, e que proporcione o máximo de conforto (ou mínimo de desconforto) ao menor custo.

Para que essa harmonização entre a edificação e o clima se torne possível é necessário, contudo, satisfazer a condição preliminar de bem conhecer o clima do local onde pretendamos edificar. Só então poderemos buscar soluções para bem adequar o edifício ao clima.

No que tange a Porto Alegre, especificamente, embora o clima local tenha se constituído em objeto de alguns estudos, estes, não obstante o seu valor e aplicabilidade em outras áreas, oferecem uma contribuição restrita quando interessa elaborar o projeto térmico de uma edificação. Neste, temos de considerar o regime

cíclico das variáveis climáticas e seu efeito sobre o desempenho térmico das edificações. O desejável, para este fim, seria contar com valores horários das diversas variáveis climáticas, de forma a poder utilizar tais valores em modelos de simulação por computador (Sattler, 1986a).

Com o intuito de contribuir para uma melhor caracterização climática de Porto Alegre, visando o projeto térmico de edificações, apresenta-se neste trabalho dados climáticos para tal fim, tipificando, a nível horário, uma situação de verão e uma de inverno. Descreve-se, igualmente, a metodologia utilizada para tanto, como uma proposta, a ser discutida, para a caracterização climática, sempre para fins de projeto térmico, de outras localidades no Estado e no País.

#### 2. MATERIAIS E MÉTODO

O trabalho foi desenvolvido com base em cinco anos (1977-1981) de informações meteorológicas coletadas pelo 8º Distrito Meteorológico, do Instituto Nacional de Meteorologia, em sua estação meteorológica localizada junto ao Jardim Botânico, em Porto Alegre (figura 1).

Os dados estavam disponíveis na forma de gráficos gerados por termo-higrógrafo, anemógrafo e piranógrafo, registrando temperatura do ar e umidade relativa, direção e velocidade do vento e radiação solar, respectivamente. Embora o 8º Distrito Meteorológico contasse com registros anteriores a 1977 (a estação meteorológica atual entrou em operação em 1974 e a anterior, situada junto ao Parque Farroupilha, documentou o clima da capital desde o início do século), o registro gráfico de radiação solar somente teve início em fins de 1976. Dada a importância da contribuição deste elemento climático para a caracterização do desempenho térmico de edificações, incluí-se neste estudo apenas os dados registrados a partir desta data. Espera-se, contudo, ampliar o período de estudo, para um mínimo de 10 anos, que se constitui no período mínimo usualmente aconselhado.

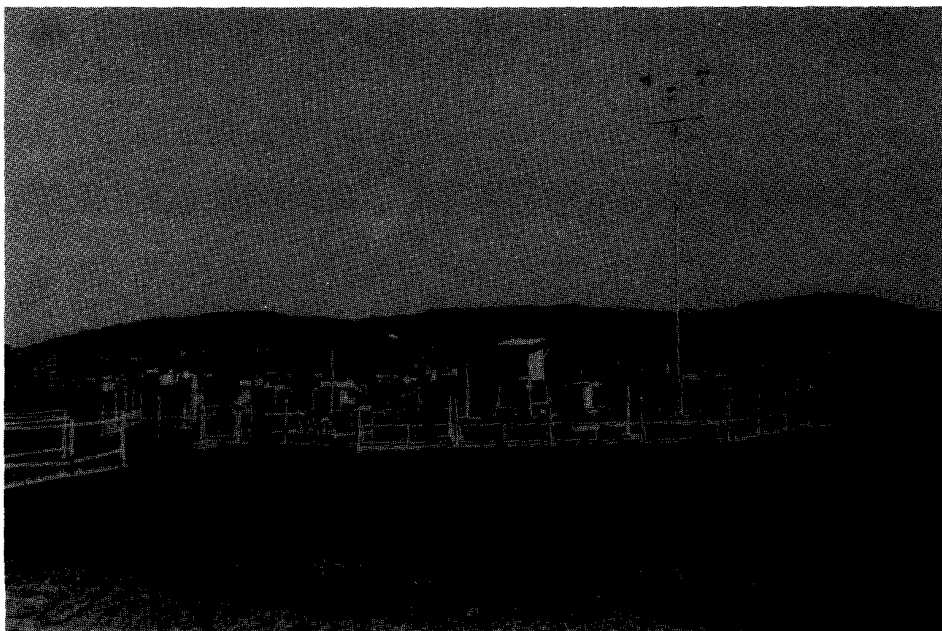


Figura 1. Estação meteorológica do 89 Distrito Meteorológico

A definição de dias típicos, por localidade, da natureza dos que estão descritos neste trabalho, é prática comum em muitos países dos diversos continentes. Ainda assim, os métodos utilizados nos vários países diferem em maior ou menor grau. Dependendo da abundância de dados climáticos disponíveis, bem como de recursos humanos e de equipamentos, o nível de tratamento estatístico é mais ou menos aprimorado, podendo constituir um critério de diferenciação entre os diversos modelos. Neste trabalho foi adotada uma metodologia similar às empregadas por Van Deventer (1971), na África do Sul, e por Forn e Lotersztain (1973), na Argentina.

