

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA ENERGYPLUS PARA A SIMULAÇÃO DO CONFORTO
TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES POPULARES EM QUATRO CAPITAIS BRASILEIRAS

por

Maurício Ditter Wallauer

Dissertação para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia

Porto Alegre, março de 2003

UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA ENERGYPLUS PARA A SIMULAÇÃO DO CONFORTO
TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES POPULARES EM QUATRO CAPITAIS BRASILEIRAS

por

Maurício Ditter Wallauer
Engenheiro Mecânico

Dissertação submetida ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PROMEC, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de

Mestre em Engenharia

Área de Concentração: Energia

Orientador: Prof. Dr. Paulo Otto Beyer

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Arno Krenzinger

Prof. Dr. Jun Sérgio Ono Fonseca

Prof. Dr. Miguel Aloysio Sattler

Prof. Dr. Jun Sérgio Ono Fonseca
Coordenador do PROMEC

Porto Alegre, 28 de março de 2003.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de deixar registrado os meus sinceros agradecimentos a algumas pessoas e instituições que são responsáveis de forma direta pela transformação desta dissertação em realidade:

Ao professor Doutor Paulo Otto Beyer, do Departamento de Engenharia Mecânica da UFRGS, pela orientação, motivação e dedicação quanto a este trabalho;

Ao professor Arno Krenzinger, pela sua participação na banca examinadora deste trabalho;

Ao professor Jun Sérgio Ono Fonseca, pela sua participação na banca;

Ao professor Miguel Aloysio Sattler, pela participação na banca;

Aos colegas do LAFRIG – Laboratório de Vapor e Refrigeração da UFRGS, pela ajuda e apoio;

Ao CNPQ, pela bolsa de estudos fornecida durante estes dois anos;

Aos meus familiares, em especial, meus pais, Élton e Iolanda, poderosos modelos de vida, e a minha namorada, Karen, pelo amor, paciência e compreensão.

RESUMO

O principal objetivo deste trabalho consiste em utilizar o programa EnergyPlus para simular e analisar o nível de conforto térmico dos moradores de uma edificação térrea simples. Para tanto, escolheu-se e definiu-se uma casa popular padrão que será utilizada para as cidades de Belém, PA, Brasília, DF, São Paulo, SP e Recife, PE.

Em relação a esta residência e aos seus moradores foram determinadas diversas características, entre elas, rotinas de ocupação, nível de atividades, fator de vestimenta e número de moradores. Ganhos internos (lâmpadas e equipamentos elétricos) e renovação do ar (infiltração e ventilação) foram, também, considerados neste trabalho.

O conforto térmico dos ocupantes da habitação foi simulado e analisado para uma semana representante da época do ano com a temperatura mais elevada, e outra semana que representa o período de frio ou chuvas, ou seja, época do ano com temperaturas mais baixas. Para esta etapa necessitou-se a utilização de arquivos climáticos das quatro capitais brasileiras citadas acima.

Os níveis de conforto térmico foram determinados e estudados conforme a metodologia de Fanger, que utiliza os seguintes parâmetros: temperatura, umidade relativa e velocidade do ar, temperatura média radiante do ambiente, vestimenta e metabolismo dos indivíduos. Este estudo foi realizado para um ambiente em evolução livre e analisou-se somente a sala e os quartos da residência. Também não foram considerados neste trabalho os equipamentos elétricos com o intuito de melhorar o conforto térmico como, por exemplo, ventiladores.

A ferramenta de simulação computacional utilizada para o cálculo do conforto térmico neste trabalho foi o programa EnergyPlus. Para a simulação do conforto necessitou-se calcular a infiltração e a ventilação na residência, e com este intuito utilizou-se uma sub-rotina deste programa baseada no modelo de fluxo de ar multizonal COMIS.

Os resultados obtidos para o conforto térmico, através dos valores de PMV, nos dias analisados das quatro cidades em que foi realizado o estudo mostraram-se bastante coerentes com as condições externas e internas da residência, indicando a boa capacidade do programa EnergyPlus nestes casos simulados.

Calculado e analisado o conforto térmico das pessoas, melhorias nas estruturas da edificação foram sugeridas a fim da obtenção de condições otimizadas para os ocupantes desta habitação.

ABSTRACT

“UTILIZATION OF THE ENERGYPLUS SOFTWARE TO SIMULATE THE THERMAL COMFORT AT LOW COST DWELLINGS IN FOUR BRAZILIAN CAPITAL CITIES”

The main purpose of this work is the use of the EnergyPlus software to simulate and analyse the thermal comfort level of residents of a simple ground-floor building. In order to do so, a standard popular house was chosen and defined; it was used for the towns of Belém, PA, Brasília, DF, São Paulo, SP, and Recife, PE.

As to that building and its dwellers, different characteristics were determined, among them schedules of occupation, activity level, clothing factor and number of the residents. Internal gains (lamps and electric equipments) and air renovation (infiltration and ventilation) were also considered in the present paper.

The thermal comfort of residents was simulated and analysed for some particular week that represent the period of the year with the highest temperature, and for another one representing the cold or rainy time, that is, the period of the year with lower temperatures. For this step, climatic files of the four Brazilian capitals mentioned above had to be used.

The thermal comfort levels were determined and studied according to Fanger's methodology, which uses the following parameters: temperature, air velocity and relative humidity, average radiant temperature of the environment, clothing and metabolism of individuals. This study was made for an environment in free evolution and only the living room and bedrooms of the home was analysed. Electric equipments aiming to improve thermal comfort, such as electric fans, were not considered in this paper either.

The computational simulation tool used in this paper for the thermal comfort calculus was the program EnergyPlus. For the simulate of the comfort it was necessary to calculate infiltration and ventilation in the residence, and for this purpose a subroutine of that program was utilized, which was based on the COMIS multizonal air flow model.

The results obtained for the thermal comfort, through PMV values, in the analysed days for the four towns in which the study was made, showed enough coherence with the external and internal conditions of the residence, indicating the good performance of EnergyPlus in this cases.

After calculating and analysing the thermal comfort of individuals, some improvements in the structures of the building were suggested, so as to obtain optimized conditions for the residents of that home.

ÍNDICE

	Pág.
1. Introdução.....	1
1.1 Motivação.....	2
1.2 Proposta e Etapas de trabalho.....	2
2. Revisão Bibliográfica.....	3
2.1 Estudos sobre Conforto Térmico.....	3
2.2 O programa EnergyPlus.....	5
2.3 O programa COMIS.....	6
2.4 EnergyPlus X COMIS.....	9
3. Conceitos.....	11
3.1 Conforto térmico.....	11
3.2 Variáveis ambientais que influenciam na condição de conforto térmico.....	12
3.3 Variáveis pessoais.....	13
3.4 Variáveis fisiológicas.....	15
3.5 Balanço térmico.....	15
3.6 Índices de conforto térmico.....	18
4. Apresentação do Problema.....	20
4.1 Período de simulação e Parâmetros climáticos.....	20
4.1.1 Belém.....	20
4.1.2 Brasília.....	21
4.1.3 Recife.....	23
4.1.4 São Paulo.....	24
4.2 Edificação estudada.....	26
4.3 Cotidiano da edificação.....	30
4.3.1 Cotidiano de ocupação e Ganhos internos.....	30
4.3.2 Taxa metabólica.....	31
4.3.3 Vestimentas das pessoas.....	32
4.3.4 Renovação de ar.....	34
5. Método de Cálculo.....	35
5.1 O programa de simulação térmica.....	35
5.2 O programa de simulação de fluxos de ar.....	42
6. Análise dos Resultados.....	48

6.1	Conforto térmico no clima de Belém, PA	50
6.1.1	Dia com temperaturas mais elevadas com maiores índices de vento.....	50
6.1.2	Dia com temperaturas mais elevadas com menores índices de vento.....	51
6.1.3	Dia com temperaturas mais baixas com maiores índices de vento.....	53
6.1.4	Dia com temperaturas mais baixas com menores índices de vento.....	55
6.2	Conforto térmico no clima de Brasília, DF.....	57
6.2.1	Dia com temperaturas mais elevadas com maiores índices de vento.....	57
6.2.2	Dia com temperaturas mais elevadas com menores índices de vento.....	58
6.2.3	Dia com temperaturas mais baixas com maiores índices de vento.....	60
6.2.4	Dia com temperaturas mais baixas com menores índices de vento.....	62
6.3	Conforto térmico no clima de Recife, PE.....	64
6.3.1	Dia com temperaturas mais elevadas com maiores índices de vento.....	64
6.3.2	Dia com temperaturas mais elevadas com menores índices de vento.....	65
6.3.3	Dia com temperaturas mais baixas com maiores índices de vento.....	67
6.3.4	Dia com temperaturas mais baixas com menores índices de vento.....	69
6.4	Conforto térmico no clima de São Paulo, SP.....	71
6.4.1	Dia com temperaturas mais elevadas com maiores índices de vento.....	71
6.4.2	Dia com temperaturas mais elevadas com menores índices de vento.....	72
6.4.3	Dia com temperaturas mais baixas com maiores índices de vento.....	74
6.4.4	Dia com temperaturas mais baixas com menores índices de vento.....	75
6.5	Comparações entre as cidades.....	77
6.5.1	Comparações entre os dias mais quentes com mais ventos.....	77
6.5.2	Comparações entre os dias mais quentes com menos ventos.....	79
6.5.3	Comparações entre os dias mais frios com mais ventos.....	80
6.5.4	Comparações entre os dias mais frios com menos ventos.....	82
7.	Conclusão e Sugestões para futuros trabalhos.....	84
8.	Referências Bibliográficas.....	86
	Anexo I.....	89
	Anexo II.....	98

LISTA DE SÍMBOLOS

A – Área, [m²].

A_{ch} – Área de contato entre a pessoa e a superfície em questão, [m²].

A_d – Área de DuBois, [m²].

A_g – Superfície do corpo coberta, [m²].

A_l – Área de fuga de ar efetiva, [cm²].

C – Perda de calor sensível pela pele por convecção, [W/m²].

C_D – Coeficiente de descarga, adimensional.

$C_p(x,y,z)$ – Coeficientes de pressão nas coordenadas x , y e z , adimensionais.

C_q – Coeficiente de fluxo, [kg/s].

C_{res} – Taxa de perda de calor sensível durante a respiração, [W/m²].

D – Diâmetro, [m²].

E_{dif} – Taxa de perda de calor latente por difusão de água pela pele, [W/m²].

E_{res} – Taxa de perda de calor evaporativo durante a respiração, [W/m²].

E_{trsp} – Taxa de perda de calor latente por evaporação da transpiração, [W/m²].

f_{cl} – Fator de vestimenta, adimensional.

h – Altura da pessoa, [m].

h_c – Coeficiente de convecção, [W/m²°C].

I_{cl} – Resistência térmica das vestimentas, [clo].

I_{clu} – Resistência térmica parcial dos componentes das vestimentas, [clo].

J_1 – Janela tipo 1.

J_2 – Janela tipo 2.

L – Termo de acumulação de energia, [W/m²].

m – Massa, [kg].

M – Taxa metabólica, [W/m²].

n – Expoente de fluxo de ar, adimensional.

$P(x,y,z)$ – Pressão nas superfícies nas coordenadas x,y,z , [Pa].

p_a – Pressão parcial de vapor d'água, [Pa].

$P_{dyn}(z)$ – Pressão dinâmica num fluxo sem turbulência na altura z , [Pa].

$P_o(z)$ – Pressão atmosférica na altura z , [Pa].

p_{sat} – Pressão de saturação, [Pa].

PMV – Voto médio previsto, adimensional.

PPD – Percentagem de pessoas insatisfeitas, adimensional.

P1 – Porta tipo 1.

P2 – Porta tipo 2.

Q – Calor líquido dissipado, [W/m²].

Q_{ar} – Fluxo de ar, [m³/s].

Q_{O2} – taxa volumétrica de consumo de Oxigênio, [mL/s].

Q_{res} – Taxa total de perda de calor através da respiração, [W/m²].

Q_{sk} – Taxa total de perda de calor através da pele, [W/m²].

q["]_{asol} – Fluxo de radiação externa por ondas curtas, [W/m²].

q["]_{conv} – Fluxo de calor na convecção, [W/m²].

q["]_{Ki} – Fluxo de calor da face interna para a externa da parede, [W/m²].

q["]_{Ko} – Fluxo de calor da face externa para a interna da parede, [W/m²].

q["]_{Lwr} – Fluxo de radiação externa por ondas longas, [W/m²].

q["]_{Lws} – Fluxo de radiação por ondas longas vindas de fontes internas, [W/m²].

q["]_{Lwx} – Troca de radiação por ondas longas entre as superfícies da zona, [W/m²].

q["]_{sol} – Fluxo de radiação solar, [W/m²].

q["]_{sx} – Fluxo de radiação por ondas curtas vindo das luzes, [W/m²].

R – Perda de calor sensível pela pele por radiação, [W/m²].

RQ – quociente de respiração, adimensional.

t_a – Temperatura do ar, [°C].

T_{bs} – Temperatura de bulbo seco, [°C].

t_{cl} – Temperatura exterior da vestimenta, [°C].

t_g – Temperatura de globo, [°C].

T_i – Temperatura no lado interno da face da parede, [°C].

T_o – Temperatura no lado externo da face da parede, [°C].

t_{rm} – Temperatura média radiante, [°C].

t_{sk, m} – Temperatura média da pele, [°C].

UR – Umidade Relativa, [%].

V – Volume, [m³].

V_a – Velocidade do ar, [m/s].

x_f – Espessura das roupas, [mm].

X_j – Coeficiente CTF externo em relação à parede, adimensional.

Y_j – Coeficiente CTF no interior da parede, adimensional.

Z_j – Coeficiente CTF interno em relação à parede, adimensional.

z – Coordenada de altura, [m].

z_0 – Altura de referência, [m].

W – Taxa de trabalho externo realizado, [W/m^2].

α – Expoente de velocidade de ar, adimensional.

α_0 – Ângulo de inclinação da superfície .

ΔP – Variação de pressão, [Pa].

ΔP_r – Diferença de pressão de referência, [Pa].

ε – Emissividade, adimensional.

$v(z)$ – Velocidade do vento na altura z , [m/s].

$v(z_0)$ – Velocidade do vento na altura de referência z_0 , [m/s].

ρ – Densidade do ar, [kg/m^3].

$\rho_{out}(z)$ – Densidade do ar externo na altura z , [kg/m^3].

Φ_j – Coeficiente CTF de fluxo, adimensional.

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 2.1	Estrutura do programa EnergyPlus6
Fig. 2.2	Fatores que influenciam na distribuição do fluxo de ar7
Fig. 2.3	Exemplo de estrutura multizonal8
Fig. 2.4	Plano de uma edificação simples e sua representação em uma rede de nós10
Fig. 3.1	Relação entre PPD e PMV19
Fig. 4.1	Temperatura de bulbo seco e umidade relativa na semana mais quente de Belém20
Fig. 4.2	Temperatura de bulbo seco e umidade relativa externas entre 10 e 16 de março de Belém21
Fig. 4.3	Temperatura de bulbo seco e umidade relativa na semana quente de Brasília22
Fig. 4.4	Temperatura de bulbo seco e umidade relativa na semana fria de Brasília22
Fig. 4.5	Temperatura de bulbo seco e umidade relativa externas na semana quente de Recife.....23
Fig. 4.6	Temperatura de bulbo seco e umidade relativa na semana de inverno de Recife24
Fig. 4.7	Temperatura de bulbo seco e umidade relativa na semana de verão de São Paulo25
Fig. 4.8	Temperatura de bulbo seco e umidade relativa externas na semana de inverno de São Paulo.....25
Fig. 4.9	Vista isométrica da casa padrão com sua orientação.....26
Fig. 4.10	Planta baixa da edificação referencial padrão.....27
Fig. 5.1	Gerenciador de Solução Integrado.....35
Fig. 5.2	Diagrama do volume de controle do balanço de calor externo.....37
Fig. 5.3	Diagrama do volume de controle do balanço de calor interno37
Fig. 5.4	Interface do editor do programa EnergyPlus40
Fig. 5.5	Interface do “lançador” do programa EnergyPlus41
Fig. 5.6	Momento de simulação do programa.....41
Fig. 5.7	Perfil de velocidades do vento em função do terreno43
Fig. 5.8	Direções de vento relacionadas aos coeficientes de pressão44

Fig. 6.1	Fluxos do ar interno, em L/s, no dia 25/01 em São Paulo com pouco vento incidindo à 150°.....	48
Fig. 6.2	Fluxos do ar interno, em L/s, no dia 25/01 em São Paulo com muito vento incidindo à 290°.....	49
Fig. 6.3	Variação do PMV e da velocidade do vento no dia 03/06 em Belém.....	50
Fig. 6.4	Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco no dia 03/06 em Belém.....	51
Fig. 6.5	Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco externa no dia 28/05 em Belém.....	52
Fig. 6.6	Variação do PMV e da umidade relativa externa no dia 28/05 em Belém.....	52
Fig. 6.7	Variação do PMV e das velocidades dos ventos no dia 14/03 em Belém.....	53
Fig. 6.8	Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco externa no dia 14/03 em Belém.....	54
Fig. 6.9	Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco externa no dia 11/03 em Belém.....	55
Fig. 6.10	Variação do PMV e da umidade relativa externa no dia 11/03 em Belém.....	56
Fig. 6.11	Variação do PMV e das velocidades dos ventos no dia 27/09 em Brasília.....	57
Fig. 6.12	Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco externa no dia 27/09 em Brasília.....	58
Fig. 6.13	Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco externa no dia 25/09 em Brasília.....	59
Fig. 6.14	Variação do PMV e da umidade relativa externa no dia 25/09 em Brasília.....	59
Fig. 6.15	Variação do PMV e das velocidades dos ventos no dia 18/06 em Brasília.....	60
Fig. 6.16	Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco no dia 18/06 em Brasília.....	61
Fig. 6.17	Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco externa no dia 14/06 em Brasília.....	62

Fig. 6.18	Variação do PMV e da umidade relativa externa no dia 14/06 em Brasília.....	63
Fig. 6.19	Variação do PMV e da velocidade do vento no dia 07/03 em Recife.....	64
Fig. 6.20	Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco no dia 07/03 em Recife.....	65
Fig. 6.21	Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco externa no dia 09/03 em Recife.....	66
Fig. 6.22	Variação do PMV e da radiação horizontal global no dia 09/03 em Recife.....	66
Fig. 6.23	Variação do PMV e da velocidade dos ventos no dia 01/08 em Recife.....	68
Fig. 6.24	Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco externa no dia 01/08 em Recife.....	68
Fig. 6.25	Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco externa no dia 29/07 em Recife.....	69
Fig. 6.26	Variação do PMV e da radiação horizontal global no dia 29/07 em Recife.....	70
Fig. 6.27	Variação do PMV e da velocidade dos ventos no dia 25/01 em São Paulo.....	71
Fig. 6.28	Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco no dia 25/01 em São Paulo.....	72
Fig. 6.29	Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco no dia 31/01 em São Paulo.....	73
Fig. 6.30	Variação do PMV e da radiação horizontal global no dia 31/01 em São Paulo.....	73
Fig. 6.31	Variação do PMV e da velocidade dos ventos no dia 30/07 em São Paulo.....	74
Fig. 6.32	Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco no dia 30/07 em São Paulo.....	75
Fig. 6.33	Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco no dia 01/08 em São Paulo.....	76
Fig. 6.34	Variação do PMV e da radiação horizontal global no dia 01/08 em São Paulo.....	76

Fig. 6.35	Índices de PMV das quatro cidades estudadas para os dias mais quentes com maiores intensidades de ventos.....	78
Fig. 6.36	Índices de PMV das quatro cidades estudadas para os dias mais quentes com menores intensidades de ventos.....	79
Fig. 6.37	Índices de PMV das quatro cidades estudadas para os dias mais frios com maiores intensidades de ventos.....	81
Fig. 6.38	Índices de PMV das quatro cidades estudadas para os dias mais frios com menores intensidades de ventos.....	82
Fig. I.1.	Direções dos ventos e os nós externos para os quais foram calculados os Cp's.....	89
Fig. II.1.	Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 03/06 em Belém.....	98
Fig. II.2.	Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 28/05 em Belém.....	98
Fig. II.3.	Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 14/03 em Belém.....	99
Fig. II.4.	Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 11/03 em Belém.....	99
Fig. II.5.	Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 27/09 em Brasília.....	100
Fig. II.6.	Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 25/09 em Brasília.....	100
Fig. II.7.	Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 18/06 em Brasília.....	101
Fig. II.8.	Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 14/06 em Brasília.....	101
Fig. II.9.	Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 07/03 em Recife.....	102
Fig. II.10.	Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 09/03 em Recife.....	102
Fig. II.11.	Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 01/08 em Recife.....	103
Fig. II.12.	Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 29/07 em Recife.....	103

Fig. II.13. Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 25/01 em São Paulo.....	104
Fig. II.14. Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 31/01 em São Paulo.....	104
Fig. II.15. Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 30/07 em São Paulo.....	105
Fig. II.16. Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 01/08 em São Paulo.....	105

ÍNDICE DE TABELAS

	Pág.
Tab. 3.1 Escala de Sensação Térmica	18
Tab. 4.1 Materiais utilizados na construção da casa e algumas de suas características	27
Tab. 4.2 Características do material das cortinas	29
Tab. 4.3 Cotidiano de pessoas, luz e equipamentos	30
Tab. 4.4 Distribuição da taxa metabólica	31
Tab. 4.5 Resistências térmicas parciais das vestimentas utilizadas	32
Tab. 5.1 Coeficientes de fluxo de ar para as aberturas externas e internas e para o telhado	46
Tab. I.1. Valores dos Cp's em relação aos nós externos e às direções dos ventos.....	89
Tab. I.2. Velocidades do ar interno para os dias mais quentes de Belém, em [m/s].....	90
Tab. I.3. Velocidades do ar interno para os dias mais frios de Belém, em [m/s].....	91
Tab. I.4. Velocidades do ar interno para os dias mais quentes de Brasília, em [m/s].....	92
Tab. I.5. Velocidades do ar interno para os dias mais frios de Brasília, em [m/s].....	93
Tab. I.6. Velocidades do ar interno para os dias mais quentes de Recife, em [m/s].....	94
Tab. I.7. Velocidades do ar interno para os dias mais frios de Recife, em [m/s].....	95
Tab. I.8. Velocidades do ar interno para os dias mais quentes de São Paulo, em [m/s].....	96
Tab. I.9. Velocidades do ar interno para os dias mais frios de São Paulo, em [m/s].....	97

1. INTRODUÇÃO

A busca constante da melhoria da qualidade de vida das pessoas é um assunto que está sempre em pauta nas principais mesas de reuniões por todo o mundo. A cada ano, novos estudos são apresentados sobre este tema evidenciando a necessidade de ações concretas com o intuito de proporcionar melhorias nas vidas para as pessoas.

Um outro estudo que se faz de grande importância diz respeito à qualificação do desempenho térmico das unidades residenciais.

Os dois assuntos acima citados não são excludentes, pelo contrário, a qualificação do desempenho térmico das residências proporciona de forma direta um aumento do nível da qualidade de vida das pessoas.

Esta melhora na qualidade de vida pode se dividir em dois subitens: um de cunho propriamente econômico, com a redução dos gastos com o consumo de energia elétrica; e outro de cunho social, com uma qualidade de vida melhor não haverão tantos problemas quanto à saúde da população.

O problema sobre a energia elétrica se revelou, nos últimos anos, ser de grande importância no cenário nacional. Contratempos em função do clima aliados a uma má administração fizeram surgir um “caos energético” em diversos estados brasileiros. Para solucionar ou ao menos minimizar esta instabilidade várias idéias foram propostas e algumas colocadas em prática.

Estes planos baseavam-se em reduzir o consumo elétrico de todos os usuários, aplicando nos que não cumprissem esta meta uma pesada multa. Com a redução do consumo elétrico o conforto térmico foi atingido, pois é sabido que atualmente até mesmo as classes sociais de menor poder aquisitivo possuem equipamentos elétricos com a finalidade de melhorar a sensação de conforto térmico. Então a necessidade de uma otimização do desempenho térmico das residências se torna de grande importância, pois reduziria a dependência da utilização de equipamentos elétricos diminuindo, por consequência, o consumo elétrico.

Quanto à saúde das pessoas é obvio que um ambiente bem climatizado é favorável. Em um ambiente melhor condicionado as chances de ocorrência de uma doença provocada pelas mudanças no clima da região são menores do que em um ambiente não climatizado.

O inverno, principalmente na região sul do país, é muito frio e úmido proporcionando o desenvolvimento de muitas doenças, especialmente as respiratórias. Melhorias no desempenho térmico das residências poderiam, com certeza, inibir as possibilidades de ocorrências destas doenças.

Realizando um bom estudo em uma habitação, melhorias no desempenho térmico poderão ser realizadas com insignificantes acréscimos nos custos, ou até mesmo com redução destes.

1.1 Motivação

A necessidade de melhorar a qualidade de vida das pessoas, economizar energia, otimizar o desempenho térmico das edificações e possibilitar o conforto térmico está causando uma maior ocorrência de estudos utilizando programas de simulações computacionais para cargas térmicas e energéticas. Em conjunto com estes estudos, novos programas são desenvolvidos ou estão em desenvolvimento.

Um destes novos programas é chamado EnergyPlus, um “software” de simulação de carga térmica e análise energética que possui suas raízes nos programas BLAST (Building Loads Analysis and Thermodynamics) e DOE-2, desenvolvido pelo “Department of Energy” dos EUA. Atualmente este “software” é utilizado como programa oficial do Departamento de Energia dos Estados Unidos para simulações em construções.

Por se tratar de um programa relativamente novo, estudos visando um melhor conhecimento de suas potencialidades são importantes, e por esse motivo o presente trabalho se propõe a simular o conforto térmico em uma edificação simples utilizando o programa EnergyPlus.

1.2 Proposta e Etapas de trabalho

O presente trabalho pretende simular e analisar o conforto térmico das pessoas residentes em uma edificação térrea simples nos períodos quente e frio, ou seja, de temperaturas mais elevadas e de temperaturas mais baixas. Esse estudo se dará somente nos quartos e na sala da edificação.

Como tarefa inicial estudou-se a residência que servirá como padrão de habitação unifamiliar térrea. Logo em seguida foi abordado o cotidiano da edificação, como sua ocupação, nível de atividade de seus moradores, seus fatores de vestimenta, os ganhos internos e a renovação de ar.

Num terceiro estágio apresentou-se e analisou-se o método de cálculo utilizado neste trabalho, o programa de simulação EnergyPlus.

Após esta apresentação, fez-se uma análise dos resultados quanto ao conforto térmico nos períodos de simulação, chegando por último a conclusões e sugestões para futuros trabalhos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Estudos sobre Conforto Térmico

Humphreys, 1976, concluiu através de correlações entre todas as pesquisas de campo existentes até então que a temperatura de conforto, ou seja, a temperatura na qual as pessoas se encontram em conforto térmico, independente de sexo e idade, poderia ser estimada através da temperatura média interna da zona onde as pessoas permaneciam, apresentando uma variação de 1°C para mais ou para menos.

No mesmo estudo, Humphreys, 1976, chegou à conclusão que os índices de conforto térmico variam em relação à temperatura média da região onde cada estudo era desenvolvido.

Nicol, 1993, em seu modelo, citou a existência de uma série de ações que as pessoas podem realizar a fim de obterem o conforto térmico e entre as principais ações estão: modificações em sua taxa de geração de calor; modificações da taxa de perda de calor; modificações do ambiente térmico e seleção de um ambiente diferente.

Jones, 2002, comentou sobre as capacidades e limitações dos modelos térmicos para serem utilizados como padrões de conforto térmico e conclui que há três importantes limitações: nenhum modelo que é incluído em um padrão deve ser precisa e inequivocamente definido; o uso do modelo em um padrão deve ser cuidadosa e precisamente limitado para aquelas condições para qual tem sido demonstrado fornecer resultados precisos; o usuário de um modelo padrão deve entender a necessidade para definir as entradas desse modelo corretamente.

Jones, 2002, afirmou, no mesmo trabalho, que os modelos de balanço de calor são muito boas ferramentas que representam meios práticos para incorporar as numerosas possibilidades de combinação de variáveis em um modelo padrão.

Havenith et al, 2002, estudaram a importância dos parâmetros das vestimentas e da taxa metabólica no contexto do Voto Médio Previsto (PMV). Neste trabalho foi relatado que os efeitos dinâmicos são negligenciados em muitos modelos e os efeitos do movimento do corpo e do movimento do ar foi tão grande que eles deveriam ser levados em conta nos modelos de conforto que desejassem ser fisicamente precisos. Sobre a taxa metabólica foi comentado que os métodos para a sua determinação, a partir da ISO 8996 (ISO – International Standards Organization), não fornecem grandes precisões e para uma avaliação correta do conforto são necessárias precisas medidas dessas taxas metabólicas.

Para Olesen e Parsons, 2002, os estudos de campo mostraram que para ambientes aquecidos e climatizados o uso dos índices PMV/ PPD concordavam com as observações da

norma ISO 7730, porém para ambientes em evolução livre em climas quentes, onde a ventilação natural é importantíssima, há a necessidade de adaptações adicionais que não podem ser explicadas somente pelas adaptações comportamentais.

Neste mesmo trabalho, Olesen e Parsons, 2002, concluíram que existem pequeníssimas informações sobre os efeitos combinados do conforto térmico geral e o conforto térmico local. Alguns estudos têm sido realizados com o intuito de determinar a influência da velocidade do ar no desconforto térmico geral, porém a influência do conforto térmico geral sobre outros parâmetros de desconforto locais como temperatura média radiante assimétrica e temperatura de solo não tem sido estudada.

Barbosa, 1997, realizou um estudo com o intuito de desenvolver uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico em edificações térreas, residenciais unifamiliares. A metodologia foi aplicada em cinco construções na cidade de Londrina, PR, onde foram medidas no verão e no inverno as temperaturas internas, levantados os dados construtivos e as sensações dos usuários. Com uma ferramenta de simulação e o ano climático de referência estabelecido, foram realizadas simulações com várias alternativas construtivas, determinando-se as horas de desconforto anuais para cada alternativa.

Barbosa, 1997, no mesmo estudo, demonstrou que o desempenho térmico das casas de ardósia e argamassa armada é substancialmente inferior ao das demais tipologias estudadas, paredes monolíticas de concreto, alvenaria de tijolos cerâmicos de seis furos e alvenaria de blocos de concreto, indicando que a massa é importante para a redução das horas de desconforto no clima de Londrina.

Xavier, 1999, desenvolveu uma metodologia para a determinação de índices e parâmetros de conforto térmico a partir de estudos de campo efetuados sobre a atividade escolar em uma instituição de Florianópolis, onde foram coletadas todas as variáveis ambientais e diversas variáveis e sensações pessoais. Neste estudo, a taxa metabólica e as vestimentas das pessoas não foram consideradas como variáveis de influência sobre o conforto térmico. A metodologia desenvolvida, baseada em análises estatísticas, para a determinação dos parâmetros de conforto apresentou melhorias de correlação entre as sensações determinadas pelo modelo estatístico e as sensações relatadas pelas pessoas, quando comparadas às metodologias propostas nas normas.

Neste mesmo trabalho [Xavier, 1999] foi comentado sobre a necessidade de especificação de zonas de conforto diferenciadas para cada região e evidenciou a adaptação das pessoas ao clima.

Dilkin, 2000, realizou um estudo de sete normas estrangeiras e duas nacionais para edificações térreas residenciais. Para tanto definiu um padrão de casa popular para a cidade de

Porto Alegre, RS, onde foram determinados cotidianos de ocupação, ganhos internos e renovação do ar, para inverno e verão. A fim de analisar e comparar o desempenho térmico das edificações Dilkin, 2000, as construiu para cada norma estudada e utilizou o programa de simulação TRNSYS.

Segundo Dilkin, 2000, no mesmo trabalho, o desempenho térmico das edificações estudadas com as normas internacionais para o clima de Porto Alegre foi satisfatório, a não ser para a norma do Reino Unido. Foi concluído, também, que a colocação de um sombreamento sobre as áreas envidraçadas e as modificações realizadas nas características térmicas das paredes e da cobertura da edificação analisada melhoraram significativamente o desempenho térmico dessa edificação.

2.2 O programa EnergyPlus

O programa utilizado como ferramenta de simulação foi o aplicativo EnergyPlus.

Conforme Crawley et al, 2002, o EnergyPlus é um software relativamente novo, que começou a ser desenvolvido em 1996 por uma equipe formada pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Construção do Exército dos Estados Unidos (CERL), pela Universidade de Illinois (UI), o Laboratório Nacional Lawrence Berkeley (LBNL), a Universidade do Estado de Oklahoma (OSU), a Analitics GARD, e o Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE). A sua primeira versão, Beta, data do final de 1999, e em função de ser recente, permanece em um contínuo desenvolvimento, apresentando a sua última versão, 1.0.3, no final do ano de 2002.

Strand et al, 2002, afirmaram em seu trabalho que o EnergyPlus está baseado nas características mais populares de dois outros programas de simulação energética em edificações o Building Loads Analysis and System Thermodynamics, BLAST, desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DOD) e o DOE-2, patrocinado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE).

Apesar de estar baseado em dois outros softwares, o EnergyPlus é um programa totalmente novo que compreende completamente um código estruturado novo e modular escrito na linguagem Fortran 90.

Segundo Pedersen, 2001, o programa EnergyPlus tem toda sua estrutura de forma modular para facilitar a entrada de novas características e agilizar a sua ligação com outros programas.

Três componentes básicos compõem o bloco principal do aplicativo; um Gerenciador ou Controlador de Simulação, um Módulo de Simulação do Balanço de Calor e Massa e um Módulo de Simulação dos Sistemas da Edificação.

Na figura 2.1 pode-se observar a estrutura do programa EnergyPlus.

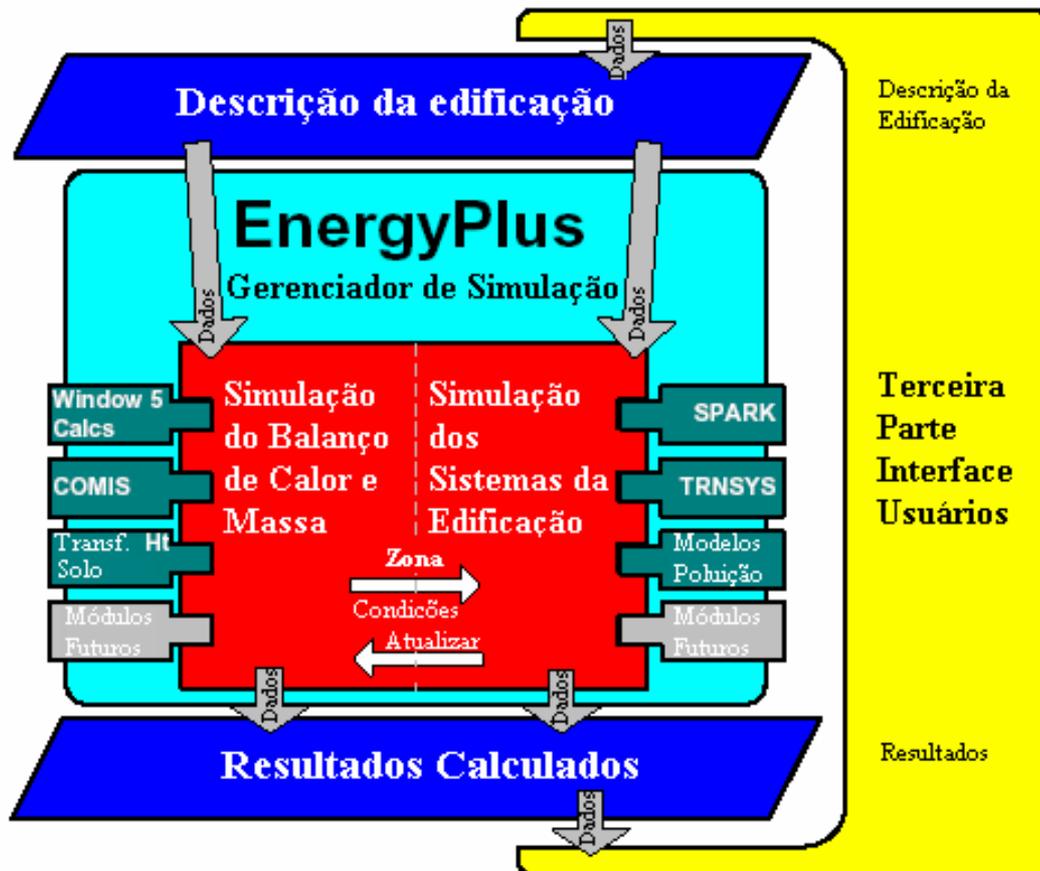


Figura 2.1. Estrutura do programa EnergyPlus [Crawley et al, 2002].

O Gerenciador de Simulação realiza o controle do processo como um todo, ele é o nível mais externo do programa. As ações individuais dos módulos de simulação são direcionadas por esse controlador, que instrui esses módulos a tomar ações, tal como: iniciação, simular, manter gravado ou reportar os resultados.

Alguns benefícios fornecidos pelo Gerenciador de Simulação:

- “Loops” maiores de simulação estão contidos em apenas um módulo simples;
- Os dados de acesso são controlados e;
- Novos módulos são facilmente adicionados.

2.3 O programa COMIS

Segundo Feustel, 1998, COMIS (Conjunction of Multizone Infiltration Specialists) surgiu como fruto do trabalho de um grupo internacional de estudiosos da Agência Internacional de Energia (IEA) tendo seu início em 1990 e finalizado no ano de 1997.

O objetivo deste grupo consistia em estudar os fenômenos físicos causados pelos fluxos de ar e transporte de poluentes em edificações multizonais e desenvolver módulos para serem integrados em sistemas de modelamento de fluxo de ar multizonais.

Conforme Feustel, 1998, no mesmo trabalho, o programa COMIS 3.0 realiza o modelamento do fluxo de ar interzonal e entre as zonas internas e o exterior, e por ser de estrutura modular, COMIS 3.0 tem grande capacidade para simular modelos de fluxo de ar multizonais em edificações.

O fluxo de ar é influenciado pela distribuição das aberturas na edificação. Ações realizadas pelos ocupantes podem também interferir na distribuição de pressão interna, conforme Feustel, 1998.

Neste mesmo trabalho Feustel, 1998, descreveu os fatores que influenciam na distribuição do fluxo de ar. Esses fatores podem ser visualizados na figura 2.2.

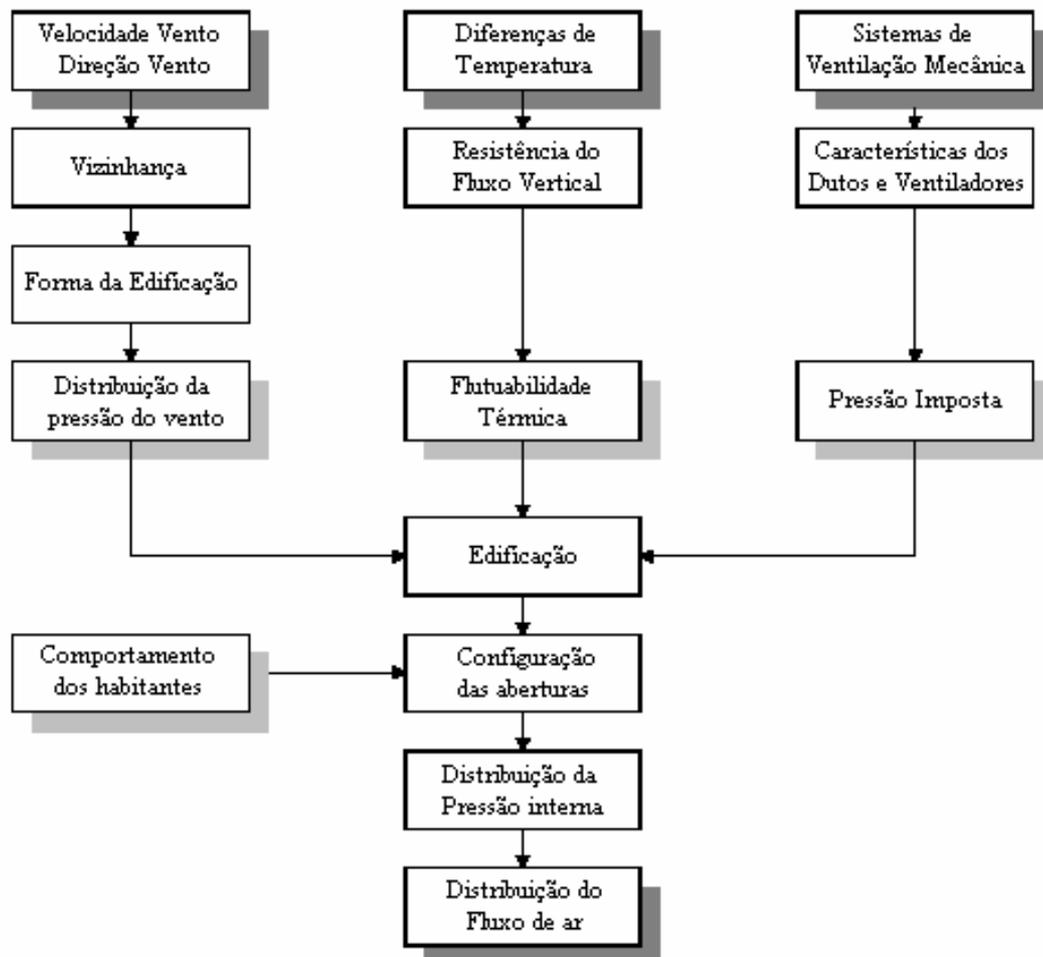


Figura 2.2. Fatores que influenciam na distribuição do fluxo de ar [Feustel, 1998].

Na figura que segue, pode-se notar um exemplo de estrutura multizonal com os fluxos de ar representados.

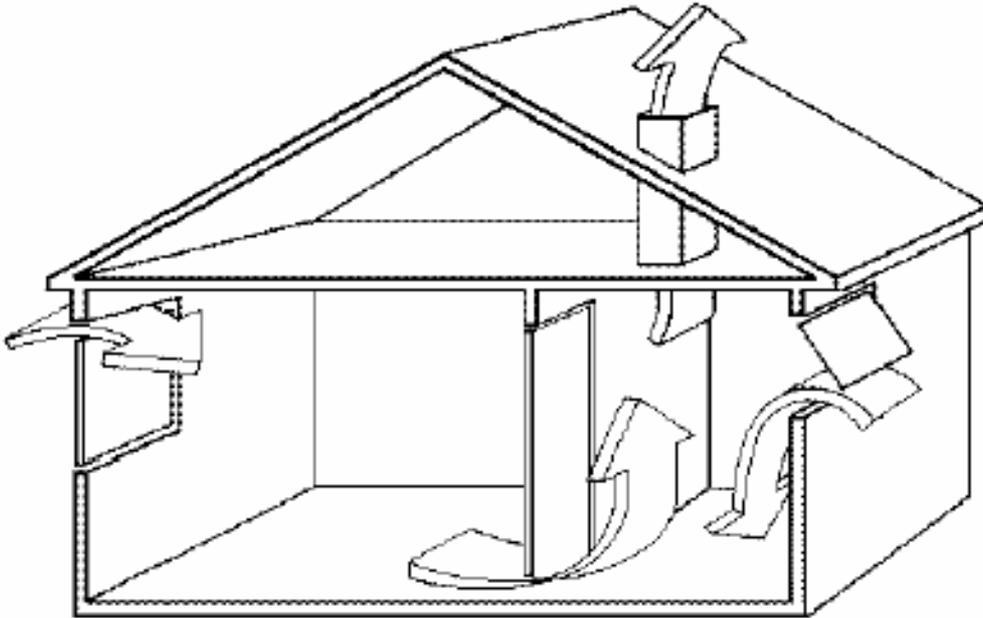


Figura 2.3. Exemplo de estrutura multizonal [Liddament, 1986].

No COMIS cada zona e condição de fronteira é representada por um simples nó, e cada caminho do fluxo é representado por um “link”. Para realizar o balanço de massa em cada nó zonal um conjunto de equações algébricas não lineares é obtido. Soluções para estas equações através de métodos iterativos são utilizadas para calcular a pressão interna de ar induzida pelo vento, flutuações térmicas, ventilação mecânica ou uma combinação destes fatores, então os fluxos e sua distribuição podem ser calculados pelos nós de pressão [Yoshino, 1999].

Diferenças de temperatura do ar interno e externo criam variações na densidade deste ar que, com isso, causam gradientes de pressão. Estes gradientes dependem apenas das diferenças de temperatura e da dimensão vertical da edificação ou estrutura, segundo Tamura e Wilson, 1967.

Este efeito é frequentemente mal entendido em ser uma forma de convecção; entretanto, diferenças de temperatura dentro de duas colunas de ar não causam este fenômeno: o efeito é resultado da diferença de peso entre duas colunas adjacentes de ar [Feustel, 1998].

As simulações para grandes aberturas verticais nas fachadas prediais foram avaliadas por um grupo de cientistas da Bélgica, França e Grécia e foi concluído que incorreções na pressão e nos coeficientes de descarga podem causar erros significativos na estimativa dos fluxos de ar entre as zonas internas e externas conforme Dascalaki et. al, 1998.

Embora o COMIS calcule o impacto da temperatura nos fluxos de ar, ele não simula as condições térmicas dos espaços, mas exige temperaturas das zonas como parâmetros de entrada [Huang et.al, 2000].

2.4 EnergyPlus X COMIS

Em seu trabalho, Huang et al, 2000, afirmaram a existência de quatro possíveis aproximações para acoplar um modelo de fluxo de ar a um de simulação térmica. A primeira trata-se de um acoplamento seqüencial, a segunda aproximação é do tipo “acoplamento ping-pong”, a terceira é uma elaboração das anteriores, onde cálculos iterativos são realizados entre os dois modelos até que algum critério de convergência seja obtido. A quarta aproximação consiste em acoplar realmente os algorítmicos de ambos os modelos e simultaneamente resolver a matriz expandida.

No acoplamento entre os programa EnergyPlus e COMIS é utilizada a segunda aproximação, do tipo “ping-pong”.

Em princípio o “link” EnergyPlus-COMIS é realizado convertendo o COMIS para uma sub rotina que é chamada dentro do módulo Gerenciador de Balanço de Calor do Ar no EnergyPlus. Enquanto isso, esse módulo deve preparar e passar para o COMIS as informações de entrada sobre a edificação, operação de janelas, condições do tempo e temperaturas do ar da zona dos “time-step” anteriores. O COMIS utiliza estes dados para calcular os fluxos vindo do exterior e os entre zonas por infiltração e ventilação que são então retornados para o módulo Gerenciador de Balanço de Calor do Ar para serem usados na subsequente simulação de balanço de calor.

Segundo Crawley et al, 1999, no início da simulação, o módulo Gerenciador de Balanço de Calor no Ar gera um arquivo interno de entrada baseado na descrição do fluxo de ar das construções, nas condições ambientais externas e nas temperaturas internas da zona. Para cada “time-step” as temperaturas internas e externas são atualizadas, assim como qualquer mudança nas condições de abertura das janelas e portas.

Há muitas similaridades entre o modelo de transferência de calor e a descrição do fluxo de ar COMIS. Ambos tratam a edificação como uma coleção de zonas ligadas com o ambiente externo e com outras zonas por uma rede de nós. Na representação do fluxo de ar, entretanto, os nós são preferencialmente propriedades dos fluxos de ar do que propriedades térmicas de vários componentes da construção como paredes, pisos, janelas, portas, etc.

Uma substancial parte das informações necessárias para o modelamento de fluxo de ar já existe e pode ser extraída ou referenciada das construções para os modelamentos térmicos, como o volume, a altura neutra das zonas, a orientação e localização das superfícies da construção.

De fato, entradas não adicionais são necessárias para definir uma zona de fluxo de ar, enquanto uma superfície COMIS necessita apenas referências para o tipo de fluxo de ar e a correspondente superfície de transferência de calor.

O modelo COMIS requer, entretanto, mais informações sobre o ambiente externo. Enquanto o modelo térmico assume o mesmo ambiente externo para todas as superfícies (exceto solar e vento) o modelamento de fluxo de ar requer diferentes nós externos onde os coeficientes de pressão (C_p) podem diferir.

