UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

ANA CLAUDIA CARFAN

**Análise do conforto térmico em áreas abertas
no município de Ourinhos-SP.
(Exemplar Revisado)**

São Paulo

2011

ANA CLAUDIA CARFAN

**Análise do conforto térmico em áreas abertas
no município de Ourinhos-SP.**

(EXEMPLAR REVISADO)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de doutor em Ciências (Geografia Física).

Orientador: Emerson Galvani

Co-orientador: Jonas Teixeira Nery

São Paulo

2011

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 25 de julho de 2011.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

Catálogo na publicação
Serviço de biblioteca e documentação
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

Carfan, Ana Claudia

Análise do conforto térmico em áreas abertas no município de Ourinhos-SP / Ana Claudia Carfan; orientador: Emerson Galvani, co-orientador: Jonas Teixeira Nery - São Paulo, 2011.

166 f. - ils., mapas, gráfs., tabs., fots.

Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia. Área de concentração: Geografia Física.

1. Clima urbano – Ourinhos (SP). 2. Conforto térmico – Ourinhos (SP). 3. Percepção ambiental – Ourinhos (SP). 4. Clima urbano – Modelo tridimensional – ENVI-MET. I. Título. II. Galvani, Emerson.

CDD 551.6

Ana Claudia Carfan

**Análise do conforto térmico em áreas abertas no município de Ourinhos-
SP.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de doutor em Ciências (Geografia Física).

Aprovado em:

Banca Examinadora

**Prof. Dr. :
Instituição:**

Assinatura:

**Prof. Dr. :
Instituição:**

Assinatura:

**Prof. Dr. :
Instituição:**

Assinatura:

**Prof. Dr. :
Instituição:**

Assinatura:

**Prof. Dr. :
Instituição:**

Assinatura:

Agradecimentos

Agradeço em especial a meu orientador, professor Doutor Emerson Galvani pela disponibilidade, paciência e dedicação a mim dispensadas. Pela competência com que me orientou, incentivando-me a desenvolver meu próprio ponto de vista.

Ao professor Doutor Jonas Teixeira Nery, por ter me proporcionado melhores condições para a realização deste trabalho e, também, pelo seu apoio e estímulo constantes, num dedicado trabalho de co-orientação.

Aos companheiros do Grupo CLIMA/CNPq pela convivência e troca de experiências.

Agradeço ainda a CAPES pela bolsa que permitiu minha dedicação exclusiva ao doutorado.

RESUMO

Carfan, A.C. (2011). Análise do conforto térmico em áreas abertas no município de Ourinhos-SP. 2011. F. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

Uma das conseqüências do aumento da população urbana e da modificação da paisagem é a alteração do clima local, criando um clima típico denominado clima urbano. Entender o clima urbano e buscar soluções para amenizar a influência de áreas construídas no clima de uma cidade é de grande interesse para a melhoria na qualidade de vida. Os modelos microclimáticos podem ser de grande utilidade no planejamento de cidades. Estes podem fornecer diretrizes para o planejamento arquitetônico, altura de edifícios, disposição de ruas e localização de áreas verdes trazendo um aumento do conforto térmico e dispersão de poluentes. O município de Ourinhos-SP está localizado no Sudoeste do Estado de São Paulo e faz divisa com o Estado do Paraná. Possui um clima do tipo subtropical, com inverno seco e verão chuvoso. O objetivo deste trabalho é analisar o clima urbano e o conforto térmico no município de Ourinhos, tendo para isso o modelo tridimensional ENVI-met como ferramenta principal de simulação das variáveis meteorológicas. Esse modelo possibilita a análise da temperatura do ar, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento além dos índices de conforto térmico PMV (Predicted Mean Vote) e PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) tendo por base a configuração da cidade. Efetuaram-se simulações para três áreas no município de Ourinhos, sendo duas no interior da área urbana e uma área suburbana. As simulações ocorreram para os dias 10/06/2009, inverno na região e dia 15/02/2010, situação de verão. Para o ponto situado no centro da cidade realizou-se, além da situação real, três simulações distintas alterando a estrutura através do aumento da altura das edificações, através da retirada das edificações da quadra central e instalação de um parque com vegetação rasteira e árvores e por meio da rotação da planta baixa da área urbano denso de 76°, onde a avenida principal antes com orientação NNO/SSE passa a ter orientação L/O. Pode-se observar que o modelo simula com razoável precisão as temperaturas obtidas em comparação aquelas medidas nas estações e através do coeficiente de determinação obteve-se que estes são significativos. Estes estudos mostraram que existe uma forte correlação entre a parte física da cidade (ruas, edificações e vegetação) e o conforto térmico humano. A situação de conforto para o verão e inverno é bastante diferenciada. Na análise dos índices de conforto PMV e PPD, no inverno somente a área urbano permeável não apresentou nenhuma área dentro dos limites de conforto estipulado pela norma ISO 7730. No verão, a área urbano denso para a situação real e com aumento das edificações e a área expansão urbana apresentaram reduzidas áreas de conforto. As demais áreas, tanto no inverno quanto no verão apresentaram-se desconfortáveis. As propostas de modificação feitas, neste trabalho, não foram suficientes para mitigar o desconforto térmico das áreas urbanas abertas.