Tendo em vista o tipo de aplicação em vista e a dificuldade de obtenção de registros contínuos de radiação solar, optou-se pela adoção dos dados de temperatura do ar como parâmetro básico para a caracterização de dias típicos. Caso fossem disponíveis dados de radiação solar ao longo de todo o período em questão, poder-se-ia ter eleito a temperatura fictícia sol-ar como parâmetro de referência. No entanto, do total de 5 anos, apenas sete meses (01/01/77 a 31/07/77) incluíam registros de radiação solar global. O procedimento adotado para a definição de dias típicos é descrito, passo a passo, a seguir:

- 1 - Para cada um dos 1826 dias (5 anos) disponíveis, extraiu-se dos gráficos correspondentes a temperatura diária máxima e a temperatura diária mínima;
- 2 - Calculou-se a média destes dois valores;
- 3 - Ordenou-se os dias segundo as temperaturas médias diárias;
- 4 - Entre os dias com temperaturas médias mais elevadas, selecionou-se um conjunto de 250 dias caracterizando, aproximadamente, 15% do número total de dias. De forma análoga, foram selecionados os 250 dias de temperatura média mais baixa no período;
- 5 - Para cada um dos dois grupos de dias acima caracterizados, extraiu-se, dos gráficos correspondentes, as temperaturas diárias, a intervalos horários;
- 6 - Calculou-se a média diária dos 24 valores de temperatura, para cada um dos 500 dias;
- 7 - Estes dias foram então re-ordenados, segundo as novas médias diárias de temperatura;
- 8 - Os dias com temperaturas médias mais elevadas foram (à exceção de um - 12.07.77) enquadrados em um período de 256 dias, iniciando em 19 de setembro e findando em 14 de maio. Aos dias incluídos neste período denominou-se de DIAS QUENTES. No período em análise (5 anos) foram, pois, caracterizados 1280 (5 x 256) dias quentes;
- 9 - De modo similar, os dias com temperatura média mais baixa foram enquadrados em um período de 192 dias, começando no dia 23 de abril e terminando no dia 31 de outubro. Estes dias foram denominados de DIAS FRIOS e para o período em análise foram caracterizados 960 (5 x 192) dias frios;
- 10 - Com base na ordenação das médias diárias de temperatura (efetuada no passo 7) foram determinados os percentis, ou níveis, de 2,5; 5 e 10%, tanto para os dias quentes, como para os dias frios.  
0 percentil de 2,5%, relativo a dias quentes, caracteriza, assim, o dia cuja temperatura média é excedida tão somente por 2,5 dos dias quentes. Ou seja, considerando-se que foram definidos 1280 dias quentes no período de 5 anos, o percentil de 2,5% caracteriza o dia cuja temperatura média é excedida por 32 (1280 x 0,025) dias;
- 11 - De forma semelhante, o percentil 5,0% relativo a dias frios, identifica o dia cuja temperatura média excede à temperatura média de 5,0% dos dias frios, havendo, portanto, no período, 48 (960 x 0,05) dias "mais frios" que o dia de "nível" 5,0%;
- 12 - Para cada nível (2,5; 5,0 e 10,0%), e tanto para os dias quentes, como para os dias frios, foram identificados os dias cujas temperaturas médias se encontravam próximas àquela do dia caracterizando tais percentis. Desse modo foram selecionados os dias cujas temperaturas médias se situassem imediatamente acima e abaixo da temperatura média do dia de referência e dentro de um intervalo representado 1,0% do número de dias do conjunto. Assim na caracterização dos DIAS TÍPICOS DE VERÃO foram

considerados, além dos dias correspondentes aos diferentes níveis, os 6 (0,005 x 1280) dias com temperaturas médias imediatamente inferiores ao do nível, e os 6 dias com temperaturas médias imediatamente superiores à temperatura média dos dias caracterizando tais níveis;