Na figura 2.4 pode-se ver uma analogia entre o modelamento COMIS para uma edificação simples e um esquema elétrico:

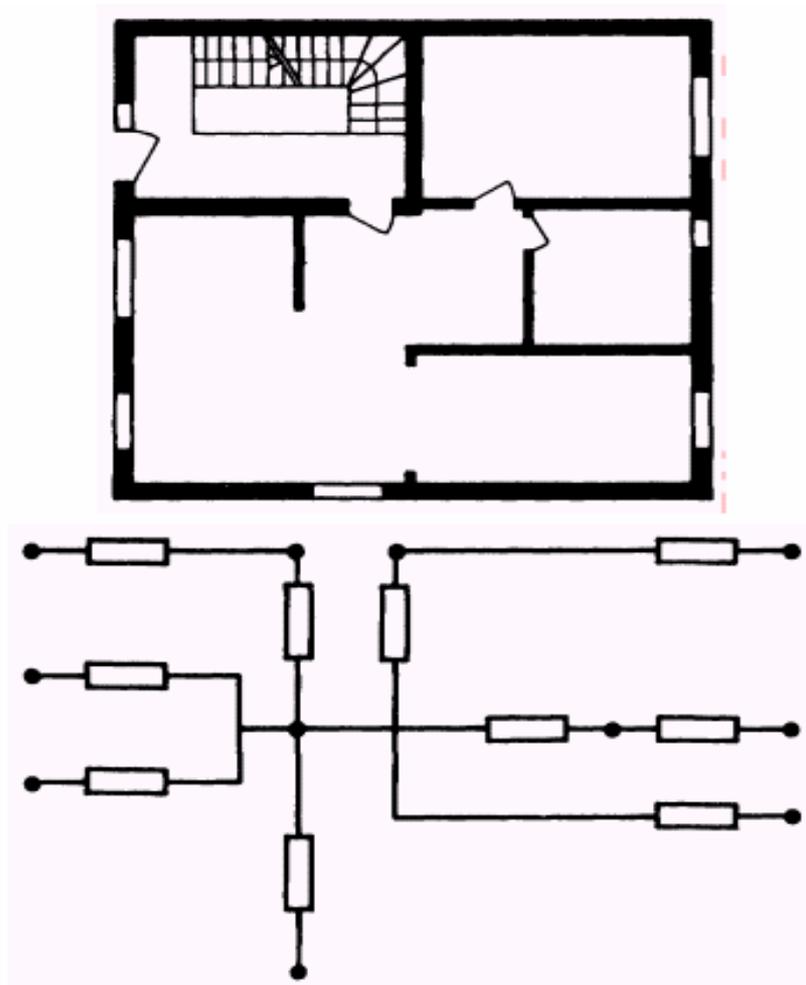


Figura 2.4. Plano de uma edificação simples e sua representação em uma rede de nós.

Na analogia acima, cada resistência do circuito elétrico representa uma abertura, porta ou janela, da edificação. Portanto, por exemplo, se o fluxo de ar que passar por três aberturas, sejam elas externas ou internas equivale a uma corrente elétrica passar por três resistências.

3. CONCEITOS

3.1 Conforto térmico

Atingir o conforto térmico é a condição em que dissipa-se exatamente o calor necessário para um perfeito funcionamento do corpo humano. O ser humano necessita manter a temperatura interna de seu corpo dentro de certos limites, em torno de 37°C. Esta obrigação torna indispensável o equilíbrio térmico entre o homem e o meio envolvente e, quando existe a percepção psicológica desse equilíbrio, o conforto térmico é então obtido.

O conforto térmico é, portanto, uma sensação subjetiva, dependente de aspectos biológicos, físicos e emocionais das pessoas. Por ser dependente de diversos fatores, sendo alguns pessoais, é difícil agradar a todos os indivíduos que ocupam uma mesma zona, com uma determinada condição térmica.

Um ambiente confortável termicamente é aquele em que ocorre o equilíbrio entre a produção de calor metabólico e as trocas de calor, perdas e ganhos, provenientes do ar em torno da pessoa.

Em estudos realizados, Fanger, 1970, define o conforto térmico como “uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”. Segundo o mesmo autor, em função do conforto térmico envolver variáveis ambientais ou físicas e variáveis pessoais, não é possível satisfazer termicamente todas as pessoas que estão submetidas ao mesmo ambiente térmico, devido aos aspectos individuais dos ocupantes.

O conforto térmico depende da conjugação e da influência de vários fatores. As variáveis ambientais que influenciam o conforto são: temperatura do ar, umidade relativa do ar ou pressão parcial de vapor, temperatura média radiante e velocidade do ar. Os fatores pessoais envolvidos são: vestimenta (resistência térmica das roupas) e tipo de atividade, apresentada sob forma de taxa metabólica.

Há, ainda, eventuais aspectos fisiológicos como, temperatura da pele e taxa de secreção de suor, que também podem influenciar no conforto das pessoas.

Segundo as leis da termodinâmica, quando dois corpos de temperaturas diferentes estão na presença um do outro, há transferência de calor do corpo mais quente para o mais frio até que se estabeleça a igualdade de temperatura. O conforto térmico é obtido através destas trocas térmicas, que podem se realizar por um ou mais dos seguintes modos: condução, convecção, radiação e evaporação.

3.2 Variáveis ambientais que influenciam na condição de conforto térmico

Temperatura do Ar, t_a :

É a temperatura de bulbo seco do ar ao redor da pessoa, expresso em °C. A sua importância nos estudos de conforto térmico é para a determinação da transferência de calor por convecção entre a pessoa e o ambiente ao seu redor.

Temperatura média radiante, t_{rm} :

É a temperatura uniforme de um ambiente imaginário, no qual a transferência de calor radiante do corpo humano é igual à transferência de calor radiante no ambiente real não uniforme. A temperatura média radiante pode ser estimada utilizando valores de temperatura do ar, temperatura de globo e velocidade do ar.

Para um globo negro a t_{rm} pode ser calculada, conforme ASHRAE, 2001, utilizando a equação 3.1:

$$t_{rm} = [(t_g + 273)^4 + \frac{1,1 \times 10^8 V_a^{0,6} (t_g - t_a) (t_g - t_a)^{1/4}}{\varepsilon D^{0,4}}]^{1/4} - 273, \quad (3.1)$$

onde, t_{rm} = temperatura média radiante, °C;

t_g = temperatura de globo, °C;

t_a = temperatura do ar, °C;

V_a = velocidade do ar no nível do globo, m/s;

ε = emissividade (0,95 para globo negro), adimensional;

D = diâmetro do globo, m.

Velocidade do ar, V_a :

É o módulo do vetor velocidade do fluxo de ar, expresso em m/s. Deve ser levada em consideração nos estudos de conforto térmico para a determinação de transferência de calor por convecção e por evaporação.

Umidade do ar:

Pode ser expressa pela pressão parcial de vapor de água do ar, p_a que é obtida através da equação 3.2, [ASHRAE, 2001]:

$$p_a = UR p_{sat}(t_a), \quad (3.2)$$

com

$$p_{sat}(t_a) = 1000 \exp [16,6536(4030,183 / (t_a + 235))], \quad (3.3)$$

onde, p_a = pressão parcial de vapor d'água do ar, Pa;

UR = umidade relativa, entre 0 e 1;

p_{sat} = pressão de saturação, Pa;

t_a = temperatura do ar, °C.

3.3 Variáveis pessoais

Taxa Metabólica, M :

Corresponde à taxa de utilização de energia pelo corpo, ou seja, é a energia gasta durante a realização das atividades físicas. A taxa metabólica varia conforme a atividade, pessoa e condições nas quais o trabalho é realizado. Os valores do metabolismo podem ser medidos e determinados com auxílio da equação 3.4, e, ainda, extraídos de tabelas constantes em ASHRAE, 2001.

$$M = \frac{21(0,23RQ + 0,77)Q_{O_2}}{Ad} \quad (3.4)$$

onde, M = taxa metabólica, W/m²;

RQ = quociente de respiração, adimensional;

Q_{O_2} = taxa volumétrica de consumo de Oxigênio à 0°C e P = 101.325 kPa, L/s;

Ad = área de DuBois, m².

O metabolismo é expresso em unidades de energia por área, isto é, W/m², referida à área superficial do corpo desnudo. O cálculo dessa área é realizado pela equação proposta por DuBois em 1916, equação 3.5:

$$Ad = 0,202m^{0,425}h^{0,725}, \quad (3.5)$$

onde, Ad = área de DuBois, m²;

m = massa do corpo, kg;

h = altura, m.

Um outro método para estimar a taxa metabólica é através da taxa de batimentos cardíacos e do consumo de oxigênio, conforme a ISO 8996, 1990.

Resistência Térmica das Vestimentas, I_{cl} :

As vestimentas das pessoas são responsáveis pela resistência às trocas de calor sensível entre o corpo e o ambiente ao seu redor, através de um isolamento térmico da pele.

A resistência térmica das roupas, I_{cl} , é expressa em m^2K/W ou em “clo”, sendo que 1 clo corresponde à resistência térmica de $0,155 m^2K/W$.

Conforme Fanger, 1970, o método utilizado para a determinação do isolamento das vestimentas é através do uso de manequins aquecidos.

Para determinar a resistência térmica das vestimentas, I_{cl} , utiliza-se a equação 3.6:

$$I_{cl} = 0,835 \sum I_{clu} + 0,161 , \quad (3.6)$$

onde, I_{cl} = resistência térmica das vestimentas, clo;

I_{clu} = resistência térmica parcial dos componentes das vestimentas, clo.

Os dados de I_{clu} são encontrados devidamente tabelados e representam a resistência de cada peça de roupa utilizada pela pessoa.

Para determinar a resistência térmica parcial de roupas não tabeladas utiliza-se a equação 3.7, [ASHRAE, 2001]:

$$I_{clu} = (0,534 + 0,135x_f)(A_g/A_d) - 0,0549 , \quad (3.7)$$

onde, x_f = espessura da roupa, mm;

A_g = superfície do corpo coberta, m^2 ;

A_d = área de DuBois, m^2 .

Pode-se calcular, ainda, o isolamento térmico referente a uma pessoa sentada. A equação 3.8 representa este incremento:

$$\Delta I_{cl} = (0,748A_{ch}) - 0,1 , \quad (3.8)$$

onde, A_{ch} = área de contato entre a pessoa e a superfície em questão, m^2 .

3.4 Variáveis fisiológicas

Temperatura da Pele, t_{sk} :

É uma variável fisiológica que influencia o balanço e a condição de conforto térmico de uma pessoa. A temperatura de pele, t_{sk} , é função do tipo de atividade desempenhada pela pessoa, ou seja, é dependente da taxa metabólica, M , conforme pode ser notado na equação 3.9:

$$t_{sk,m} = 35,7 - 0,0275M, \quad (3.9)$$

onde, $t_{sk,m}$ = temperatura média da pele para conforto, °C;

M = taxa metabólica, W/m^2 .

Como pode ser visto na equação 3.9 acima a temperatura da pele decresce com o aumento do metabolismo, devido à transpiração das pessoas.

Taxa de Secreção de Suor, E_{trsp} :

Em conjunto com a temperatura da pele, é outra variável fisiológica que interfere no conforto e balanço térmico. Como a temperatura da pele, é dependente do trabalho desempenhado e conseqüentemente do metabolismo.

A taxa de secreção do suor para conforto térmico é estimada conforme a equação 3.10:

$$E_{trsp} = 0,42[(M - W) - 58,15], \quad (3.10)$$

onde, E_{trsp} = taxa de secreção de suor ou evaporação de transpiração, W/m^2 ;

M = taxa metabólica, W/m^2 .

3.5 Balanço térmico

Conforme Fanger, 1970, a condição necessária para que uma pessoa esteja em conforto térmico é que esta deve estar em um equilibrado balanço térmico. O conforto térmico de um indivíduo depende de como ocorrem as trocas de calor com o ambiente e essas trocas podem ser equacionadas no balanço térmico de uma pessoa.

O calor líquido produzido por uma pessoa, Q , é dissipado para o ambiente através da superfície da pele, Q_{sk} , na forma sensível e latente, e através da respiração, Q_{res} . A perda sensível

pela pele, S_{sk} , é igual à soma da transferência de calor por convecção, C , e por radiação, R , na superfície externa da pessoa.

A perda de calor latente pela pele, E_{pel} , é dividida em: taxa de calor dissipado na evaporação da transpiração, E_{trsp} , e taxa de calor dissipado por difusão de água pela pele, E_{dif} .

O calor perdido pela respiração, Q_{res} , pode se dar através de dois fluxos: fluxo de calor sensível durante a respiração, C_{res} , e fluxo de calor latente devido à evaporação da umidade, E_{res} .

A expressão do Balanço Térmico, segundo ASHRAE, 2001, pode ser escrita através da equação 3.11:

$$Q = M - W = Q_{sk} + Q_{res} = (C + R + E_{trsp} + E_{dif}) + (C_{res} + E_{res}), \quad (3.11)$$

onde, Q = calor líquido dissipado, W/m^2 ;

M = taxa metabólica de produção de calor, W/m^2 ;

W = taxa de trabalho externo realizado, W/m^2 ;

Q_{sk} = taxa total de perda de calor através da pele, W/m^2 ;

Q_{res} = taxa total de perda de calor através da respiração, W/m^2 ;

$C + R$ = perdas de calor sensível pela pele por convecção e por radiação, W/m^2 ;

E_{trsp} = taxa de perda de calor latente por evaporação da transpiração, W/m^2 ;

E_{dif} = taxa de perda de calor latente por difusão de água pela pele, W/m^2 ;

C_{res} = taxa de perda de calor sensível durante a respiração, W/m^2 ;

E_{res} = taxa de perda de calor evaporativo durante a respiração, W/m^2 .

Os termos parciais da expressão acima, 3.11, podem ser escritos em função das variáveis ambientais, conforme as equações 3.12 a 3.18:

$$E_{dif} = 3,05[5,73 - 0,007(M - W)p_a]; \quad (3.12)$$

$$E_{trsp} = 0,42[(M - W) - 58,15]; \quad (3.13)$$

$$E_{res} = 0,0173M(5,87 - p_a); \quad (3.14)$$

$$C_{res} = 0,0014M(34 - t_a); \quad (3.15)$$

$$C = f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a); \quad (3.16)$$

$$R = 3,96 \times 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4]; \quad (3.17)$$

$$t_{cl} = t_{sk,m} - 0,155 \cdot I_{cl} \{ 3,96 \times 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \}, \quad (3.18)$$

onde, M = taxa metabólica, W/m²;

W = trabalho externo realizado, W/m²;

p_a = pressão parcial de vapor d'água do ar, Pa;

t_a = temperatura do ar, °C;

f_{cl} = fator de vestimenta, adimensional;

h_c = coeficiente de convecção, W/m²°C;

t_{cl} = temperatura exterior da vestimenta, °C;

t_{rm} = temperatura média radiante, °C;

I_{cl} = resistência térmica das vestimentas, clo;

t_{sk,m} = temperatura média da pele, °C.

Para calcular a equação 3.18 acima, devem-se levar em consideração as seguintes hipóteses empíricas retiradas dos trabalhos de Fanger, 1990, equações 3.19, 3.20, 3.21 e 3.22:

$$h_c = 2,38(t_{cl} - t_a) \quad \text{ou}; \quad (3.19)$$

$$h_c = 12,1(V_a + 0,0052(M - 58))^{1/2}; \quad (3.20)$$

$$f_{cl} = 1 + 0,2I_{cl} \quad \text{ou}; \quad (3.21)$$

$$f_{cl} = 1,05 + 0,1I_{cl}, \quad (3.22)$$

onde, h_c = coeficiente de convecção, W/m²°C;

t_{cl} = temperatura exterior da vestimenta, °C;

t_a = temperatura do ar, °C;

V_a = velocidade do ar, m/s;

M = taxa metabólica, W/m²;

f_{cl} = fator de vestimenta, adimensional;

I_{cl} = resistência térmica das vestimentas, clo;

Deve-se sempre escolher o maior valor de h_c entre as equações 3.19 e 3.20.

Utilizam-se a equação 3.21 para I_{cl} entre 0,0 e 0,5 clo e a equação 3.22 quando $I_{cl} > 0,5$ clo.

3.6 Índices de conforto térmico

Voto Médio Previsto, PMV

Originário dos estudos de Fanger, 1970, o PMV é determinado através de uma correlação que envolve o metabolismo das pessoas e a carga térmica atuante sobre o corpo. Esta correlação pode ser apresentada conforme a equação 3.23:

$$PMV = [0,303exp(-0,036.M) + 0,028]L, \quad (3.23)$$

onde, PMV = voto médio previsto, adimensional;

M = metabolismo, W/m^2 ;

L = termo de acumulação de energia, W/m^2 .

O PMV é um índice representativo da sensação térmica que utiliza uma escala de sete ou nove pontos, conforme ASHRAE, 2001.

Na tabela 3.1 pode-se ver a escala de sensação térmica de nove pontos.

Tabela 3.1. Escala de Sensação Térmica.

Valor da Sensação Térmica (PMV)	Descrição
+4	Muito quente
+3	Quente
+2	Morno
+1	Levemente morno
0	Neutro
-1	Levemente frio
-2	Frio
-3	Gelado
-4	Muito gelado

Percentagem de Pessoas Insatisfeitas, PPD

Este índice estima a quantidade ou percentagem de pessoas desconfortáveis termicamente, ou seja, com índices de PMV nos valores de +4, +3, +2, -2, -3 e -4.

Conhecido os valores de PMV, estima-se o PPD através da seguinte correlação, equação 3.24:

$$PPD = 100 - 95 \exp[-(0,03353PMV^4 + 0,2179PMV^2)], \quad (3.24)$$

onde, PPD = percentagem de pessoas insatisfeitas, adimensional;

PMV = voto médio previsto, adimensional.

O valor do PPD pode ser observado, também, no seguinte gráfico 3.1:

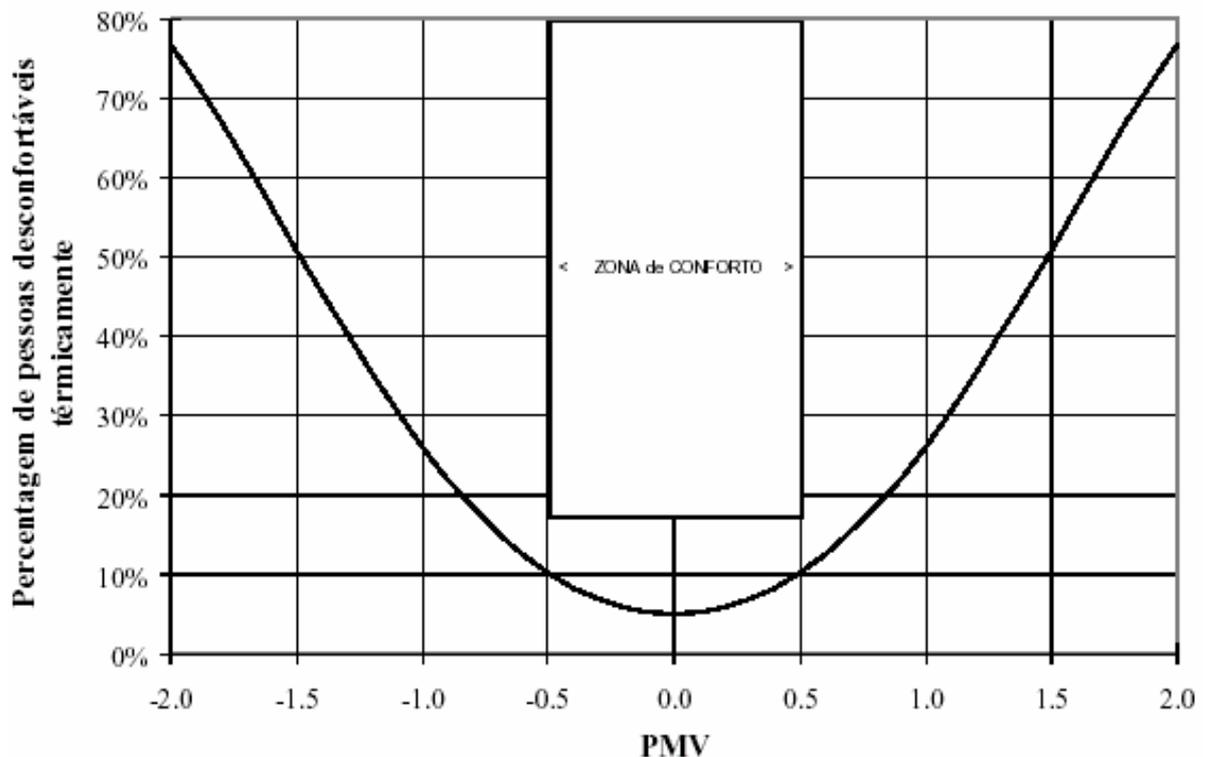


Figura 3.1. Relação entre PPD e PMV [ASHRAE, 2001].

Uma observação importante em relação ao PPD é que mesmo para um PMV nulo, representando neutralidade, em torno de 5% das pessoas estão insatisfeitas termicamente.

4. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

4.1 Período de simulação e Parâmetros climáticos

Estudou-se o conforto térmico num período de duas semanas, uma cujas temperaturas são as mais altas e outra de temperaturas mais baixas do ano utilizando um intervalo de tempo de uma hora.

Para a simulação foram utilizados arquivos climáticos, tipo IWEC (International Weather for Energy Calculations), das quatro capitais brasileiras estudadas: Belém, PA, Brasília, DF, São Paulo, SP, e Recife, PE.

Os arquivos IWEC são resultados de projetos de pesquisas realizadas pela ASHRAE para 227 localidades exteriores aos EUA e ao Canadá.

4.1.1 Belém

Utilizando o arquivo climático determinou-se a semana de 28 de maio a 03 de junho como a representante do período mais quente e a de 10 a 16 de março como a época de temperaturas mais amenas. A escolha das semanas está baseada nas temperaturas de bulbo seco (Tbs).

Nas figuras 4.1 e 4.2 nota-se as variações da Tbs e da umidade relativa (UR) externas para as semanas de 28 de maio a 03 de junho e de 10 a 16 de março respectivamente.

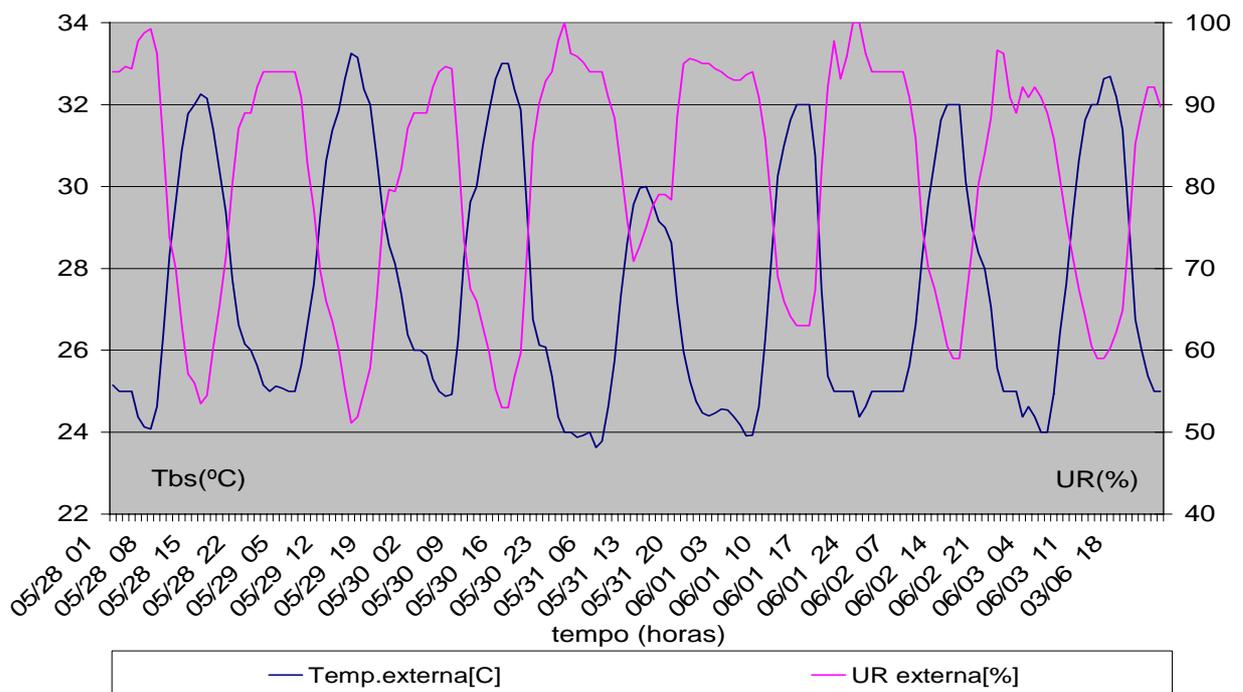


Figura 4.1. Temperatura de bulbo seco e umidade relativa na semana mais quente de Belém.

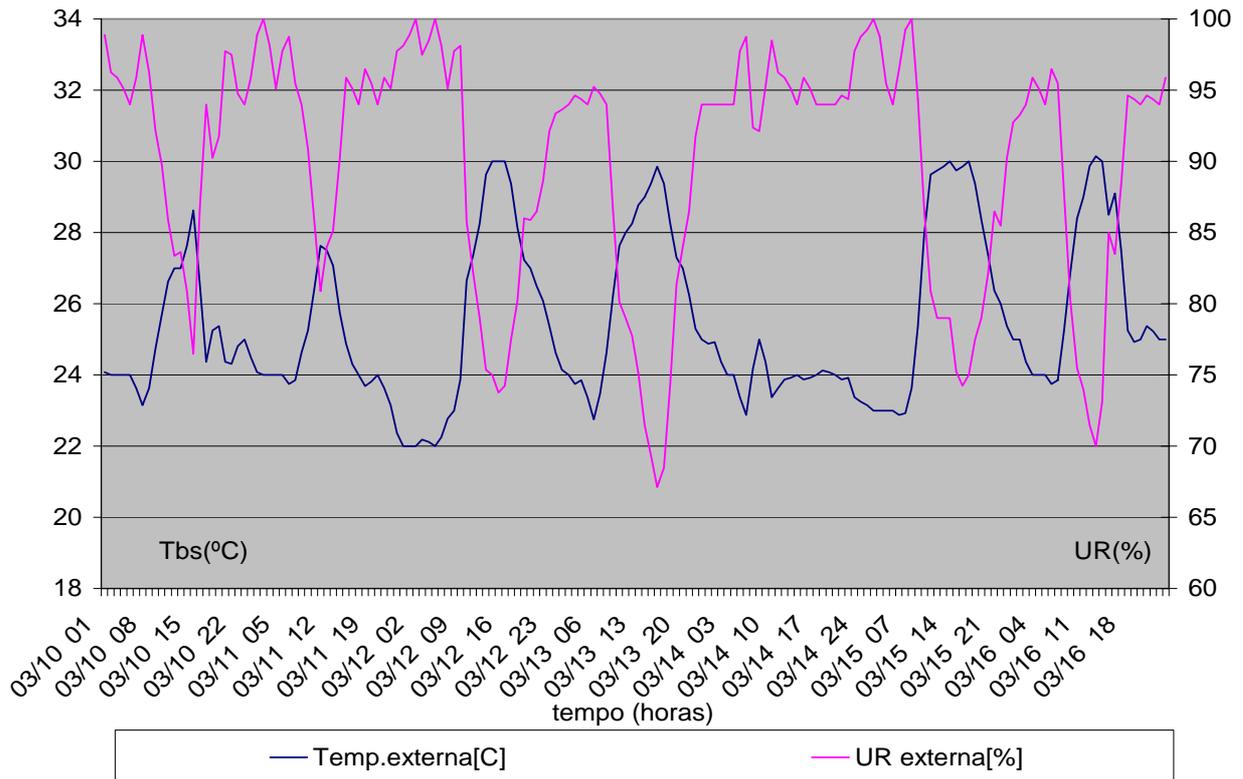


Figura 4.2. Temperatura de bulbo seco e umidade relativa externa entre 10 e 16 de março de Belém.

Observando os gráficos 4.1 e 4.2 constata-se que durante o período mais quente a Tbs variou de 23,4°C, dia 31/05 às 06:00 horas, a 33,4°C, dia 29/05 às 15:00 horas. Para este mesmo período a umidade relativa oscilou entre 50%, para o dia 29/05 às 15:00 horas, e 100%, para o dia 31/05 à 01:00 hora.

Durante o período com temperaturas mais baixas a Tbs variou entre 22°C na madrugada do dia 11 para o dia 12/3 e 30,5°C no dia 16/03 às 12:00 horas. A umidade relativa para este período oscilou entre 66% no dia 13/03 às 16:00 horas e 100% ocorrida em diversos dias sempre à madrugada.

As principais características verificadas para a cidade de Belém, PA. consistem em uma pequena variação de temperatura de bulbo seco durante todo o ano e uma alta umidade relativa, principalmente no período de temperaturas mais baixas, mês de março, época de chuvas.

4.1.2 Brasília

Escolheu-se a semana de 23 a 29 de setembro para representar o período de temperaturas mais altas e a semana de 14 a 20 de junho como a representativa da época fria.

Nas figuras 4.3 e 4.4 podem-se observar as oscilações de temperatura de bulbo seco (Tbs) e de umidade relativa (UR) para as semanas quente e fria respectivamente.

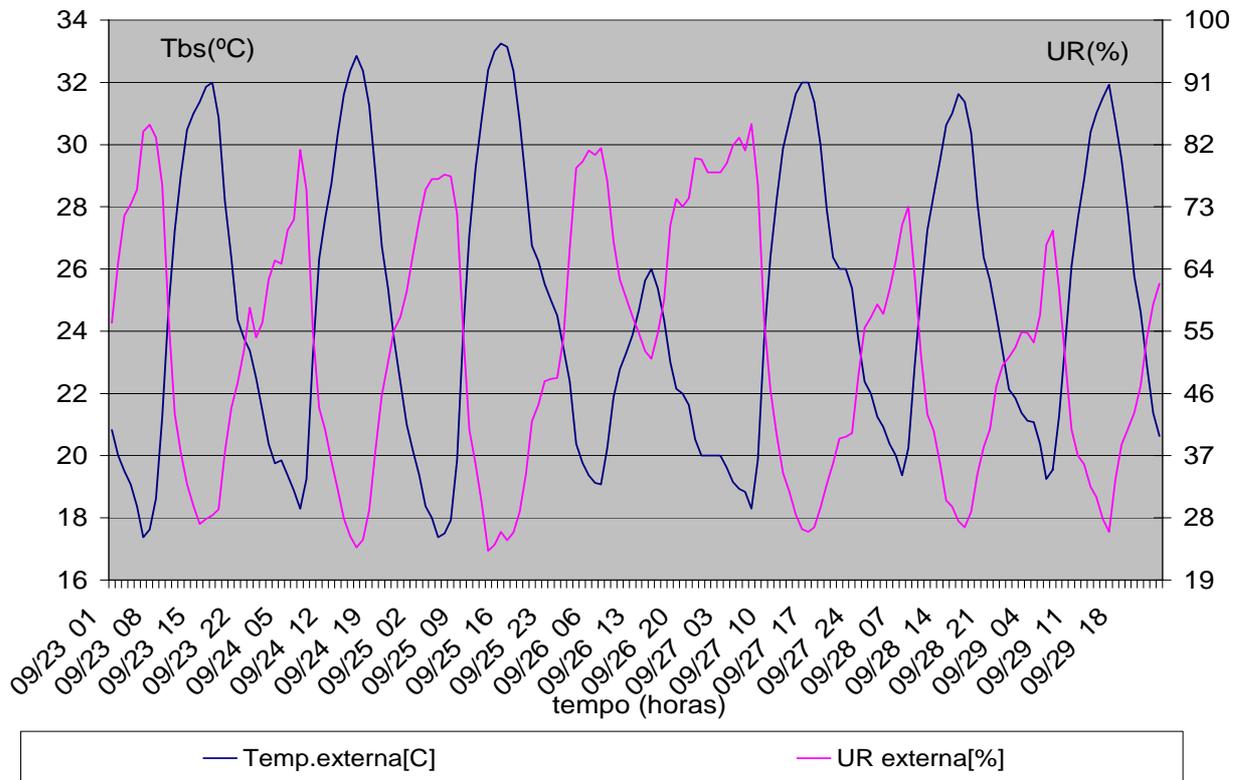


Figura 4.3. Temperatura de bulbo seco e umidade relativa na semana quente de Brasília.

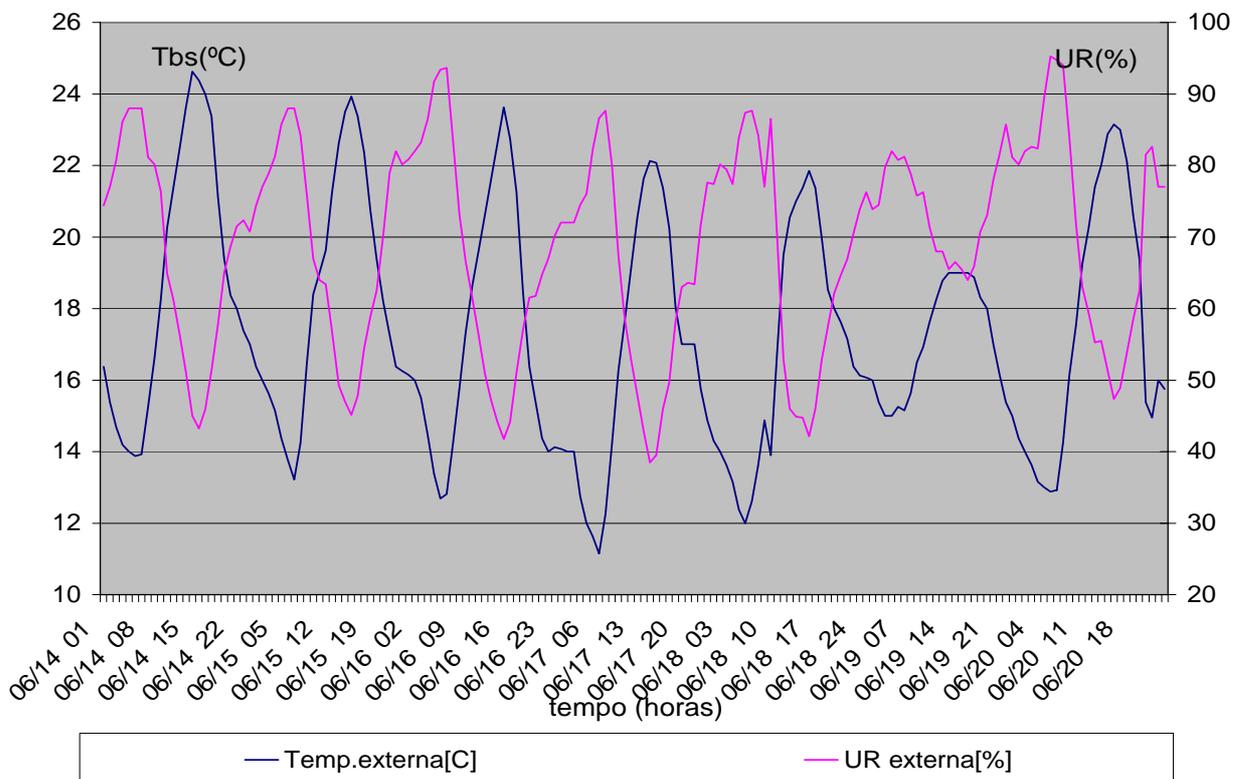


Figura 4.4. Temperatura de bulbo seco e umidade relativa na semana fria de Brasília.

Avaliando os gráficos 4.3 e 4.4 verifica-se, para a época de maiores temperaturas, uma oscilação de Tbs entre 17°C, nos dias 23/09 às 6:00 horas e 25/09 às 5:00 horas, e 33,4°C, no dia 25/09 às 15:00 horas. Neste mesmo período a oscilação de umidade relativa ficou entre 21% e 88%.

Nos dias de temperaturas mais baixas a Tbs variou entre 11°C, dia 17/06 às 07:00 horas, e 25°C, dia 14/06 às 15:00 horas, enquanto a umidade relativa oscilou entre 37% e 96%.

Uma importante conclusão quanto ao clima de Brasília é a ocorrência de grandes variações de temperatura de bulbo seco externa em um mesmo dia. Pode-se notar este fato no dia 25 de setembro cuja temperatura mais elevada é de 33,5°C à tarde e a mais baixa é de 17°C durante a madrugada.

4.1.3 Recife

Para a cidade de Recife escolheu-se a semana de 05 a 11 de março para representar a época de maiores temperaturas e a de 27 de julho a 02 de agosto como representante do período de inverno.

Nas figuras 4.5 e 4.6 notam-se as oscilações da temperatura de bulbo seco (Tbs) e da umidade relativa (UR) para as respectivas semanas.

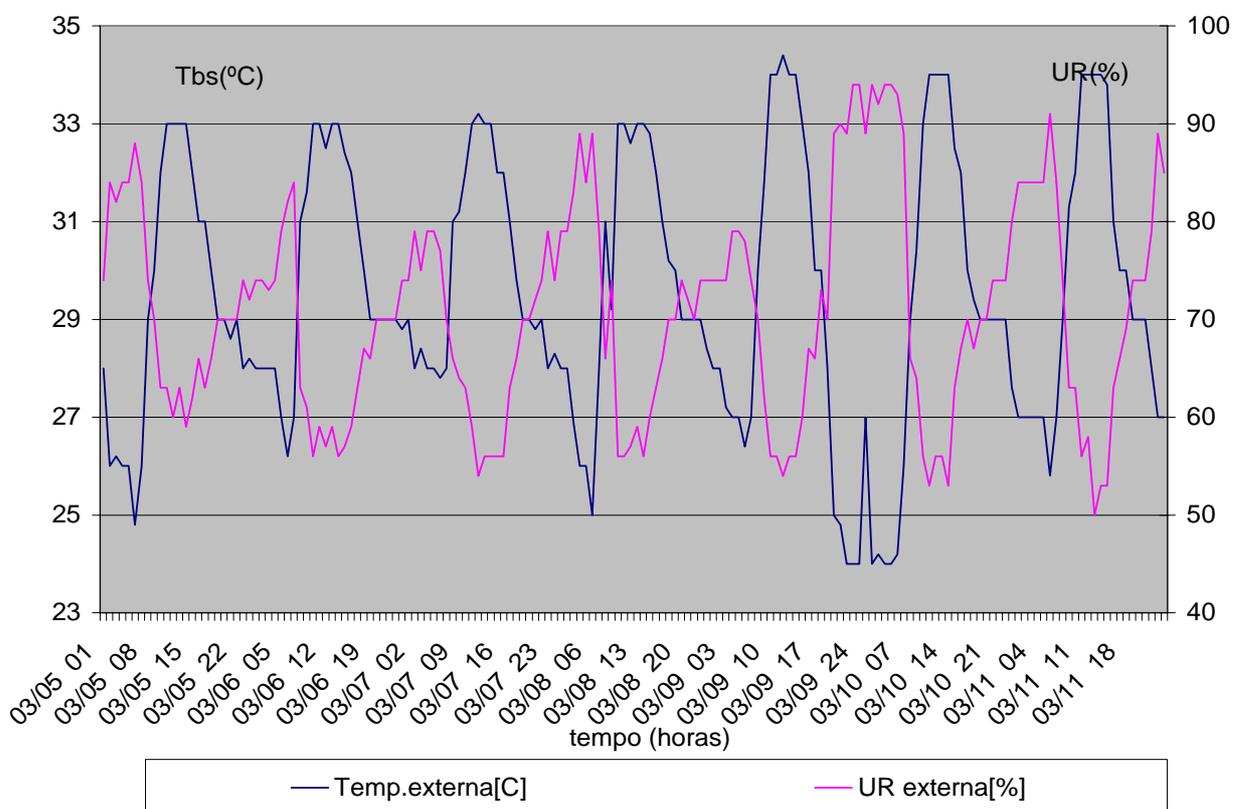


Figura 4.5. Temperatura de bulbo seco e umidade relativa externas na semana quente de Recife.

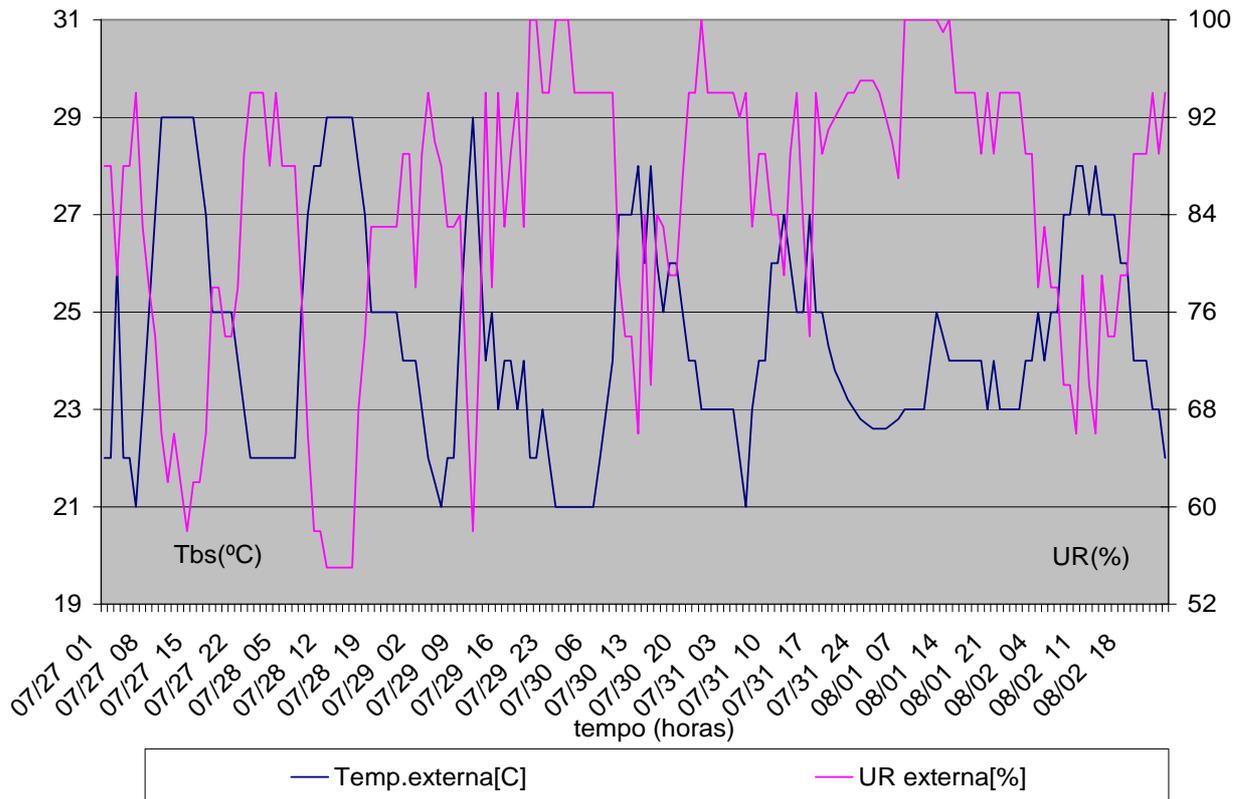


Figura 4.6. Temperatura de bulbo seco e umidade relativa na semana de inverno de Recife.

Os gráficos 4.5 e 4.6 para a cidade de Recife mostram pequenas variações de temperatura de bulbo seco durante as semanas estudadas, principalmente na semana de temperaturas mais baixas com oscilação entre 21°C e 29°C. No período dos dias quentes a variação ficou em torno de 24°C e 34,5°C.

Quanto à umidade relativa, a variação desta foi muito parecida em ambos os períodos. Na semana mais quente a umidade relativa oscilou entre 50% e 94%, enquanto na semana mais fria a oscilação foi entre 55% e 100%.

Através do gráfico 4.6 pode-se notar um período de umidade relativa igual a 100% na manhã e parte da tarde do dia 01/08. Isto indica a ocorrência de chuvas nesta faixa do dia.

4.1.4 São Paulo

Observando o arquivo climático da cidade de São Paulo determinou-se a semana de temperaturas mais elevadas como sendo a dos dias 25 a 31 de janeiro e semana de 30 de julho a 05 de agosto como a representante do período mais frio.

As oscilações da temperatura de bulbo seco (Tbs) e da umidade relativa (UR) para as semanas quente e fria podem ser visualizadas nas figuras 4.7 e 4.8, respectivamente.

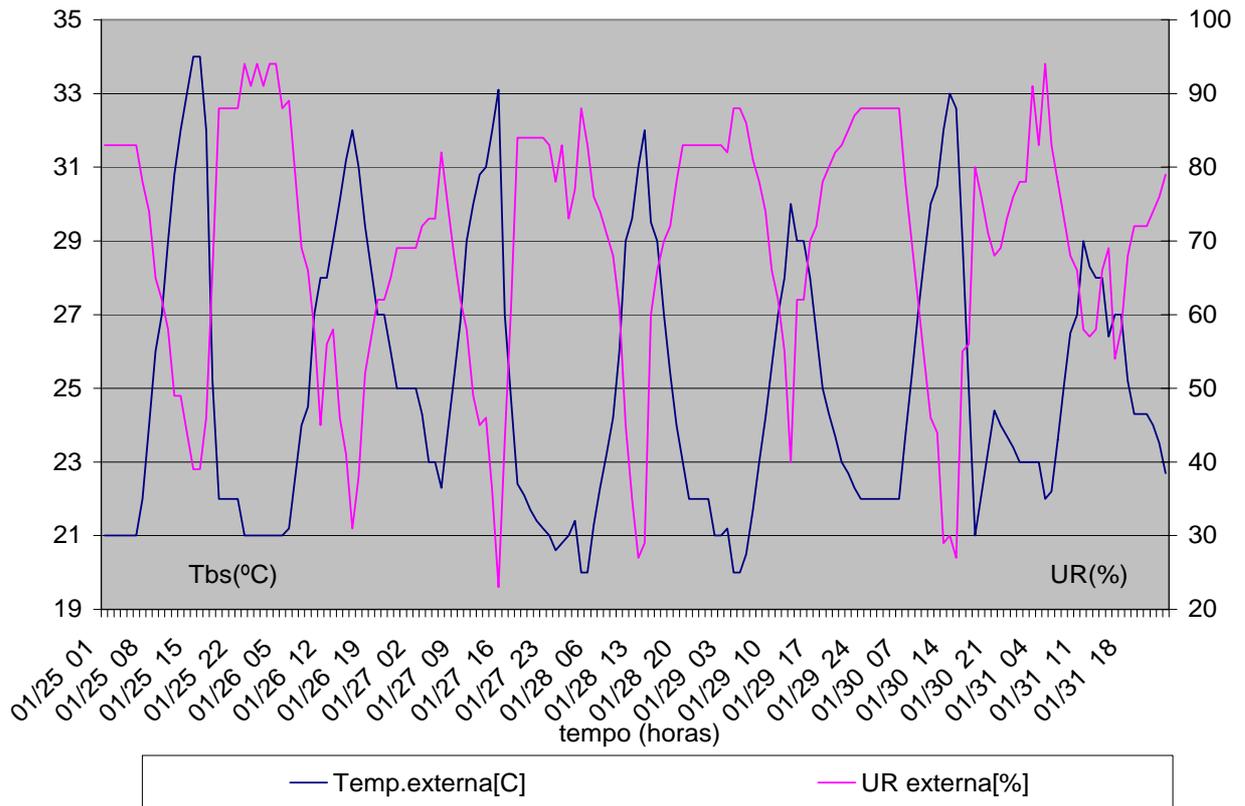


Figura 4.7. Temperatura de bulbo seco e umidade relativa na semana de verão de São Paulo.

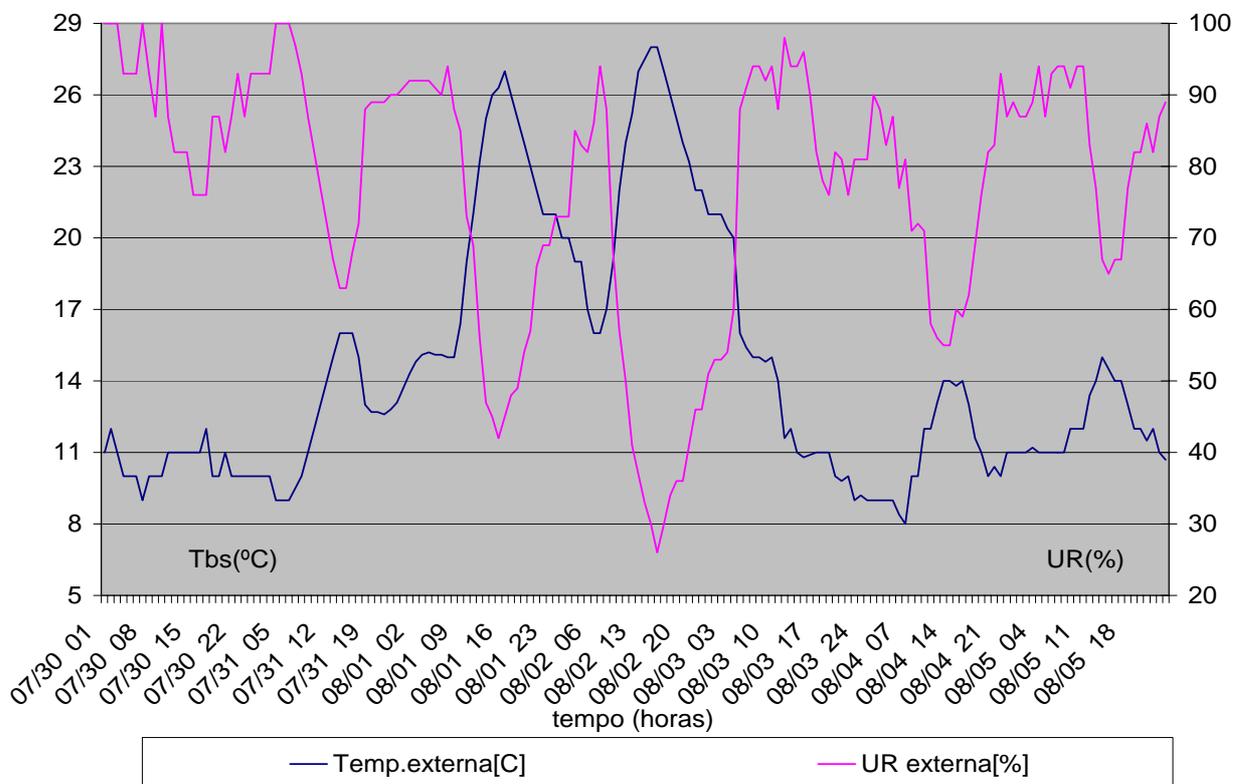


Figura 4.8. Temperatura de bulbo seco e umidade relativa externas na semana de inverno de São Paulo.