Palavras chave: clima urbano, conforto térmico e Envi-met

ABSTRACT

The increasing urban population and the modification of the landscape bring forth one consequence, the local climate change, developing a typical urban climate, known as urban climate. Understanding the urban climate and seek solutions to mitigate the influence of the buildings in the environment in a city is of great interest for improving the quality of life. The microclimatic models can be very useful in planning the cities. They can provide guidelines for the architectural planning, building heights, street layout and location of green areas by bringing in an increase in thermal comfort and pollutant dispersion. Ourinhos county is located in the southwestern state of Sao Paulo and is bordered by the state of Parana. It has a subtropical type climate with dry winter and rainy summer. This study aims to analyze the urban climate and thermal comfort in the city, using on this purpose the three-dimensional model ENVI-met as a main tool for simulation of meteorological variables. This model enables the researcher to analyze the temperature, relative humidity, wind direction, wind intensity and the thermal comfort indices PMV (Predicted Mean Vote) and PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) based on the configuration of the city. We carried out simulations in three areas in Ourinhos, two within the urban area and another in a suburban area. The simulations occurred at 10/06/2009, winter days in the region and 15/02/2010, the summer situation. The simulations took place at the center of the city, besides the actual situation, three different simulations, altering the structure by increasing the height of buildings, through the removal of buildings from the central block, a park with trees and creepers and by turning the ground floor of dense urban area of 76°, where the main avenue with prior oriented NNW / SSE direction is replaced by E / O. As observed, the model explains well the temperature obtained by comparison with those in the stations. Through the coefficient of determination it was found that these are significant. These studies showed that There is a strong correlation between the physical part of the city (streets, buildings and vegetation) and human thermal comfort. Summer and winter comfort situation is very different. Analyzing the comfort indices PMV and PPD in the winter, only the permeable urban area did not show any area within the comfort limits stipulated by ISO standard 7730. In summer, the dense urban area onto the actual situation and the increase of buildings and urban expansion area showed little comfort zones. The remaining areas, in both winter and summer were uncomfortable. Proposed changes made in this work were not enough to alleviate the discomfort of urban open areas.