- 3 - De forma análoga a definição dos DIAS TÍPICOS DE INVERNO foi feita com base nas características de onze (5 + 5 + 1) dias;
- 4 - As características dos dias típicos de verão, expressas em termos de valores horários de temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar e direção e velocidade do vento, para cada nível, resultam das médias das características dos conjuntos dos TREZE dias, definidos no passo 12. De forma similar, foram caracterizados os dias típicos de inverno, tomando-se por base os ONZE dias de cada grupo.

tura do ar, umidade relativa, radiação solar e direção e velocidade do vento, para cada nível, resultam das médias das características dos conjuntos dos TREZE dias, definidos no passo 12. De forma similar, foram caracterizados os dias típicos de inverno, tomando-se por base os ONZE dias de cada grupo.

### 3. RESULTADOS

As tabelas seguintes apresentam as características de um dia típico de inverno e de um dia típico de verão, ambos de nível 5,0%.

DIA TÍPICO DE INVERNO - NÍVEL 5,0%										
Local: <b>Porto Alegre</b>			Data de			Período: 1977 - 1981				
Latitude: 30° 02' S			Referência: 16 MAI			Número total de dias: 960				
Longitude: 51° 13' W						Número de dias em análise: 11				
Média de: 01/09/77, 01/07/80, 17/05/77, 01/06/79, 20/07/79, 12/08/78, 01/06/78, 06/06/79, 16/05/77, 05/06/80, 09/06/79										
Hora (LMT)	Temperatura do Ar (°C)	Umidade Relativa (%)	Radiação Solar (W/m <sup>2</sup> )	Velocidade (m/s)	Direção (%)	Pressão de Vapor (mbar)	Entalpia Específica (kJ/kg)	Conteúdo de Umidade (g/kg)	Volume Específico (m <sup>3</sup> /kg)	Temperatura de Orvalho (°C)
1	9.0	87	000	2.3	WNW(36)	9.98	24.70	6.22	0.807	7.0
2	8.7	86	000	2.2	WNW(36)	9.67	23.90	6.02	0.806	6.5
3	8.4	87	000	2.1	WNW(36)	9.58	23.46	5.97	0.805	6.4
4	8.0	88	000	2.3	WNW(45)	9.43	22.82	5.87	0.804	6.1
5	7.6	89	000	2.4	WNW(36)	9.29	22.18	5.78	0.802	5.9
6	7.3	89	000	2.3	WNW(36)	9.10	21.57	5.66	0.801	5.6
7	7.3	88	005	2.4	WSW(45)	8.99	21.41	5.60	0.801	5.4
8	7.8	86	090	2.0	WNW(36)	9.10	22.08	5.66	0.803	5.6
9	8.7	79	216	2.6	WNW(45)	8.99	22.83	5.60	0.805	5.4
10	10.0	70	335	3.4	WSW(36)	8.59	23.52	5.34	0.809	4.8
11	11.1	62	427	3.4	WNW(45)	8.19	24.00	5.09	0.811	4.1
12	12.2	57	462	3.7	NW(45)	8.10	24.97	5.03	0.814	4.0
13	12.8	54	455	4.1	NW(54)	7.98	25.39	4.96	0.816	3.8
14	13.0	54	394	4.0	NW(45)	8.23	26.00	5.12	0.817	4.2
15	13.2	54	302	3.9	NW(45)	8.19	26.13	5.09	0.817	4.1
16	13.0	55	178	3.8	WNW(54)	8.23	26.00	5.12	0.817	4.2
17	12.6	59	069	3.3	WNW(54)	8.60	26.18	5.35	0.816	4.8
18	11.5	64	005	3.2	W(45)	8.68	25.18	5.40	0.813	4.9
19	10.6	70	000	2.6	W(45)	8.94	24.68	5.56	0.811	5.4
20	10.2	74	000	2.7	SSW(27)	9.20	24.69	5.73	0.810	5.8
21	9.8	77	000	2.9	WNW(27)	9.32	24.47	5.80	0.809	6.0
22	9.6	77	000	2.6	WNW(27)	9.20	24.07	5.72	0.808	5.8
23	9.3	77	000	2.4	E(27)	9.02	23.48	5.61	0.807	5.5
24	9.2	79	000	2.8	SSW(36)	9.19	23.65	5.72	0.807	5.8
MÉDIA DIÁRIA	10.0	73	122	2.9	-	8.91	24.06	5.54	0.809	5.3

Tabela 1. Características do dia típico de inverno, nível 5,0%.