Através do gráfico 4.7 da cidade de São Paulo pode-se verificar elevadas diferenças de temperaturas e de umidades relativas externas no período de dias quentes. Nesta época a temperatura oscilou entre 20°C, nos dias 28 e 29/01 às 5:00 horas e 34°C, no dia 25/01 às 16:00 horas, enquanto a umidade relativa variou entre 23%, dia 27/01 às 15:00 horas, e 94%, madrugada do dia 25 para o dia 26/01.

Durante a semana escolhida como representante do período de frio pode-se notar, através do gráfico 4.8, a existência de dois dias atípicos com temperatura máxima, em torno de 28°C, muito diferente das demais temperaturas durante os outros dias da semana. Nestes dias a umidade relativa foi bastante baixa, chegando a 26%.

Desconsiderando estes dois dias atípicos a temperatura no período de inverno oscilou entre 8°C e 16°C, enquanto a umidade relativa variou entre 55% e 100%.

4.2 Edificação estudada

Para a realização da simulação escolheu-se uma residência padrão já existente localizada no subúrbio da cidade de Porto Alegre, RS. Esta casa, que já foi objeto de estudo de duas dissertações de mestrado, [Turik, 1988], [Dilkin, 2000], é do tipo COHAB RS 16-I.3-42, possuindo área interna de 35,86 m² e pé direito de 2,50 m.

A residência possui seis cômodos sendo três quartos (um de casal e dois de solteiro), uma sala, uma cozinha e um banheiro. O telhado, de duas águas, em conjunto com o forro constituem o sótão cujo volume interno é de 56,55 m³.

Nas figuras 4.9 e 4.10, pode-se verificar a geometria da casa e sua orientação.

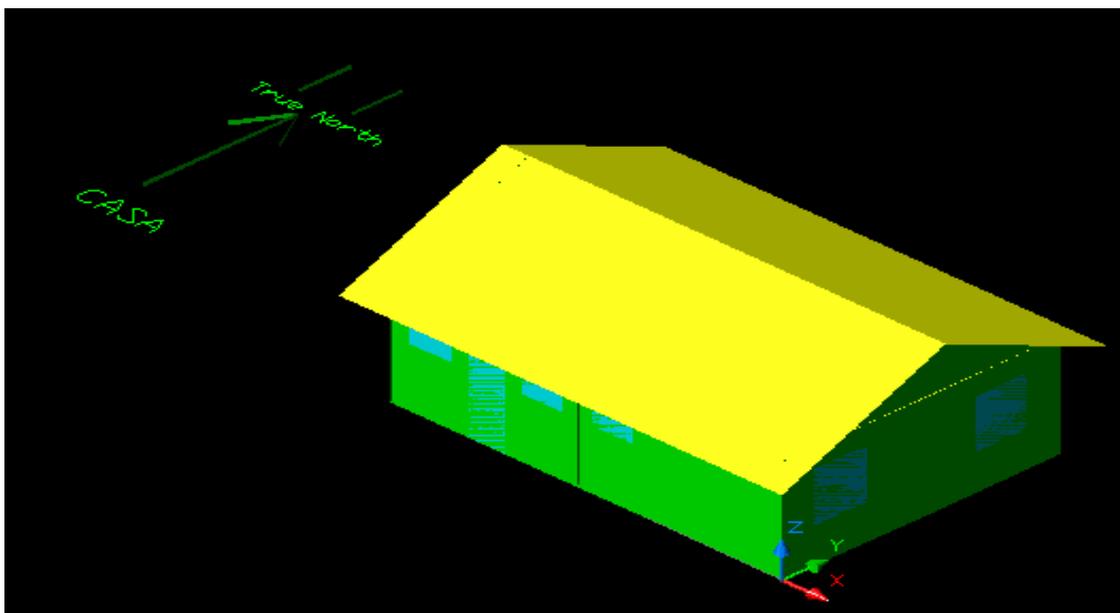


Figura 4.9. Vista isométrica da casa padrão com sua orientação.

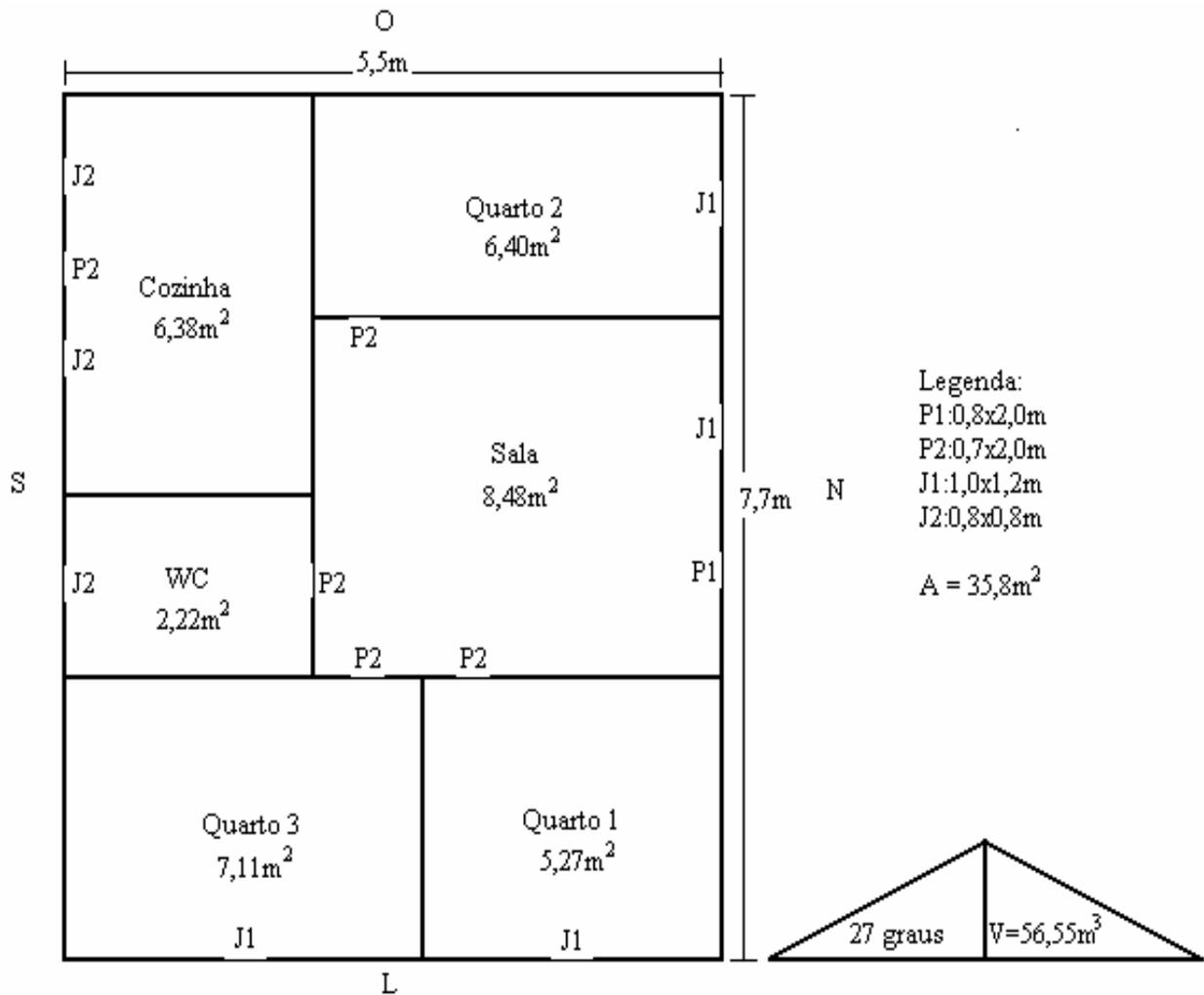


Figura 4.10. Planta baixa da edificação referencial padrão.

Para a construção desta residência padrão estudou-se os materiais que fossem os mais parecidos termofisicamente com os utilizados por Turik, 1988 e Dilkin, 2000 em suas dissertações de mestrado, isto para manter um padrão de construção da habitação. Este estudo foi realizado utilizando-se de uma “biblioteca de materiais” existente nos programas BLAST e DOE-2.

Foram retirados da biblioteca destes programas os seguintes materiais com os quais foi construída a residência.

Tabela 4.1. Materiais utilizados na construção da casa e algumas de suas características.

MATERIAL	ALGUMAS CARACTERÍSTICAS
Tijolo externo	Condutividade = 1,31 W/m.K Calor específico = 920 J/kg.K Absortância térmica = 0,9

MATERIAL (cont.)	ALGUMAS CARACTERÍSTICAS (cont.)
Tijolo interno	Condutividade = 1,00 W/m.K Calor específico = 920 J/kg.K Absortância térmica = 0,9
Reboco	Condutividade = 1,15 W/m.K Calor específico = 1000 J/kg.K Absortância solar e visível = 0,3
Parquê	Condutividade = 0,11 W/m.K Calor específico = 2300 J/kg.K Absortância solar e visível = 0,78
Lajota	Condutividade = 1,8 W/m.K Calor específico = 830 J/kg.K Absortância solar e visível = 0,3
Concreto	Condutividade = 1,72 W/m.K Calor específico = 1000 J/kg.K Absortância térmica = 0,9
Madeira de Lei	Condutividade = 0,15 W/m.K Calor específico = 1250 J/kg.K Absortância solar e visível = 0,78
Madeira para o Forro	Condutividade = 0,11 W/m.K Calor específico = 1340 J/kg.K Absortância solar e visível = 0,78
Madeira para Portas internas	Condutividade = 0,11 W/m.K Calor específico = 1380 J/kg.K Absortância solar e visível = 0,78
Telha de amianto	Condutividade = 0,06 W/m.K Calor específico = 840 J/kg.K Absortância solar e visível = 0,6
Vidros	Condutividade = 0,9 W/m.K Transmitância solar para incidência normal = 0,837 Refletância solar para incidência normal = 0,075 Transmitância visível para incidência normal = 0,898 Refletância visível para incidência normal = 0,081 Transmitância infravermelha hemisférica = 0,00

MATERIAL (cont.)	ALGUMAS CARACTERÍSTICAS (cont.)
Vidros (cont.)	Emissividade infravermelha difusa hemisférica = 0,84

A construção da habitação foi realizada conforme às usadas por Turik, 1988 e Dilkin, 2000 em suas dissertações e utilizando os materiais descritos na tabela 4.1 fez-se da seguinte forma:

- paredes externas: 2,5 cm de reboco + 10 cm de tijolo externo + 2,5 cm de reboco;
- paredes internas: 2,5 cm de reboco + 10 cm de tijolo interno + 2,5 cm de reboco;
- forro: 1 cm de madeira para o forro;
- piso da sala e quartos: 5 cm de concreto + 2 cm de parquet;
- piso da cozinha e banheiro: 6,5 cm de concreto + 0,5 cm de lajota;
- porta externa: 3 cm de madeira de lei;
- porta interna: 3 cm de madeira para portas internas;
- porta do sótão: 1 cm de madeira para o forro;
- telhado: 8 mm de telhas de amianto.

As janelas da casa são de vidro transparente com 3 mm de espessura, tendo as dos quartos e da sala área de 1,2 m² e armação de madeira do tipo guilhotina e as da cozinha e do banheiro área de 0,64 m² e armação metálica do tipo basculante.

Na sala e nos quartos as janelas possuem cortinas colocadas internamente que permanecem fechadas por todo o dia enquanto as da cozinha e do banheiro não têm nenhum tipo de proteção.

As cortinas são manufaturadas de tecido cujas características também foram retiradas da “biblioteca de materiais” dos programas BLAST e DOE-2 e são descritas na tabela 4.2:

Tabela 4.2. Características do material das cortinas.

CARACTERÍSTICAS	VALORES
Transmitância solar	0,4
Refletância solar	0,5
Transmitância visível	0,4
Refletância visível	0,5
Emissividade hemisférica térmica	0,9
Transmitância normal térmica	0,0
Condutividade [W/m.K]	0,1
Permeabilidade	0,8
Espessura [m]	0,002

4.3 Cotidiano da edificação

Para realizar o estudo do conforto térmico na edificação apresentada necessitou-se determinar diversas características de seus moradores, que foram analisadas em forma de horários e entre estas podem-se citar, rotinas de ocupação, nível de atividades, fator de vestimenta e número de moradores. Foram, também, considerados neste trabalho os ganhos internos com lâmpadas e equipamentos elétricos e a renovação do ar.

O cotidiano de ocupação e os ganhos internos foram estudados somente para a sala e quartos, pois o conforto térmico foi analisado apenas nestas zonas. As demais características foram definidas independente do local de estudo.

4.3.1 Cotidiano de ocupação e Ganhos internos

Para realizar a distribuição das pessoas nos quartos foi determinado em primeiro lugar o número máximo de ocupantes na casa. Este número foi determinado empiricamente e considerou-se como número máximo quatro moradores na residência.

A partir deste parâmetro e utilizando a tabela 13-1a de ASHRAE 89 determinou-se a distribuição dos ocupantes, da iluminação e dos equipamentos elétricos nos quartos e na sala. Utilizou-se como fonte a ASHRAE 89 pois não foi encontrada nenhuma norma brasileira que trata sobre este assunto. Obteve-se então a seguinte distribuição:

Tabela 4.3. Cotidiano de pessoas, luz e equipamentos.

Horas	Ocupantes (quartos)	Ocupantes (sala)	Luz [W] (quartos)	Luz [W] (sala)	Equip. [W] (quartos)	Equip. [W] (sala)
01 – 06	1	0	0	0	35,17	216,87
07	0,675	1,3	199,3	87,9	70,34	351,68
08	0,41	1,3	70,34	175,84	70,34	814,74
09 – 17	0	1,3	0	0	35,17	363,41
18 – 19	0	4	0	0	35,17	1041,86
20 – 21	0,322	2,7	93,8	187,5	105,50	395,65
22	0,5	2	140,67	140,67	231,53	269,60
23 – 24	1	0	187,5	93,8	140,67	216,87

O número de ocupantes em dois quartos é o valor contido na tabela 4.3, porém este número deve ser duplicado no caso do quarto de casal.

4.3.2 Taxa metabólica

A taxa metabólica (M) foi determinada em função do período do dia e do ano, ou seja, em um mesmo dia essa taxa foi considerada com dois valores distintos, um para quando as pessoas estivessem dormindo, e outro para quando estivessem acordadas.

O nível de metabolismo no período em que as pessoas estivessem na sala, das 07:00 às 10:00 horas, sofreu uma outra alteração em razão do período do ano, possuindo grandezas diferentes no verão e no inverno.

Utilizando como fonte ASHRAE, 2001, escolheram-se os seguintes valores para metabolismo:

- Dormindo, $M = 40 \text{ W/m}^2$;
- Sentada quieta, $M = 60 \text{ W/m}^2$;
- Trabalhando sentado, $M = 70 \text{ W/m}^2$.

Os valores de metabolismos foram retirados da ASHRAE devido ao fato do não conhecimento de alguma norma brasileira sobre este assunto. Obteve-se então a seguinte distribuição da taxa metabólica:

Tabela 4.4. Distribuição da taxa metabólica.

Horas	Metabolismo[W/m^2] (quartos)	Metabolismo[W/m^2] (sala) (verão)	Metabolismo[W/m^2] (sala) (inverno)
01 – 06	40	60	70
07 – 08	60	60	70
09 – 19	60	60	70
20 – 22	60	60	70
23 – 24	40	60	70

Todos os valores de metabolismo têm unidades em energia por área, isto é, em W/m^2 , onde a área representa a superfície do corpo.

Para calcular esta área superficial do corpo utilizou-se a equação da Área de DuBois, 3.5, apresentada anteriormente no capítulo 3 deste trabalho.

Para efeito de cálculo, neste trabalho utilizou-se uma Área de DuBois padrão, com valor igual a $1,8 \text{ m}^2$, que significa a área de uma pessoa de complexidade mediana com massa de 70 kg e altura de 1,7 m. Esse valor padrão foi determinado através de estudos em milhares de pessoas norte-americanas.

4.3.3 Vestimentas das pessoas

Para a determinação da resistência térmica (I_{cl}) das vestimentas utilizou-se a equação 3.6, reescrita abaixo:

$$I_{cl} = 0,835 \sum I_{clu} + 0,161, \quad (3.6)$$

onde, I_{cl} = resistência térmica das vestimentas, clo;

I_{clu} = resistência térmica parcial das vestimentas, clo.

Na tabela 4.5 são listadas as vestimentas utilizadas pelas pessoas com seus respectivos I_{clu} , os valores de I_{clu} foram retirados da ASHRAE,2001. A utilização destes valores é devido ao não conhecimento de uma norma específica brasileira para este tema.

Tabela 4.5. Resistências térmicas parciais das vestimentas utilizadas.

VESTIMENTA	I_{clu} [clo]
Cueca	0,04
Camiseta	0,08
Meia barriga da perna	0,03
Meia até o joelho	0,06
Chinelo	0,03
Sapato	0,10
Calção curto	0,08
Bermuda	0,15
Camisa manga curta	0,19
Camisa manga longa	0,25
Calça grossa	0,28
Calça de lã	0,30
Blusão grosso	0,36
Jaqueta grossa não revestida	0,44
Pijama manga curta	0,42
Pijama manga longa	0,57

Com as vestimentas listadas na tabela 4.5, foram realizadas as seguintes composições:

Para as cidades de Belém e Recife:

- No dia mais quente: cueca + calção + camiseta + chinelo = 0,353 clo;
- No dia mais ameno: cueca + meia barriga da perna + sapato + camisa manga longa + calça grossa = 0,75 clo.

Para a cidade de Brasília:

- No dia mais quente: cueca + bermuda + camisa manga curta + chinelo = 0,5 clo;
- No dia mais ameno: cueca + meia barriga da perna + sapato + camisa manga longa + calça grossa + blusão grosso = 1,05 clo.

Para a cidade de São Paulo:

- No dia de verão: cueca + bermuda + camisa manga curta + chinelo = 0,5 clo;
- No dia de inverno: cueca + meia barriga da perna + sapato + camisa manga longa + calça de lã + blusão grosso + jaqueta grossa não revestida = 1,44 clo.

As composições anteriormente citadas são referentes ao intervalo das 08 às 22 horas tanto para o período de temperaturas mais elevadas quanto para a época de temperaturas mais baixas. Neste intervalo as pessoas estavam na sala.

Nos horários em que as pessoas estavam nos quartos dormindo a resistência térmica foi incrementado o valor de resistência para uma pessoa deitada.

Para a determinação deste incremento foi utilizada a equação 3.8, reescrita abaixo:

$$\Delta I_{cl} = (0,748A_{ch}) - 0,1, \quad (3.8)$$

onde, A_{ch} = área de contato.

Na equação 3.8, acima, foi determinado como área de contato metade da área de DuBois, ou seja, considerou-se que quando a pessoa estivesse deitada sobre a cama metade de sua área superficial ficaria em contato com a superfície da cama.

Utilizando-se a equação 3.8 obteve-se então:

- $\Delta I_{cl} = 0,5732$ clo.

Para a determinação do I_{cl} das roupas de cama a equação 3.7 mostrada no capítulo 3 e reeditada abaixo, foi utilizada:

$$I_{clu} = (0,534 + 0,135x_f)(A_g/A_d) - 0,0549, \quad (3.7)$$

onde, x_f = espessura da roupa, mm;

A_g = superfície do corpo coberta, m^2 ;

A_d = área de DuBois, m^2 .

Obtiveram-se então os seguintes valores de composições de roupas nos períodos à noite:

Para as cidades de Belém e Recife:

- Noite mais quente com 40% do corpo coberto: cueca + calção + camiseta + cama + lençol com espessura de 1 mm = 1,08 clo
- Noite mais amena com 50% do corpo coberto: cueca + pijama de manga curta + cama + lençol com espessura de 2mm = 1,41 clo;

Para as cidades de Brasília e São Paulo:

- Noite mais quente com 50% do corpo coberto: cueca + pijama de manga curta + cama + lençol com espessura de 2 mm = 1,41 clo;
- Noite mais fria com 70% do corpo coberto: cueca + pijama manga longa + meia até o joelho + cama + lençol com espessura de 1 mm + coberta com espessura de 30mm + coberta com espessura de 5mm = 4,933 clo.

4.3.4 Renovação de ar

A renovação de ar se dá pelos processos de ventilação que ocorre quando as trocas de ar são controladas através de aberturas ou por meios mecânicos, e infiltração que ocorre de forma não controlada através das frestas nas aberturas da edificação.

Para calcular a renovação e velocidade do ar utilizou-se uma sub rotina do simulador EnergyPlus que é baseada no modelo de fluxo de ar multizonal COMIS, que será apresentado no capítulo a seguir. As velocidades do ar para os dias estudados de temperaturas mais baixas e de temperaturas mais elevadas foram calculadas manualmente e então informadas para o programa de simulação. Esses cálculos são informados no 6º capítulo deste trabalho.

5. MÉTODO DE CÁLCULO

5.1 O programa de simulação térmica

O programa utilizado como simulador das cargas térmicas é o programa EnergyPlus.

O método de cálculo da zona térmica da edificação no EnergyPlus está baseado no modelo de balanço de calor. A suposição fundamental dos modelos de balanço de calor [Pedersen, 2002], considera que o ar em cada zona térmica pode ser modelado como bem agitado com temperatura uniforme. Outras principais suposições dos modelos de calor levam em consideração que superfícies como paredes, janelas, tetos e pisos têm:

- Temperaturas de superfícies uniformes;
- Irradiação por ondas curtas e longas uniformes;
- Superfícies radiantes difusas e;
- Condução de calor em uma dimensão.

A figura 5.1, mostra a estrutura do Gerenciador de Solução Integrado EnergyPlus que controla os Módulos de Balanço de Calor no Ar e nas Superfícies e age como uma interface entre o Gerenciador de Simulação dos Sistemas da Edificação e o Controlador de Simulação de Balanço de Calor.



Figura 5.1. Gerenciador de Solução Integrado (Strand, 2002).

O Módulo de Balanço de Calor na Superfície simula o balanço nas superfícies internas e externas, faz as conexões entre os balanços de calor e as condições de fronteira, e calcula a condução, a convecção, a radiação e a transferência de massa (vapor d'água) efetuada.

Conforme Strand, 2002, para realizar o cálculo da condução através das paredes o programa EnergyPlus utiliza as Funções de Transferência de Condução (CTFs). Através das equações (5.1) e (5.2) determina-se respectivamente o fluxo de calor da face interna para a externa da parede (q''_{Ki}) e da externa para a interna (q''_{Ko}):

$$q''_{Ki}(t) = -Z_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j\delta} + Y_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ki-j\delta} \quad (5.1)$$

e,

$$q''_{Ko}(t) = -Y_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j\delta} + X_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ko-j\delta}, \quad (5.2)$$

onde, X_j = coeficiente CTF externo, $j = 0, 1, \dots, nz$;

Y_j = coeficiente CTF no interior da superfície, $j = 0, 1, \dots, nz$;

Z_j = coeficiente CTF interno, $j = 0, 1, \dots, nz$;

Φ_j = coeficiente CTF de fluxo, $j = 0, 1, \dots, nq$;

T_i = temperatura no lado interno da face;

T_o = temperatura no lado externo da face;

q''_{Ki} = fluxo de calor da face interna para a externa da parede;

q''_{Ko} = fluxo de calor da face externa para a interna da parede.

Para o balanço de calor nas superfícies externas é utilizada a equação 5.3:

$$q''_{asol} + q''_{Lwr} + q''_{conv} - q''_{Ko} = 0, \quad (5.3)$$

onde, q''_{asol} = fluxo de radiação externa por ondas curtas;

q''_{Lwr} = fluxo de radiação externa por ondas longas;

q''_{conv} = fluxo de calor na convecção externa;

q''_{Ko} = fluxo de calor por condução da face externa para a face interna da parede.

Simplificações geralmente combinam os três primeiros termos usando o conceito de temperatura sol-ar.

Observa-se, na figura 5.2, a seguir, o diagrama do volume de controle do balanço de calor externo:

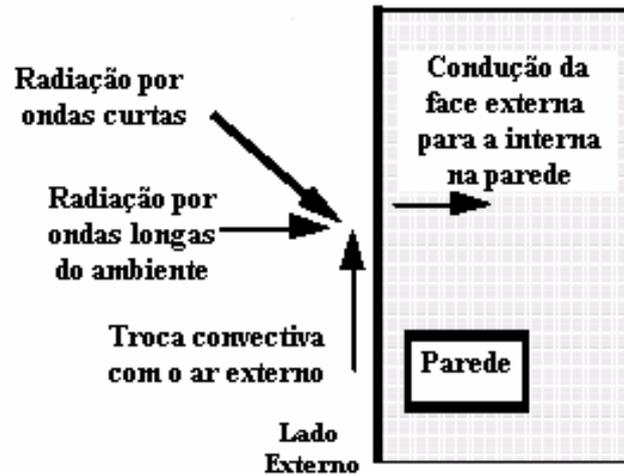


Figura 5.2. Diagrama do volume de controle do balanço de calor externo.

Quanto ao balanço de calor interno, a seguinte equação é utilizada:

$$q''_{Lwx} + q''_{sx} + q''_{Lws} + q''_{Ki} + q''_{sol} + q''_{conv} = 0, \quad (5.4)$$

onde, q''_{Lwx} = troca de radiação por ondas longas entre as superfícies da zona;

q''_{Lws} = fluxo de radiação por ondas longas vindas de fontes internas;

q''_{sx} = fluxo de radiação por ondas curtas vindo das luzes;

q''_{Ki} = fluxo de calor por condução da face interna para a externa na parede;

q''_{sol} = fluxo de radiação solar;

q''_{conv} = fluxo de convecção.

Na figura 5.3 nota-se o diagrama do volume de controle do balanço de calor interno.

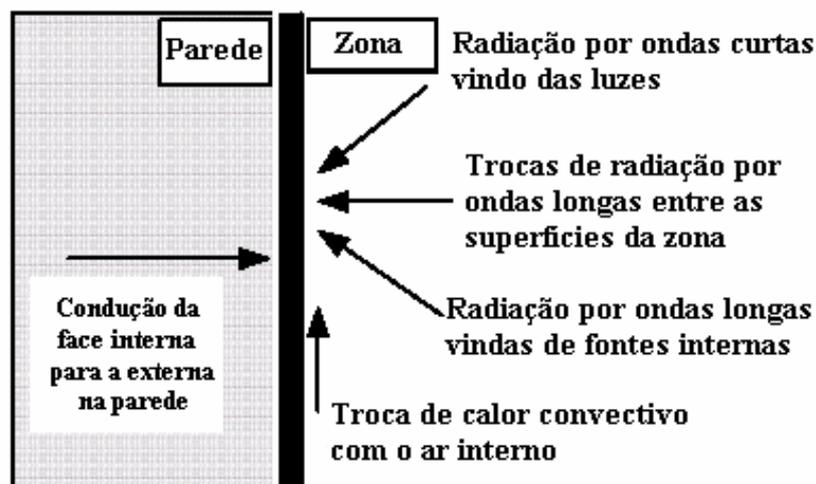


Figura 5.3. Diagrama do volume de controle do balanço de calor interno.

O Módulo de Balanço de Massa do Ar trabalha com várias correntes de massa, tais como, ventilação, exaustão e infiltração. Este módulo calcula os ganhos de calor convectivos diretos, e através dele conecta-se o COMIS para calcular os fluxos de ar multizonais, infiltrações, contaminantes internos e ventilação.

O programa EnergyPlus possui três modelos para o cálculo de convecção: algoritmo de convecção natural simples, algoritmo de convecção natural detalhada e algoritmo para difusores de teto. Neste trabalho foi utilizado o modelo de convecção natural detalhada.

A principal diferença entre o algoritmo de convecção natural simples e o de convecção natural detalhado consiste na forma de determinação do coeficiente de transferência de calor convectivo (h_c).

A forma simples utiliza coeficientes constantes para cada uma das três posições da placa: horizontal, vertical e inclinada. Os valores do coeficiente dependem, ainda, do cenário de convecção: convecção reduzida ou acentuada.

Para uma superfície horizontal com convecção reduzida o coeficiente (h_c) vale 0,948 W/m²K; com convecção acentuada tem o valor de 4,040 W/m²K; para superfícies verticais vale 3,076 W/m²K; para uma superfície inclinada com convecção reduzida vale 2,281 W/m²K; e com convecção acentuada o coeficiente tem o valor de 3,870 W/m²K.

O modelo de convecção natural detalhada, o qual é baseado em estudos sobre placas planas, determina o coeficiente de transferência de calor convectivo como uma função da orientação da superfície (ângulo de inclinação) e da diferença de temperatura entre a superfície e o ar da zona.

Para superfícies verticais ou sem diferencial de temperaturas utiliza-se a seguinte equação:

$$h_c = 1,31(\Delta T)^{1/3} . \quad (5.5)$$

Para $\Delta T < 0.0$ e superfície voltada para cima ou $\Delta T > 0.0$ e superfície voltada para baixo utiliza-se uma correlação de convecção acentuada descrita na equação 5.6:

$$h_c = \frac{9,482 (\Delta T)^{1/3}}{7,283 - \cos(\alpha_o)} , \quad (5.6)$$

onde, α_o = ângulo de inclinação da superfície;

ΔT = diferença de temperatura.

Para $\Delta T > 0.0$ e superfície virada para cima ou $\Delta T < 0.0$ e superfície virada para baixo uma correlação de convecção reduzida é utilizada, conforme a equação 5.7:

$$h_c = \frac{1,810 (\Delta T)^{1/3}}{1,382 + \cos(\alpha_o)}, \quad (5.7)$$

onde, α_o = ângulo de inclinação da superfície;

ΔT = diferença de temperatura.

Neste trabalho optou-se como modelo utilizado o algoritmo de convecção natural detalhada.

Em adição ao núcleo básico do Balanço de Massa e de Calor cuja origem é o programa IBLAST, foram criados três novos módulos baseados nas capacidades internas do programa DOE-2: iluminação pela luz do dia, infiltração pelas janelas e céu anisotrópico.

Para controlar a iluminação pelos raios de sol, cortinas internas ou externas podem ser utilizadas.

Existem diversas formas de realizar o controle das cortinas, independente se forem externas ou internas. Neste trabalho utilizaram-se arbitrariamente cortinas internas que permanecessem fechadas durante todo o período.

No EnergyPlus, o cálculo da radiação solar difusa vinda do céu incidente sobre uma superfície exterior é de acordo com a distribuição da radiância anisotrópica do céu. Esta distribuição da radiância está baseada num modelo empírico, o modelo de Perez et. al, 1990.

Neste modelo, segundo Macagnan, 2001, assume-se uma radiância constante sobre todo o céu exceto em um disco em torno do Sol e uma banda no horizonte, onde os valores da radiância difusa são incrementados. A magnitude deste aumento é considerada como função de três parâmetros que descrevem a condição do céu naquele momento, que se relacionam com a radiação difusa, a relação entre a radiação direta e a difusa e o ângulo de zênite solar.

Esta distribuição de radiação não uniforme aperfeiçoa os cálculos da difusividade solar sobre as superfícies inclinadas. No presente trabalho foi utilizada distribuição anisotrópica.

Com o programa EnergyPlus pode-se calcular o conforto térmico por meio de três modelos de conforto: o modelo de Fanger, o de Pierce e o modelo de dois nós KSU (Kansas State University). Estes métodos diferem um pouco quanto aos modelos fisiológicos que representam o sistema passivo humano (transferência de calor através e do corpo) e quanto ao sistema de

controle humano (o controle neural do tremor de frio, da transpiração e do fluxo sanguíneo na pele). Os modelos também diferem no critério usado para prognosticar a sensação térmica.

Para a análise do conforto, foi utilizado neste trabalho o modelo de Fanger.

Após o Gerenciador de Balanço de Calor completar a simulação para cada intervalo de tempo, ele aciona o Gerenciador de Simulação dos Sistemas da Edificação, que controla a simulação dos sistemas elétricos e atualiza as condições do ar da zona.

O programa EnergyPlus possui duas interfaces amigáveis que devem ser utilizadas. Um editor do tipo .idf onde todas as informações sobre a simulação são declaradas e um “lançador” que rodará o programa com ou sem um arquivo climático.

Os arquivos climáticos não são utilizados quando deseja-se realizar simulações para os dias típicos, pois todas as informações desses dias típicos são relatadas com o uso do editor do programa.

Por meio do “lançador” podem-se visualizar todos os resultados através dos arquivos de saída gerados pelo programa.

Nas figuras 5.4, 5.5 e 5.6 pode-se ver a interface do editor, do “lançador” e um momento de cálculo do programa respectivamente.

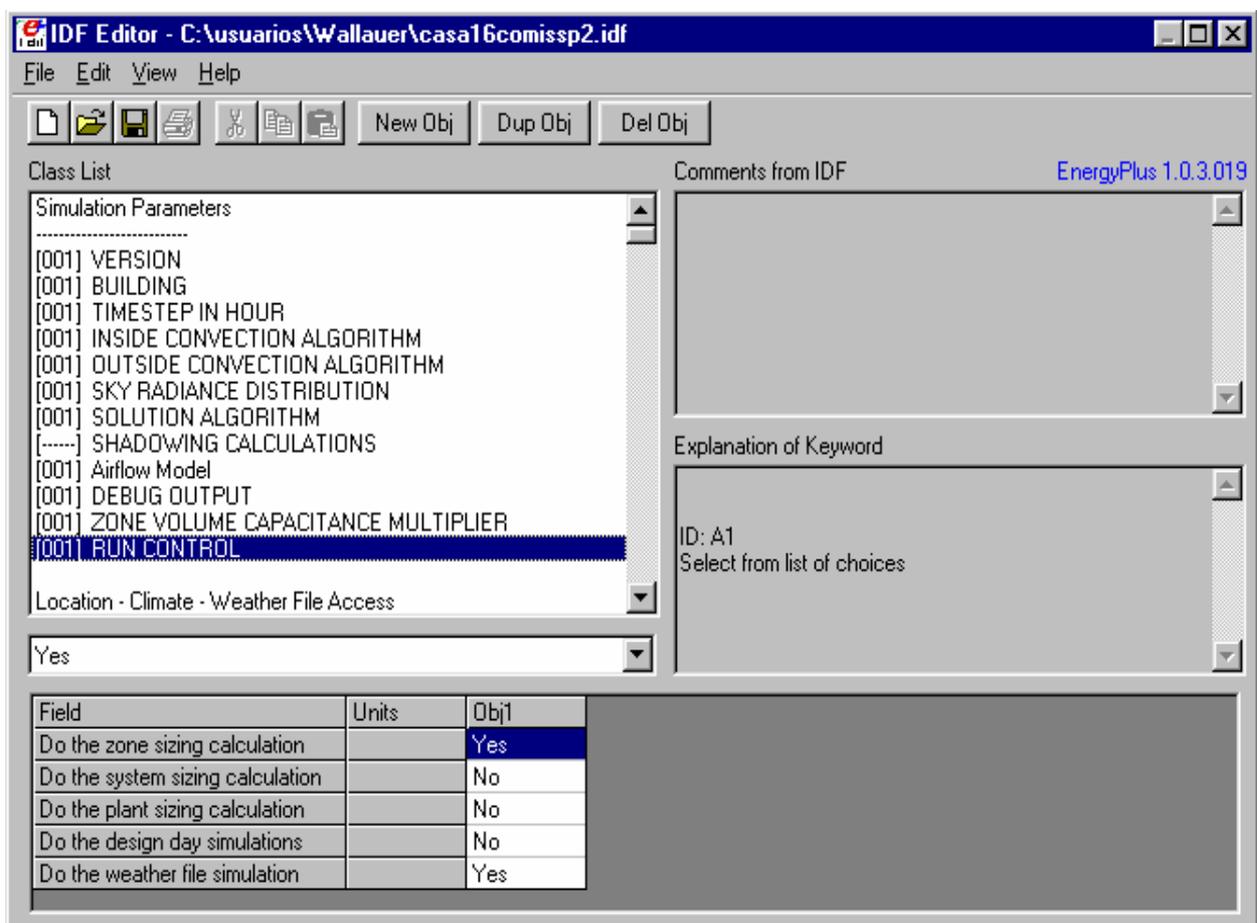


Figura 5.4. Interface do editor do programa EnergyPlus.

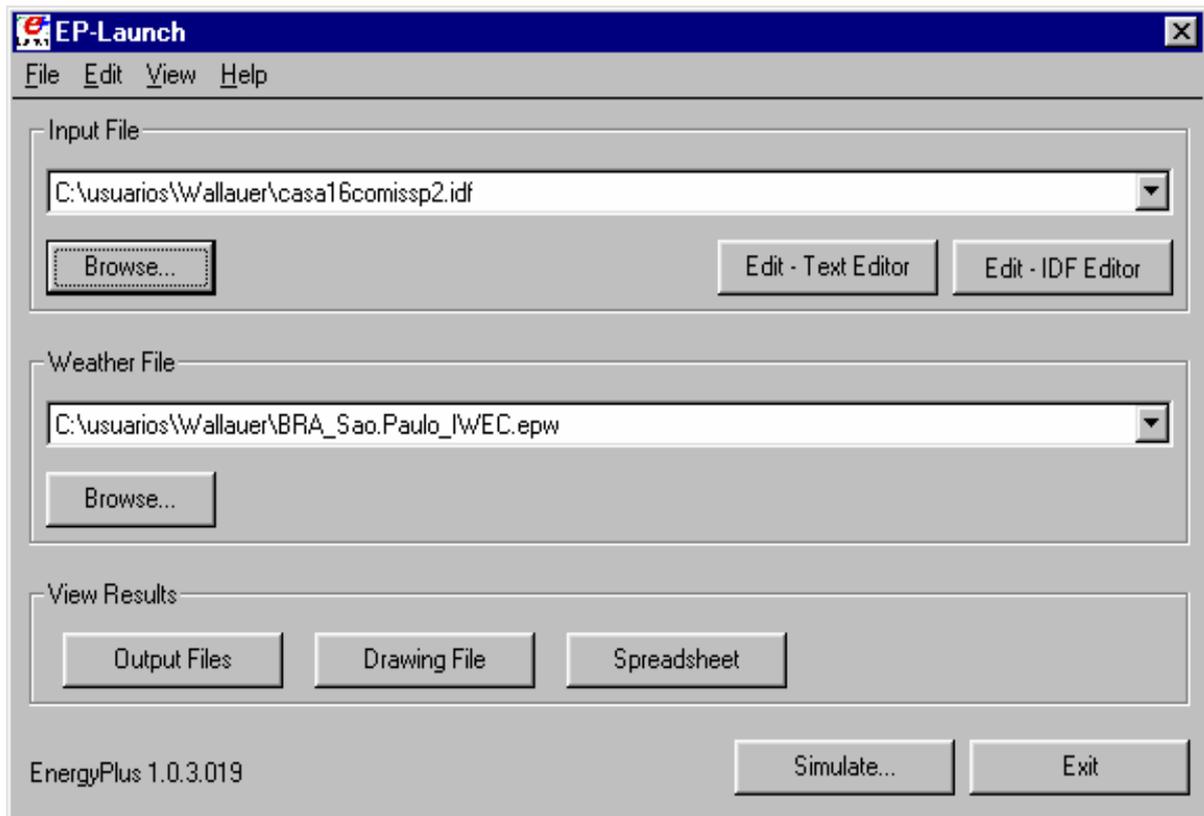


Figura 5.5. Interface do “lançador” do programa EnergyPlus.

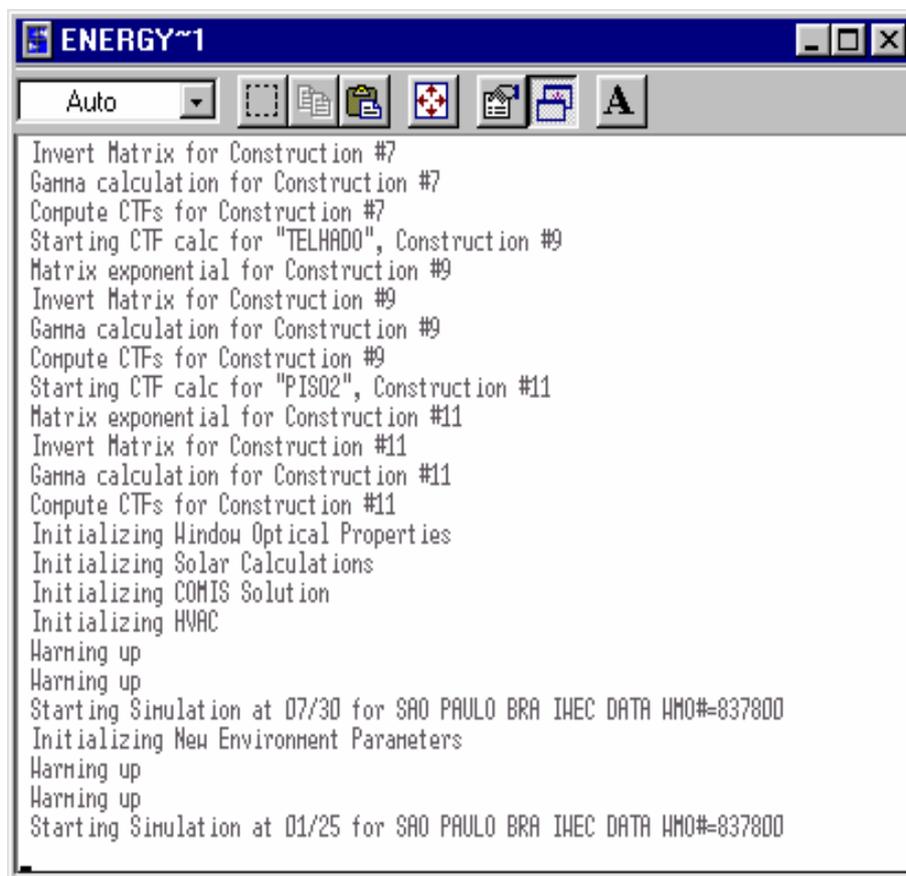


Figura 5.6. Momento de simulação do programa.

5.2 O programa de simulação de fluxos de ar

Para realizar a renovação de ar utilizou-se o programa desenvolvido pela Agência Internacional de Energia (IEA), intitulado COMIS 3.0.

As entradas que se fazem necessárias para a utilização do COMIS 3.0 são os coeficientes de fluxo (C_q) e os expoentes para frestas, portas e janelas fechadas (n), a altura e largura das janelas e portas quando abertas, as dimensões físicas das zonas da edificação e suas ligações para o exterior e entre elas, os coeficientes de pressão (C_p) nas fachadas externas, a temperatura do ar ambiente, direção e velocidade do vento, umidade e pressão barométrica.

As dimensões físicas das zonas da residência, suas ligações entre si e com o exterior, a temperatura do ar, umidade e pressão barométrica já foram determinadas anteriormente para o modelamento térmico, não sendo necessário uma segunda declaração desse valores.

A distribuição de pressão em torno das edificações é usualmente descrita em função dos coeficientes de pressão (C_p). Uma relação entre estes coeficientes, a pressão na superfície, a pressão atmosférica e a pressão dinâmica pode ser descrita pela equação 5.8:

$$Cp(x,y,z) = \frac{P(x,y,z)-P_o(z)}{P_{dyn}(z)}, \quad (5.8)$$

com,

$$P_{dyn}(z) = \frac{1}{2}\rho_{out}(z)v^2(z), \quad (5.9)$$

onde, $Cp(x,y,z)$ = coeficientes de pressão nas coordenadas x, y e z, adimensionais;

$P(x,y,z)$ = pressão nas superfícies nas coordenadas x,y,z, Pa;

$P_o(z)$ = pressão atmosférica na altura z, Pa;

$P_{dyn}(z)$ = pressão dinâmica num fluxo sem turbulência na altura z, Pa;

$\rho_{out}(z)$ = densidade do ar externo na altura z, kg/m³;

$v(z)$ = velocidade do vento na altura z, m/s.

Um perfil da velocidade do vento $v(z)$ pode ser aproximado pela expressão logarítmica ou pela “power law” representada na equação 5.10:

$$v(z) = v(z_o) \cdot [z_o/z]^\alpha, \quad (5.10)$$

onde, $v(z)$ = velocidade do vento na altura z, m/s;

$v(z_0)$ = velocidade do vento na altura de referência z_0 , m/s;

α = expoente, adimensional;

z = altura, m;

z_0 = altura de referência, m.

A altura de referência (z_0) e o expoente (α) são dependentes da localização da edificação e também do tipo de terreno. O primeiro item especifica a altura de referência para a qual as velocidades dos ventos nos dados meteorológicos estavam sendo avaliados. Foi utilizada como altura de referência o valor padrão de 10m [ASHRAE, 2001]. Baseado neste valor o COMIS desenvolverá arquivos de velocidades de vento. E para o segundo foi usado o valor de 0,22 [ASHRAE, 2001].

Na figura 5.7 pode-se observar as variações de α e de z_0 para três tipos de terrenos: o primeiro localizado em uma região totalmente plana, sem construções, tipo aeroporto, o segundo em uma região de poucas construções, subúrbio, e a terceira em uma região com bastante construções, urbana.

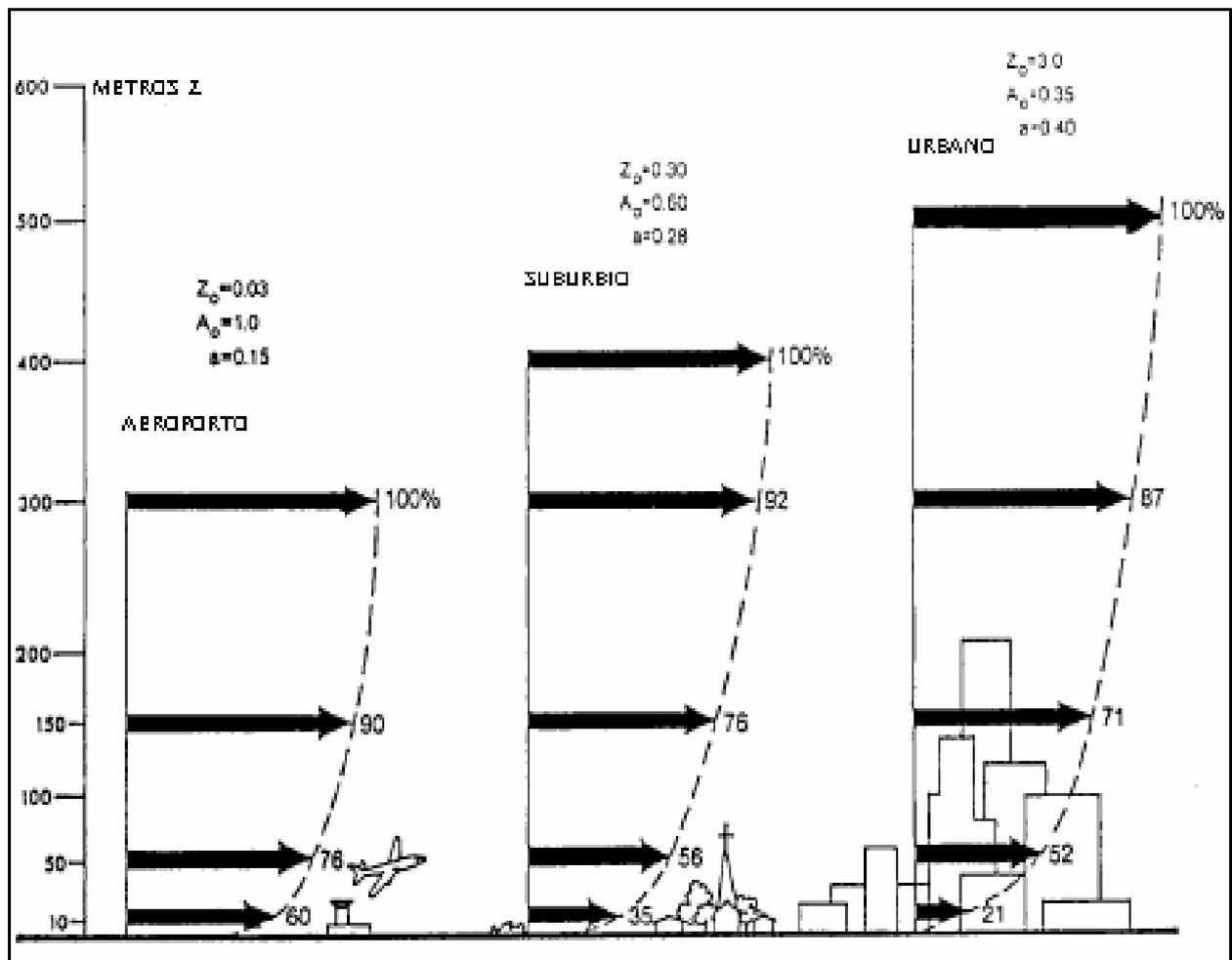


Figura 5.7. Perfil de velocidades do vento em função do terreno [ASHRAE 1989].

Outros parâmetros básicos necessários para a realização dos cálculos de fluxo de ar através do programa de simulação COMIS 3.0 são: a densidade das áreas do entorno da edificação e a altura das construções circundantes.