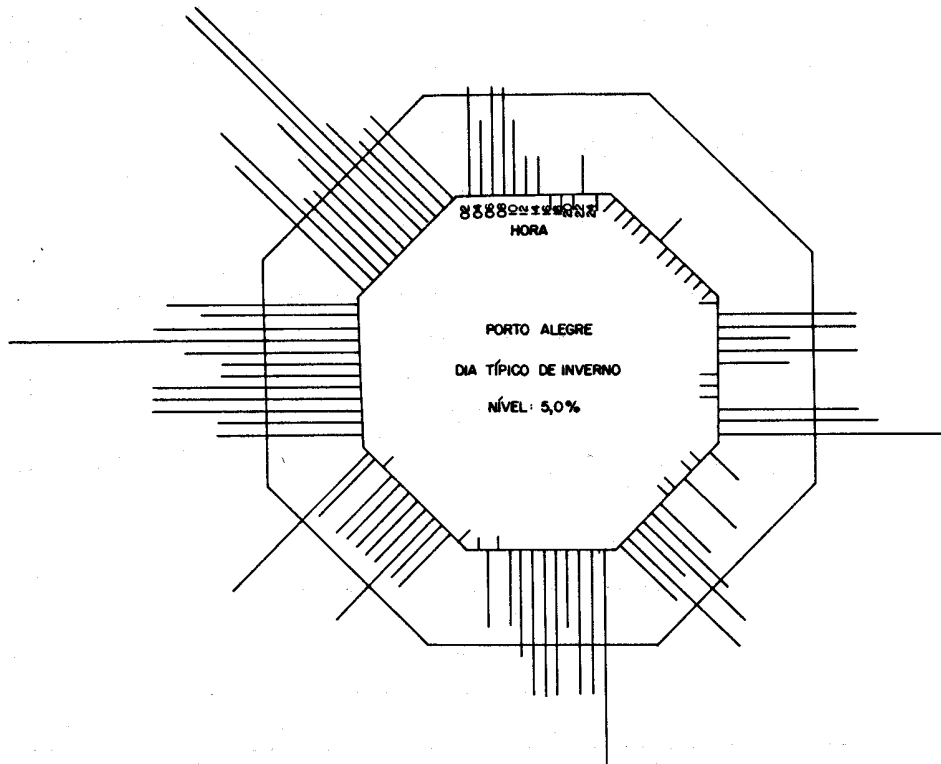


Figura 2. Freqüência horária de direção de vento, em dia típico de inverno, nível 5,0%.

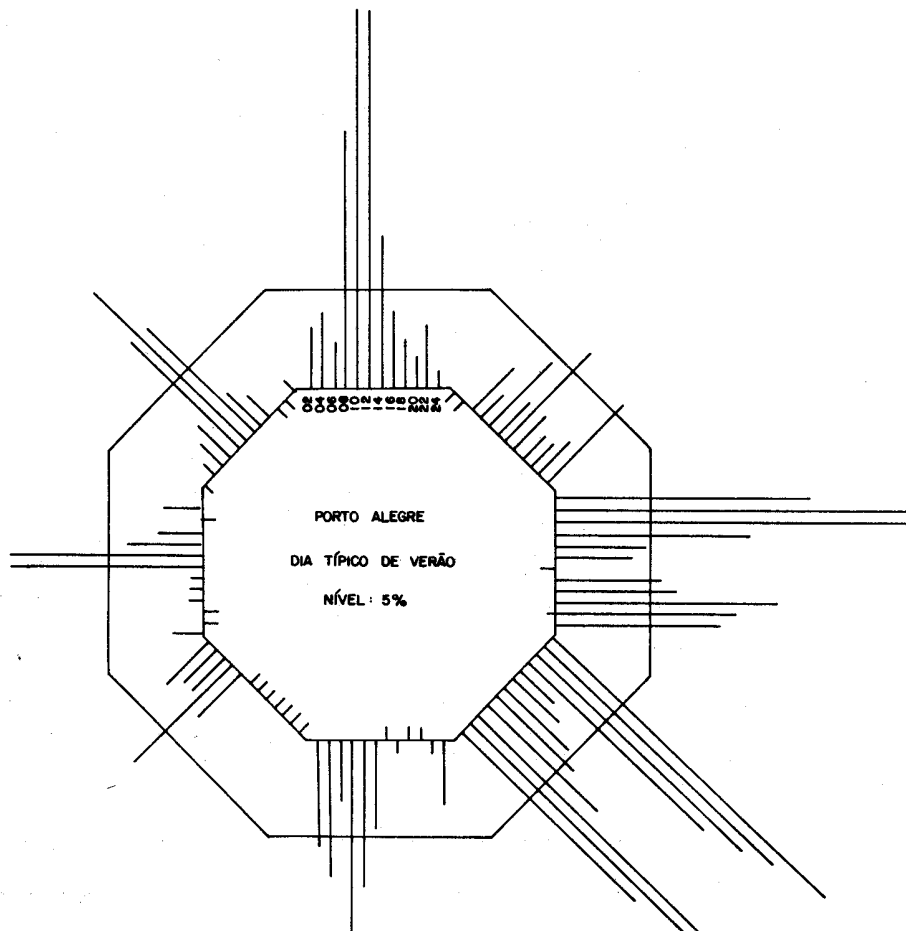
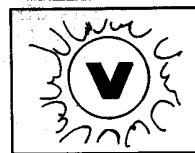