Sobre o primeiro termo, este especifica a densidade de obstruções nas cercanias da edificação estudada contendo uma área de referência de raio 10 a 25 vezes a altura da construção.

O segundo termo especifica a média das alturas das edificações circundantes.

Neste trabalho foi utilizado para a densidade do entorno da edificação o valor de 0,22 [ASHRAE, 2001], e a altura das construções circundantes foi definida como 5 metros.

Os valores de C_p foram determinados para todas as janelas e portas externas e para o telhado da residência, assim como para diversas direções de vento.

Neste trabalho foram utilizadas 12 direções diferentes de vento: 0°, 30°, 45°, 90°, 135°, 150°, 180°, 210°, 225°, 270°, 315° e 330° referentes à fachada Norte, que podem ser vistas na figura 5.8.

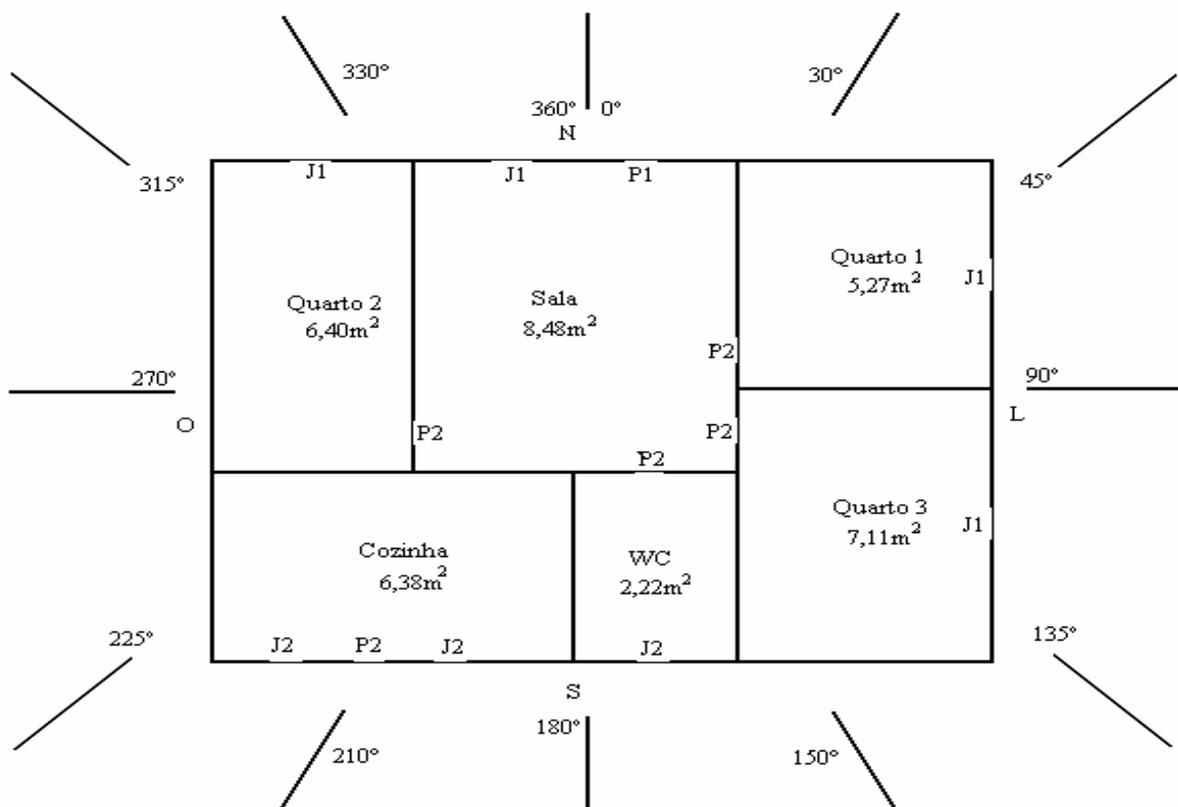


Figura 5.8. Direções de vento relacionadas aos coeficientes de pressão.

Os coeficientes de pressão para cada abertura externa e interna e para o telhado foram determinados a partir da metodologia encontrada na ASHRAE, 2001.

Os valores dos C_p 's utilizados podem ser vistos em anexo, no final do trabalho.

O fluxo de ar através das frestas é obtido utilizando a seguinte “power law” [ASHRAE, 2001], equação 5.11:

$$Q_{ar} = C_q (\Delta P)^n, \quad (5.11)$$

onde, Q_{ar} = fluxo de ar, m^3/s ;

C_q = coeficiente de fluxo, kg/s ;

ΔP = variação de pressão, Pa;

n = expoente de fluxo, adimensional.

Para a classificação das frestas necessita-se determinar os fatores de correlação e determinar os coeficientes de fluxo (C_q) e os expoentes de fluxo (n).

Segundo Feustel, 1998, os fluxos de ar através das frestas são sempre uma mistura de fluxos laminar, turbulento e de transição, e a proporção de cada um depende da forma da fresta e da diferença de pressão nos dois lados desta fresta.

O fluxo de ar por grandes aberturas é uma das principais fontes de contribuição para a transferência de ar, poluentes e energia térmica de uma zona da edificação para outra ou para o exterior. Em muitos casos, as diferenças térmicas e/ ou as diferenças nos gradientes térmicos em ambos os lados da abertura causarão fluxos nos dois sentidos.

O prognóstico do fluxo de ar através das grandes aberturas é difícil, pois envolve um grande número de diferentes fenômenos físicos, incluindo fluxos flutuantes devido à turbulência do vento e recirculação de fluxos causados pelos efeitos de fronteira nas aberturas [Allard e Utsumi, 1992].

Os fluxos de ar podem ser calculados para os seguintes casos:

- Grandes aberturas fechadas: neste caso, os fluxos das frestas superiores e inferiores das aberturas são calculados de acordo com suas diferenças de pressão;
- Aberturas verticais retangulares normais;
- Janelas pivotadas horizontalmente.

Para calcular o fluxo de ar através das aberturas determinou-se em primeiro lugar o expoente de fluxo (n).

Segundo ASHRAE, 2001, o expoente de fluxo deve estar contido entre 0,6 e 0,7 com o valor de 0,65 sendo o mais utilizado nos diversos estudos, e esse foi o escolhido neste trabalho.

Para o cálculo dos coeficientes de fluxo, estes foram convertidos para uma Área de fuga de ar conforme a equação 5.12, [ASHRAE, 2001].

$$C_q = \frac{C_D A_l (2/\rho)^{1/2} (\Delta P_r)^{0,5-n}}{10000}, \quad (5.12)$$

onde, A_l = área de fuga de ar efetiva, cm^2 ;

ρ = densidade do ar, kg/m^3 ;

ΔP_r = diferença de pressão de referência, Pa;

C_D = coeficiente de descarga, adimensional;

n = expoente de fluxo, adimensional;

C_q = coeficiente de fluxo, kg/s.

Conforme ASHRAE, 2001, todas as aberturas na fachada externa da construção podem ser combinadas em uma área de abertura global e em um coeficiente de descarga para a edificação quando a Área de fuga de ar efetiva é calculada. Alguns estudos utilizam $C_D = 1$, enquanto outros usam $C_D = 0,6$, isto é, um coeficiente de descarga para orifícios exatos.

A área de fuga de ar de uma edificação é, portanto, a área de um orifício que produziria a mesma quantidade de ar em fuga.

Através dos valores da área de fuga de ar efetiva, que são listados em uma tabela, que utiliza $C_D = 1$ e $\Delta P_r = 4$ Pa, contida na ASHRAE, 2001, e dos valores de $C_D = 1$, $\Delta P_r = 4$ Pa, $n = 0,65$ e $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ calculou-se, então, os coeficientes de fluxo de ar para todas as aberturas externas e internas e para o telhado.

Em uma última etapa o valor calculado de C_q foi ainda multiplicado pela densidade do ar, pois no programa de simulação esse coeficiente deve ser lançado em m^3/s e não em kg/s como o calculado. Na tabela 5.1, podem-se visualizar os valores de C_q calculados.

Tabela 5.1. Coeficientes de fluxo de ar para as aberturas externas e internas e para o telhado.

Tipo de construção	C_q [m^3/s]
Janela da sala	0,005
Janelas dos quartos	0,005
Janelas da cozinha	0,00256
Janela do banheiro	0,00256
Portas internas	0,00824

Tipo de construção (cont.)	C_q [m^3/s]
Portas externas	0,0007
Porta do sótão	0,0117
Telhado	0,001

Determinados os coeficientes e os expoentes de fluxo de ar, a altura e largura das janelas quando abertas, assim como os seus controles de abertura, deveriam ser estudados.

Em função das janelas serem do tipo guilhotina a área de abertura máxima deve ser a metade da área total da janela e em função desse fato dois estágios para a janela foram determinados: totalmente fechada ou metade de sua área aberta.

O controle de abertura das janelas e portas internas foi realizado em função da temperatura, ou seja, foi definida uma temperatura controladora das aberturas das janelas e portas na zona térmica para fornecer ventilação natural.

Foram escolhidas temperaturas controladoras diferentes para cada cidade estudada, essa escolha deveu-se principalmente em função das distintas temperaturas externas. Para as cidades de Belém e Recife foram determinados 26°C para período mais quente do ano e 24°C para a semana de temperaturas mais amenas, para Brasília 23°C e 21°C e para São Paulo 24°C para o verão e 22°C para o inverno.

A forma de controle se dá da seguinte maneira: se a temperatura da zona for maior do que a externa e do que a temperatura setada as janelas e portas internas abrirão, caso contrário, permanecerão fechadas.

Uma importante observação que se faz necessária é em relação às cortinas. Como já mencionado no trabalho, as cortinas das janelas dos quartos e da sala permanecem fechadas durante todo o tempo e, por possuírem uma permeabilidade de 0,8, 80% dos ventos incidentes na cortina entrarão no ambiente.

Portanto as cortinas têm o papel de impedir, através dos valores de suas transmitância e refletância, que os raios de sol entrem nas zonas e, elas também atuam sobre o vento por meio de sua permeabilidade.

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados e analisados os resultados de conforto térmico utilizando a metodologia de Fanger citada nos capítulos anteriores. Os resultados obtidos são referentes aos valores de PMV calculados no centro de cada zona em estudo.

Para a determinação do PMV fez-se necessário o cálculo da velocidade do ar interno, etapa não realizada pelo programa de simulação EnergyPlus.

A velocidade do ar de cada zona foi determinada dividindo-se os fluxos de ar que entram ou saem desta zona pela sua seção principal constituída pela altura e por uma das larguras da zona.

Os valores das velocidades do ar foram calculados e informados para o programa durante as 24 horas dos dias estudados nas quatro capitais, isto é, para cada dia estudado calculou-se as velocidades do ar de cada zona para todo o dia.

Na figura 6.1, podem-se ver as direções e valores dos fluxos do ar interno, em L/s, para o dia 25/01 na cidade de São Paulo no horário das 17:00 horas com os ventos incidindo com um ângulo azimutal de 150°.

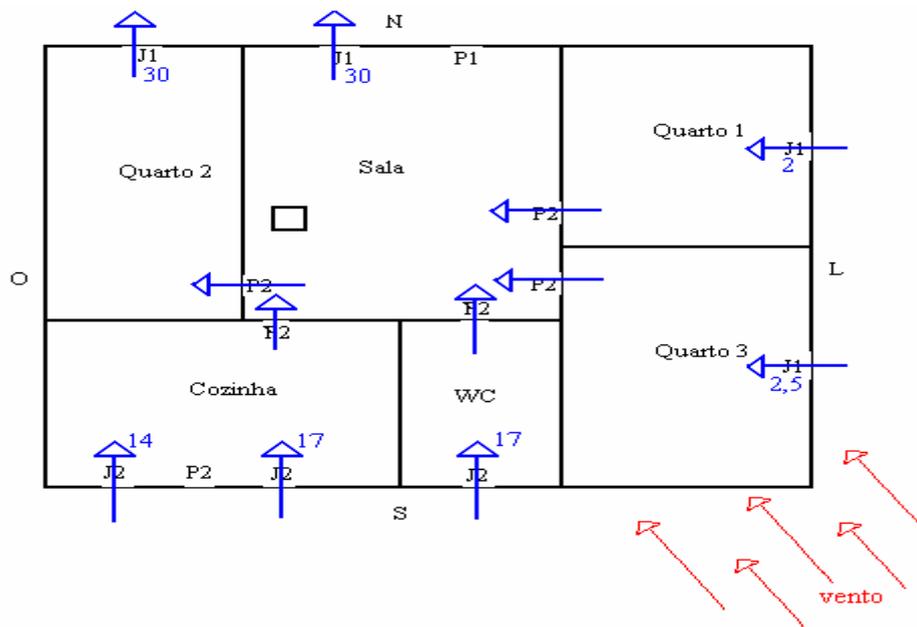


Figura 6.1. Fluxos do ar interno, em L/s, no dia 25/01 em São Paulo com pouco vento incidindo à 150°.

Na figura, 6.2, mostra-se os fluxos do ar interno, suas direções e seus valores, em L/s, para os ventos incidentes na residência às 22:00 horas com um ângulo azimutal de 290°, também para a cidade de São Paulo.

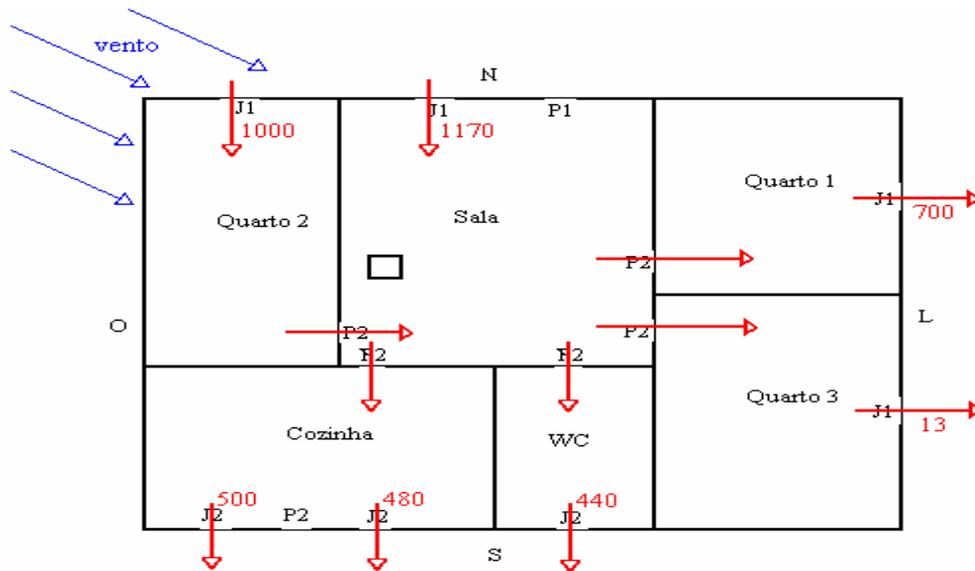


Figura 6.2. Fluxos do ar interno, em L/s, no dia 25/01 em São Paulo com muito vento incidindo à 290°.

Para realizar a análise do conforto térmico determinaram-se quatro dias como sendo os mais representativos de todo o ano.

O critério de escolha utilizado baseou-se principalmente, em função da temperatura de bulbo seco (Tbs) externa e da intensidade e velocidade dos ventos.

Partindo desse modo de escolha os quatro dias estudados foram:

- Dia mais quente com bastante vento;
- Dia mais quente com pouco vento;
- Dia mais frio com bastante vento;
- Dia mais frio com pouco vento.

Para a cidade de Belém, PA, escolheram-se os dias 03/06 e 28/05 como os dias mais quentes com bastante ou pouco vento, respectivamente, e os dias 14/03 e 11/03 como os mais frios com bastante ou pouco vento.

Para a cidade de Brasília, DF, verificaram-se: 27/09 e 25/09 como os dias mais quentes com muito ou pouco vento e 18/06 e 14/06 como os dias frios com ou sem vento.

Para Recife, PE, estudaram-se: 07/03 e 09/03, dias mais quentes com muito ou pouco vento e 01/08 e 29/07, dias mais frios com bastante ou pouca intensidade de vento.

Já, para São Paulo, SP, verificaram-se 25/01 e 31/01, como sendo os dias mais quentes com muito ou pouco vento e 30/07 e 01/08 como os dias frios com bastantes ou poucos ventos.

Neste capítulo serão apresentados somente os gráficos de PMV em função da temperatura de bulbo seco externa, em função da umidade relativa externa, da velocidade dos ventos e da radiação horizontal global hemisférica. Em anexo seguem gráficos de todos os dias estudados da

temperatura de bulbo seco externa, das temperaturas internas, das temperaturas médias radiantes e das umidades relativas internas.

6.1 Conforto térmico no clima de Belém, PA

6.1.1 Dia com temperaturas mais elevadas com maiores índices de vento

As velocidades do ar calculadas para o dia 03/06 oscilaram entre 0,0 m/s e 0,11 m/s, nos quartos e entre 0,0 m/s e 0,121 m/s, na sala.

Em relação à velocidade do vento, esta oscilou entre 0,9 m/s às 02:00 horas e 5,1 m/s às 20:00 horas, apresentando uma velocidade média durante o dia de 3,1 m/s. As velocidades dos ventos durante à tarde foram superiores comparadas com as do período da manhã. A figura 6.3 relata as variações da velocidade do vento para este dia.

Com as velocidades do ar informadas para o programa os seguintes valores de PMV foram obtidos:

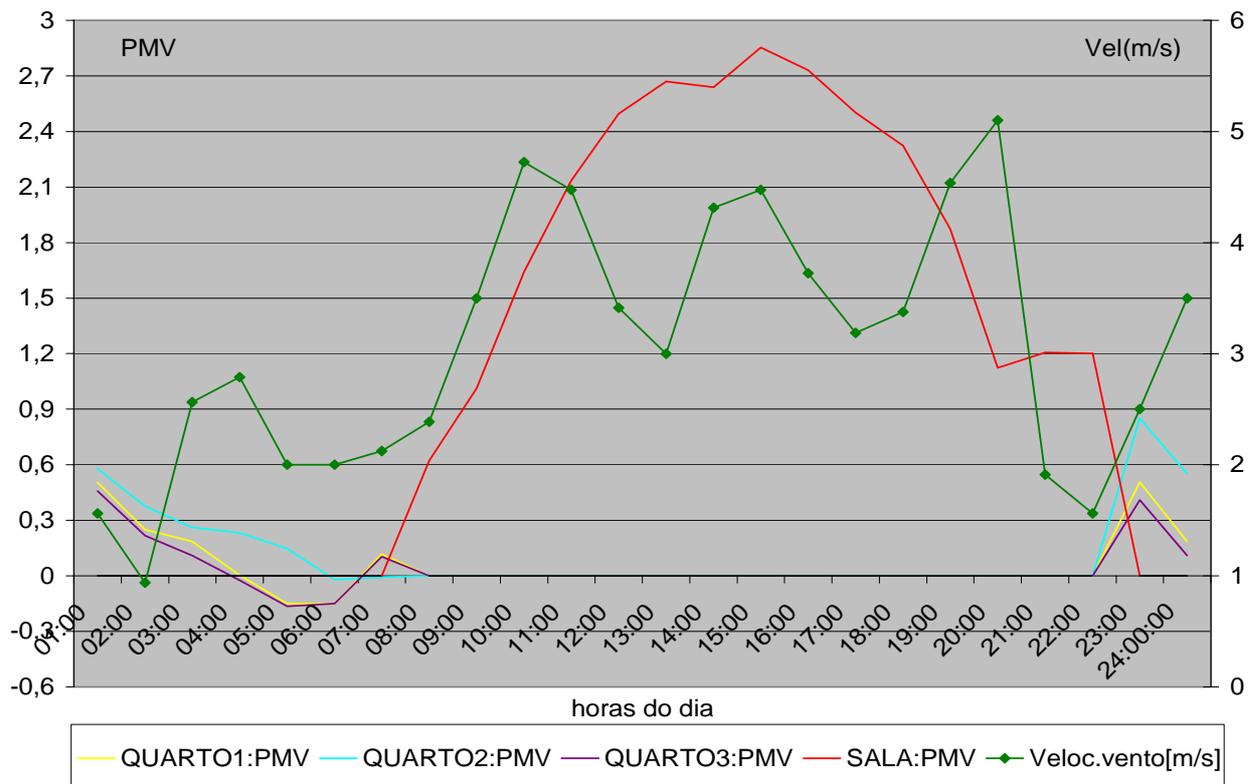


Figura 6.3. Variação do PMV e da velocidade do vento no dia 03/06 em Belém.

O gráfico 6.4, demonstra a relação entre a T_{bs} e o PMV. No momento em que a temperatura externa foi a mais elevada, em torno dos 32,5°C, houve o pico de PMV, 2,85, enquanto que nos quartos, o menor valor de PMV, -0,15, ocorreu no horário de mais baixa

temperatura, 24°C. Na figura 6.4 também pode-se notar que neste dia não houve uma grande variação de temperatura, 24°C à madrugada e 32,5°C à tarde.

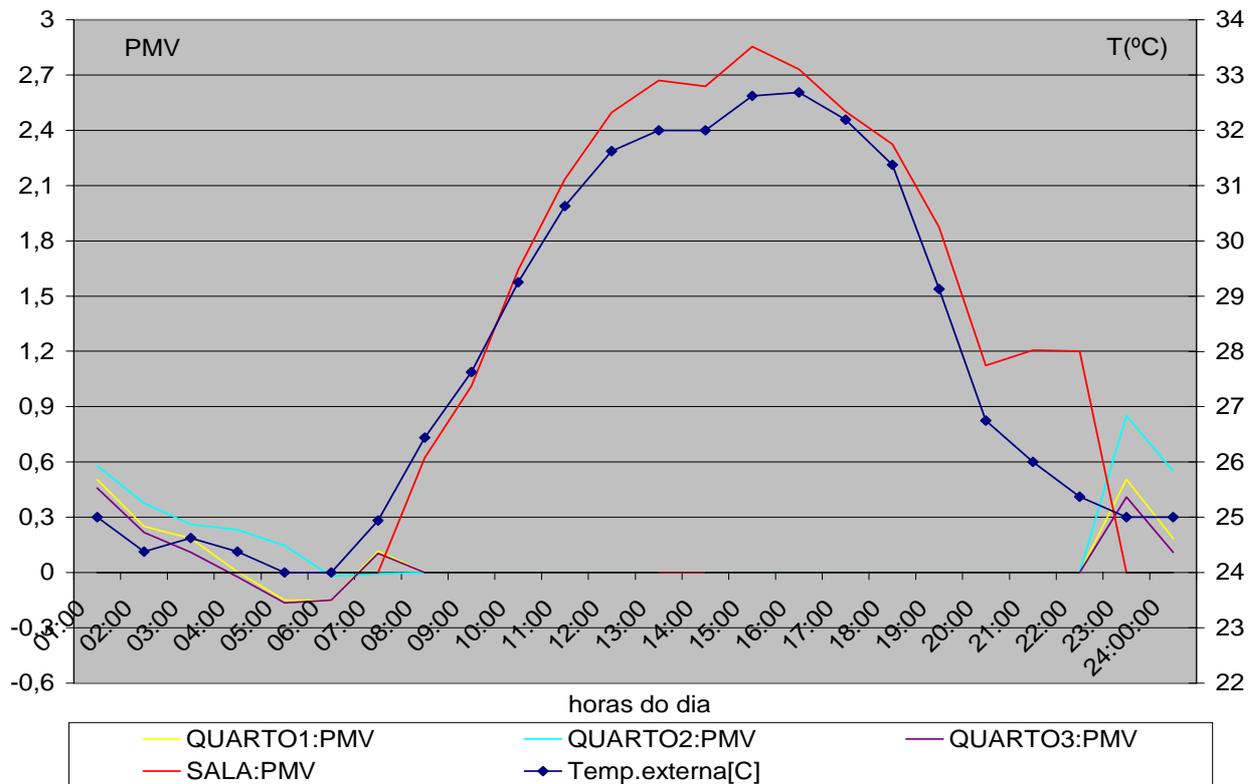


Figura 6.4. Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco no dia 03/06 em Belém.

No geral os valores de PMV mostraram uma madrugada confortável, com os valores oscilando no intervalo de 0,6 a -0,15, representando o conforto térmico dos moradores da casa. Porém durante o dia os índices encontrados indicaram um desconforto térmico com um pico de PMV igual a 2,85 às 15:00 horas.

A sensação de calor durante à tarde é devida principalmente à elevada temperatura externa, sempre acima dos 30°C, outro fator que contribui para o desconforto são os baixos índices de velocidade do ar interno, que oscilaram quase sempre na ordem de 10^{-3} .

6.1.2 Dia com temperaturas mais elevadas com menores índices de vento

Para o dia 28/05 as velocidades de ar calculadas oscilaram entre 0,0 m/s e 0,0016 m/s nos quartos e entre 0,0 m/s e 0,08 m/s na sala.

Uma característica desse dia é ausência de ventos durante toda noite e boa parte da manhã, da 01:00 às 09:00 horas, tornando a velocidade do ar interno muito baixa, na ordem 10^{-4} . Nesse dia a velocidade média dos ventos foi de 1,3 m/s, considerada bastante baixa e o pico de velocidade ocorreu às 11:00 horas com valor de 5,1 m/s.

Com as velocidades de ar calculadas os resultados de PMV foram os seguintes, mostrados nas figuras 6.5 e 6.6.

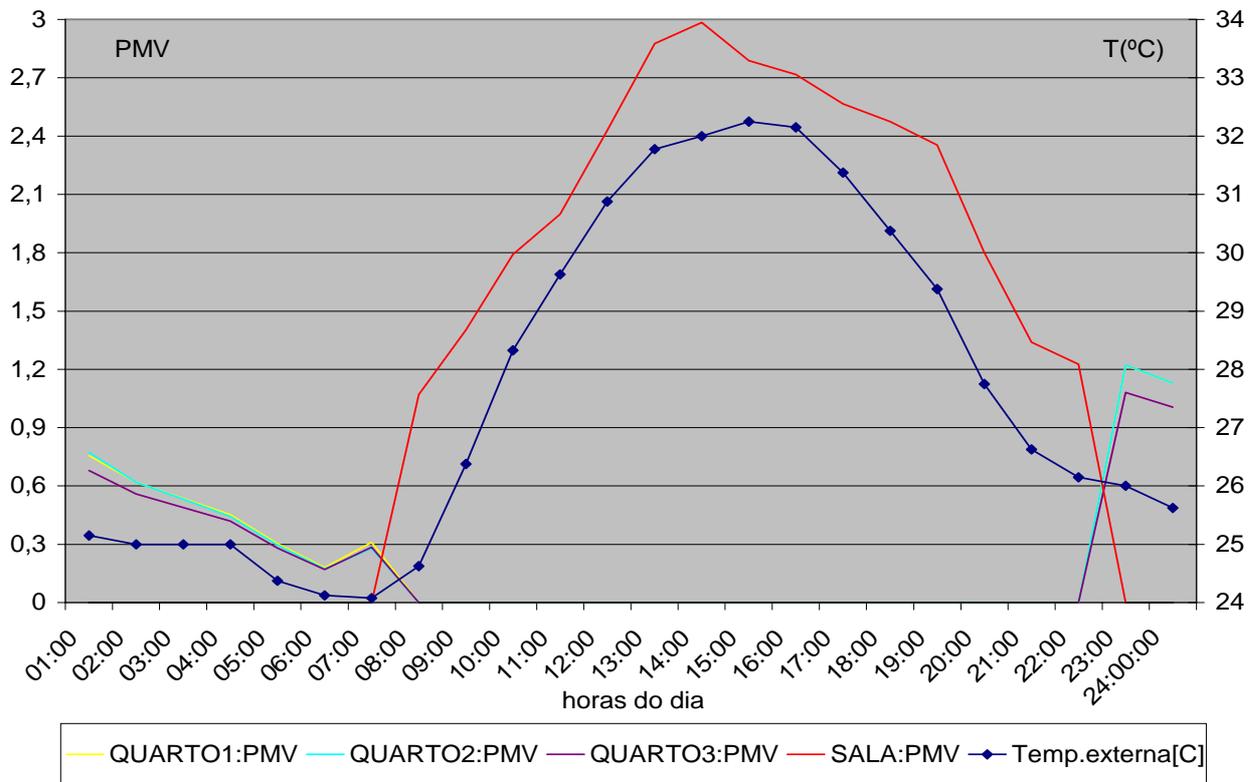


Figura 6.5. Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco externa no dia 28/05 em Belém.

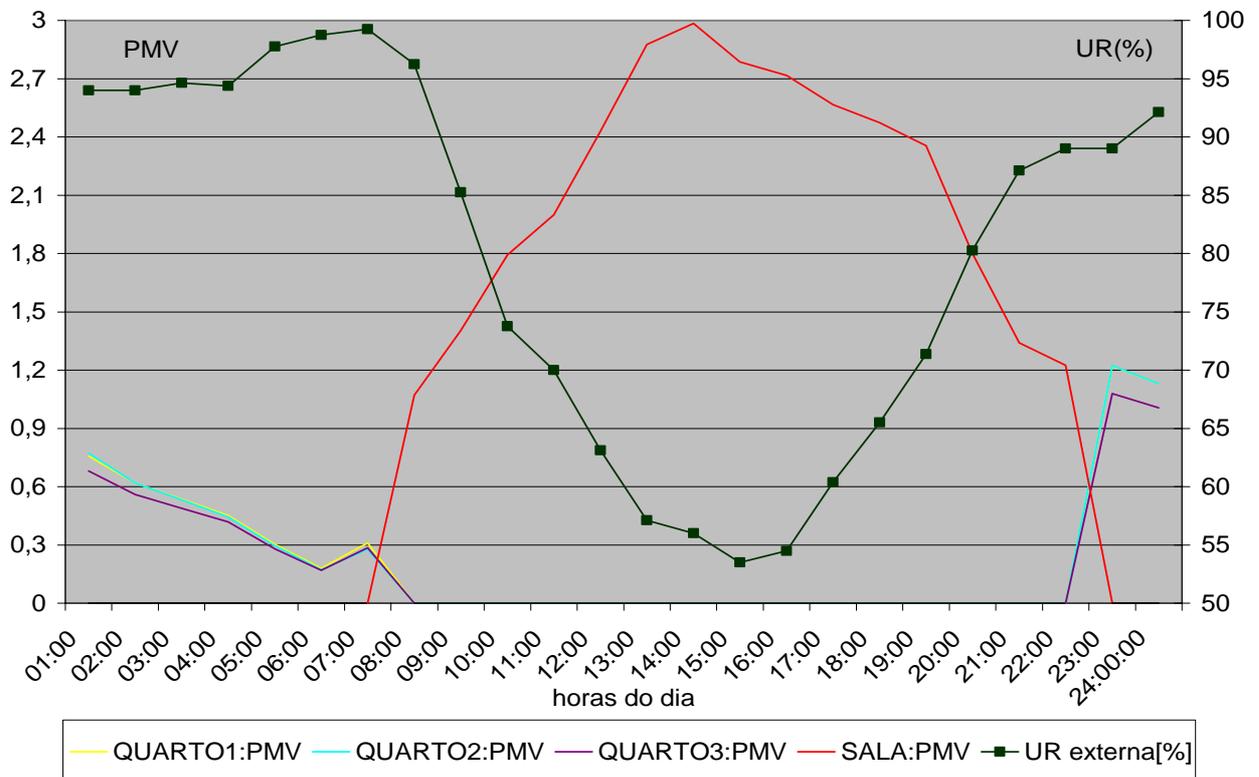


Figura 6.6. Variação do PMV e da umidade relativa externa no dia 28/05 em Belém.

Na figura 6.5, nota-se uma elevada temperatura externa que oscilou entre 25°C e 24°C na madrugada, e em torno dos 32°C entre as 13:00 e 16:00 horas. Pode-se observar também, a relação existente entre a temperatura e os índices de PMV, cujos maiores valores ocorrem nos horários de máximas Tbs.

Na figura 6.6 é mostrada a variação de PMV em função da umidade relativa. Nota-se que durante a madrugada houve uma variação entre 95 e 100% e durante a manhã e a tarde uma oscilação entre 55 a 80%, indicando que esse dia foi bastante úmido.

Observando os resultados de PMV conclui-se que no período da madrugada ocorreu o conforto com índices entre 0,0 e 0,8. Já à tarde os índices de PMV chegaram a um pico igual a 3 às 14:00 horas, levando à conclusão de que as pessoas estavam com bastante calor neste momento do dia. Durante a noite sentiu-se um pouco de calor, com valores em torno de 1,1.

Em comparação ao dia 03/06, os valores de PMV obtiveram um pequeno aumento, notado principalmente nos quartos. Esse fato se deu em função das menores velocidades do ar interno.

6.1.3 Dia com temperaturas mais baixas com maiores índices de vento

No dia 14/03 as velocidades dos ventos oscilaram entre 1,2 m/s às 07:00 horas e 5,2 m/s que ocorreu às 08:00 horas. Neste dia a velocidade média dos ventos girou em torno dos 3,4 m/s.

A figura 6.7 mostra os valores de PMV e as variações das velocidades dos ventos.

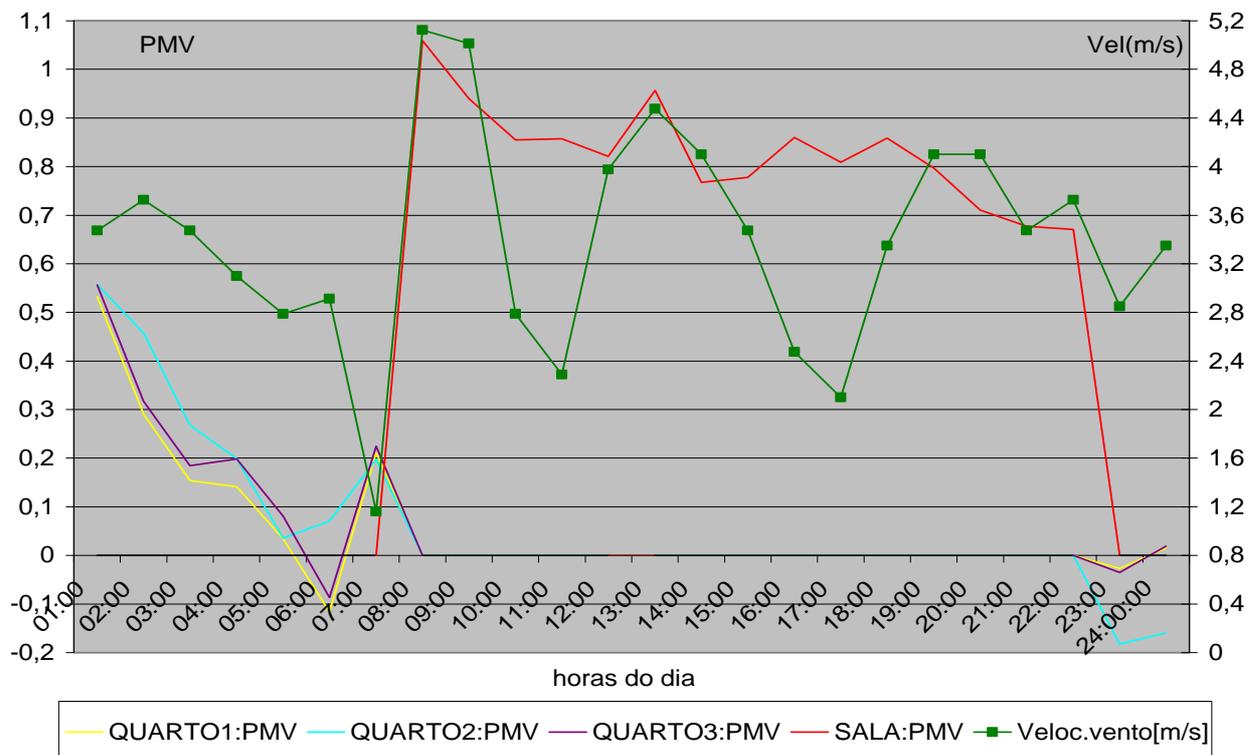


Figura 6.7. Variação do PMV e das velocidades dos ventos no dia 14/03 em Belém.

As velocidades de ar interno obtidas foram de 0,0 m/s a 0,003 m/s para os quartos entre 01:00 e 07:00 horas e 0,047 m/s e 0,085 m/s também para os quartos nos horários das 23:00 e 24:00 horas e entre 0,0 m/s e 0,019 m/s na sala.

Na figura 6.8 têm-se os índices de conforto térmico e a oscilação da temperatura externa:

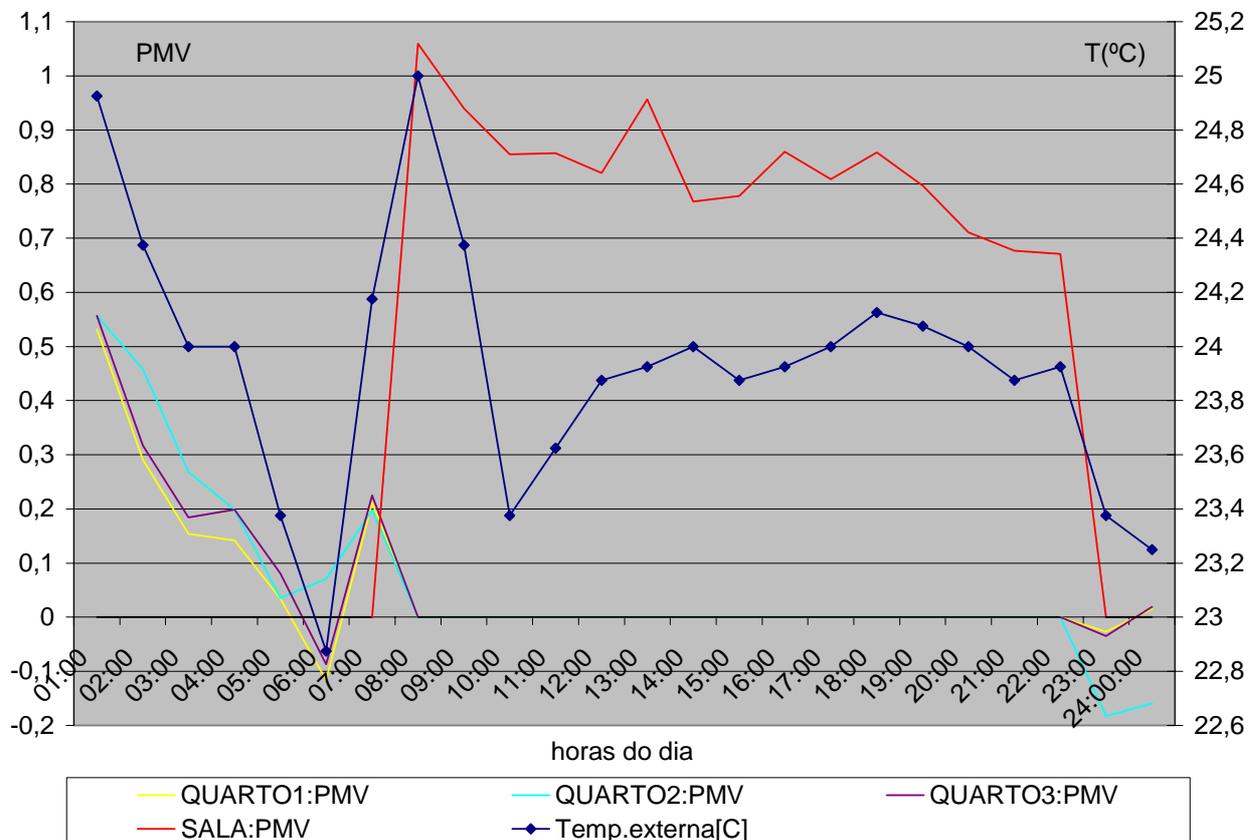


Figura 6.8. Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco externa no dia 14/03 em Belém.

Na figura 6.8 observa-se uma variação de temperatura externa entre 22,9°C e 25°C, com o pico ocorrendo às 08:00 horas. Pode-se também notar a existência de uma certa estabilização da temperatura em torno dos 24°C.

Observando os dois gráficos acima mostrados, 6.7 e 6.8, os índices de PMV durante o dia oscilaram entre 0,65 e 1,05, mostrando-se satisfatórios e significando conforto térmico das pessoas. No período noturno e na madrugada os valores de PMV variaram de -0,2 a 0,55, também delatando o conforto térmico dos moradores da residência.

Em função de a temperatura externa permanecer praticamente constante no período da tarde os índices de PMV para a sala também pouco oscilaram. Os menores valores de PMV nos quartos foram obtidos entre 23:00 e 24:00 horas, pois nestes horários as velocidades do ar foram as maiores verificadas nestes ambientes.

6.1.4 Dia com temperaturas mais baixas com menores índices de vento

No dia 11/03 as velocidades dos ventos oscilaram entre 0,0 m/s e 8,1 m/s, com o pico de velocidade acontecendo às 15:00 horas, enquanto que às 17:00, 18:00 e 19:00 horas não houve a ocorrência de vento. A velocidade média dos ventos neste dia variou em torno de 2,9 m/s e durante a madrugada os ventos praticamente estabilizaram em 2 m/s, nos horários da 01:00 às 07:00 horas.

Para o dia 11/03 foram obtidas as seguintes velocidades de ar interno: 0,0 m/s a 0,07 m/s para os quartos e 0,0 m/s a 0,017 m/s para a sala.

Com as velocidades do ar calculadas determinou-se os índices de PMV observados nas figuras 6.9 e 6.10:

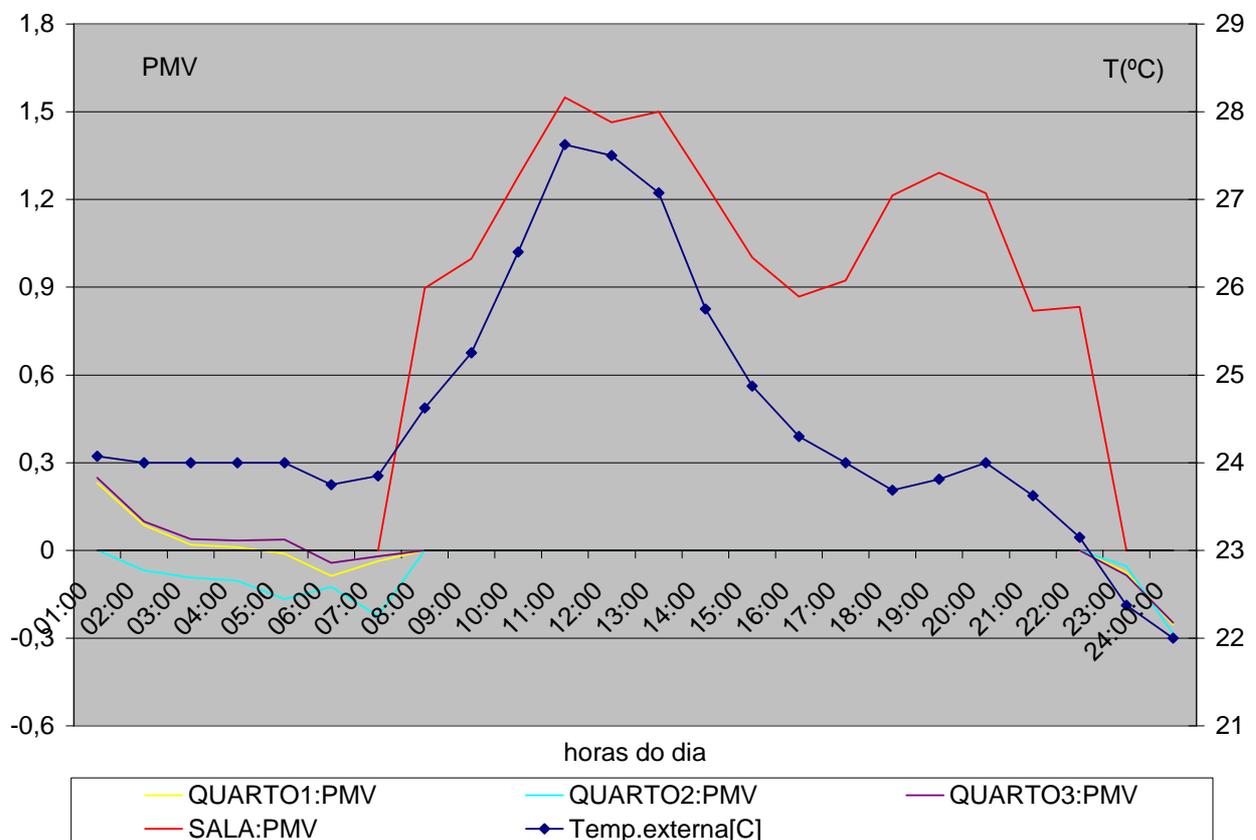


Figura 6.9. Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco externa no dia 11/03 em Belém.

Na figura 6.9 observa-se uma variação de temperatura entre 22 e 24°C no período em que as pessoas estão dormindo e entre 24 e 27,5°C durante o dia, com o pico ocorrendo às 11:00 horas. Nota-se uma temperatura praticamente fixa durante a madrugada, 24°C, o que provoca uma certa estabilidade nos valores obtidos para o PMV.

Na figura 6.10 têm-se os valores de PMV e a umidade relativa externa deste dia:

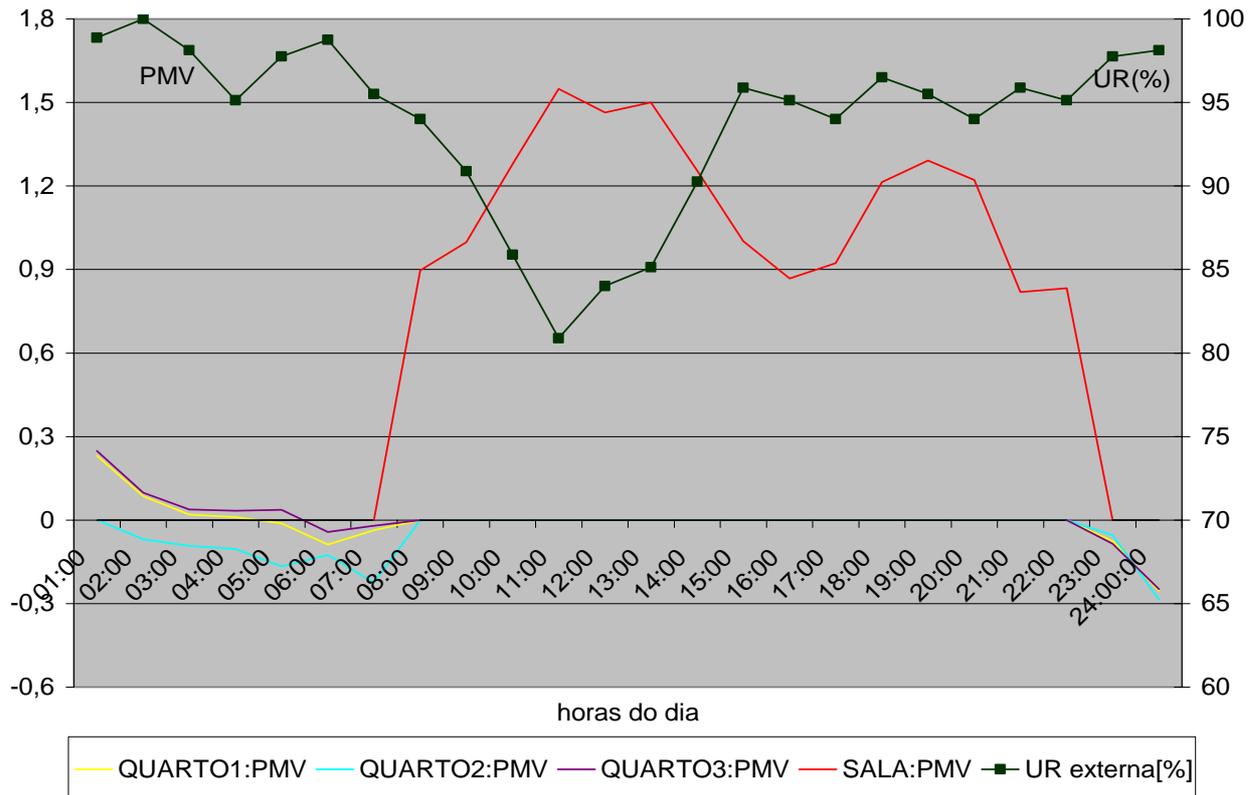


Figura 6.10. Variação do PMV e da umidade relativa externa no dia 11/03 em Belém.

Na figura 6.10 verifica-se uma oscilação de umidade relativa entre 80 e 100% com média em torno dos 95%, caracterizando um dia bastante úmido. Durante quase todo o dia a umidade está acima de 90%.

No período noturno obteve-se índices bastante satisfatórios para o PMV, demonstrando que as pessoas estão em conforto térmico. No período diurno os índices de PMV variaram entre 0,8 e 1,5 significando um pequeno desconforto térmico dos ocupantes da residência.

Portanto, no dia 11/03, as pessoas estavam confortáveis termicamente no período em que estavam dormindo, porém durante o dia sentiram um pouco de calor, saindo, conseqüentemente, da zona de conforto.

Em geral, para a cidade de Belém, PA, os índices de PMV obtidos para os dois dias estudados referentes ao período com temperaturas mais quentes demonstraram a ocorrência de conforto térmico principalmente no período em que as pessoas estavam dormindo nos quartos, com os valores oscilando entre -0,1 e 1,1. Durante o dia há desconforto devido à elevada temperatura externa da tarde. Neste período os índices variaram entre 0,6 e 3,0, determinando a sensação de muito quente segundo a escala de Fanger.