Figura 3. Freqüência horária de direção de vento, em dia típico de verão, nível 5,0%.

DIA TÍPICO DE VERÃO - NÍVEL 5,0Z



Local: **Porto Alegre**  
 Latitude: 30° 02' S  
 Longitude: 51° 13' W

Data de  
 Referência: 16 FEV

Período: 1977 - 1981  
 Número total de dias: 1280  
 Número de dias em análise: 13

Média de: 09/01/77, 29/01/77, 28/02/80, 10/02/81,  
 13/02/81, 19/12/77, 21/03/80, 17/02/81,  
 09/02/80, 05/03/80, 18/02/81, 31/12/76,  
 10/03/77

Hora (LMT)	Temperatura do Ar (°C)	Umidade Relativa (%)	Radiação Solar (W/m <sup>2</sup> )	V e n t o		Pressão de Vapor (mbar)	Entalpia Específica (kJ/kg)	Conteúdo de Umidade (g/kg)	Volume Específico (m <sup>3</sup> /kg)	Temperatura de Orvalho (°C)
				Velocidade (m/s)	Direção (°)					
1	24,4	93	000	1,5	ESE(77)	28,41	70,44	18,03	0,867	23,2
2	24,0	94	000	1,4	ESE(77)	28,04	69,40	17,78	0,865	23,0
3	23,4	94	000	1,5	ESE(85)	27,04	67,13	17,13	0,863	22,4
4	23,2	94	000	1,2	ESE(85)	26,72	66,38	16,92	0,862	22,2
5	23,1	92	000	1,0	ESE(85)	25,99	65,08	16,45	0,861	21,7
6	23,2	89	018	0,8	ESE(77)	25,30	64,03	16,00	0,861	21,3
7	24,4	81	142	1,0	ESE(61)	24,75	64,37	15,64	0,864	20,9
8	25,9	68	298	1,4	ESE(46)	22,71	62,57	14,33	0,866	19,5
9	27,1	61	478	2,5	N(69)	21,87	62,42	13,78	0,869	18,9
10	28,3	56	638	3,1	NNW(61)	21,53	63,11	13,57	0,872	18,7
11	29,5	52	737	3,2	NNW(77)	21,43	64,18	13,51	0,876	18,6
12	30,7	49	840	3,3	NW(69)	21,64	65,76	13,64	0,879	18,8
13	31,4	47	839	3,3	NW(54)	21,60	66,41	13,61	0,881	18,7
14	31,9	45	754	3,3	WNW(46)	21,27	66,40	13,40	0,882	18,5
15	32,2	46	595	2,9	W(46)	22,12	66,10	13,95	0,884	19,1
16	31,7	52	442	3,5	S(31)	24,30	71,20	15,36	0,885	20,6
17	31,0	61	280	3,3	SW(38)	27,40	75,62	17,37	0,885	22,6
18	29,5	73	137	3,3	SSE(54)	29,92	78,15	19,01	0,883	24,0
19	27,8	80	025	3,2	ESE(61)	29,88	76,42	18,99	0,878	24,0
20	26,4	86	000	2,8	ESE(85)	29,59	74,48	18,90	0,874	23,9
21	25,5	92	000	3,6	ESE(61)	30,01	74,25	19,07	0,872	24,1
22	24,9	91	000	2,9	SE(61)	28,64	71,34	18,18	0,869	23,3
23	24,7	93	000	2,1	SE(46)	28,93	71,60	18,36	0,868	23,5
24	24,6	93	000	2,1	ESE(46)	28,75	71,21	18,25	0,868	23,4
<b>MÉDIA DIÁRIA</b>	27,0	74	259	2,4	-	25,74	68,67	16,30	0,872	21,4

Tabela 2. Características de um dia típico de verão, nível 5,0%.