Os índices verificados para os dois dias mais quentes foram muito parecidos e portanto as velocidades dos ventos e as baixas velocidades do ar interno pouco interferiram nos resultados.

Para a época de temperaturas mais baixas também houve conforto térmico à noite e à madrugada, índices entre 0,55 e -0,3, que ocorreu entre as 24:00 horas do dia 11/03. À tarde ocorreu um pouco de desconforto no dia 11/03, com índices de PMV variando entre 0,8 e 1,5. No dia 14/03 os índices de PMV obtidos relataram conforto térmico para os moradores, valores entre 0,65 e 1,05.

6.2 Conforto térmico no clima de Brasília, DF

6.2.1 Dia com temperaturas mais elevadas com maiores índices de vento

O dia 27/09 apresentou índices de velocidade de vento que oscilaram entre 0,4 m/s, às 03:00 e 24:00 horas, e 7,7 m/s ocorrendo às 12:00 horas. Neste dia a velocidade média dos ventos foi de 3 m/s.

A figura 6.11 mostra as variações das velocidades dos ventos e os índices de PMV.

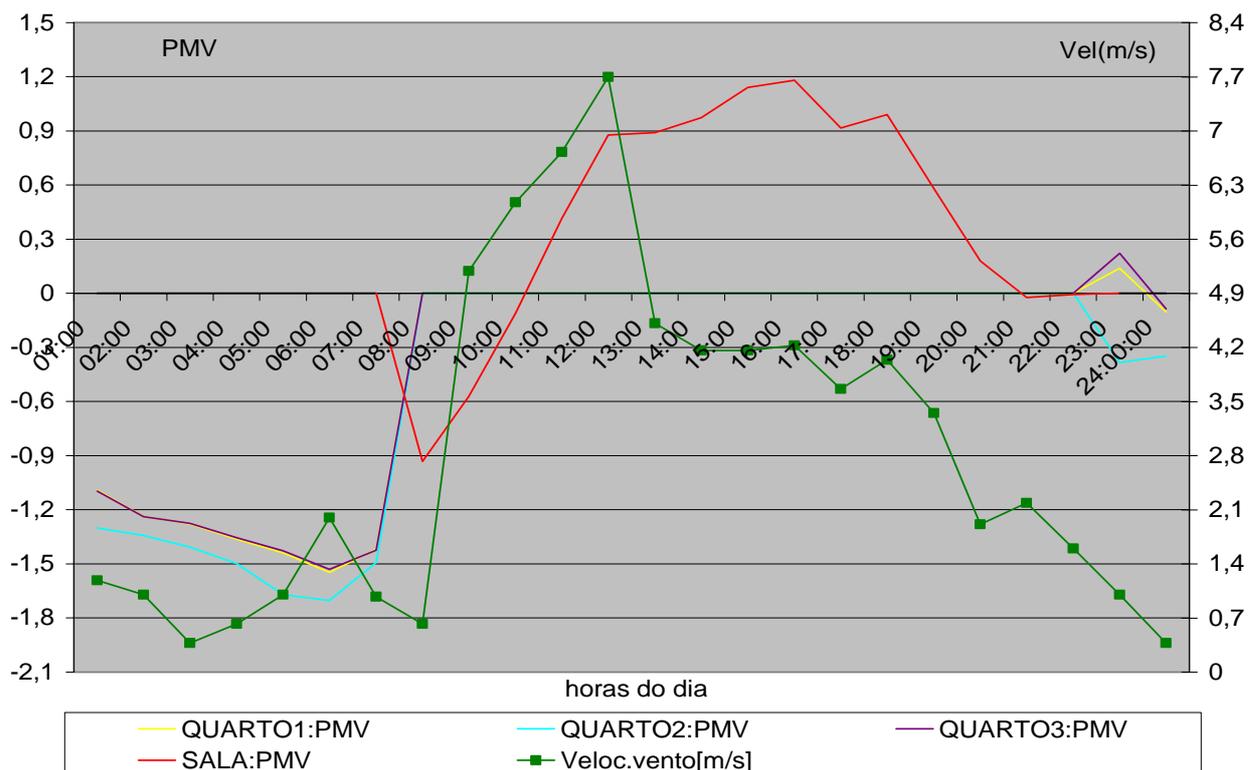


Figura 6.11. Variação do PMV e das velocidades dos ventos no dia 27/09 em Brasília.

As velocidades do ar interno calculadas foram baixas, nos quartos variando entre 0,0 m/s e 0,03 m/s enquanto que na sala oscilando entre 0,0 m/s e 0,1 m/s.

No gráfico que segue podem-se observar os índices de PMV e a oscilação da temperatura de bulbo seco externa.

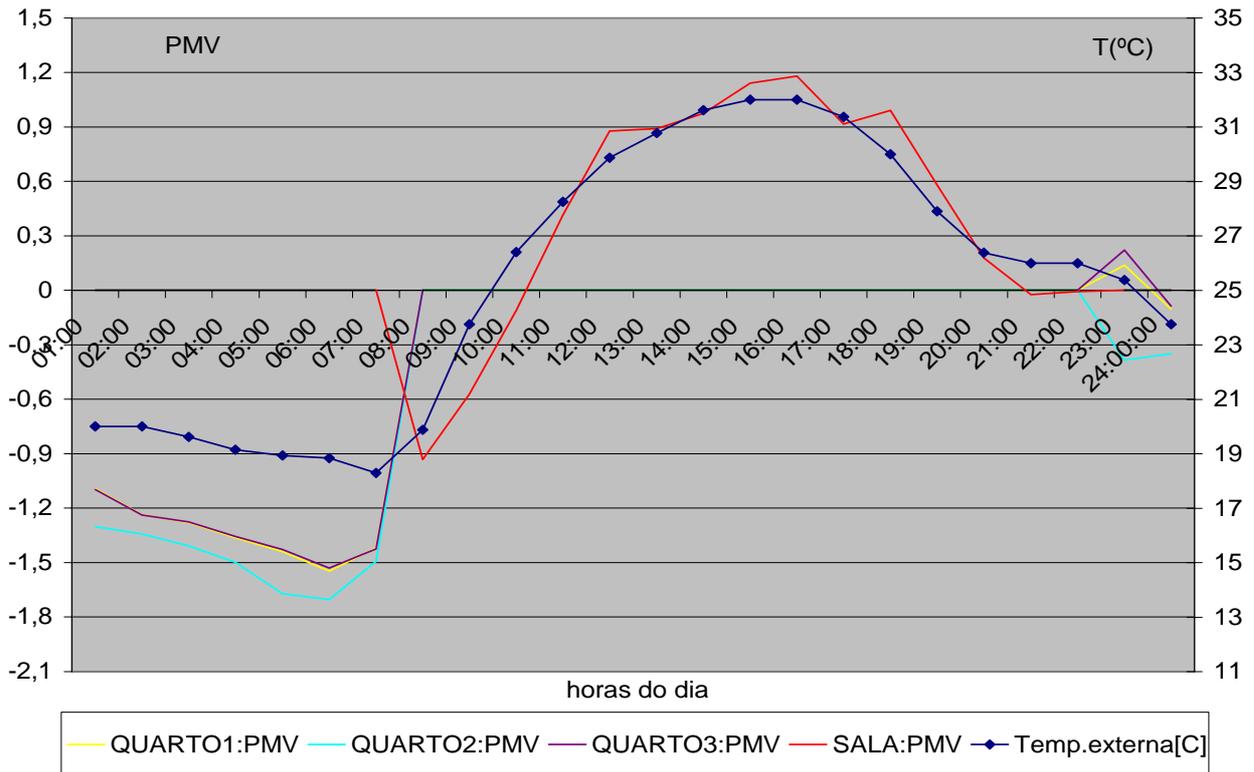


Figura 6.12. Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco externa no dia 27/09 em Brasília.

Na figura 6.12 têm-se os valores de PMV de todas as zonas estudadas e a temperatura de bulbo seco externa do dia 27/09. Neste dia a temperatura externa oscilou entre 18 e 32°C, com o pico ocorrendo às 15:00 e 16:00 horas. Pode-se observar também a alta variação de temperatura ao longo do dia, tendo uma madrugada relativamente fria e uma tarde quente.

Os índices de PMV obtidos indicam que as pessoas estão em desconforto devido ao frio durante a madrugada, em função principalmente das baixas temperaturas externas, em torno dos 18°C. Os valores para este período estão entre -1,0 e -1,7.

No início da manhã os ocupantes da residência estão quase no limite da zona de conforto com a zona de levemente frio, valores em torno de -0,9, e durante o período da tarde, sentem um pouco de calor, com índice máximo de 1,2.

A vestimenta usada pelas pessoas para o período em que permanecem na sala foi sempre a mesma, portanto nos horários de menores temperaturas os índices de PMV foram os mais baixos.

6.2.2 Dia com temperaturas mais elevadas com menores índices de vento

No dia 25/09 as velocidades dos ventos variaram entre 0,0 m/s e 4,1 m/s, ocorrida às 10:00 horas. Neste dia houve uma ausência de vento em diversos períodos, 06:00, 07:00, 08:00, 16:00, 22:00 e 23:00 horas fazendo com que a velocidade média dos ventos caísse para 1,6 m/s.

As velocidades do ar internas oscilaram entre 0,0 m/s e 0,07 m/s nos quartos e entre 0,0 m/s e 0,16 m/s na sala.

Calculadas e informadas para o programa de simulação as velocidades do ar determinou-se os índices de conforto térmico mostrados nas figuras 6.13 e 6.14:

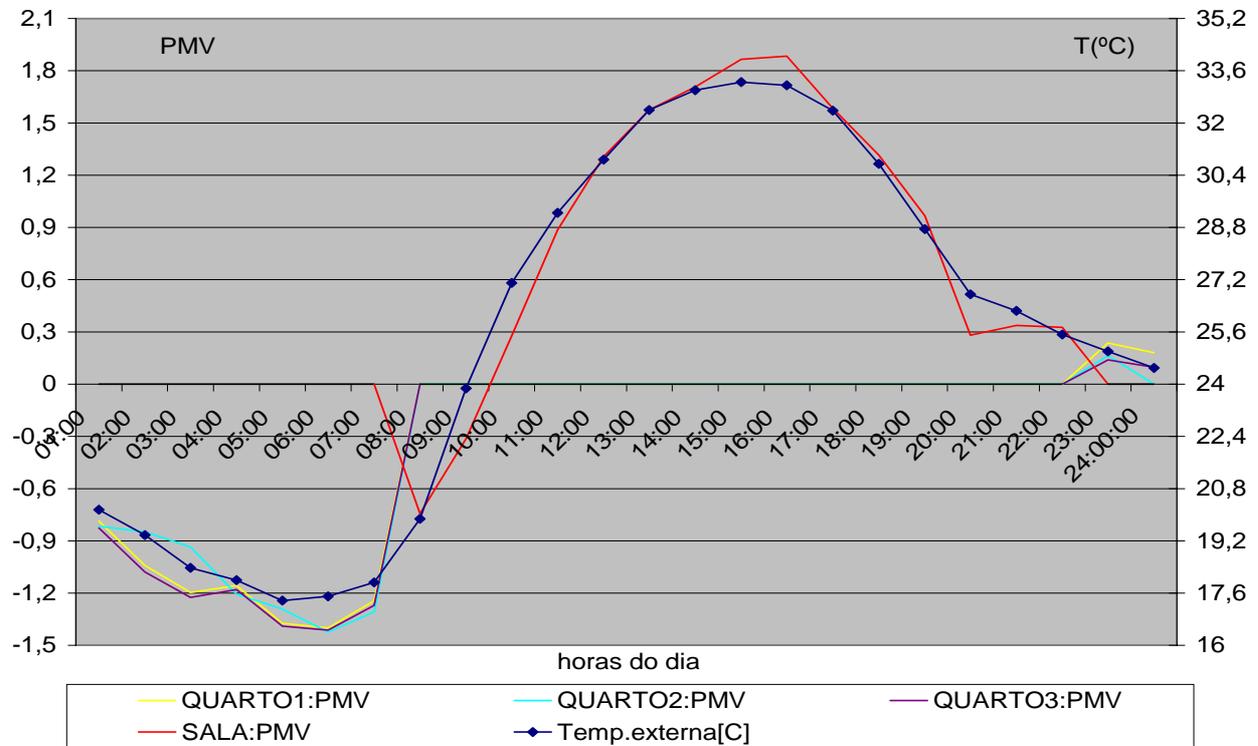


Figura 6.13. Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco externa no dia 25/09 em Brasília.

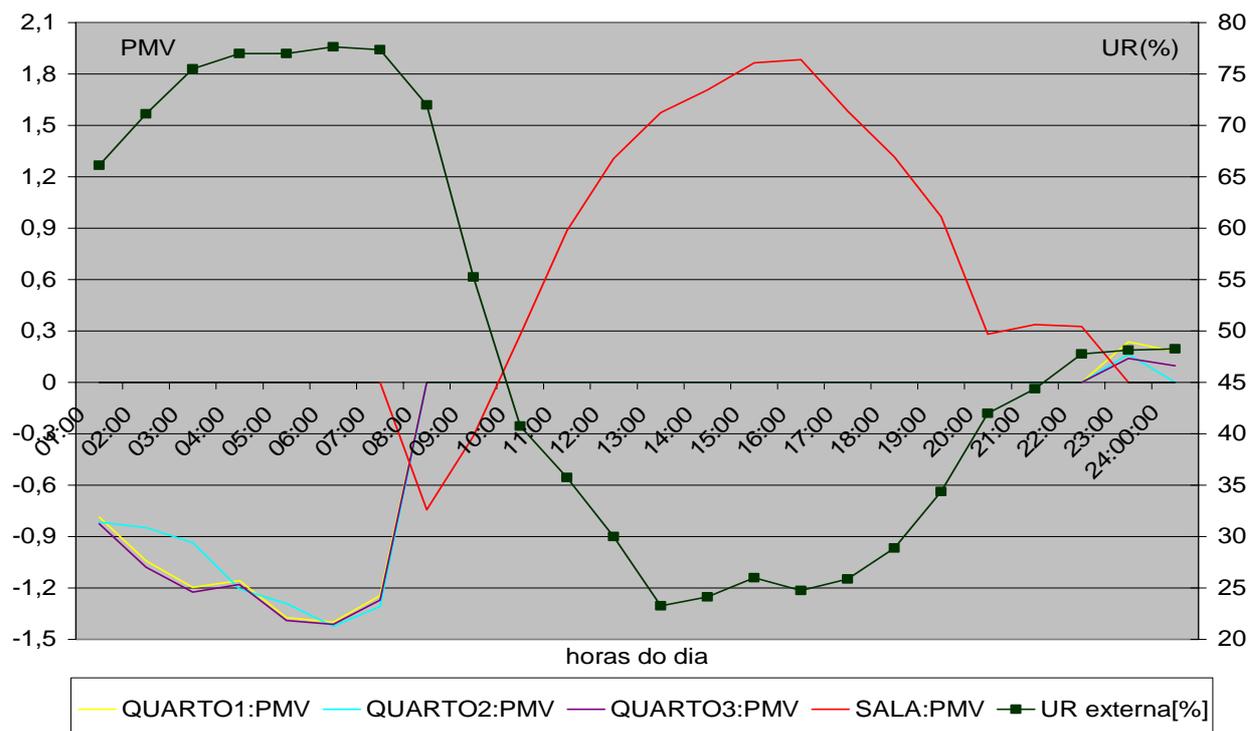


Figura 6.14. Variação do PMV e da umidade relativa externa no dia 25/09 em Brasília.

Observa-se na figura 6.13 uma oscilação de temperatura de bulbo seco externa entre 17,5 e 33,5°C. Neste dia há uma alta amplitude de temperaturas, em torno de 16°C, com uma madrugada de temperaturas baixas e uma tarde bastante quente.

Na figura 6.14 têm-se as variações de umidade relativa assim como os valores de PMV das zonas estudadas. Pode-se verificar que durante a madrugada a umidade é alta, entre 70 e 80%, e à tarde a umidade relativa é extremamente baixa, na ordem de 25%.

Os índices calculados para o conforto térmico demonstram que no período da madrugada, horário cujas temperaturas externas foram as mais baixas, em torno dos 18°C, as pessoas estão com um pouco de frio, com valores de PMV entre -0,8 e -1,4, caracterizando o desconforto.

No período em que as pessoas estão na sala permanecem em conforto térmico até as 12:00 horas. Entre este horário e as 19:00 horas sentem calor, com índices entre 1,2 e 1,9, após as 19:00 horas entram novamente na zona de conforto.

Comparando com o dia anteriormente estudado, os índices para o PMV da sala subiram, passando de 1,2 a 1,9. A razão para isso deve-se principalmente ao fato de que as velocidades do ar durante à tarde do dia 25/09 foram menores do que as do dia 27/09.

6.2.3 Dia com temperaturas mais baixas com maiores índices de vento

No dia 18/06 as velocidades dos ventos oscilaram entre 0,6 m/s e 8,2 m/s, com o pico acontecendo às 12:00 horas. A velocidade média dos ventos desse dia foi 3,7 m/s, estas velocidades podem ser vistas na figura 6.15.

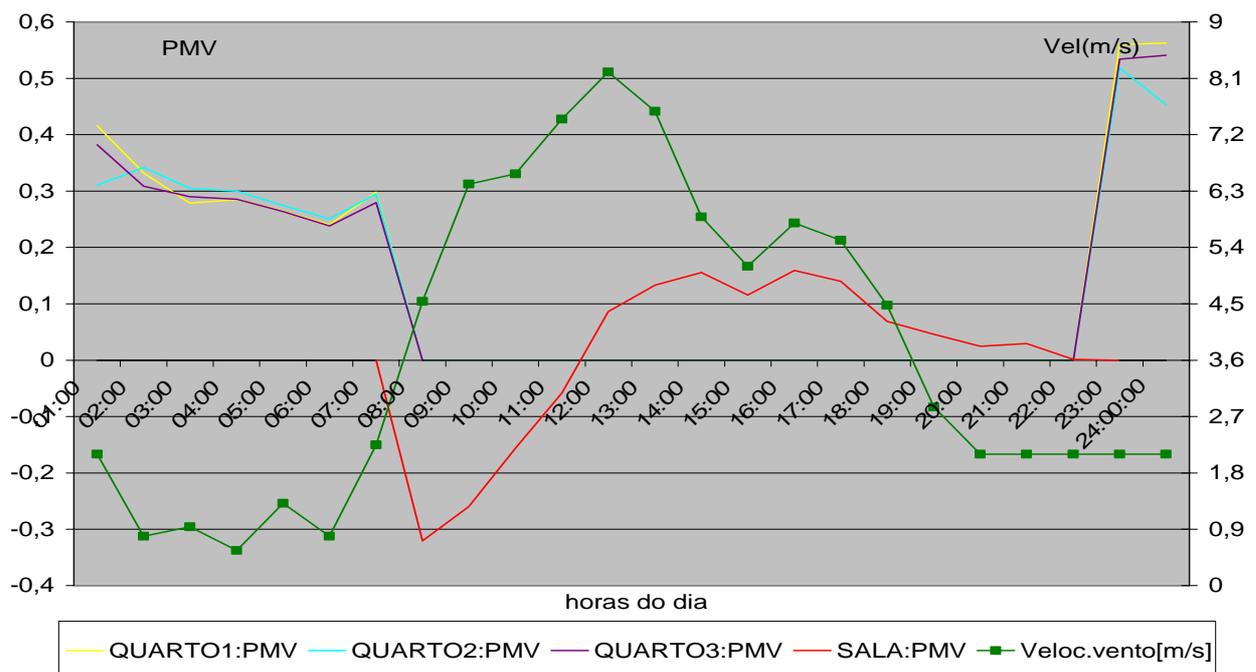


Figura 6.15. Variação do PMV e das velocidades dos ventos no dia 18/06 em Brasília.

A figura 6.16 mostra a variação de temperatura externa do dia 18/06, bem como os valores de PMV das zonas estudadas.

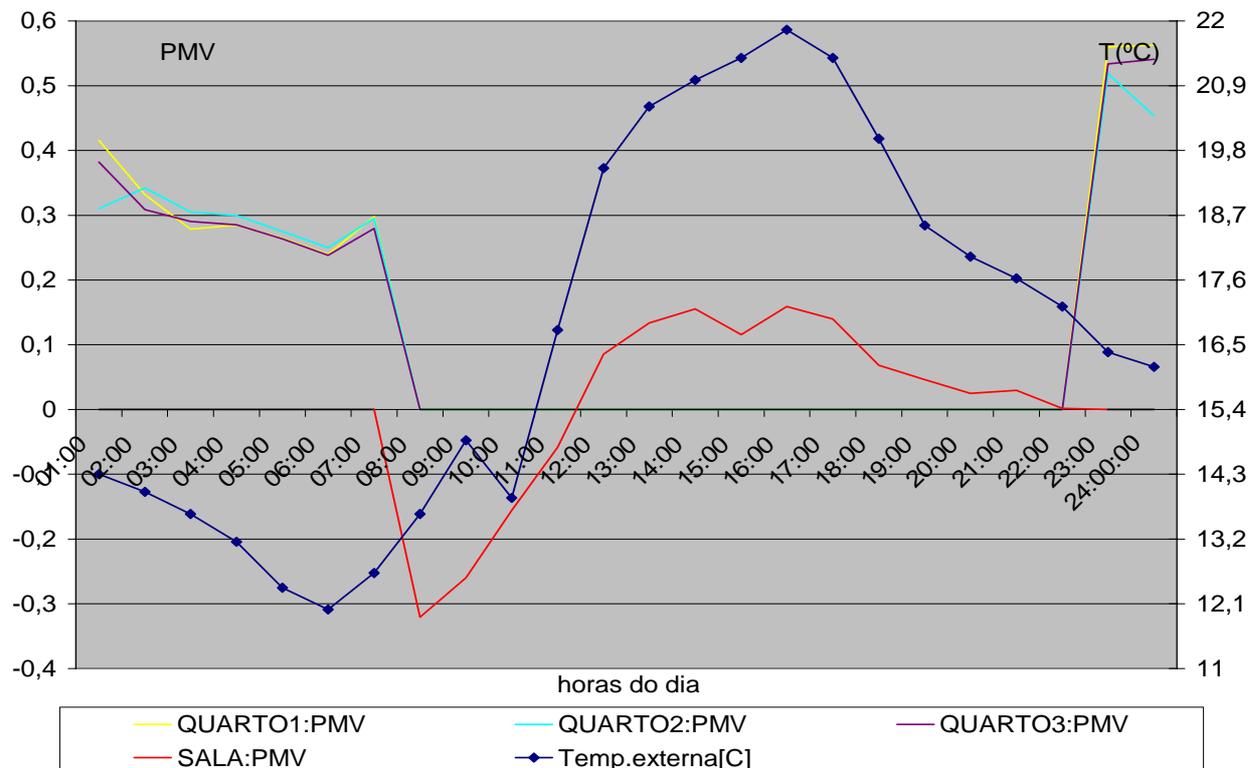


Figura 6.16. Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco no dia 18/06 em Brasília.

No gráfico 6.16, pode-se observar que neste dia a temperatura externa mínima foi de 12°C ocorrendo às 06:00 horas, enquanto que a temperatura máxima foi de 21,9°C às 16:00 horas. Nota-se, também, que neste dia não há uma variação de temperaturas tão grande como as que ocorreram nos dias mais quentes.

Para o dia 18/06 as velocidades do ar interno calculadas variaram entre 0,0 m/s e 0,03 m/s, nos quartos, e entre 0,0 m/s e 0,09 m/s, na sala.

Os índices de PMV obtidos determinam a ocorrência do conforto térmico durante todo o dia, no período em que os moradores estavam dormindo os valores oscilaram entre 0,2 e 0,6, e no período em que permaneceram na sala os índices variaram entre -0,4, no início da manhã, e 0,2 à tarde.

O pico negativo de PMV, -0,35, ocorreu no início da manhã pois as temperaturas externas eram baixas comparadas às da tarde, lembrando que durante todo esse período a vestimenta era a mesma. O pico positivo de PMV ocorreu nos horários das 23:00 e 24:00 horas pois as vestimentas utilizadas já possuíam um elevado clo e a temperatura externa ainda se mantinha alta comparando ao período da madrugada.

6.2.4 Dia com temperaturas mais baixas com menores índices de vento

O dia 14/06 apresentou velocidades dos ventos que oscilavam entre 0,0 e 6,2 m/s, com o pico ocorrendo no horário das 12:00 e 13:00 horas, e uma velocidade média de 2,6 m/s. Nesse dia houve um amplo período de ausência de ventos, da 01:00 às 07:00 horas e das 22:00 às 23:00 horas.

As velocidades do ar interno variaram nos quartos entre 0,0 m/s e 0,002 m/s e na sala entre 0,0 m/s e 0,14 m/s.

Utilizando essas velocidades calcularam-se, então, os índices de PMV, que são mostrados nas figuras 6.17 e 6.18.

Na figura 6.17 pode-se verificar que ocorreu uma variação de temperatura de bulbo seco externa entre 13,8°C, no horário das 06:00 horas, e 24,8°C, às 15:00 horas. No período da madrugada as temperaturas externas oscilaram em torno dos 14°C, enquanto que à tarde houve um aumento de temperatura chegando ao máximo valor. A amplitude de oscilação de temperaturas foi em torno de 11°C.

A figura 6.18 mostra a umidade relativa entre valores de 74% a 88% no período da madrugada e uma baixa umidade para o período da tarde com o mínimo valor, 43%, ocorrendo às 16:00 horas.

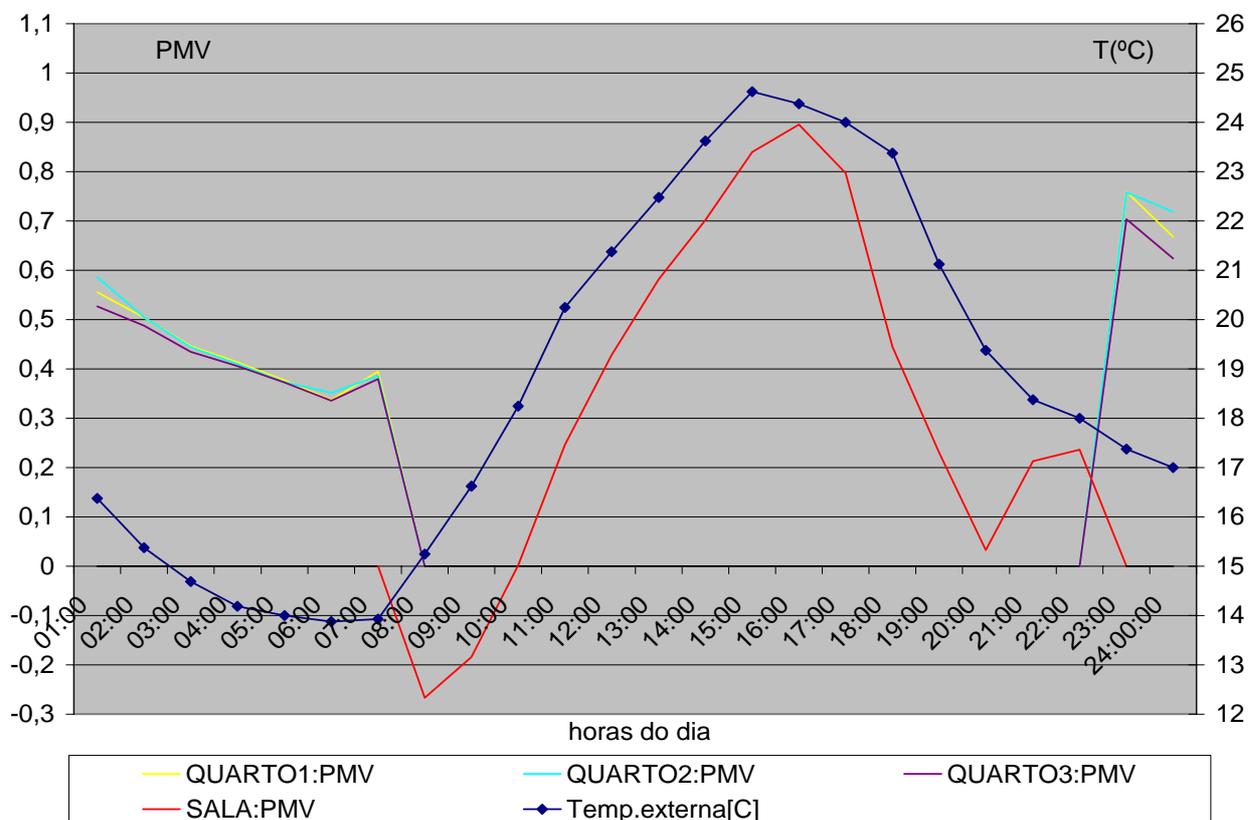


Figura 6.17. Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco externa no dia 14/06 em Brasília.

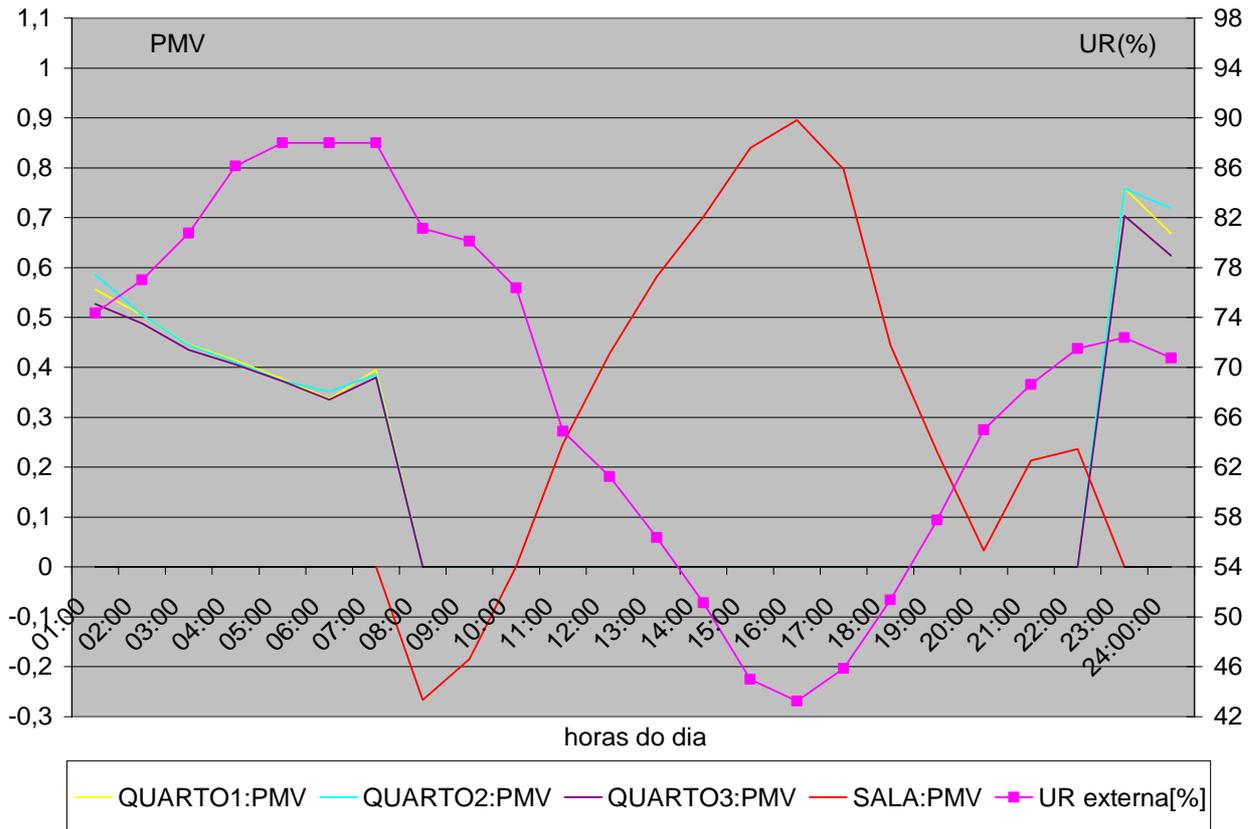


Figura 6.18. Variação do PMV e da umidade relativa externa no dia 14/06 em Brasília.

Observando os índices de conforto térmico obtidos, mostrados nas figuras 6.17 e 6.18, pode-se concluir que os moradores da residência permaneceram em conforto em todo o período desse dia. Durante os horários em que as pessoas estavam nos quartos os índices variaram entre 0,3 e 0,8 e nos momentos que estavam na sala os parâmetros de conforto oscilaram entre -0,3 e 0,9.

Em geral, para a cidade de Brasília, DF, os índices de PMV obtidos para a época de temperaturas mais baixas se mostraram bastante satisfatórios, oscilando entre 0,2 e 0,8 nos quartos e entre -0,4 e 0,9 na sala. Nos dias mais frios houve sempre um pico positivo de PMV nos horários das 23:00 e 24:00 horas pois nestes momentos a vestimenta utilizada já possuía um alto clo e as temperaturas externas ainda não eram tão baixas comparadas às que ocorreram durante a madrugada.

Para os dias de temperaturas mais altas os valores de PMV verificaram um desconforto térmico principalmente nos quartos enquanto as pessoas dormiam. Houve um pouco de frio durante a madrugada devido às baixas temperaturas externas. Os índices de PMV para estas zonas oscilaram entre -1,7 a -0,8.

Na sala verificou-se que as pessoas estavam em conforto térmico nos inícios das manhãs porém à tarde sentiram um pouco de calor, com os índices oscilando entre -0,9 a 1,9.

Devido à elevada variação de temperaturas externas, início das manhãs frio e tarde quente, os menores valores de PMV para a sala sempre ocorreram entre as 08:00 e as 10:00 horas para todos os dias estudados.

6.3 Conforto térmico no clima de Recife, PE

6.3.1 Dia com temperaturas mais elevadas com maiores índices de vento

O dia 07/03 apresentou uma variação de velocidades dos ventos dentro do intervalo contido entre 2,0 a 6,0 m/s, com o pico acontecendo às 02:00 horas; às 03:00 horas houve os ventos de menor velocidade. A velocidade média calculada, no valor de 4,0 m/s, deveu-se principalmente às intensidades dos ventos à tarde, com velocidades sempre oscilando entre 4,0 m/s e 6,0 m/s.

Neste dia, 07/03, as velocidades do ar interno nos quartos e na sala oscilaram respectivamente entre 0,0 m/s e 0,14 m/s e entre 0,0 m/s e 0,19 m/s.

No gráfico 6.19 são mostrados os resultados de PMV e da variação das velocidades dos ventos desse dia.

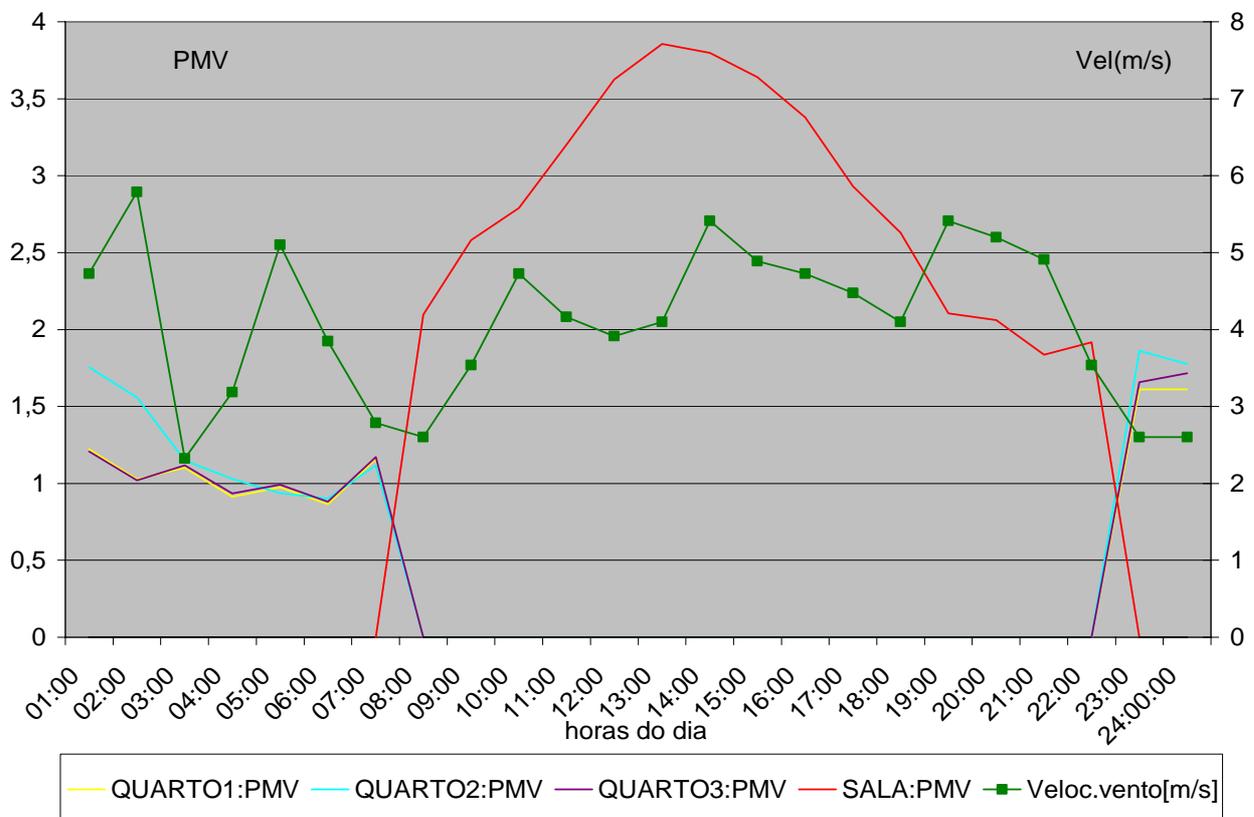


Figura 6.19. Variação do PMV e da velocidade do vento no dia 07/03 em Recife.

Na figura 6.20 têm-se os valores de PMV e de temperatura externa do dia 07/03.

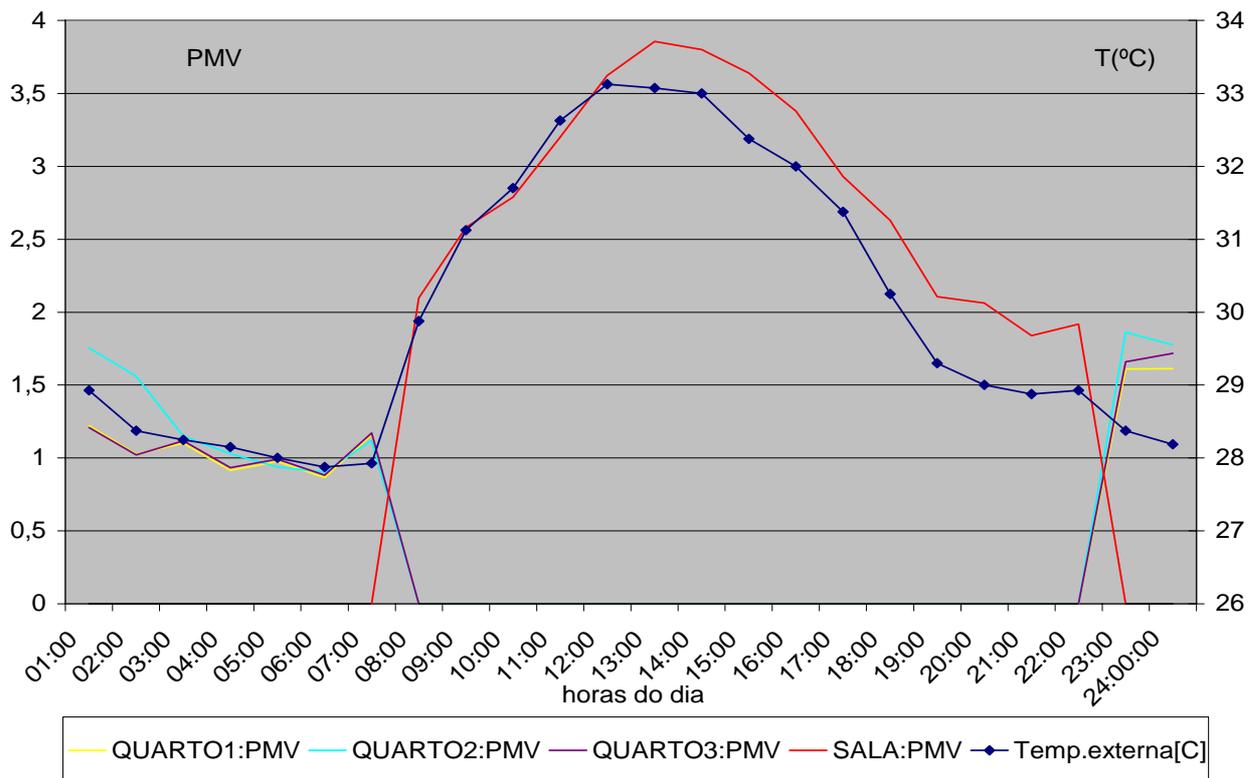


Figura 6.20. Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco no dia 07/03 em Recife.

Na figura 6.20 verifica-se que a temperatura externa oscilou entre 27,8 e 33,2°C, com o maior valor ocorrendo às 12:00 horas. Nota-se também que o dia 07/03 apresentou pequenas variações de temperatura, sendo um dia bastante quente com madrugada de temperaturas em torno dos 28°C e durante boa parte do dia com valores superiores a 31°C.

Através dos resultados de PMV, mostrados nos gráficos 6.19 e 6.20, pode-se concluir que no momento em que as pessoas estavam nos quartos elas sentiram um pouco de calor com índices entre 0,9 e 1,8. E no período da tarde sentiram bastante calor, estando em desconforto com índices próximos à +4.

6.3.2 Dia com temperaturas mais elevadas com menores índices de vento

No dia 09/03 os ventos oscilaram entre 0,0 e 6,2 m/s com este pico acontecendo às 15:00 e 16:00 horas. Neste dia existiu um grande intervalo sem ventos da 01:00 às 06:00 horas, também não houve vento às 20:00 e 24:00 horas, com isso a velocidade média dos ventos caiu para 2,8 m/s.

As velocidades do ar calculadas variaram entre 0,0 m/s e 0,1 m/s nos quartos e entre 0,0 m/s e 0,16 m/s na sala.

Nas figuras 6.21 e 6.22 pode-se ver os resultados de PMV para o dia 09/03.

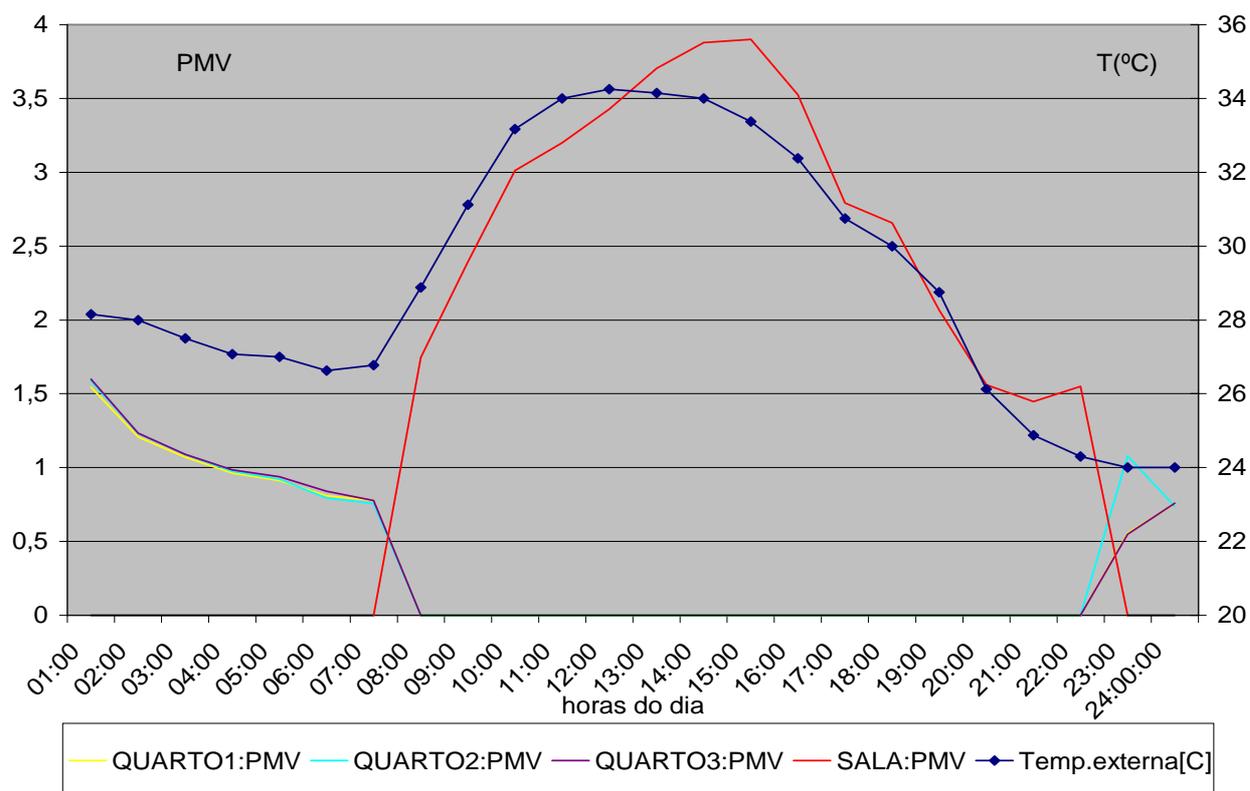


Figura 6.21. Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco externa no dia 09/03 em Recife.

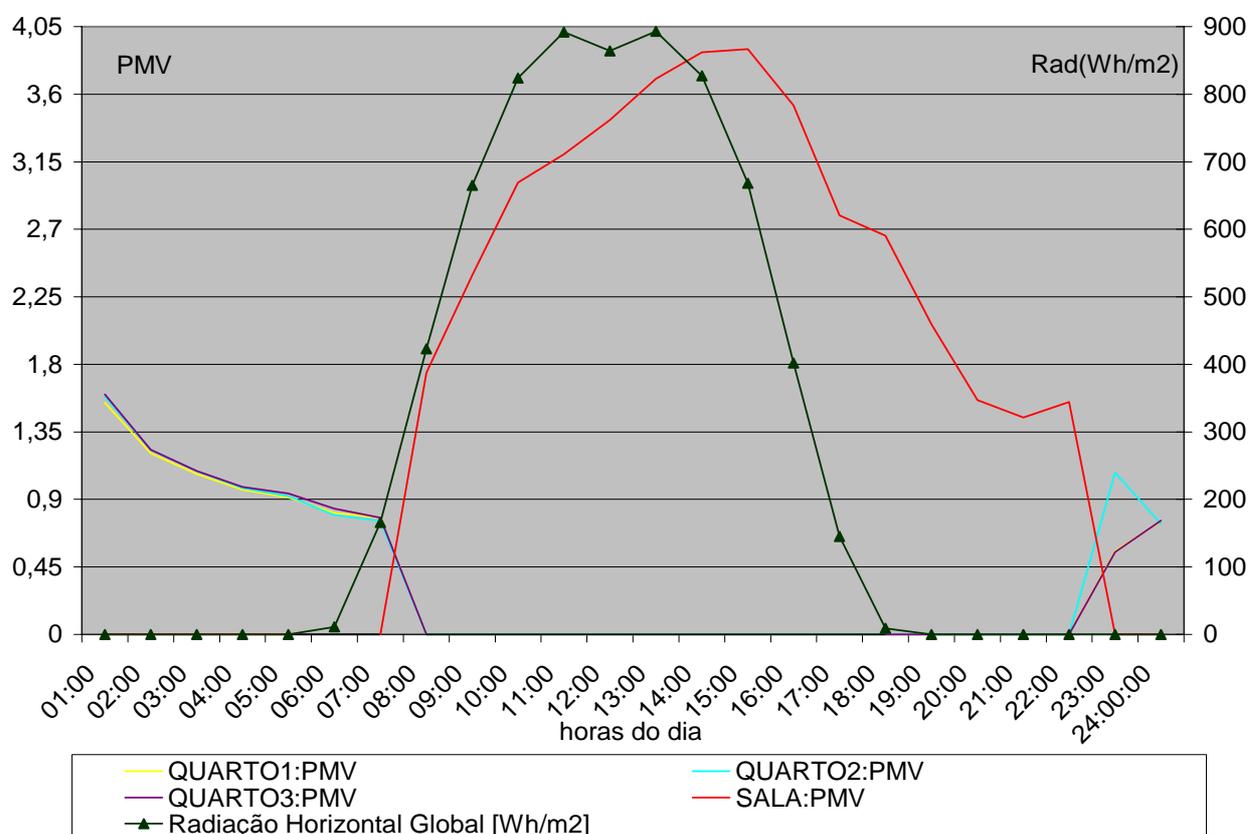


Figura 6.22. Variação do PMV e da radiação horizontal global no dia 09/03 em Recife.

Na figura 6.21 observa-se a variação de temperatura externa ocorrendo entre 24°C, às 23:00 e 24:00 horas, e 34,4°C, às 12:00 horas. Neste dia as temperaturas da manhã e da tarde foram superiores a 30°C e na madrugada foram em torno dos 27,5°C, o que caracteriza um dia quente.

O gráfico 6.22 mostra os índices de PMV e a variação da radiação horizontal global deste dia estudado. O pico de radiação horizontal global ocorreu em dois momentos, às 11:00 e às 13:00 horas, com o valor próximo dos 900 Wh/m². Neste dia essa radiação solar foi, entre as 09:00 e as 15:00, sempre superior à 650 Wh/m² caracterizando, portanto, um dia bastante ensolarado.

Os resultados obtidos para o Voto Médio Previsto, vistos nas figuras 6.21 e 6.22, indicaram uma sensação de levemente quente no período em que as pessoas estavam nos quartos com índices oscilando entre 0,5 e 1,8, e, nos horários em que os moradores permaneceram na sala, os valores de PMV obtidos quase atingiram, em seu ponto de máxima grandeza, o índice de +4, representando a sensação de “muito quente”, segundo Fanger, 1970.

A sensação de calor verificada durante o dia 09/03 deveu-se principalmente a elevadas temperaturas externas, sempre acima dos 30°C das 08:00 às 18:00 horas, associadas com uma alta umidade relativa externa, em torno de 60%, e uma alta radiação horizontal global, influente direta da temperatura média radiante.

6.3.3 Dia com temperaturas mais baixas com maiores índices de vento

Para o dia 01/08 as velocidades do ar interno calculadas oscilaram entre 0,0 m/s e 0,16 m/s nos quartos e entre 0,0 m/s e 0,17 m/s na sala.

Em relação às velocidades dos ventos, estas variaram de 0,0 à 6,1 m/s, que ocorreu às 11:00 horas. Neste dia não houve ventos à 01:00 hora e a velocidade média diária dos ventos foi de 3,6 m/s.

Nas figuras 6.23 e 6.24 são mostrados, respectivamente, os valores de PMV em função das velocidades dos ventos, e as variações dos índices de conforto térmico e da temperatura de bulbo seco externa para esse dia estudado.

Pode-se notar por meio do gráfico 6.24, que no dia 01/08 houve uma pequeníssima variação de temperatura de bulbo seco externa, com a madrugada possuindo temperaturas praticamente estabilizadas com valores próximos a 22,6°C e à tarde com valores em torno dos 24°C. A temperatura máxima deste dia, 24,7°C, aconteceu às 13:00 horas.

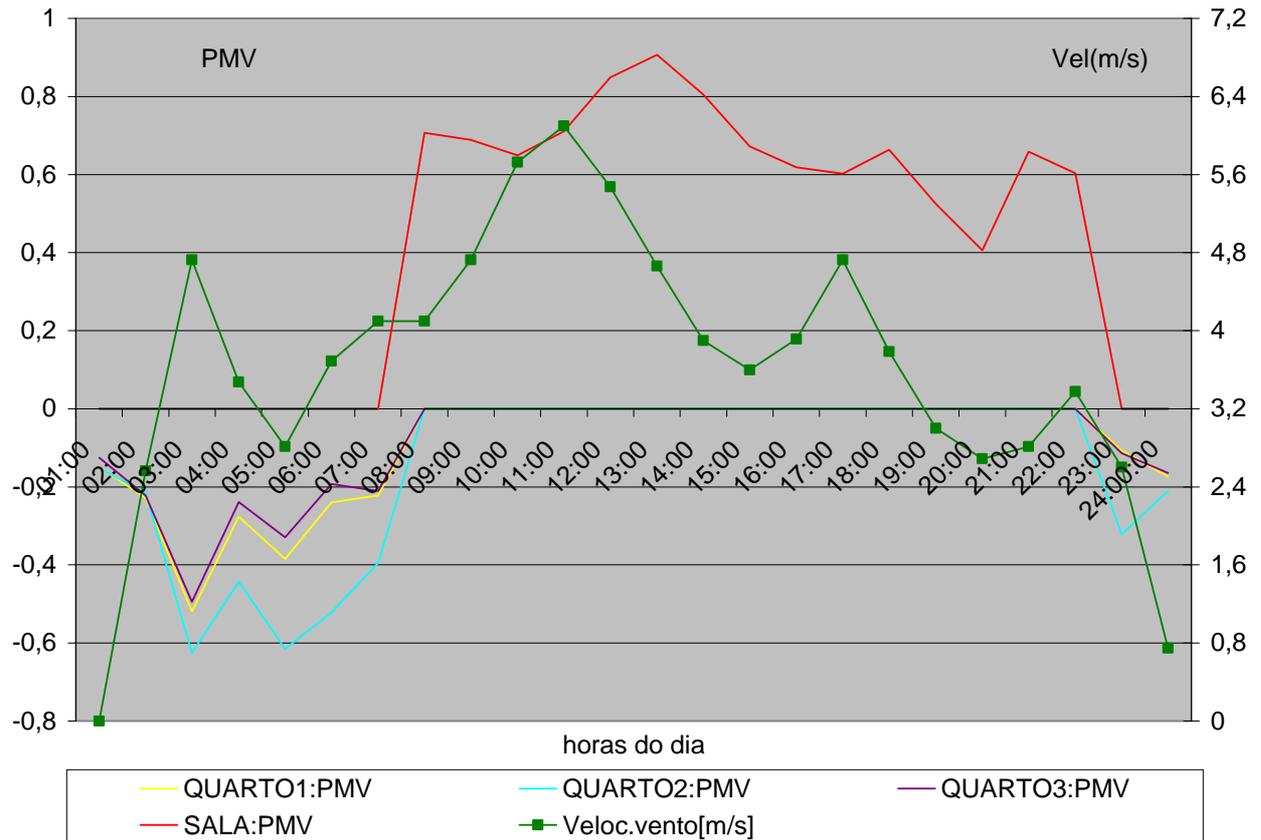


Figura 6.23. Variação do PMV e da velocidade dos ventos no dia 01/08 em Recife.

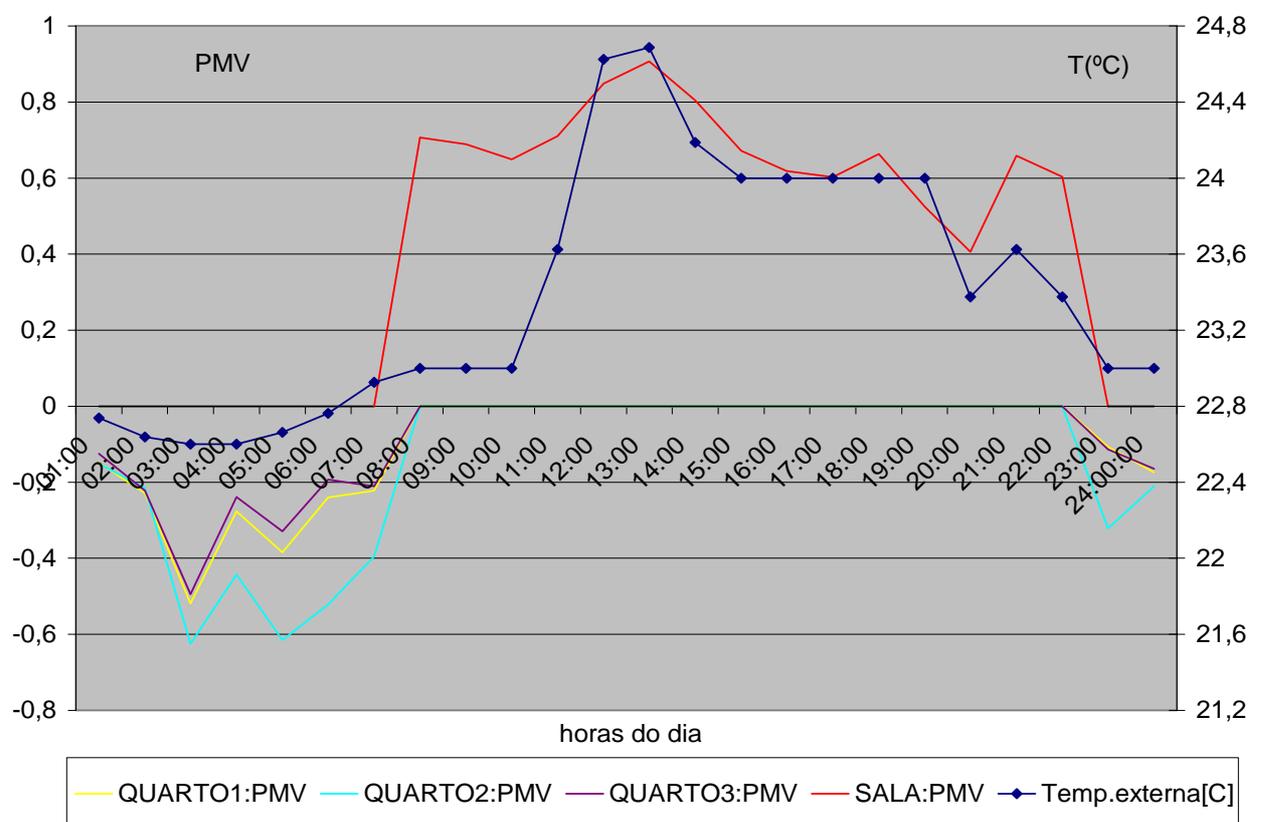


Figura 6.24. Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco externa no dia 01/08 em Recife.

Observando os índices de PMV resultantes pode-se concluir que os moradores da casa permaneceram em todos os momentos em conforto térmico, durante a madrugada e noite com índices entre -0,7 e -0,1 e à tarde com valores entre 0,4 e 0,9.

Os menores valores durante a madrugada foram devido à combinação de menores temperaturas externas com a vestimenta utilizada e, para melhorar essa condição pode-se aumentar a resistência térmica das vestimentas.

6.3.4 Dia com temperaturas mais baixas com menores índices de vento

O dia 29/07 apresentou variações de velocidades dos ventos entre 0,0 e 2,5 m/s que ocorreu às 07:00 e às 08:00 horas. Neste dia quase não houve ventos, existiram intervalos muito grandes com a ausência destes: 01:00 às 06:00 horas, 09:00 às 14:00 horas, 16:00 às 19:00 horas e 21:00 às 24:00 horas, em virtude disso a velocidade média diária dos ventos foi bastante baixa igual a 0,3 m/s.

As velocidades do ar oscilaram entre 0,0 m/s e 0,001 m/s nos quartos e 0,0 m/s e 0,08 m/s na sala. Com as velocidades calculadas foram determinados os índices de PMV observados nas figuras 6.25 e 6.26:

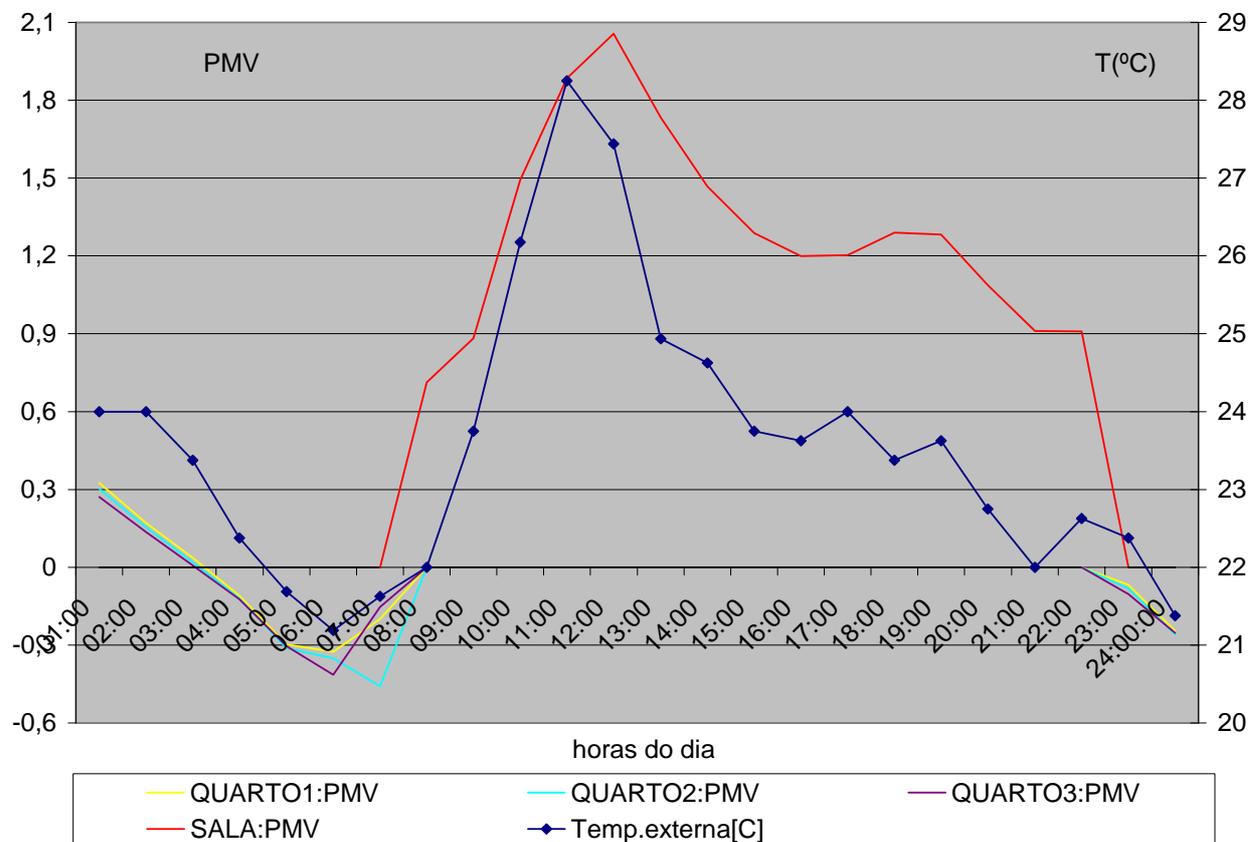


Figura 6.25. Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco externa no dia 29/07 em Recife.

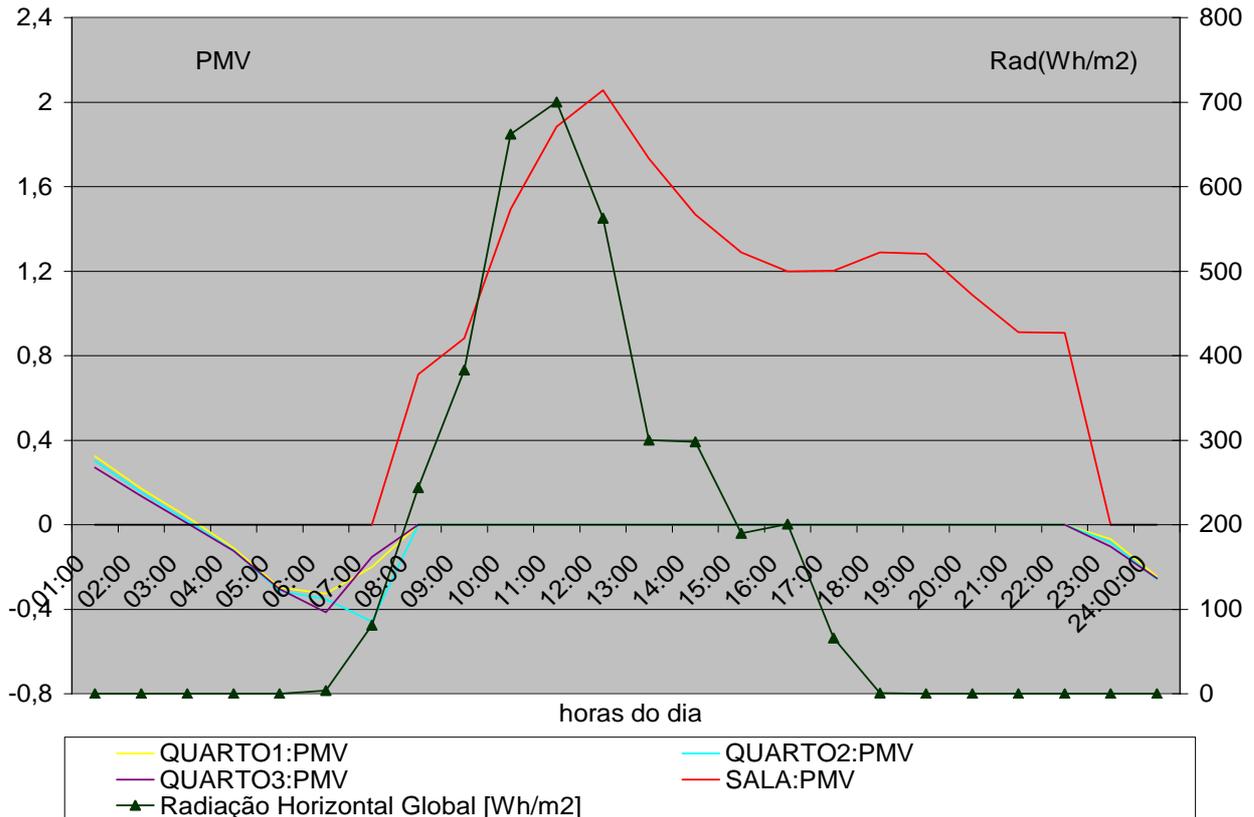


Figura 6.26. Variação do PMV e da radiação horizontal global no dia 29/07 em Recife.

Na figura 6.25 pode-se notar que as temperaturas de bulbo seco externas oscilaram entre 21 e 28,5°C, com o pico ocorrendo às 11:00 horas. Neste dia a variação das temperaturas foi pequena, assim como ocorreu no dia anteriormente estudado.

Conforme a figura 6.26, que mostra os índices de PMV e a variação da radiação solar horizontal global, o máximo valor de radiação, 700 Wh/m², aconteceu às 11:00 horas e somente entre as 09:00 e às 13:00 horas a radiação solar horizontal global foi acima dos 300 Wh/m².

Os resultados obtidos para o PMV, vistos nas figuras 6.25 e 6.26, demonstram que as pessoas permaneceram em conforto térmico por quase todo o dia. No período das 10:00 às 20:00 horas os moradores da residência sentiram calor, com os índices de PMV oscilando entre de 1,2 e 2,1.

Comparando esse dia com 01/08, os valores de PMV para a tarde foram superiores em virtude principalmente à menor velocidade do ar interno e à maior temperatura externa.

Em geral, para a cidade de Recife, PE, os resultados obtidos para o PMV no período de temperaturas mais altas mostraram que as pessoas estavam com sensação de levemente quente durante os horários em que estavam nos quartos, 22:00 às 07:00 horas, e ficaram em desconforto principalmente à tarde, pois foi o período em que a temperatura externa foi a mais alta e a radiação solar também estava alta.

Nos dias de temperaturas mais amenas os valores de PMV confirmaram a ocorrência de conforto térmico em todos os horários do dia 01/08. Saiu-se da condição de conforto durante a tarde do dia 29/07, com as pessoas sentindo calor.

6.4 Conforto térmico no clima de São Paulo, SP

6.4.1 Dia com temperaturas mais elevadas com maiores índices de vento

No dia 25/01 ocorreram ventos cujas velocidades oscilaram entre 0,0 m/s e 4,2 m/s, com o de maior intensidade acontecendo às 24:00 horas. Neste dia houve ausência de ventos nos horários das 04:00 e 05:00 horas, com isso a velocidade média diária dos ventos calculada foi de 2,6 m/s.

Em relação à velocidade do ar, esta foi calculada e obteu-se as seguintes variações: nos quartos entre 0,0 m/s e 0,016 m/s e na sala entre 0,0 m/s e 0,14 m/s.

Nas figuras 6.27 e 6.28 podem-se ver, respectivamente, os índices de conforto térmico, através dos resultados de PMV, e a variação das velocidades dos ventos deste dia estudado e, os valores de PMV em função das variações das temperaturas externas.

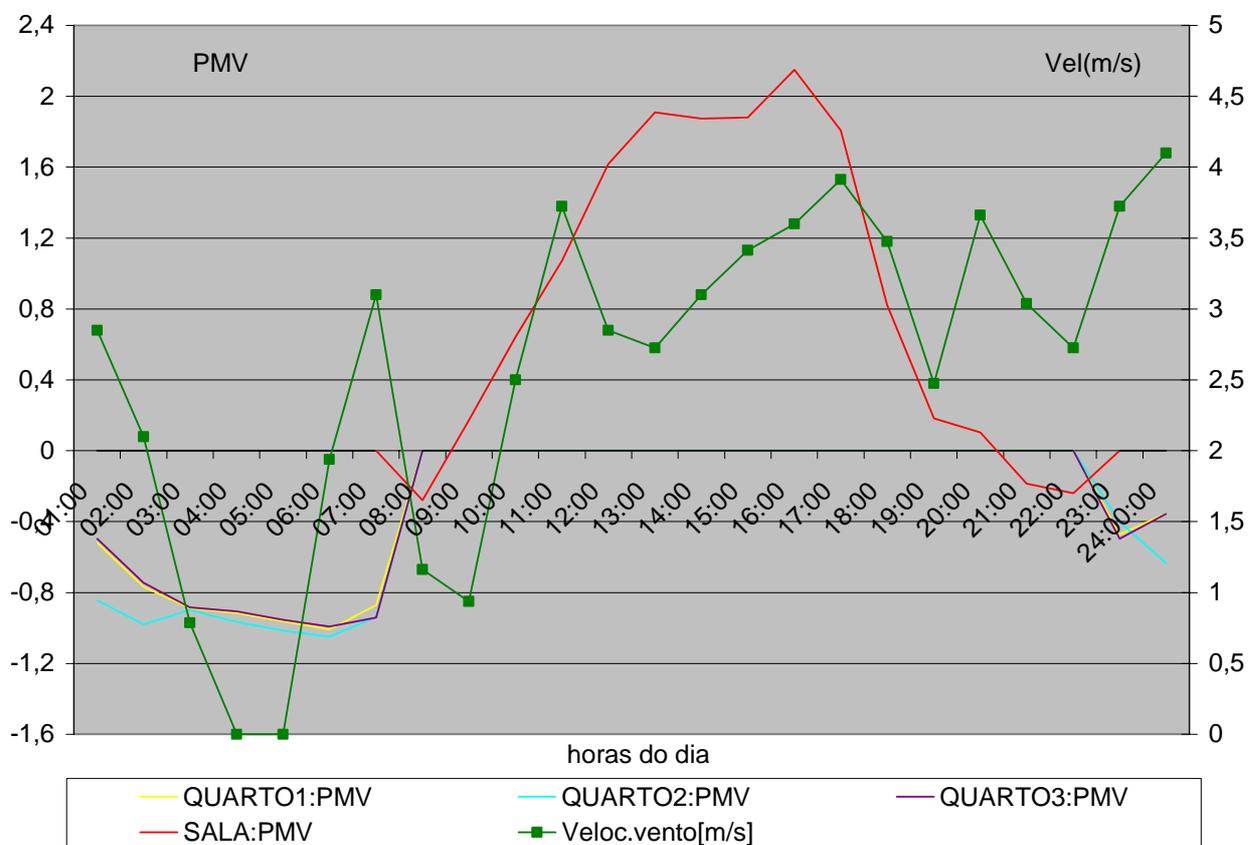


Figura 6.27. Variação do PMV e da velocidade dos ventos no dia 25/01 em São Paulo.

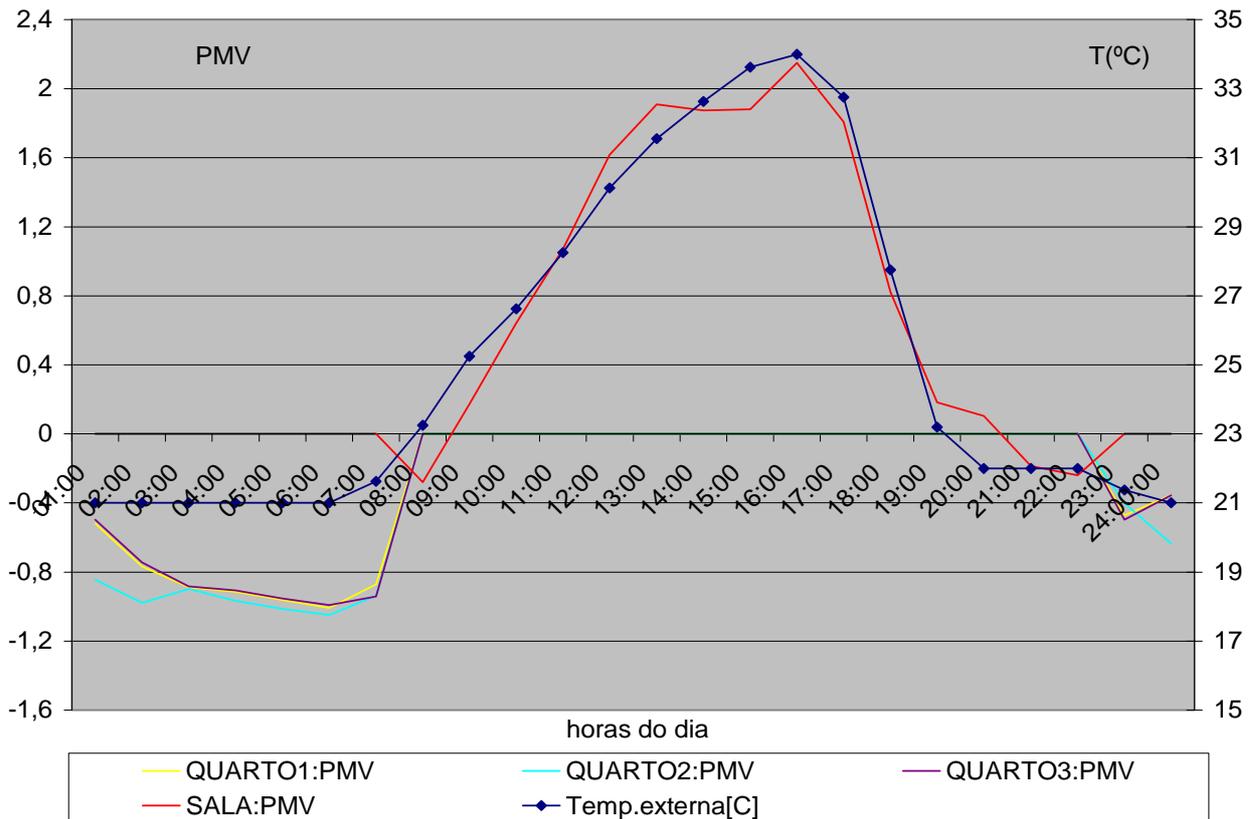


Figura 6.28. Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco no dia 25/01 em São Paulo.

Observando a figura 6.28 constata-se que a temperatura externa oscilou entre 21 e 34°C, com este pico ocorrendo às 16:00 horas. Durante a madrugada e à noite a temperatura estabilizou em torno dos 21°C, enquanto que à tarde ela foi superior a 30°C, caracterizando um dia bastante quente.

Analisando os resultados obtidos para o PMV das zonas estudadas conclui-se que os moradores da casa, no período da tarde, estão com calor, com índices entre 1 e 2,1. Nos quartos, durante a madrugada, as pessoas estão sentindo um pouco de frio com índices entre -0,4 e -1,1, e estes valores são devidos principalmente às baixas temperaturas externas, 21°C, associada à vestimenta utilizada.

6.4.2 Dia com temperaturas mais elevadas com menores índices de vento

A velocidade do ar interno calculada para o dia 31/01 obteve valores que variaram entre 0,0 m/s e 0,002 m/s nos quartos e entre 0,0 m/s e 0,09 m/s na sala. Neste dia as velocidades dos ventos oscilaram entre 0,0 e 2,1 m/s sendo um dia de pouquíssimos ventos, com intervalos sem ventos ocorrendo da 01:00 às 07:00, das 12:00 às 19:00 e das 21:00 às 24:00 horas, e em função desses períodos a velocidade média diária dos ventos caiu para 0,3 m/s.

As figuras 6.29 e 6.30 mostram os índices de PMV para o dia 31/01.

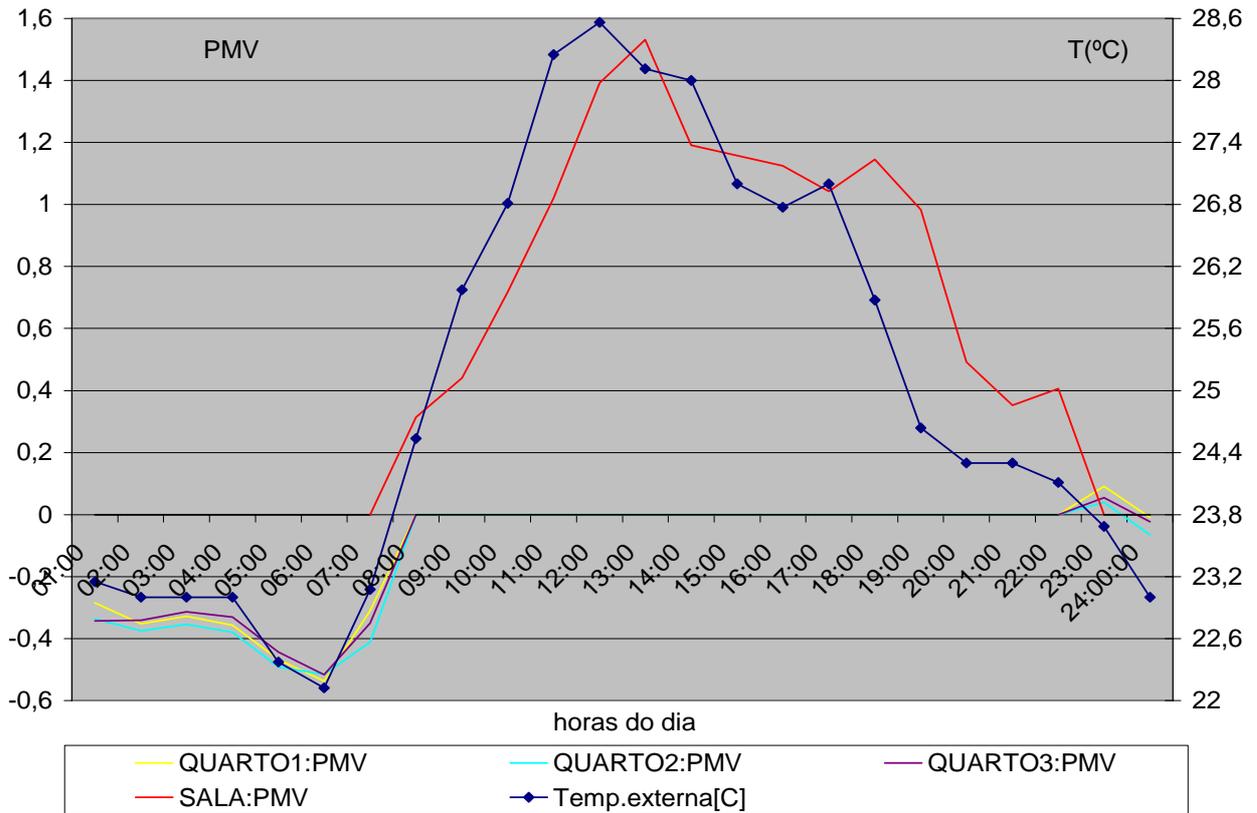


Figura 6.29. Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco no dia 31/01 em São Paulo.

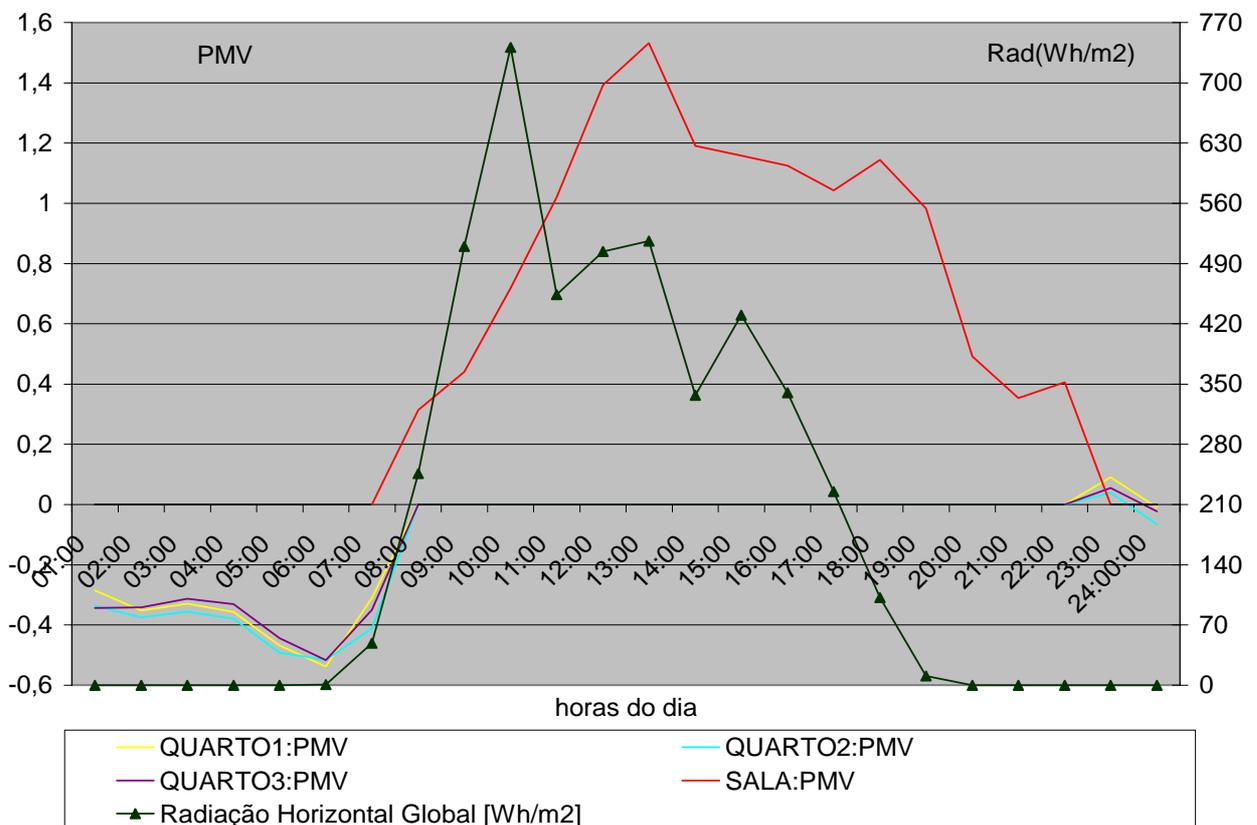


Figura 6.30. Variação do PMV e da radiação horizontal global no dia 31/01 em São Paulo.

Na figura 6.29, pode-se notar que no dia 31/01 há uma pequena variação de temperatura externa, entre 22 e 28,6°C, com a máxima ocorrendo às 12:00 horas. Durante a madrugada a temperatura praticamente estabilizou em 23°C e à tarde oscilou entre 26 e 29°C.

O gráfico 6.30 mostra os índices de PMV e a radiação solar horizontal global desse dia estudado. Nota-se que o pico de radiação ocorreu às 10:00 horas com o valor de 750 Wh/m² e, entre as 09:00 e 13:00 horas, a radiação foi acima dos 450 Wh/m².

Os resultados de PMV mostraram que as pessoas permaneceram em conforto térmico no período em que estavam nos quartos, com índices entre -0,5 e 0,1. E nos horários em que permaneceram na sala, os valores de PMV indicaram que principalmente durante à tarde os moradores sentiram a sensação de um ambiente levemente quente, com índices entre 1,0 e 1,5.

6.4.3 Dia com temperaturas mais baixas com maiores índices de vento

Durante o dia 30/07 as velocidades dos ventos incidentes na casa oscilaram entre 0,9 m/s e 5,7 m/s, com esse valor ocorrendo durante as 17:00 e 22:00 horas. A velocidade média dos ventos neste dia foi de 4,3 m/s.

Quanto às velocidades do ar interno, elas variaram entre 0,0 m/s e 0,006 m/s nos quartos e entre 0,0 m/s e 0,09 m/s na sala.

Nas figuras 6.31 e 6.32 têm-se os valores obtidos para o PMV para o dia 30/07.

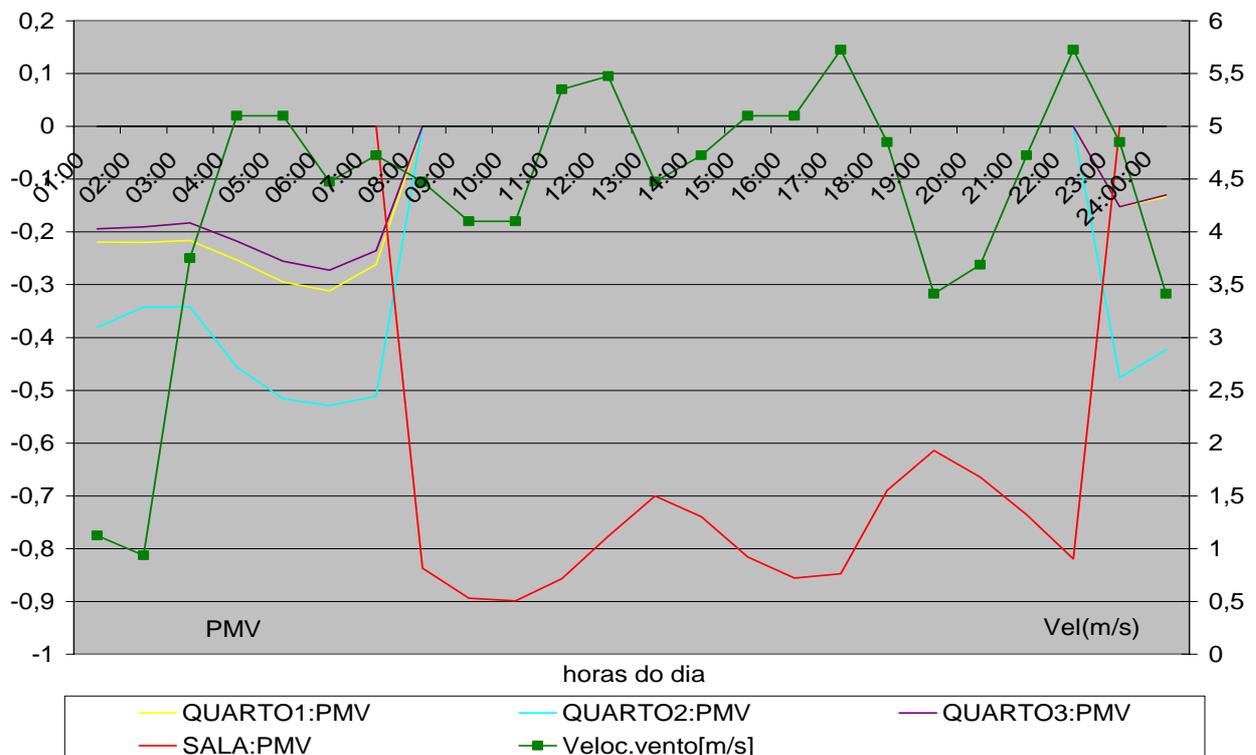


Figura 6.31. Variação do PMV e da velocidade dos ventos no dia 30/07 em São Paulo.

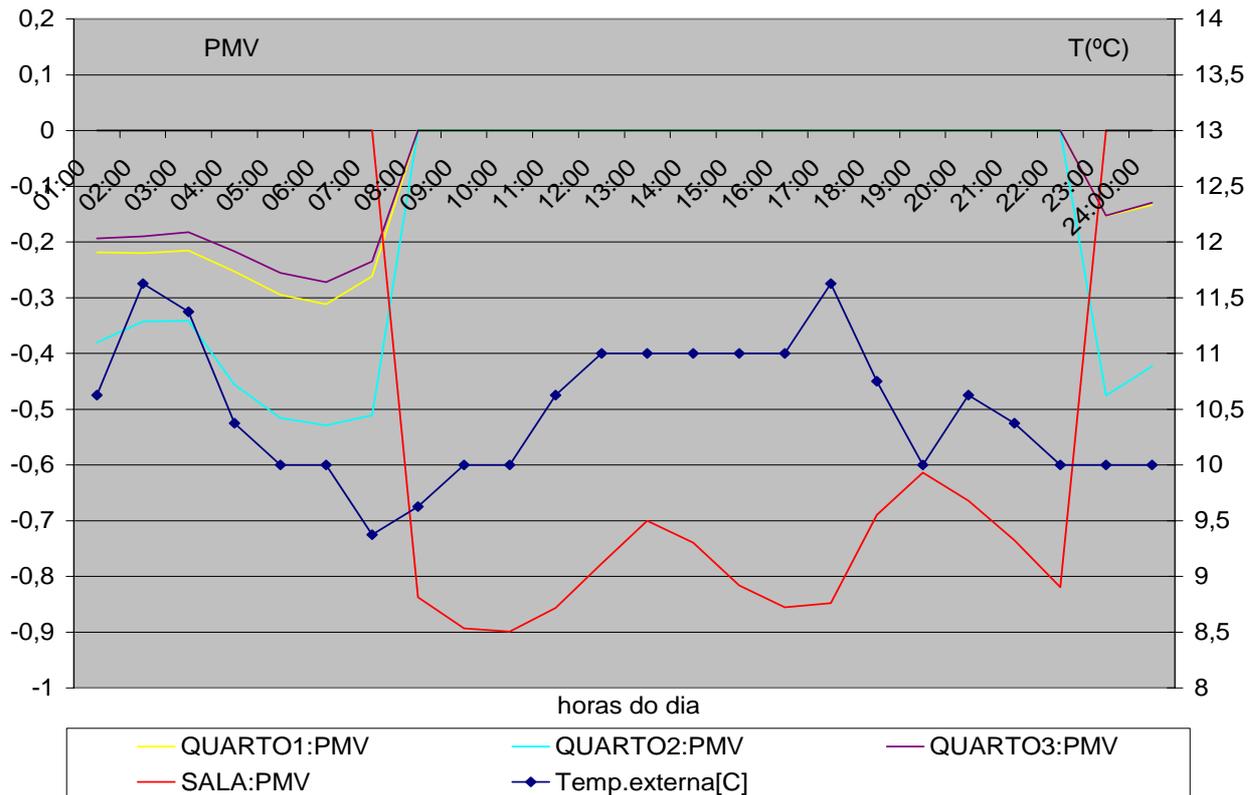


Figura 6.32. Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco no dia 30/07 em São Paulo.

O gráfico 6.32 mostra que o dia 30/07 foi bastante frio, com temperatura externa entre 9,4°C, às 07:00 horas e 11,7°C, às 17:00 horas. Neste dia a variação de temperatura foi muito pequena, com uma tarde fria de temperaturas em torno dos 11°C e uma noite com temperaturas também baixas próximas de 10°C.

Os resultados de PMV, vistos nas figuras 6.31 e 6.32, relatam que as pessoas, no período que estão na sala, ainda permanecem na faixa do conforto térmico, porém muito próximas da zona de levemente frio, com índices entre -0,9 e -0,6. Nos quartos os valores de PMV indicam o conforto térmico dos moradores, com resultados entre -0,55 e -0,15.

Os índices baixos obtidos para a sala são consequência, principalmente, da baixíssima temperatura externa verificada neste dia.

6.4.4 Dia com temperaturas mais baixas com menores índices de vento

O dia 01/08 foi caracterizado, principalmente, pelos grandes intervalos sem ventos. Durante os períodos da 01:00 às 04:00, das 11:00 às 12:00 e das 16:00 às 24:00 horas não houve ventos, fazendo com que a velocidade média dos ventos neste dia fosse de 1,0 m/s.

Em relação às velocidades do ar, estas foram também muito baixas oscilando nos quartos entre 0,0 m/s e 0,0027 m/s e na sala entre 0,0 m/s e 0,0039 m/s.

Nas figuras 6.33 e 6.34 vê-se os valores para PMV das zonas estudadas no dia 01/08.

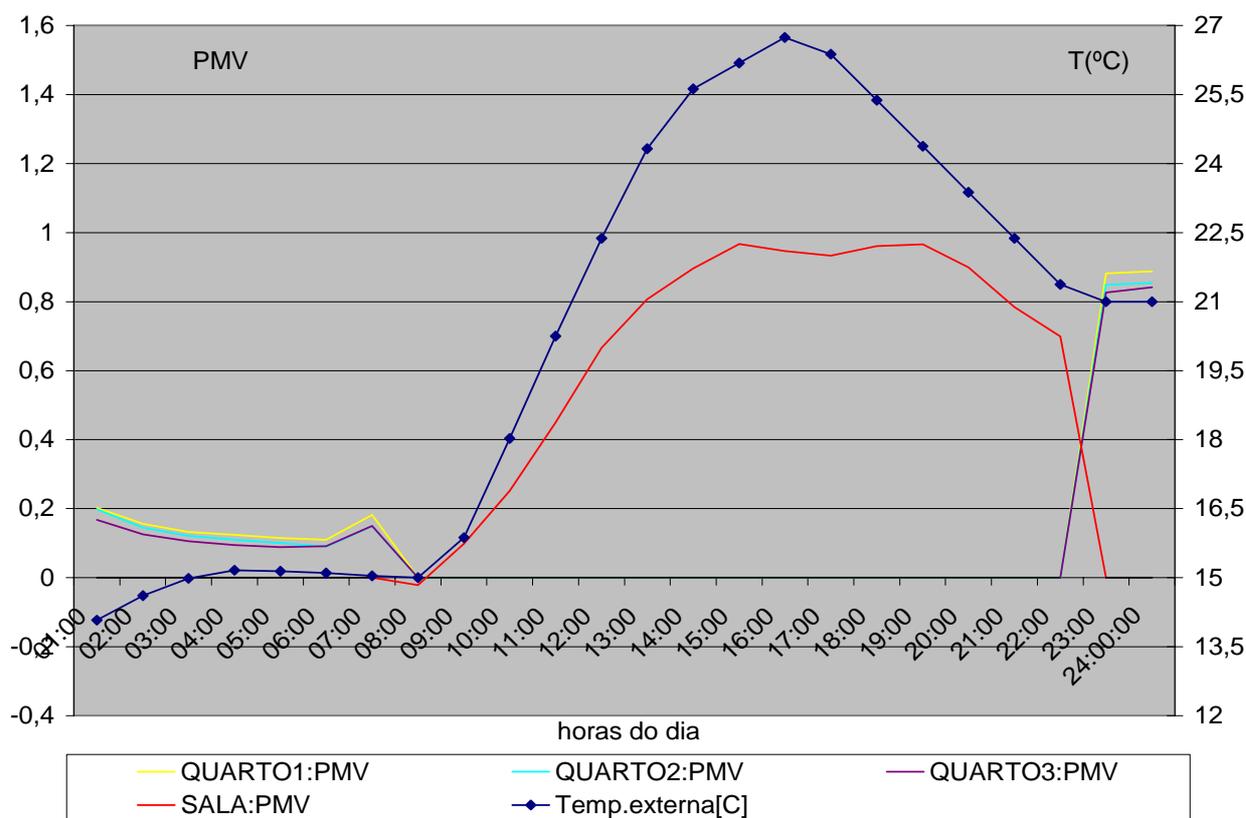


Figura 6.33. Variação do PMV e da temperatura de bulbo seco no dia 01/08 em São Paulo.

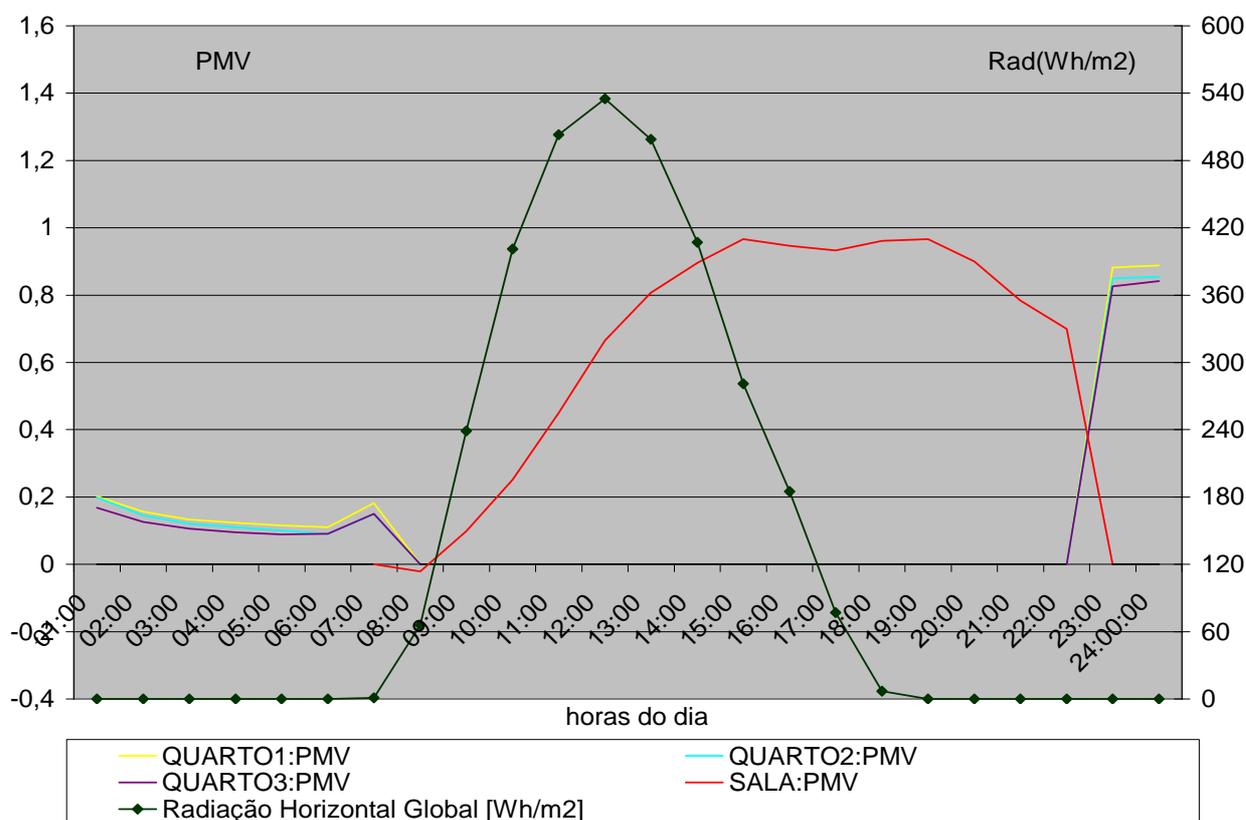


Figura 6.34. Variação do PMV e da radiação horizontal global no dia 01/08 em São Paulo.