Além dos elementos climáticos acima enumerados, as tabelas apresentam algumas variáveis psicrométricas, cujos valores foram calculados por meio de equações contidas em IHVE (1973), através de um programa de computador listado em Sattler (1986a). Por falta de espaço não são apresentadas as tabelas relativas aos níveis 2,5 e 10,0%, bem como aos dias de maior e menor temperatura média do período, as quais podem ser encontradas em Sattler (1989). Também incluídos nas tabelas estão os dias considerados na definição de cada um dos

dias típicos.

Para cada dia típico é apresentada uma data de referência. Esta data corresponde ao dia cuja declinação solar mais se aproxime da média das declinações solares dos dias considerados na definição dos dias típicos. É importante conhecer-se a data de referência, para que se estimem, com precisão, os valores de irradiância solar nos diferentes componentes externos da edificação.

A direção do vento está caracterizada nas tabelas por

dois valores: pelo quadrante onde o vento sopra e pela frequência com que esta direção se manifesta, considerando o conjunto de dias (13 no verão e 11 no inverno) que definem a cada hora os dias típicos.

Conforme mencionado anteriormente, os registros gráficos de radiação solar (piranógrafos) cobriam um período de apenas sete meses. A metodologia utilizada para a obtenção de valores de radiação solar, tanto a partir de totais diários de horas de insolação como a partir de totais diários de irradiação global no plano horizontal é descrito para os demais dias, em Sattler (1989).

As figuras apresentadas em sequência às tabelas ilustram a frequência média, a cada duas horas, da direção de vento, para os diferentes níveis de dias típicos de inverno e de verão. Este tipo de representação identifica as direções de onde o vento se origina e quantifica as frequências do vento nas diferentes direções (sendo a frequência do vento de direção Norte apresentada, em intervalos de duas horas, na parte superior da figura). O octógono exterior corresponde a um valor de frequência de 12,5%, que corresponderia ao comprimento das barras bi-horárias, caso o vento soprasse de forma uniformemente distribuída de todas as direções, ao longo do tempo.

Este tipo particular de representação permite, inclusive, evidenciar determinadas peculiaridades não perceptíveis nas rosas-de-vento tradicionais. Por exemplo, pode ser observado que nos dias típicos de inverno, predominam os ventos de noroeste e de oeste, concordando com as observações de Machado (1950). No entanto, nos dias típicos de verão pode se perceber que a concordância com os dados de Machado só é válida para o período noturno (com predominância dos ventos de leste e sudeste), observando-se que durante o período diurno é nítida a predominância dos ventos de norte e noroeste. Tais tipos de informações crescem em importância à medida que possibilitam uma orientação diferenciada de ambientes dependendo do período de sua ocupação.

#### 4. AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao 8º Distrito Meteorológico, do Instituto Nacional de Meteorologia, pela cessão dos dados meteorológicos relativos ao período estudado, bem como pela gentileza e paciência com que foi atendido.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- FORN, R.A. & LOTERSZTAIN, I. Quality rules for thermal performance of low-cost dwellings. In: CONFERENCE TEACHING THE TEACHERS ON BUILDING CLIMATOLOGY, Estocolmo, 1972. *Proceedings* ... Estocolmo, The National Swedish Institute for Building Research, 1973, v.2.
- IHVE. *Some Fundamental Data Used by Building Services Engineers*. London, 1973.
- MACHADO, F.P. *Contribuição ao Estudo do Clima do Rio Grande do Sul*. Rio de Janeiro, IBGE, 1950.
- SATTLER, M.A. *The generation of climatic building design data from meteorological data, with particular reference to Porto Alegre (30° 02' S; 51° 13' W), Brazil*. Sheffield, University of Sheffield, 1986b. (BS 80).
- SATTLER M.A. *A computer program for the thermal design of unconditioned buildings*. Sheffield, University of Sheffield, 1986a. (BS 81).
- SATTLER M.A. *Dias Climáticos Típicos para o Projeto Térmico de Edificações em Porto Alegre*. Porto Alegre: CIENTEC, 1989. (Boletim Técnico; 9).
- VAN DEVENTER, E.N. *Climatic and other design data for evaluating heating and cooling requirements of buildings*. Pretoria, National Building Research Institute, 1971. (Research Report, 300).