A figura 6.33 demonstra que a temperatura de bulbo seco externa oscilou entre 14,3 e 27°C, caracterizando um dia de inverno não muito frio, com a madrugada de temperaturas em torno dos 15°C e à tarde com valores entre 22,5 e 27°C.

Por meio do gráfico 6.34, verifica-se que a radiação solar horizontal global obteve o seu máximo valor de 540 Wh/m² às 12:00 horas e somente entre as 10:00 e as 14:00 horas foi acima de 400 Wh/m², caracterizando possivelmente um dia nublado.

Segundo os resultados obtidos para o Voto Médio Previsto, durante o dia 01/08 os moradores da residência permaneceram em conforto térmico em todas as zonas estudadas da habitação por todo o dia. No período da madrugada os índices de PMV oscilaram em torno de 0,1 e 0,2, enquanto que na sala os resultados variaram entre 0,1 e 0,95. À noite obtiveram-se os valores máximos de 0,8 e 0,9 em razão da alta temperatura externa deste horário comparada à da madrugada, pois nestes dois momentos a vestimenta utilizada foi a mesma.

Em geral, para a cidade de São Paulo, SP, os índices de PMV obtidos para o período de temperaturas mais baixas determinaram a conforto térmico em todas as zonas estudadas da casa e em todos os horários. Os valores de PMV calculados oscilaram entre -0,9 e 0,95 nestes dois dias pesquisados, permanecendo dentro da faixa considerada de conforto segundo Fanger.

O dia 30/07 foi o de temperaturas mais baixas estudado, e por utilizar a mesma vestimenta do dia 01/08, de maiores temperaturas, os índices de PMV para a tarde foram bastante diferentes entre estes dias.

Para a época de temperaturas mais elevadas as pessoas sentiram calor, principalmente no dia 25/01 com índices entre 1,0 e 2,1. Já, na madrugada deste dia, os moradores da casa sentiram um pouco de frio, com valores de PMV entre -0,4 e -1,1, em virtude das temperaturas externas nos horários de desconforto serem consideradas baixas para a época do ano, em virtude disso ocorreu a sensação de frio.

Já para o dia 31/01 as temperaturas durante a madrugada foram um pouco mais elevadas em relação ao dia anterior melhorando a sensação de conforto térmico, porém durante a tarde os resultados para PMV indicaram um ambiente levemente quente.

6.5 Comparações entre as cidades

6.5.1 Comparações entre os dias mais quentes com mais ventos

Na figura 6.35 nota-se os índices de PMV para os dias mais quentes com maiores intensidades de ventos nas quatro capitais brasileiras estudadas.

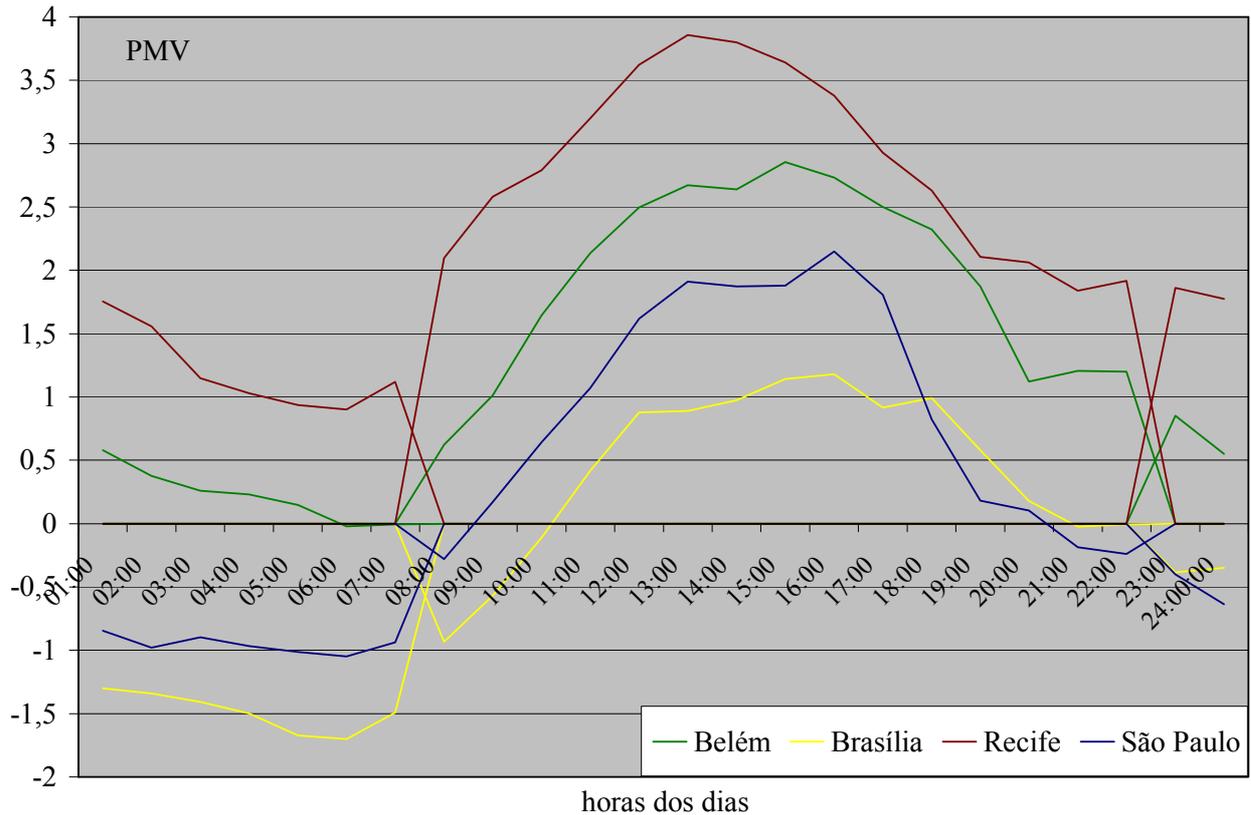


Figura 6.35. Índices de PMV das quatro cidades estudadas para os dias mais quentes com maiores intensidades de ventos.

Observando a figura 6.35 nota-se que durante as madrugadas as cidades que obtiveram os melhores resultados foram Belém e São Paulo. Nestas duas cidades obteve-se conforto térmico com Belém apresentando índices positivos, em razão da temperatura externa elevada de 24,5°C e, São Paulo com índices negativos devido a uma menor temperatura externa no valor de 21°C.

Em Brasília obteve-se desconforto térmico com as pessoas sentindo frio mesmo com uma vestimenta mais pesada do que as utilizadas em Belém e Recife. Brasília apresentou índices mais baixos do que São Paulo em razão de sua menor temperatura, 19°C em comparação a 21°C. Na cidade de Recife, as pessoas sentiram um pouco de calor, principalmente em virtude da elevada temperatura externa, entre 28 e 29°C.

Durante o dia a capital que teve o pior desempenho foi Recife com o pico acima de 3,5 enquanto que em Belém o pico de PMV foi superior a 2,5, em São Paulo, os índices foram entre -0,25 e 2,2 e em Brasília de -0,9 a 1,2.

Os resultados de PMV obtidos nos períodos da manhã e tarde se mostraram bastantes coerentes, pois durante o dia os índices de PMV são decorrentes das temperaturas e umidades externas, radiação solar e velocidade do ar interno, que foi muito baixa para todas as cidades.

Como as temperaturas externas foram praticamente as mesmas, entre 33 e 32°C, Recife foi o pior caso por apresentar elevada umidade e a maior radiação solar hemisférica global, Belém obteve praticamente o mesmo índice de umidade porém a radiação foi menor do que em Recife.

Para São Paulo a umidade relativa foi mais baixa comparada às duas cidades anteriores, 45%, comparada a 60%, por isso obteve índices menores e, em Brasília além de ter uma temperatura externa um pouco mais amena, 32°C, a sua umidade relativa foi a mais baixa, em torno de 30%. Brasília caracterizou-se também por apresentar um início de manhã bastante frio.

À noite, como durante a madrugada, o principal parâmetro que influenciou nos valores de PMV foi a temperatura externa, portanto para Recife com temperatura entre 28 e 29°C obteve-se o maior índice e para Brasília com temperatura de 19°C o menor valor de PMV.

De acordo com o estudo realizado ficou comprovado que a melhor cidade durante a manhã e a tarde foi Brasília, porém mesmo para essa capital, durante a tarde os índices mostraram que as pessoas sentiram um pouco de calor, saindo da zona de conforto térmico.

6.5.2 Comparações entre os dias mais quentes com menos ventos

Na figura 6.36 pode-se observar os índices de PMV para os dias mais quentes com menores intensidades de vento.

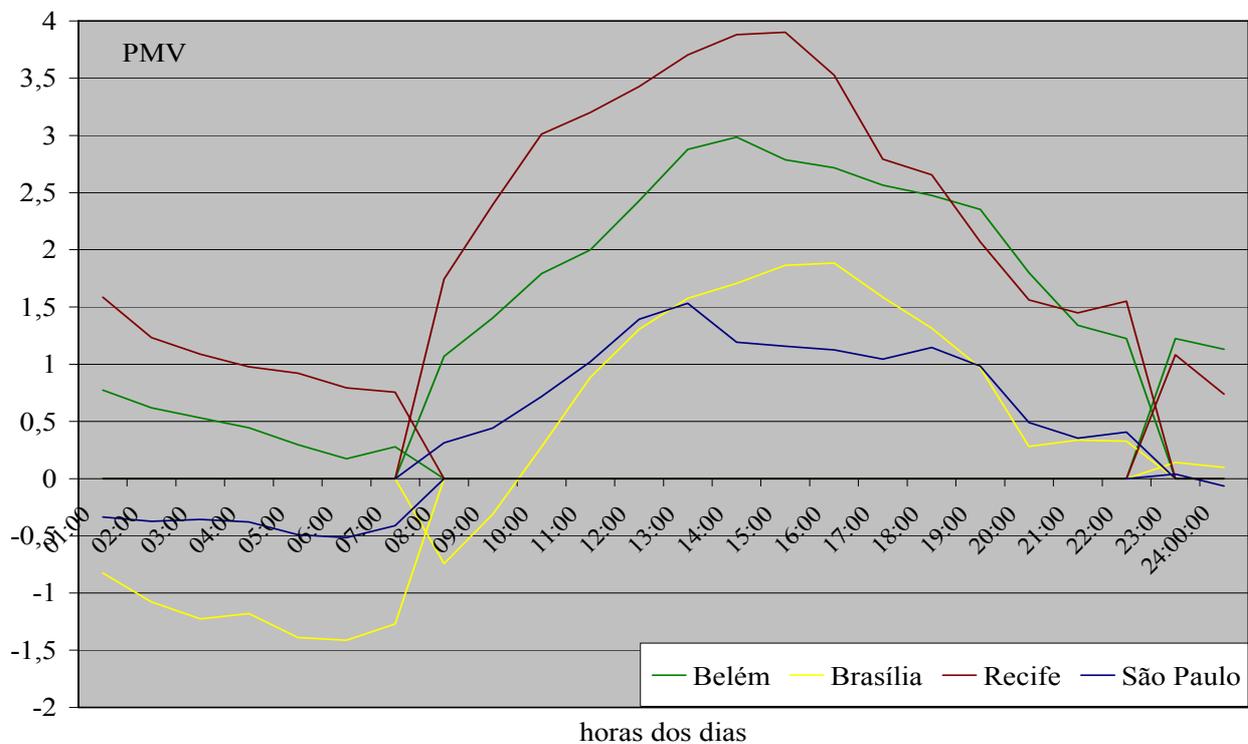


Figura 6.36. Índices de PMV das quatro cidades estudadas para os dias mais quentes com menores intensidades de ventos.

A figura 6.36 demonstra que durante as madrugadas Brasília apresentou desconforto térmico com as pessoas sentindo frio. Nesta cidade a temperatura externa nos respectivos horários foi de 18°C, considerada baixa para esta época do ano. Para São Paulo a temperatura externa foi um pouco mais elevada, 23°C melhorando o índice de conforto. Em Belém a temperatura externa oscilou em torno de 25°C elevando os valores de PMV e em Recife, principalmente devido à elevada temperatura externa, em torno dos 28°C, foram obtidos os maiores valores, saindo da zona de conforto térmico.

Durante a manhã e tarde os piores índices de conforto foram para a cidade de Recife que teve maior temperatura externa associada à elevada radiação solar hemisférica global. Para Belém obteve-se também desconforto térmico devido à elevada temperatura, principalmente à tarde, com o pico próximo de 3,0. A temperatura externa nesta cidade, 33°C, foi 1°C mais baixa do que em Recife e a radiação solar também foi um pouco menor, com isto os índices de PMV caíram em torno de uma unidade.

Em Brasília, com temperatura externa alta, de 33°C, porém de umidade relativa em 25%, os índices foram bons de manhã, porém, durante a tarde, as pessoas sentiram um pouco de calor.

A cidade de melhores índices foi São Paulo, onde a temperatura externa oscilou em torno de 28°C, porém mesmo nesta cidade, as pessoas sentiram um pouco de calor à tarde.

No período da noite Brasília e São Paulo apresentaram índices que representavam conforto térmico, enquanto que em Recife e, principalmente, em Belém as pessoas sentiram um pouco de calor, com maiores valores de PMV para Belém, temperatura externa igual a 26°C, e menores valores para São Paulo de temperatura externa igual a 24°C.

Portanto a cidade com melhores índices de conforto térmico foi São Paulo, saindo da faixa de conforto somente à tarde.

6.5.3 Comparações entre os dias mais frios com mais ventos

Na figura 6.37 têm-se os índices de PMV das quatro cidades estudadas para os dias com temperatura menores com maiores intensidades de ventos.

Pode-se observar, na figura 6.37, que durante o dia todas as cidades apresentaram valores de PMV entre 1 e -1, representando o conforto térmico. Para Recife e Belém os índices foram muito parecidos sendo que nestes dias tanto a temperatura quanto a umidade relativa externa foram praticamente iguais, com valores respectivamente de 24°C e 95%.

Para as cidades de Brasília e São Paulo os índices foram mais baixos, comparados aos das cidades anteriores, mesmo utilizando roupas mais pesadas do que às usadas nas outras duas

idades, em virtude da menor temperatura externa, 20°C, e menor umidade relativa, em torno de 50%, em Brasília e da baixíssima temperatura externa em São Paulo, em torno de 10 à 11°C.

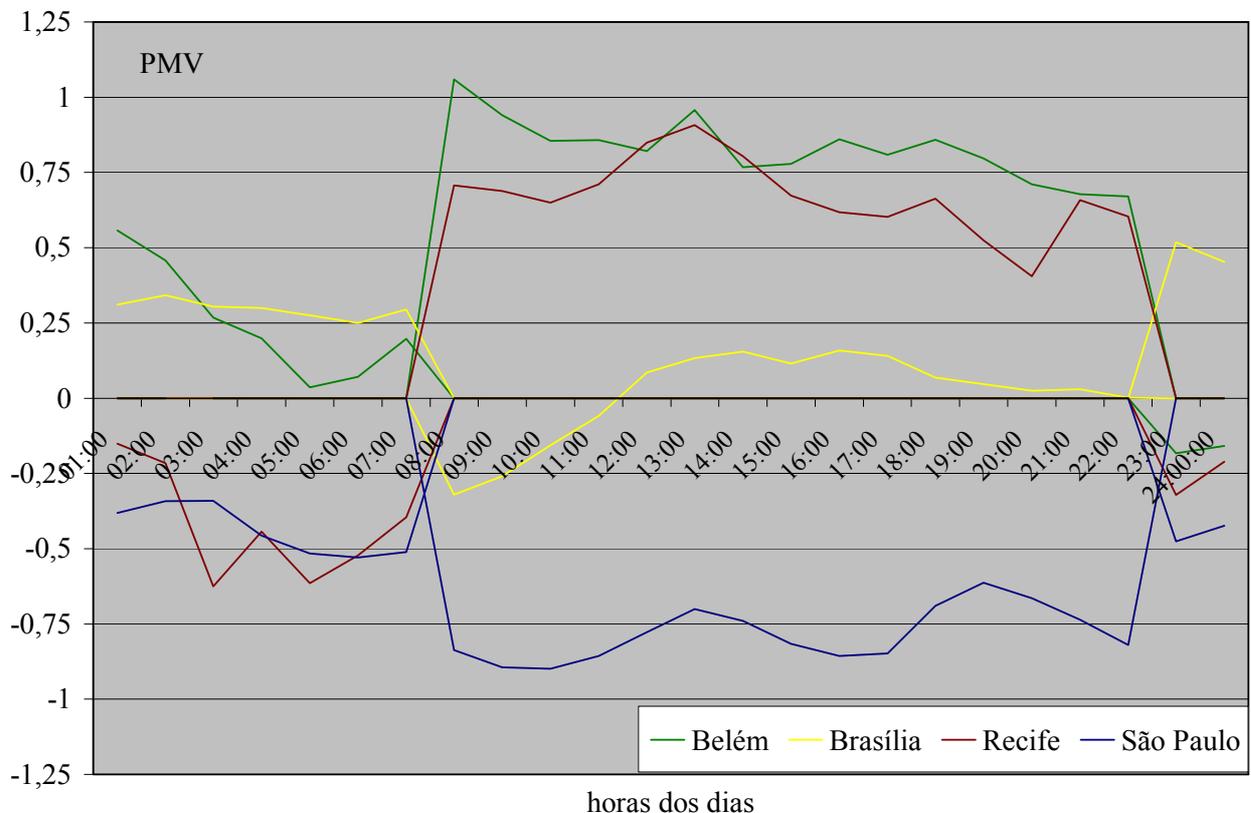


Figura 6.37. Índices de PMV das quatro cidades estudadas para os dias mais frios com maiores intensidades de ventos.

Através da figura 6.37 pode-se notar também que nos períodos da madrugada e noite, em Recife, os valores de PMV oscilaram entre -0,65 e -0,15, sendo os mais baixos comparados às outras cidades, isto devido à temperatura externa ser em torno de 22,5°C e a vestimenta utilizada ser de baixa resistência térmica.

Para São Paulo, cidade de temperatura mais baixa, a vestimenta utilizada, de alta resistência, manteve as pessoas em conforto térmico, na faixa em torno de -0,5. Em Brasília, utilizando a mesma vestimenta de São Paulo, e com temperatura externa 2°C mais alta e umidade relativa externa 10% mais baixa, 85%, os valores de PMV aumentaram e oscilaram entre, aproximadamente, 0,3 durante a madrugada.

Para a cidade de Belém, onde se utilizaram as mesmas roupas de Recife, aos índices de PMV foram acrescidos 0,5 e portanto variaram entre 0,0 e 0,5, esse fato deveu-se a um aumento de temperatura externa, que oscilou entre 23,5 e 24°C.

Verificando todos os resultados, a melhor condição de conforto ocorreu em Brasília.

6.5.4 Comparações entre os dias mais frios com menos ventos

Na figura 6.38 estão representados os índices de PMV das quatro capitais analisadas para os seus dias mais frios com menores intensidades de ventos.

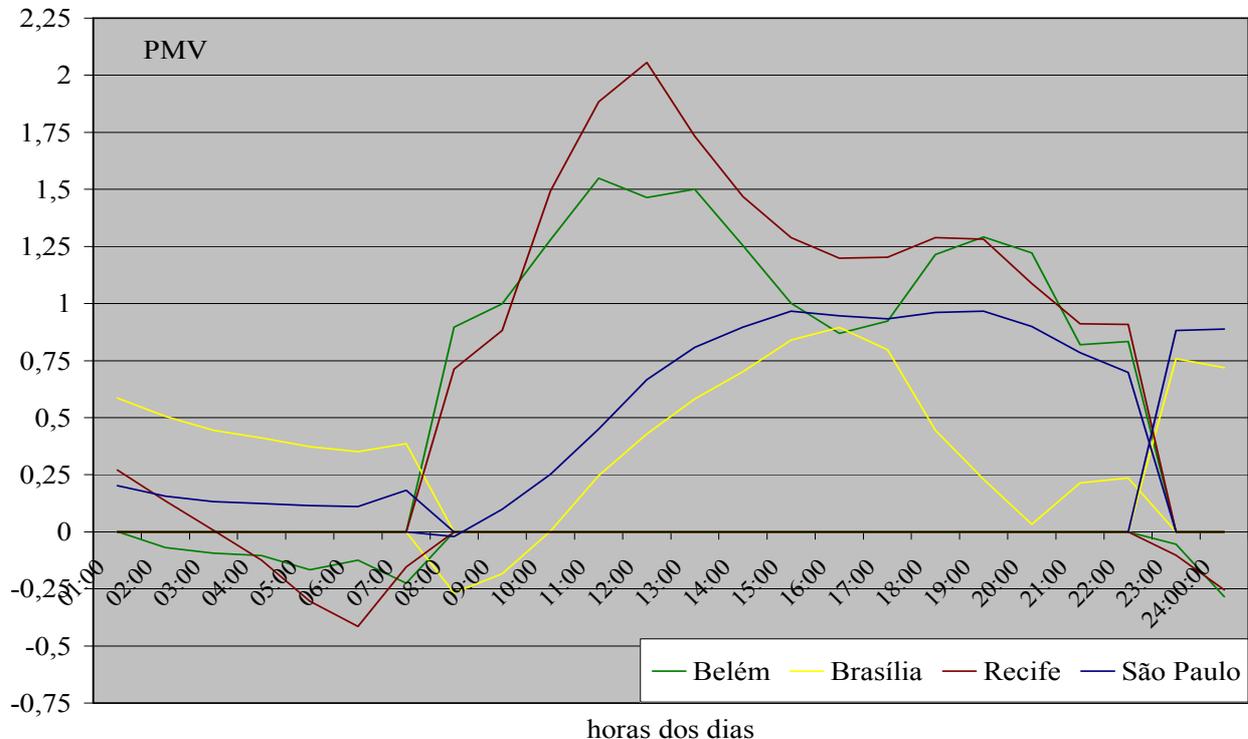


Figura 6.38. Índices de PMV das quatro cidades estudadas para os dias mais frios com menores intensidades de ventos.

Observa-se na figura 6.38, que durante os períodos da madrugada e da noite nas quatro cidades em todos os horários obteve-se conforto térmico. Na cidade de Recife os índices oscilaram entre -0,4 a 0,3, nessa madrugada a temperatura externa oscilou entre 22 e 24°C.

Os melhores índices de conforto obtidos durante a madrugada aconteceram para as cidades de São Paulo, onde os valores de PMV oscilaram sempre entre 0,1 e 0,2, para Belém, cujos índices variaram entre -0,25 e 0,0.

À noite houve um aumento de temperatura externa, em relação ao dia anterior estudado, nas cidades de Brasília e São Paulo e com isso os índices para conforto também subiram, oscilando entre 0,75 e 0,9.

Nos períodos da manhã e tarde as cidades de São Paulo e Brasília se mantiveram sempre na faixa do conforto térmico, com índices entre -0,3 e 0,9 em Brasília e entre 0,1 e 0,95 em São Paulo. Nestas duas cidades as temperaturas externas oscilaram em torno de 25°C, em quanto que a umidade relativa ficou em torno de 45 a 50%.

Para as cidades de Belém e Recife houve momentos de desconforto, com as pessoas sentindo calor nos horários das 10:00 às 20:00 horas para Recife e das 09:00 às 20:00 horas para Belém. A sensação de desconforto térmico nestas cidades aconteceu, mesmo com a temperatura externa mais baixa em 1°C do que em São Paulo e Brasília, devido, principalmente, a elevada umidade relativa externa nos horários da tarde, em torno de 95%.

Analisando todos resultados obtidos de PMV das quatro cidades, pode-se verificar que os melhores índices aconteceram na cidade de Brasília.

7. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Os resultados obtidos para o conforto térmico dos moradores das quatro casas estudadas durante os dias analisados se apresentaram bastante coerentes, indicando que o aplicativo EnergyPlus pode ser considerado um programa capaz de simular adequadamente os casos estudados. Este simulador mostrou-se ser uma grande ferramenta, com muitos recursos, e várias de suas aplicações ainda estão para serem desenvolvidas.

A principal limitação do simulador utilizado, verificada neste trabalho, foi a ausência do cálculo da velocidade do ar que entra ou sai das zonas de estudo, a sub-rotina COMIS calcula somente os fluxos de entrada e saída de ar.

Uma outra limitação deste programa é quanto à leitura da temperatura de solo dada através dos arquivos climáticos das cidades. Foi constatado neste trabalho que o programa não utiliza as temperaturas de solo disponíveis nos arquivos climáticos e deve-se portanto informá-las através do editor do programa.

Em relação aos índices sobre o conforto térmico obtidos, foi visto que durante as noites e principalmente durante as madrugadas de alguns dos dias estudados, os valores de PMV indicaram a sensação de frio para os moradores. Essa situação pode ser facilmente melhorada mudando as vestimentas das pessoas, adequando de uma melhor forma a resistência térmica das roupas ao clima da cidade.

Já o problema do desconforto em relação à sensação de calor, verificada durante as tardes em algumas cidades, é uma questão um pouco mais complexa. Existem diversas modificações que podem ser empregadas com o intuito de resolver ou ao menos amenizar este impasse.

Entre algumas das maneiras de melhorar o desconforto pode-se citar: modificações nos materiais de construção usados na casa, como por exemplo, na cor do telhado, deixando-o mais claro e na espessura das paredes; e modificações na geometria da casa, como aumentar o tamanho das janelas visto que, em razão da sua pequena área de abertura, os fluxos de ar de entrada e saída foram muito baixos.

É importante salientar que os índices resultantes para o conforto térmico neste trabalho são válidos somente para aqueles dias em que se fez o estudo e com os arquivos climáticos utilizados.

Outra importante consideração a ser feita diz respeito à localização das casas. Todas as residências foram construídas num mesmo local das cidades, com as mesmas vizinhanças e principalmente com as mesmas obstruções aos ventos. Ou seja, por exemplo, a casa em Recife não esta localizada na beira do mar e nem a casa em Belém está dentro da Floresta Amazônica.

Como sugestões para futuros trabalhos cita-se:

- Realizar comparações entre resultados simulados e dados medidos.
- Analisar o conforto térmico nas quatro cidades utilizando uma residência de material de construção diferente.
- Verificar as variações de conforto térmico modificando as cores e a geometria da casa.
- Realizar um estudo para diversas orientações e posições da residência.
- Adotar outras rotinas de ocupação, níveis de atividade e número de moradores.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ashrae Handbook, 2001. **Fundamentals**. Atlanta.

Ashrae Standart 90,1-1989. Energy Efficient Design of New Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. 1791 Tullie Circle, NE. Atlanta, **Ashrae**.

Allard, F., Utsumi Y., 1992. “**Air Flow through Large Openings**”, Energy and Buildings, v-18, 133-145. Great Britain, Elsevier Science.

Águas, M.P.N., 2000. “**Conforto térmico – Módulo da Disciplina de Mestrado**”, IST/DEM – Mestrado.

Barbosa, M.J., 1997. “**Uma Metodologia para Especificar e Avaliar o Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares**”, Tese de Doutorado, Florianópolis, UFSC, Centro Tecnológico.

Beyer, P.O., 2001. “**Apostila de Conforto Térmico**”, Departamento de Engenharia Mecânica – UFRGS, Porto Alegre, RS.

Crawley, D.B., et al, 1999. “**EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program**”, Energy and Buildings, v-33/4, 443-457. Great Britain, Elsevier Science.

Crawley, D.B., et al, 2002. “**A new-generation building energy simulation program**”. Energy and Buildings. Great Britain, Elsevier Science.

Dascalaki, E., et. al, 1998. “**Modeling Large Openings with COMIS**”, Energy and Buildings, Great Britain, Elsevier Science.

Dilkin, P., 2000. “**Estudo de Desempenho Térmico de Edificações de Interesse Social a partir de Propostas de Normas**”, Dissertação de Mestrado, PPGEM – UFRGS, Porto Alegre, RS.

EnergyPlus Reference Data Set for Construction Material. Copyright (c) 2000-2001.
GARD Analytics.

Fanger, P.O., 1970. **“Thermal Comfort”**, McGraw-Hill, New York.

Feustel, H.E., Smith B.V., 1997. **“COMIS 3.0 – User’s Guide”**, Lawrence Berkeley National Laboratory, California.

Feustel, H.E., 1998. **“COMIS – An International Multizone Air-Flow and Contaminant Transport Model”**, Lawrence Berkeley National Laboratory, California.

Goulart, S.V.G., Lamberts, R., Firmino, S., 1997. **“Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras”**, Núcleo de Pesquisa em Construção – UFSC, Florianópolis, SC.

Havenith G., et al, 2002. **“Personal Factors in Thermal Comfort assessment: clothing properties and metabolic heat production”**, Energy and Buildings, v-34, 581-591. Great Britain, Elsevier Science.

Humphreys, M.A., 1976. **“Field Studies of Thermal Comfort compared and Applied”**, Building Service Engineer, v-44, 5-27. Watfort.

Huang J., et.al, 2000. **“Linking the COMIS Multi-zone Air-Flow Model with the EnergyPlus Building Energy Simulation Program”**, The International Building Performance Simulation Association, Kyoto.

International Organization for Standardization ISO 8996, 1990. **“Ergonomics – Determination of metabolic heat production”**, Geneva.

Jones, B.W., 2002. **“Capabilities and Limitations of Thermal Models for use in Thermal Comforts Standards”**, Energy and Buildings, v-34, 653-659. Great Britain, Elsevier Science.

Liddament, M.W., 1986. **“Air Infiltration Calculation Techniques – on Applications Guide”**, Air Infiltration and Ventilation Center, Bracknele, U.K.

Macagnan, M.H., 2001. **“Introdução à Radiação Solar”**, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFRGS.

Manuais do EnergyPlus. Copyright (c) 2000-2001. **GARD Analytics**.

Nicol, F., 1993. **“A Handbook for Fields Studies Toward on Adaptive Model”**, University of East London, Londres.

Olesen, B.W., Parsons, K.C., 2002. **“Introduction to Comfort Standards and to the proposed new version of EN ISO 7730”**, Energy and Buildings, v-34, 537-548. Great Britain, Elsevier Science.

Pedersen, C.O., et al, 2001. **“EnergyPlus: New capabilities in a whole-building energy simulation program”**, Seventh International IBPSA Conference, Rio de Janeiro, RJ.

Strand R., et al, 2002. **“Enhancing and Extending the capabilities of the building heat balance simulation technique for use in EnergyPlus”**, Energy and Buildings, Great Britain, Elsevier Science.

Tamura, G.T., Wilson, A.G., 1967. **“Pressur Difference caused by Chimney Effect in three high Buildings”**, ASHRAE Transactions, v-72, Part I, II.1.1-III.10.

Turik, N., 1985. **“Estabelecimento de Desempenho Higrotérmico da Envolvente de Habitações Populares Térreas – Estudo aplicado à casa COHAB, tipo RS”**, Dissertação de Mestrado PPGEC – UFRGS, Porto Alegre, RS.

Xavier, A.A.P, 1999. **“Condições de Conforto Térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis”**, Dissertação de Mestrado, Florianópolis, UFSC, Centro Tecnológico.

ANEXO I

Coeficientes de Pressão

Os valores dos Coeficientes de Pressão utilizados em relação aos ângulos dos ventos incidentes sobre os nós externos, mostrados na figura I.1, estão listados na tabela I.1. Os C_p 's foram determinados para 12 direções diferentes, entre 0° e 330° .

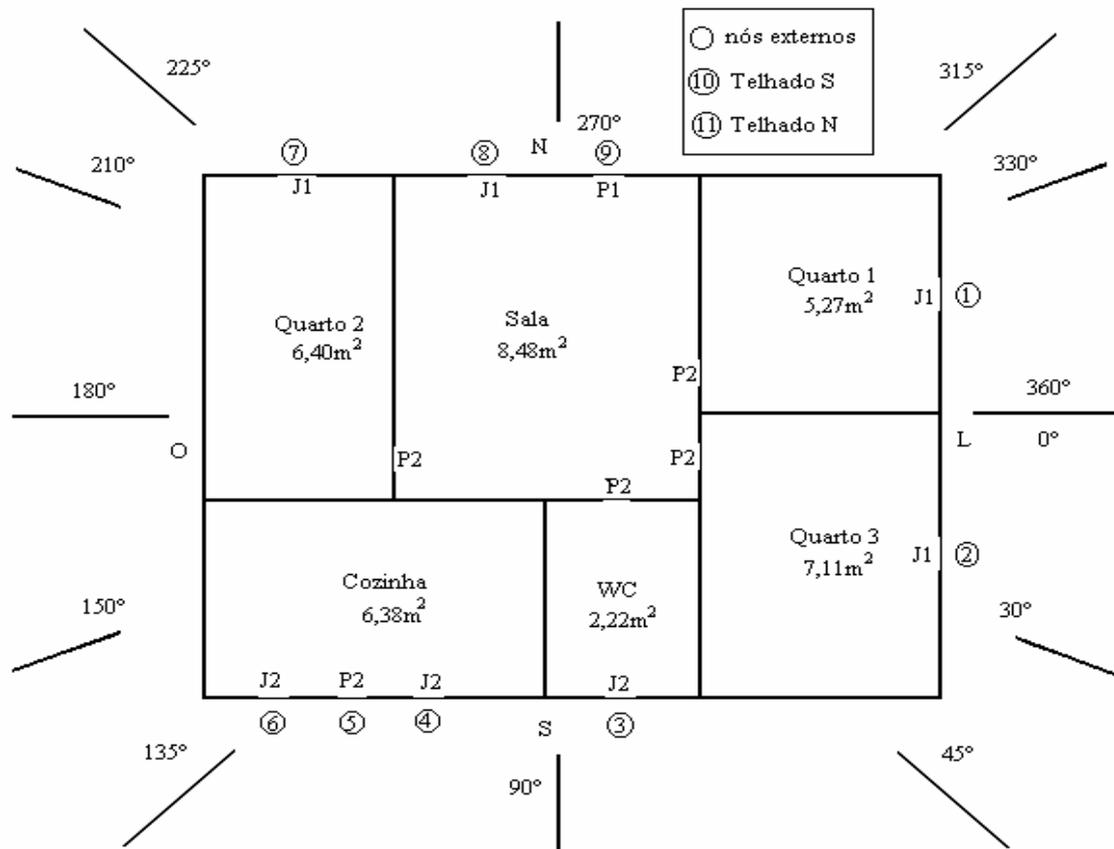


Figura I.1. Direções dos ventos e os nós externos para os quais foram calculados os C_p 's.

Tabela I.1. Valores dos C_p 's em relação aos nós externos e às direções dos ventos.

	Nó 1	Nó 2	Nó 3	Nó 4	Nó 5	Nó 6	Nó 7	Nó 8	Nó 9	Nó 10	Nó 11
0°	0,7	0,7	-0,3	-0,35	-0,42	-0,5	-0,2	-0,3	-0,4	-0,2	0,2
30°	0,7	0,5	0,15	0,17	0,2	0,2	-0,5	-0,5	-0,5	0,4	-0,6
45°	0,5	0,3	0,5	0,4	0,3	0,3	-0,6	-0,5	-0,4	0,4	-0,6
90°	-0,45	-0,45	0,8	0,8	0,8	0,8	-0,43	-0,43	-0,43	0,5	-0,5
135°	-0,3	-0,3	0,4	0,5	0,55	0,6	-0,3	-0,5	-0,6	0,6	-0,4
150°	-0,26	-0,26	0,15	0,12	0,1	0,1	-0,5	-0,5	-0,5	0,6	-0,4
180°	-0,14	-0,14	-0,3	-0,27	-0,24	-0,2	-0,5	-0,3	-0,2	0,2	-0,2
210°	-0,26	-0,26	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	0,2	0,15	0,1	-0,6	0,4

	Nó 1	Nó 2	Nó 3	Nó 4	Nó 5	Nó 6	Nó 7	Nó 8	Nó 9	Nó 10	Nó 11
225°	-0,13	-0,3	-0,5	-0,45	-0,4	-0,3	0,5	0,4	0,3	-0,6	0,4
270°	-0,45	-0,45	-0,43	-0,43	-0,43	-0,43	0,8	0,8	0,8	-0,2	0,2
315°	0,2	0,4	-0,5	-0,53	-0,57	-0,6	0,3	0,4	0,5	-0,4	0,6
330°	0,4	0,6	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	0,1	0,15	0,2	-0,4	0,6

Velocidades do ar interno

Todas as velocidades do ar interno foram calculadas a partir dos fluxos de ar que entram ou saem das zonas divididos pelas áreas das seções principais. Os valores dessas velocidades são vistos nas tabelas I.2 e I.3, para a cidade de Belém, PA; nas tabelas I.4 e I.5, referentes à cidade de Brasília, DF; em I.6 e I.7, para Recife, PE e em I.8 e I.9, para São Paulo, SP.

Tabela I.2. Velocidades do ar interno para os dias mais quentes de Belém, em [m/s].

	Dia 28/05				Dia 03/06			
	quarto 1	quarto 2	quarto 3	sala	quarto 1	quarto 2	quarto 3	sala
01:00	0,00153	0,00136	0,00171	-	0,0489	0,0773	0,0406	-
02:00	0,00067	0,00101	0,0016	-	0,00704	0,00312	0,00595	-
03:00	0,0022	0,0025	0,00255	-	0,0324	0,12	0,0269	-
04:00	0,00028	0,00047	0,00028	-	0,0276	0,0606	0,023	-
05:00	0,00144	0,0018	0,00163	-	0,0576	0,0544	0,0476	-
06:00	0,00063	0,0011	0,00074	-	0,043	0,075	0,0356	-
07:00	0,00132	0,00206	0,00126	-	0,00116	0,00203	0,00096	-
08:00	-	-	-	0,00536	-	-	-	0,0018
09:00	-	-	-	0,00015	-	-	-	0,00113
10:00	-	-	-	0,00233	-	-	-	0,00293
11:00	-	-	-	0,00834	-	-	-	0,00224
12:00	-	-	-	0,0035	-	-	-	0,00071
13:00	-	-	-	0,00178	-	-	-	0,00451
14:00	-	-	-	0,00179	-	-	-	0,00839
15:00	-	-	-	0,0043	-	-	-	0,0063
16:00	-	-	-	0,0027	-	-	-	0,00516
17:00	-	-	-	0,00193	-	-	-	0,00417
18:00	-	-	-	0,00156	-	-	-	0,00534

Dia 28/05					Dia 03/06			
	quarto 1	quarto 2	quarto 3	sala	quarto 1	quarto 2	quarto 3	sala
19:00	-	-	-	0,0634	-	-	-	0,121
20:00	-	-	-	0,0812	-	-	-	0,15
21:00	-	-	-	0,0553	-	-	-	0,00151
22:00	-	-	-	0,00446	-	-	-	0,0588
23:00	0,00053	0,0003	0,00153	-	0,0503	0,0774	0,0417	-
24:00	0,0025	0,0014	0,00027	-	0,117	0,121	0,0967	-

TabelaI.3. Velocidades do ar interno para os dias mais frios de Belém, em [m/s].

	Dia 11/03				Dia 14/03			
	quarto 1	quarto 2	quarto 3	sala	quarto 1	quarto 2	quarto 3	sala
01:00	0,00087	0,00127	0,0007	-	0,00155	0,00665	0,00128	-
02:00	0,00196	0,00265	0,00163	-	0,00433	0,00385	0,00012	-
03:00	0,00051	0,00051	0,00041	-	0,00183	0,00135	0,00156	-
04:00	0,00052	0,0011	0,00043	-	0,00091	0,0015	0,00078	-
05:00	0,00057	0,0011	0,00047	-	0,0015	0,00106	0,00123	-
06:00	0,00057	0,0005	0,00047	-	0,0014	0,0025	0,00114	-
07:00	0,002	0,00263	0,00165	-	0,00004	0,00001	0,00001	-
08:00	-	-	-	0,00434	-	-	-	0,00832
09:00	-	-	-	0,00435	-	-	-	0,0077
10:00	-	-	-	0,00412	-	-	-	0,00056
11:00	-	-	-	0,0086	-	-	-	0,00045
12:00	-	-	-	0,0078	-	-	-	0,00457
13:00	-	-	-	0,0043	-	-	-	0,0193
14:00	-	-	-	0,083	-	-	-	0,00448
15:00	-	-	-	0,02	-	-	-	0,00318
16:00	-	-	-	0,0133	-	-	-	0,00186
17:00	-	-	-	0,00001	-	-	-	0,00195
18:00	-	-	-	0,00001	-	-	-	0,00298
19:00	-	-	-	0,00005	-	-	-	0,016
20:00	-	-	-	0,011	-	-	-	0,00414
21:00	-	-	-	0,0025	-	-	-	0,0171

Dia 11/03					Dia 14/03			
	quarto 1	quarto 2	quarto 3	sala	quarto 1	quarto 2	quarto 3	sala
22:00	-	-	-	0,017	-	-	-	0,00414
23:00	0,0833	0,059	0,069	-	0,0974	0,0764	0,0806	-
24:00	0,0683	0,0544	0,0565	-	0,0333	0,00798	0,0274	-

Tabela I.4. Velocidades do ar interno para os dias mais quentes de Brasília, em [m/s].

	Dia 25/09				Dia 27/09			
	quarto 1	quarto 2	quarto 3	sala	quarto 1	quarto 2	quarto 3	sala
01:00	0,108	0,0116	0,089	-	0,0025	0,00099	0,00216	-
02:00	0,00172	0,0373	0,00143	-	0,032	0,0086	0,0263	-
03:00	0,061	0,00059	0,0504	-	0,00001	0,0013	0,00002	-
04:00	0,00045	0,019	0,00037	-	0,00095	0,0012	0,00113	-
05:00	0,044	0,00096	0,0365	-	0,00193	0,00001	0,0016	-
06:00	0,00042	0,0028	0,00033	-	0,0063	0,00513	0,0055	-
07:00	0,0023	0,0038	0,00191	-	0,00004	0,00006	0,00002	-
08:00	-	-	-	0,00093	-	-	-	0,00074
09:00	-	-	-	0,00046	-	-	-	0,00262
10:00	-	-	-	0,0038	-	-	-	0,00146
11:00	-	-	-	0,0031	-	-	-	0,00796
12:00	-	-	-	0,00112	-	-	-	0,00975
13:00	-	-	-	0,00212	-	-	-	0,00074
14:00	-	-	-	0,00244	-	-	-	0,00144
15:00	-	-	-	0,00049	-	-	-	0,00202
16:00	-	-	-	0,00024	-	-	-	0,0036
17:00	-	-	-	0,00064	-	-	-	0,00292
18:00	-	-	-	0,00412	-	-	-	0,00692
19:00	-	-	-	0,0055	-	-	-	0,00897
20:00	-	-	-	0,16	-	-	-	0,079
21:00	-	-	-	0,051	-	-	-	0,101
22:00	-	-	-	0,00236	-	-	-	0,05
23:00	0,00024	0,00064	0,00068	-	0,0286	0,0386	0,0237	-
24:00	0,0177	0,0247	0,0135	-	0,0034	0,00532	0,00323	-

Tabela I.5. Velocidades do ar interno para os dias mais frios de Brasília, em [m/s].

	Dia 14/06				Dia 18/06			
	quarto 1	quarto 2	quarto 3	sala	quarto 1	quarto 2	quarto 3	sala
01:00	0,00045	0,00033	0,00001	-	0,0019	0,00002	0,00155	-
02:00	0,00005	0,00004	0,00005	-	0,00008	0,00095	0,00026	-
03:00	0,00093	0,00103	0,00105	-	0,00017	0,00055	0,00015	-
04:00	0,00002	0,00001	0,00002	-	0,0013	0,00033	0,00036	-
05:00	0,00081	0,00092	0,00092	-	0,00023	0,0011	0,00031	-
06:00	0,00002	0,00002	0,00001	-	0,00011	0,00005	0,00009	-
07:00	0,00015	0,0001	0,00012	-	0,00123	0,00101	0,00101	-
08:00	-	-	-	0,0004	-	-	-	0,0038
09:00	-	-	-	0,0045	-	-	-	0,00315
10:00	-	-	-	0,00232	-	-	-	0,0052
11:00	-	-	-	0,00059	-	-	-	0,0028
12:00	-	-	-	0,00595	-	-	-	0,00274
13:00	-	-	-	0,0027	-	-	-	0,0167
14:00	-	-	-	0,0154	-	-	-	0,00066
15:00	-	-	-	0,00492	-	-	-	0,00155
16:00	-	-	-	0,0261	-	-	-	0,00386
17:00	-	-	-	0,0017	-	-	-	0,089
18:00	-	-	-	0,114	-	-	-	0,00083
19:00	-	-	-	0,12	-	-	-	0,00682
20:00	-	-	-	0,13	-	-	-	0,00067
21:00	-	-	-	0,00104	-	-	-	0,00262
22:00	-	-	-	0,00048	-	-	-	0,00063
23:00	0,00089	0,00097	0,00027	-	0,0027	0,00046	0,00223	-
24:00	0,00364	0,00079	0,003	-	0,00584	0,085	0,00475	-

Tabela I.6. Velocidades do ar interno para os dias mais quentes de Recife, em [m/s].

	Dia 07/03				Dia 09/03			
	quarto 1	quarto 2	quarto 3	sala	quarto 1	quarto 2	quarto 3	sala
01:00	0,00611	0,09	0,005	-	0,00125	0,00059	0,0012	-
02:00	0,049	0,18	0,041	-	0,00224	0,0027	0,0021	-
03:00	0,00001	0,0025	0,00001	-	0,00036	0,001	0,00036	-
04:00	0,144	0,15	0,12	-	0,00086	0,0022	0,00092	-
05:00	0,0089	0,061	0,0074	-	0,0019	0,00062	0,00145	-
06:00	0,087	0,065	0,072	-	0,00007	0,00104	0,00018	-
07:00	0,0017	0,0013	0,0014	-	0,134	0,0107	0,092	-
08:00	-	-	-	0,0018	-	-	-	0,0033
09:00	-	-	-	0,0012	-	-	-	0,0029
10:00	-	-	-	0,0014	-	-	-	0,0035
11:00	-	-	-	0,0029	-	-	-	0,0045
12:00	-	-	-	0,0034	-	-	-	0,0048
13:00	-	-	-	0,0012	-	-	-	0,0045
14:00	-	-	-	0,0019	-	-	-	0,0048
15:00	-	-	-	0,00396	-	-	-	0,0058
16:00	-	-	-	0,0048	-	-	-	0,032
17:00	-	-	-	0,16	-	-	-	0,16
18:00	-	-	-	0,13	-	-	-	0,049
19:00	-	-	-	0,196	-	-	-	0,051
20:00	-	-	-	0,092	-	-	-	0,00425
21:00	-	-	-	0,145	-	-	-	0,121
22:00	-	-	-	0,065	-	-	-	0,063
23:00	0,0446	0,033	0,038	-	0,16	0,12	0,003	-
24:00	0,054	0,019	0,0443	-	0,00038	0,0025	0,0028	-

Tabela I.7. Velocidades do ar interno para os dias mais frios de Recife, em [m/s].

	Dia 29/07				Dia 01/08			
	quarto 1	quarto 2	quarto 3	sala	quarto 1	quarto 2	quarto 3	sala
01:00	0,00106	0,00267	0,00043	-	0,0008	0,00014	0,00017	-
02:00	0,00116	0,00116	0,00157	-	0,011	0,0016	0,0088	-
03:00	0,00174	0,00247	0,00188	-	0,11	0,29	0,088	-
04:00	0,00325	0,00265	0,0028	-	0,007	0,00031	0,0058	-
05:00	0,00003	0,00003	0,00002	-	0,12	0,18	0,1	-
06:00	0,00035	0,00018	0,00031	-	0,0026	0,0045	0,0021	-
07:00	0,00108	0,00113	0,00089	-	0,0026	0,0045	0,0021	-
08:00	-	-	-	0,00028	-	-	-	0,0029
09:00	-	-	-	0,00094	-	-	-	0,0035
10:00	-	-	-	0,00014	-	-	-	0,012
11:00	-	-	-	0,00018	-	-	-	0,0069
12:00	-	-	-	0,00017	-	-	-	0,00545
13:00	-	-	-	0,00007	-	-	-	0,0045
14:00	-	-	-	0,00525	-	-	-	0,0057
15:00	-	-	-	0,0631	-	-	-	0,0047
16:00	-	-	-	0,0025	-	-	-	0,0245
17:00	-	-	-	0,0049	-	-	-	0,0065
18:00	-	-	-	0,0048	-	-	-	0,013
19:00	-	-	-	0,00114	-	-	-	0,14
20:00	-	-	-	0,088	-	-	-	0,17
21:00	-	-	-	0,00004	-	-	-	0,0067
22:00	-	-	-	0,0056	-	-	-	0,021
23:00	0,0018	0,0022	0,00125	-	0,0565	0,13	0,047	-
24:00	0,00003	0,00001	0,00002	-	0,00001	0,00018	0,00001	-

Tabela I.8. Velocidades do ar interno para os dias mais quentes de São Paulo, em [m/s].

	Dia 25/01				Dia 31/01			
	quarto 1	quarto 2	quarto 3	sala	quarto 1	quarto 2	quarto 3	sala
01:00	0,00105	0,00193	0,00088	-	0,0071	0,00001	0,0059	-
02:00	0,00029	0,00224	0,00272	-	0,0023	0,0025	0,0017	-
03:00	0,00003	0,00008	0,00007	-	0,00003	0,0022	0,00004	-
04:00	0,00009	0,00001	0,00006	-	0,00017	0,00068	0,00049	-
05:00	0,00002	0,00005	0,00001	-	0,00006	0,00003	0,00005	-
06:00	0,00092	0,0025	0,00077	-	0,00019	0,00052	0,00042	-
07:00	0,00095	0,0025	0,00079	-	0,00029	0,00022	0,00023	-
08:00	-	-	-	0,00013	-	-	-	0,00056
09:00	-	-	-	0,0016	-	-	-	0,0017
10:00	-	-	-	0,0032	-	-	-	0,0017
11:00	-	-	-	0,0056	-	-	-	0,0017
12:00	-	-	-	0,0025	-	-	-	0,00014
13:00	-	-	-	0,0046	-	-	-	0,00026
14:00	-	-	-	0,002	-	-	-	0,0001
15:00	-	-	-	0,0055	-	-	-	0,00095
16:00	-	-	-	0,0023	-	-	-	0,00019
17:00	-	-	-	0,0064	-	-	-	0,00094
18:00	-	-	-	0,13	-	-	-	0,0074
19:00	-	-	-	0,0805	-	-	-	0,0058
20:00	-	-	-	0,067	-	-	-	0,097
21:00	-	-	-	0,065	-	-	-	0,012
22:00	-	-	-	0,146	-	-	-	0,0068
23:00	0,01	0,035	0,0082	-	0,0031	0,003	0,00315	-
24:00	0,023	0,076	0,019	-	0,00016	0,00054	0,00036	-

Tabela I.9. Velocidades do ar interno para os dias mais frios de São Paulo, em [m/s].

	Dia 30/07				Dia 01/08			
	quarto 1	quarto 2	quarto 3	sala	quarto 1	quarto 2	quarto 3	sala
01:00	0,00021	0,00004	0,00018	-	0,00002	0,00003	0,00001	-
02:00	0,00068	0,0014	0,00057	-	0,00004	0,00004	0,00001	-
03:00	0,0035	0,0068	0,0029	-	0,00003	0,00004	0,00004	-
04:00	0,0055	0,00811	0,0046	-	0,00006	0,00003	0,00004	-
05:00	0,00352	0,0068	0,0029	-	0,00036	0,0019	0,00031	-
06:00	0,0055	0,007	0,0045	-	0,00042	0,0024	0,00036	-
07:00	0,0055	0,0081	0,0046	-	0,0011	0,0008	0,00093	-
08:00	-	-	-	0,0077	-	-	-	0,00147
09:00	-	-	-	0,0078	-	-	-	0,0026
10:00	-	-	-	0,0048	-	-	-	0,0024
11:00	-	-	-	0,0081	-	-	-	0,00022
12:00	-	-	-	0,0079	-	-	-	0,00009
13:00	-	-	-	0,0048	-	-	-	0,0039
14:00	-	-	-	0,01	-	-	-	0,0019
15:00	-	-	-	0,01	-	-	-	0,0016
16:00	-	-	-	0,01	-	-	-	0,00002
17:00	-	-	-	0,0081	-	-	-	0,00023
18:00	-	-	-	0,0059	-	-	-	0,00003
19:00	-	-	-	0,0046	-	-	-	0,00041
20:00	-	-	-	0,0069	-	-	-	0,00012
21:00	-	-	-	0,01	-	-	-	0,0012
22:00	-	-	-	0,013	-	-	-	0,00015
23:00	0,0067	0,0078	0,0055	-	0,00015	0,00015	0,00017	-
24:00	0,0045	0,0052	0,0037	-	0,004	0,002	0,0022	-

Nota-se através das tabelas que as velocidades do ar interno foram calculadas para todas as zonas estudadas, ou seja, quartos e sala, somente nos horários em que as pessoas permanecessem nestas zonas.

ANEXO II

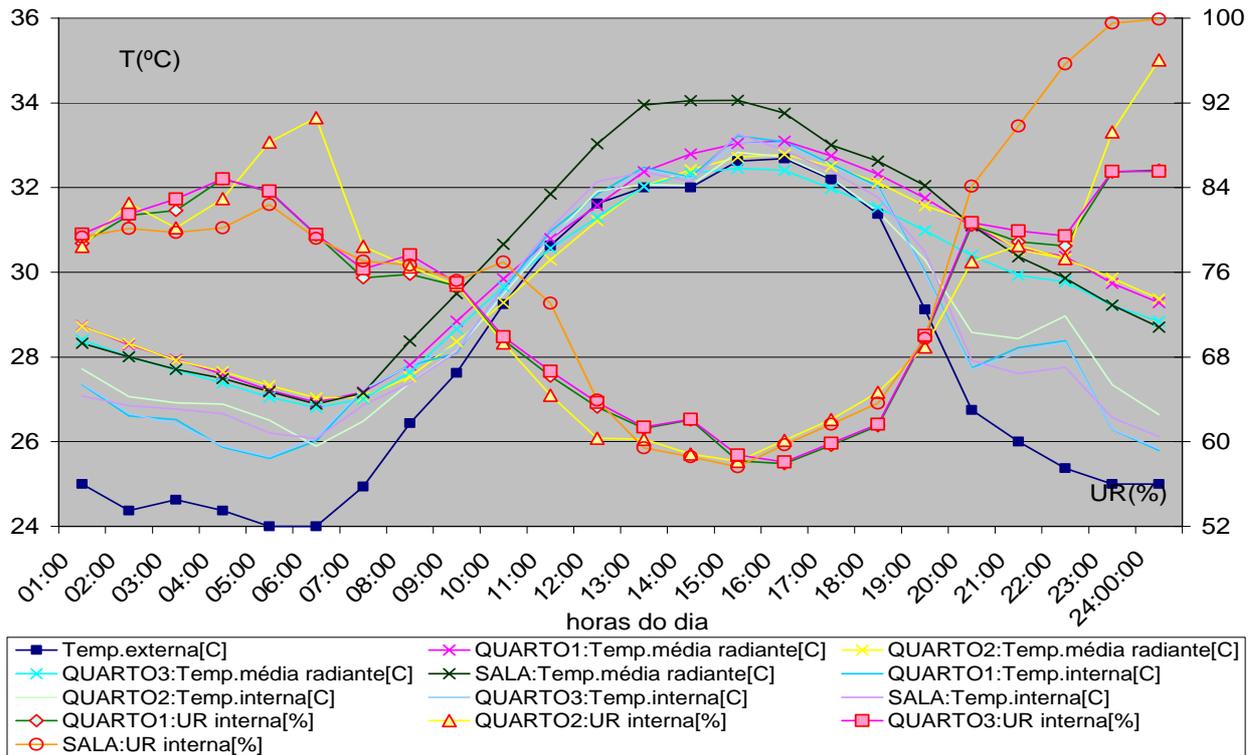


Figura II.1. Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 03/06 em Belém.

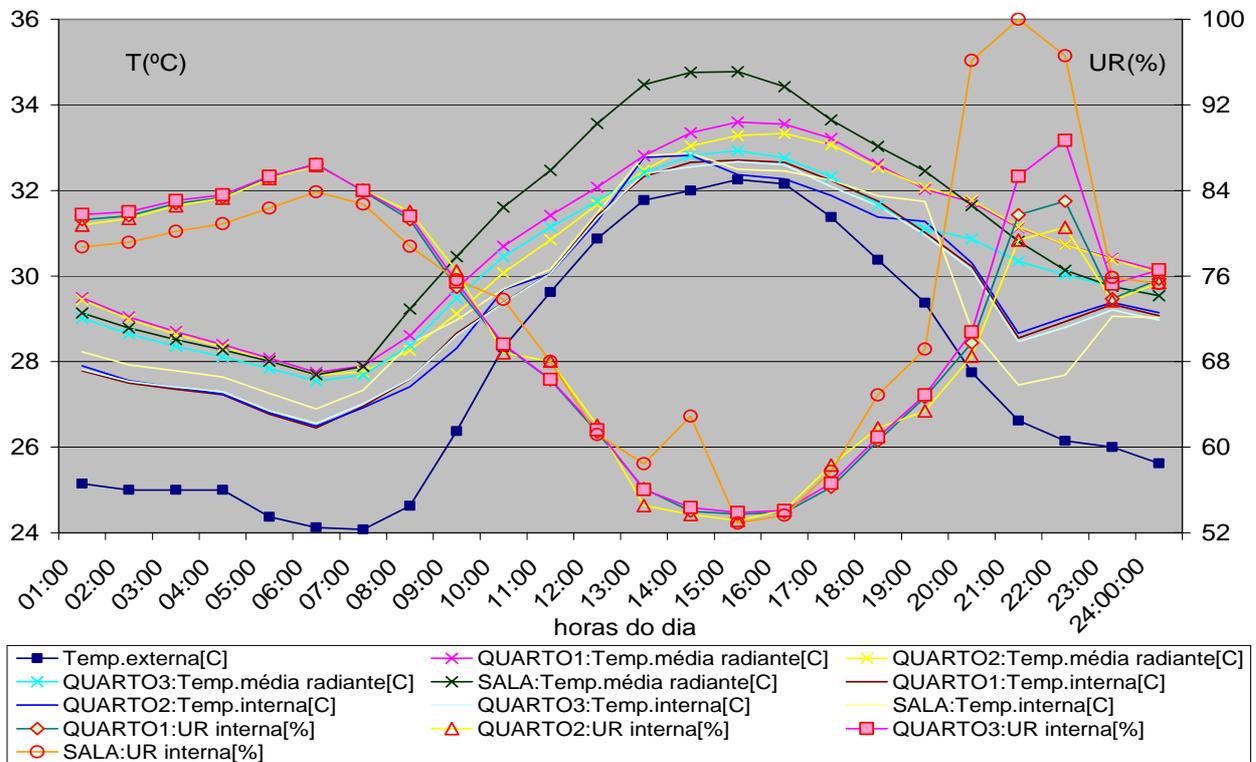


Figura II.2. Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 28/05 em Belém.

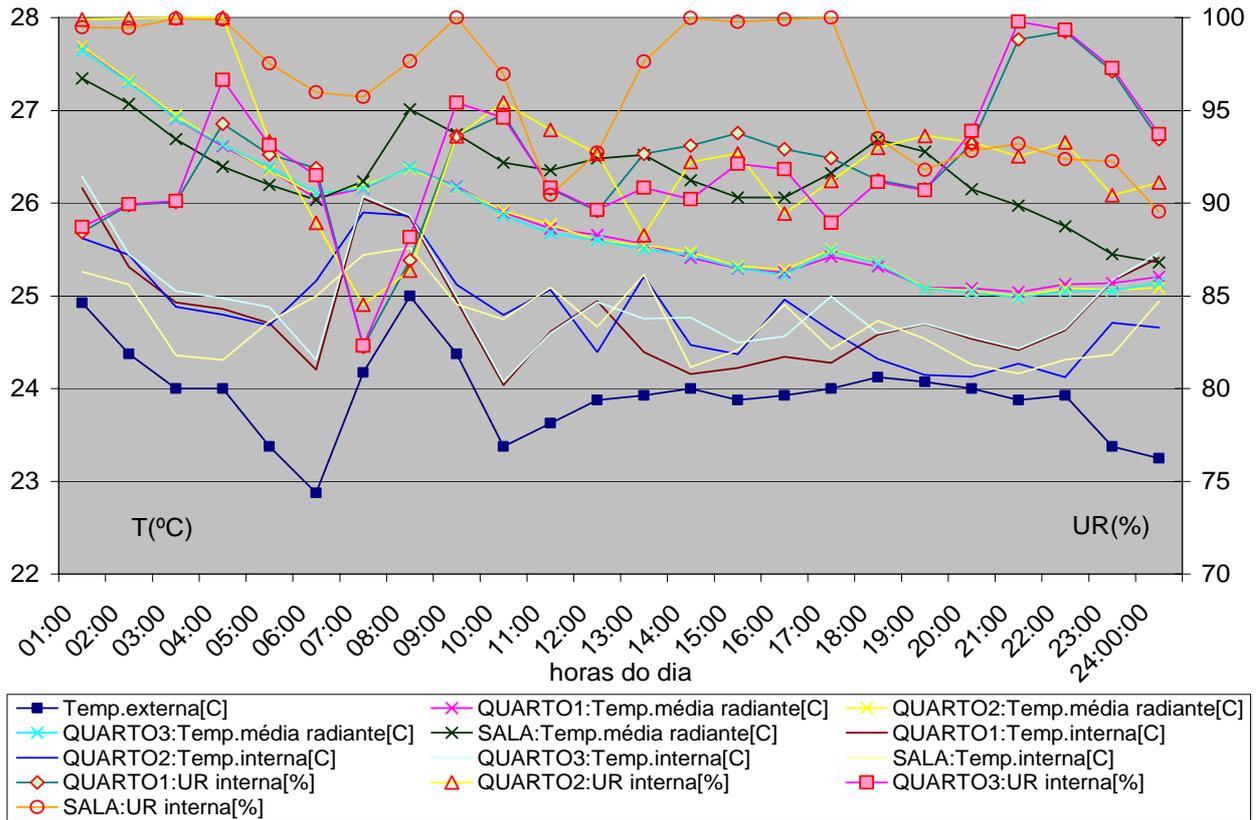


Figura II.3. Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 14/03 em Belém.

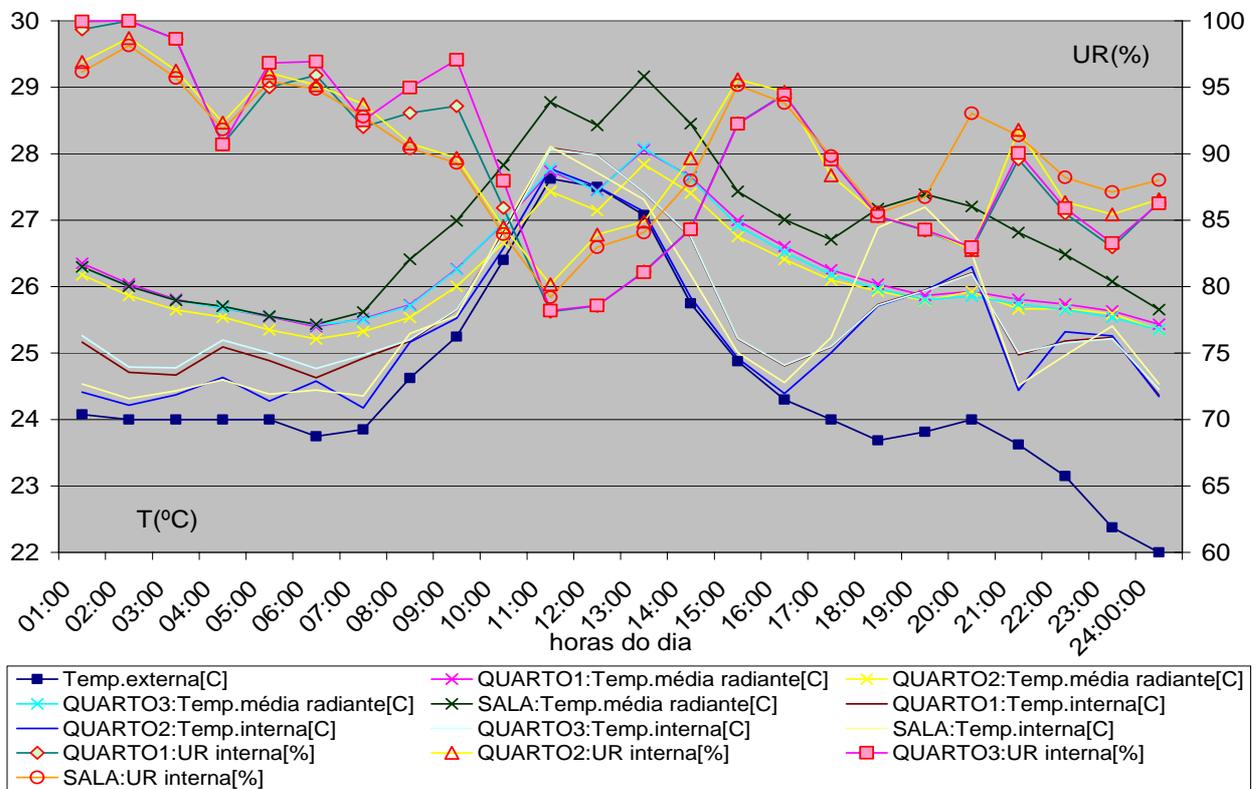


Figura II.4. Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 11/03 em Belém.

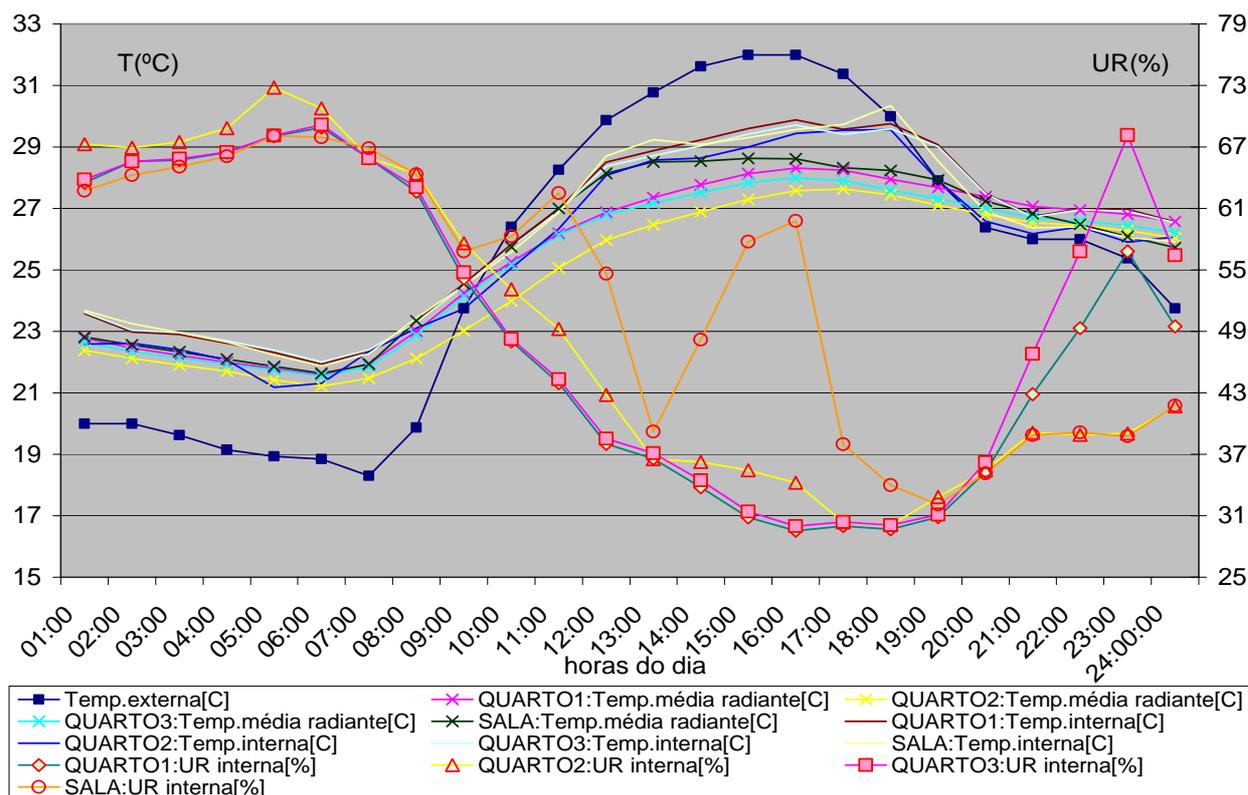
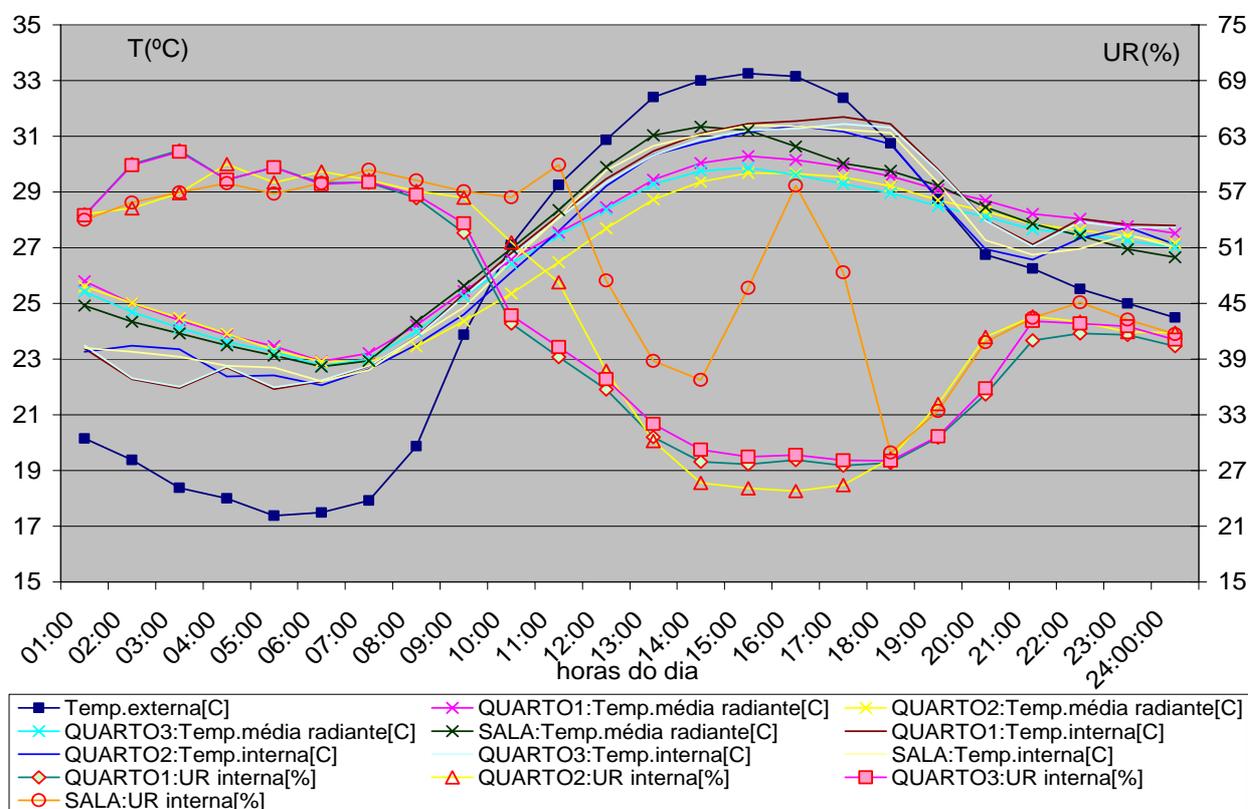


Figura II.5. Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 27/09 em Brasília.



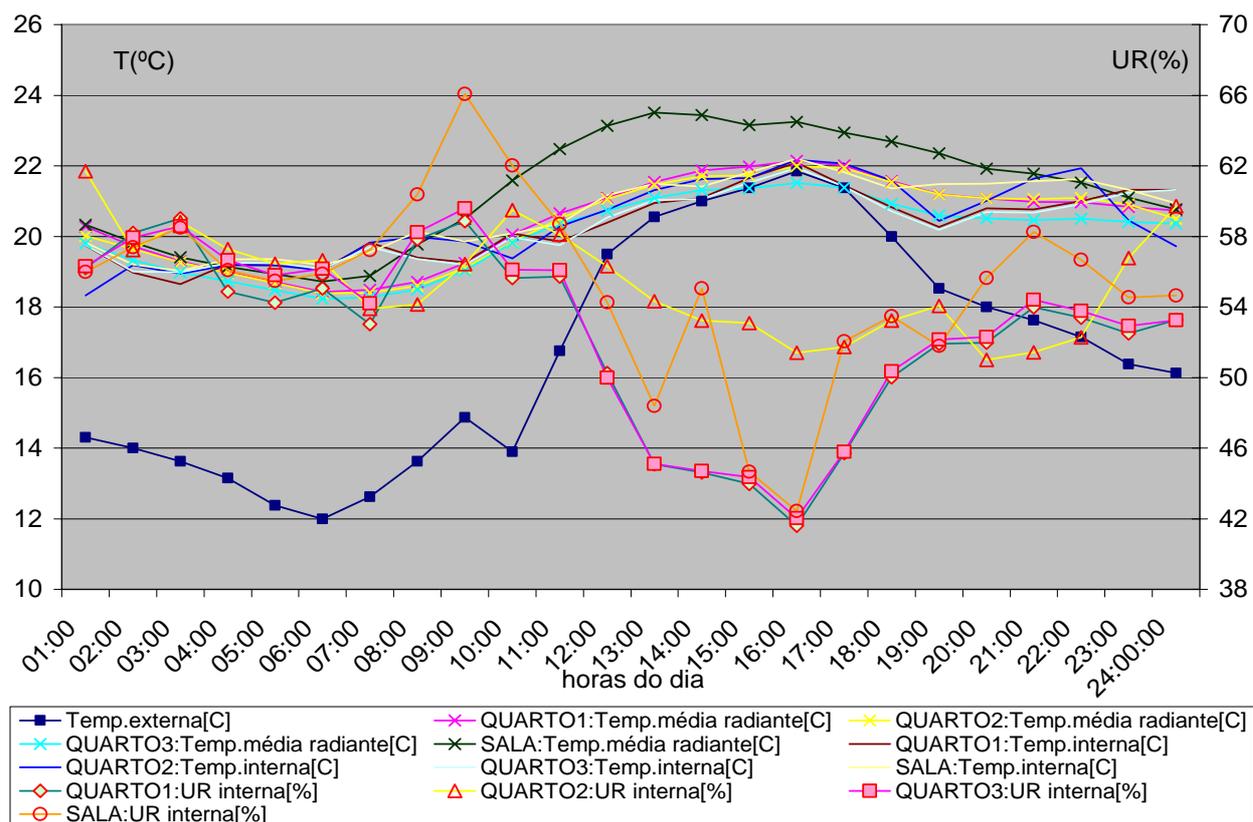


Figura II.7. Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 18/06 em Brasília.

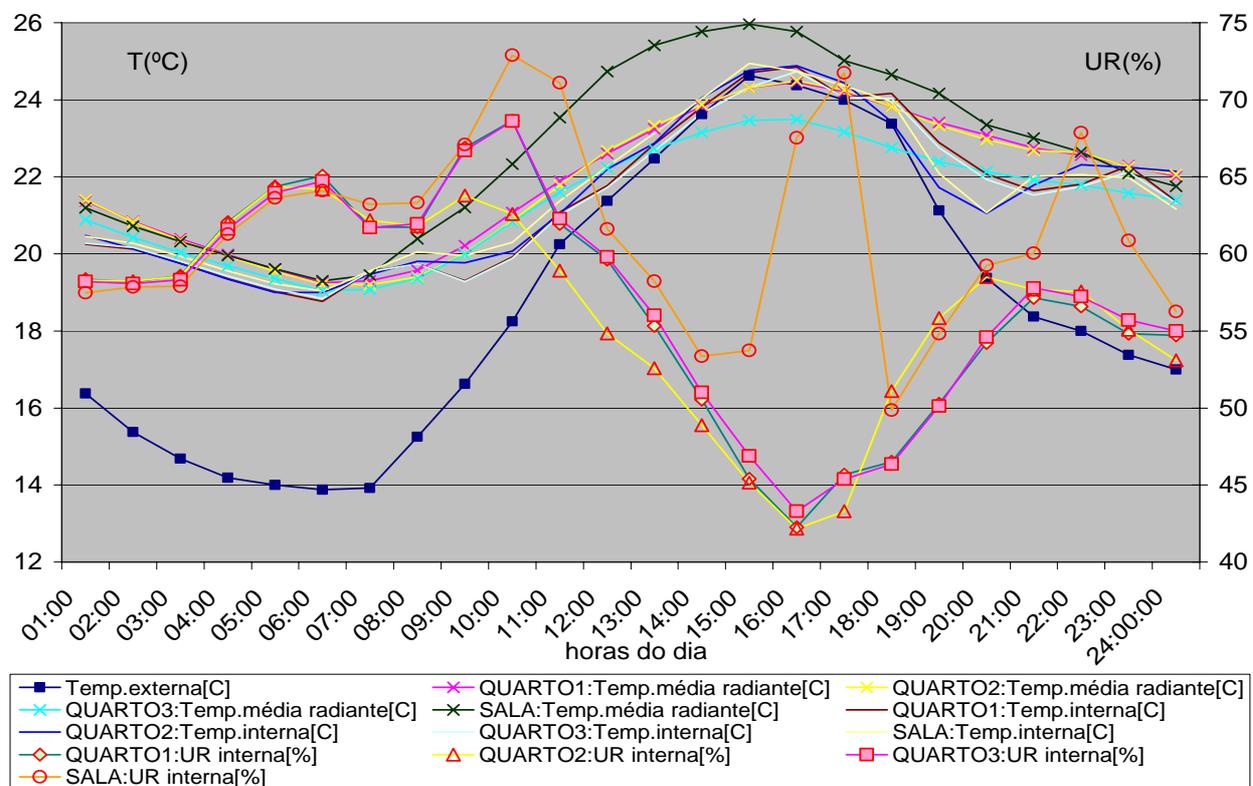
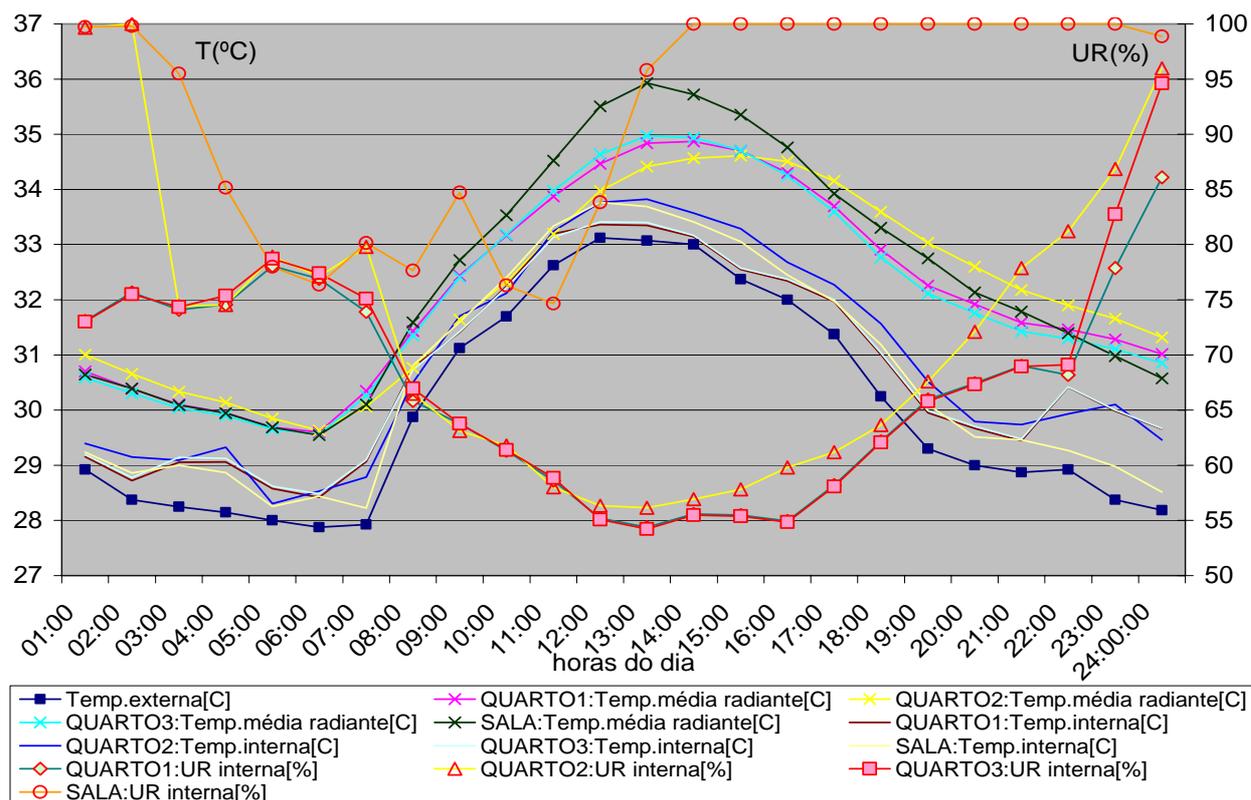
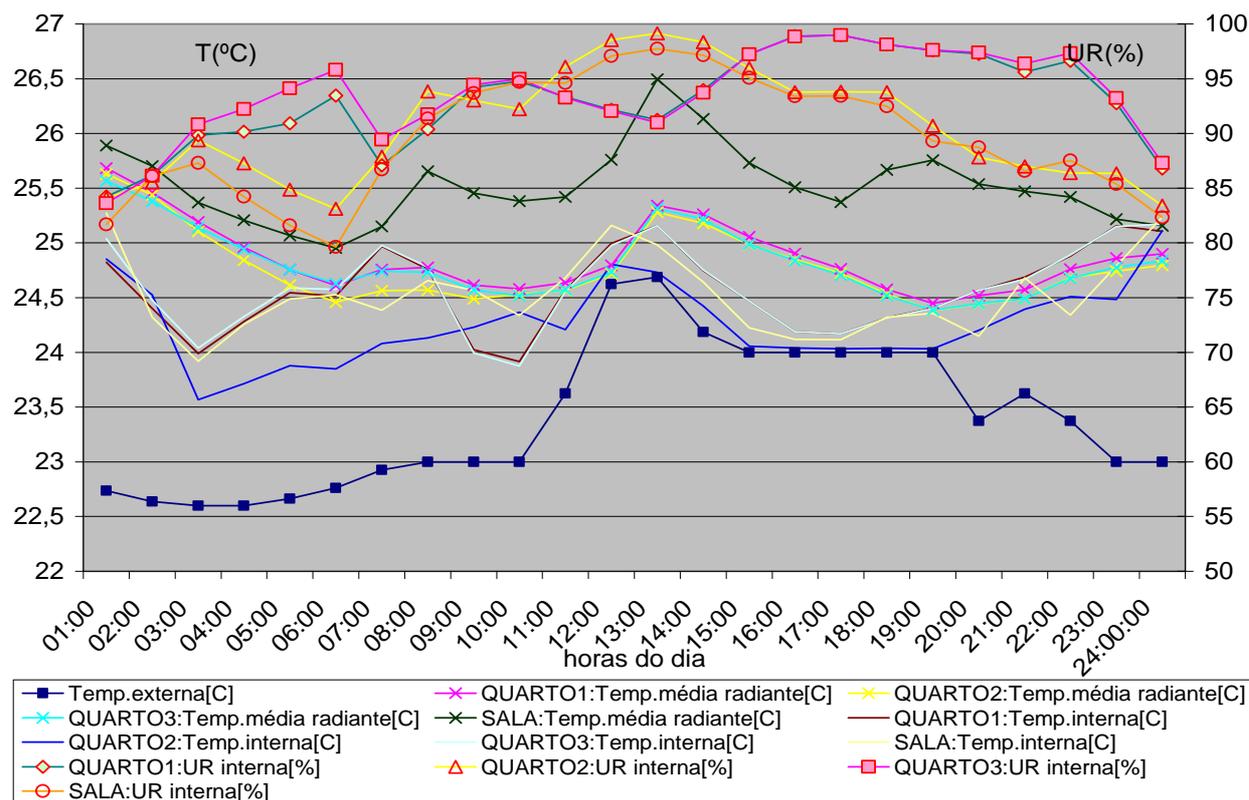


Figura II.8. Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 14/06 em Brasília.





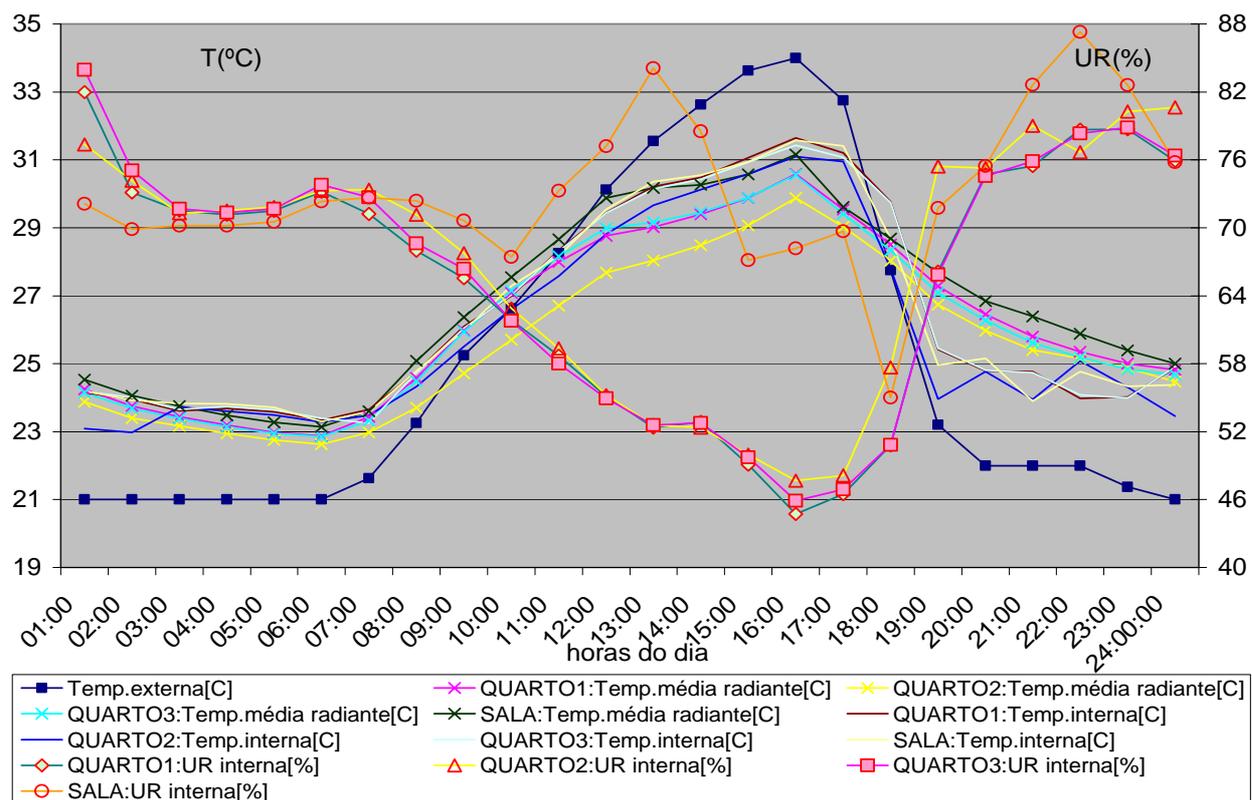


Figura II.13. Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 25/01 em São Paulo.

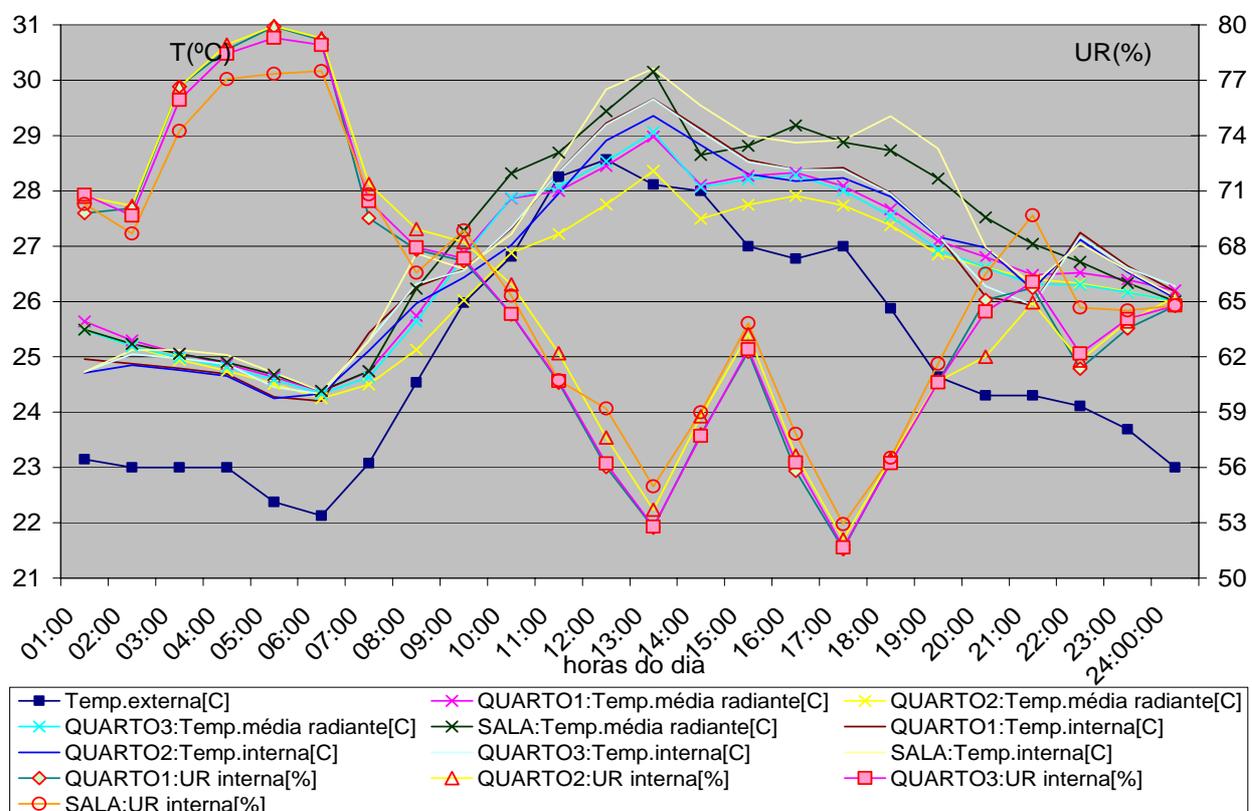


Figura II.14. Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 31/01 em São Paulo.

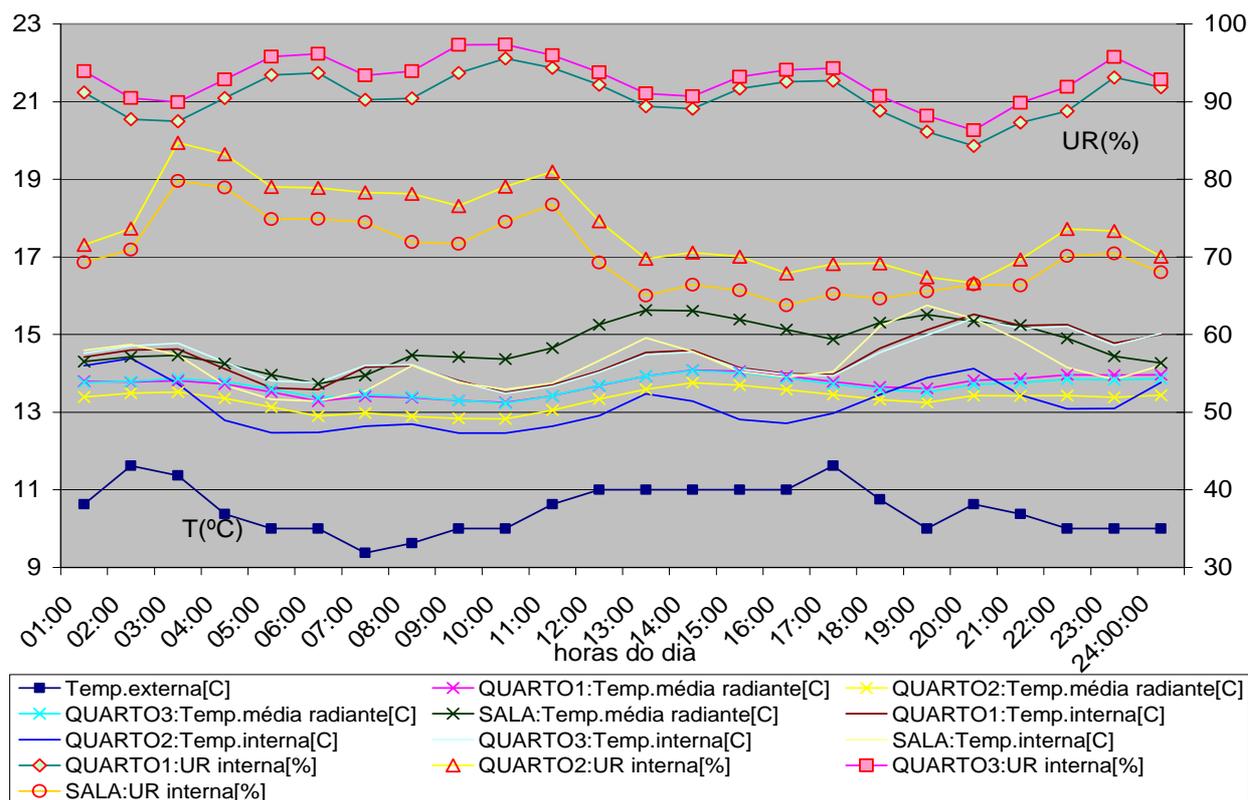


Figura II.15. Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 30/07 em São Paulo.

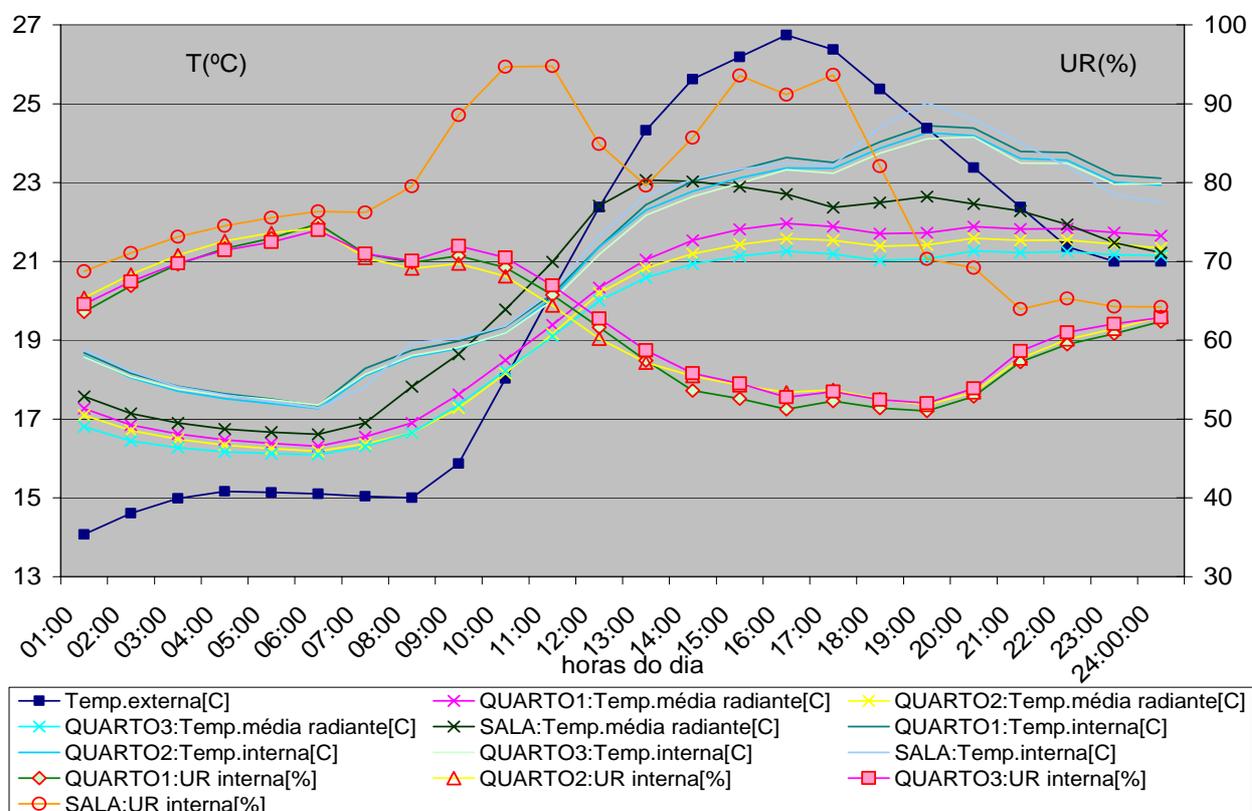


Figura II.16. Temperaturas externa, internas, médias radiantes e umidades relativas internas do dia 01/08 em São Paulo.