Key words: urban climate, thermal comfort and Envi-met

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2- ÁREA URBANA EM ESCALA LOCAL	23
FIGURA 3- ÁREA URBANA EM MESOESCALA.....	24
FIGURA 4- SEÇÃO TRANSVERSAL DE UMA TÍPICA ILHA DE CALOR URBANA	25
FIGURA 5 – SOL COMO FONTE DIRETA DE RADIAÇÃO E A CÚPULA DO CÉU (LATITUDE) COMO FONTE DIFUSA.....	43
FIGURA 5A – A OBSTRUÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR PELAS CONSTRUÇÕES – FATOR <i>SKY VIEW</i>	43
FIGURA 6 - COMPONENTES DO BALANÇO DE ENERGIA RADIANTE	48
FIGURA 7 – ESTADO DE SÃO PAULO COM A LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE OURINHOS. MUNICÍPIO DE OURINHOS E ÁREA URBANA.	51
FIGURA 8 – ÁREA DE ESTUDO NO CENTRO DA CIDADE DE OURINHOS SP.....	52
FIGURA 8A – FOTOGRAFIA DA ÁREA URBANO DENSO NA AVENIDA ALTINO ARANTES, ONDE ESTÁ LOCALIZADA A SAE DE OURINHOS SP. FONTE: O AUTOR.	52
FIGURA 9 – ÁREA DE ESTUDO NO BAIRRO VILA BRASIL, OURINHOS SP.....	53
FIGURA 9A – FOTOGRAFIA DA ÁREA URBANO PERMEÁVEL NO BAIRRO VILA BRASIL, ONDE ESTÁ LOCALIZADA A SAE DE OURINHOS SP. FONTE: O AUTOR.	53
FIGURA 10 – ÁREA CLASSIFICADA COMO EXPANSÃO NO MUNICÍPIO DE OURINHOS SP.....	54
FONTE: GOOGLE EARTH. DISPONÍVEL EM: HTTP:// EARTH.GOOGLE.COM . ACESSO EM 08/2009.	54
FIGURA 10A – FOTOGRAFIA DA ÁREA DE ESTUDO EXPANSÃO URBANA NO MUNICÍPIO DE OURINHOS SP.....	54
FIGURA 11 – MUNICÍPIO DE OURINHOS COM ÁREA URBANA E LOCALIZAÇÃO E ALTITUDE (M) DAS TRÊS ESTAÇÕES AUTOMÁTICAS UTILIZADAS. FONTE: O AUTOR.	55
FIGURA 12 – ESTRUTURA DO MODELO ENVI-MET MOSTRANDO OS ARQUIVOS DE ENTRADA E SAÍDA.....	57
FIGURA 12A – TIPOS DE GRADES VERTICAIS FORNECIDAS PELO MODELO ENVI-MET	57
FIGURA 13 – GRADE DE ENTRADA DO MODELO REPRESENTANDO UMA ÁREA DE 3 X 3 QUADRAS NO CENTRO DO MUNICÍPIO DE OURINHOS – SP, COM ALTURA MÉDIA DAS CONSTRUÇÕES DE 5,0 M... ..	58
FIGURA 14 - GRADE DE ENTRADA DO MODELO REPRESENTANDO UMA ÁREA DE 3 X 3 QUADRAS NO CENTRO DA CIDADE DE OURINHOS – SP, COM ALTURA MÉDIA DAS CONSTRUÇÕES DE 30,0 M.	59
FIGURA 15 - GRADE DE ENTRADA DO MODELO REPRESENTANDO UMA ÁREA DE 3 X 3 QUADRAS NO CENTRO DA CIDADE DE OURINHOS – SP, RETIRANDO AS EDIFICAÇÕES DA QUADRA CENTRAL E COLOCANDO GRAMÍNEAS E ÁRVORES.	60
FIGURA 16 - GRADE DE ENTRADA DO MODELO REPRESENTANDO UMA ÁREA DE 3 X 3 QUADRAS NO CENTRO DO MUNICÍPIO DE OURINHOS – SP, COM ROTAÇÃO DE 76° DA ESTRUTURA EDIFICADA... ..	60
FIGURA 17 – INFLUÊNCIA DAS EDIFICAÇÕES NO FLUXO DO VENTO	61
FIGURA 18 – RELAÇÃO LARGURA/ALTURA DO CÂNION (DESFILADEIRO) DA AVENIDA DA ÁREA DE ESTUDO URBANO DENSO (CENTRO DA CIDADE) PARA A SITUAÇÃO REAL (A) E PARA O AUMENTO DA ALTURA DAS EDIFICAÇÕES DE 5 PARA 30,0 M (B) E DIREÇÕES DA AVENIDA (C) E (D).....	62
FIGURA 19– GRADE DE ENTRADA DO MODELO REPRESENTANDO A ÁREA DE SIMULAÇÃO URBANO DENSO.	62
FIGURA 20 – GRADE DE ENTRADA DO MODELO REPRESENTANDO O CENÁRIO REAL NA ÁREA “EXPANSÃO URBANA” DE OURINHOS - SP.....	63
FIGURA 21 - IMAGEM DE SATÉLITE (CARTA DE SUPERFÍCIE, À ESQUERDA) MOSTRANDO OS SISTEMAS ATUANTES NO DIA 10/06/2009.	71
FIGURA 21A – IMAGEM DE SATÉLITE, INFRAVERMELHO (A DIREITA) - DO DIA 10/06/2009.....	71
FIGURA 22 (À ESQUERDA) – IMAGEM DE SATÉLITE MOSTRANDO OS SISTEMAS ATUANTES NO DIA 15/02/2010.....	72
FIGURA 22A (À DIREITA)– IMAGEM DE SATÉLITE INFRAVERMELHO PARA O DIA 15/02/2010.....	72
FIGURA 23 – EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA DO AR NA SITUAÇÃO URBANO DENSO PARA O DIA 10 E 11/06/2009, EM 24 HORAS.	74

FIGURA 23A – ANÁLISE DE CORRELAÇÃO. COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS DE TEMPERATURA DA ESTAÇÃO NA ÁREA URBANO DENSO E OS DADOS DO MODELO PARA O DIA 10 E 11/06/2009.....	75
FIGURA 24– EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA DO AR NA SITUAÇÃO URBANO PERMEÁVEL NO BAIRRO VILA BRASIL, ONDE ESTÁ LOCALIZADA A SAE PARA O DIA 10 E 11/06/2009, EM 24 HORAS.	75
FIGURA 24A – ANÁLISE DE CORRELAÇÃO. COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS DE TEMPERATURA DA ESTAÇÃO NA ÁREA URBANO PERMEÁVEL E OS DADOS DO MODELO PARA O DIA 10 E 11/06/2009..	76
FIGURA 25– EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA DO AR NA ÁREA EXPANSÃO URBANA DE OURINHOS PARA O DIA 10 E 11/06/2009, EM 24 HORAS.	76
FIGURA 25A – ANÁLISE DE CORRELAÇÃO. COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS DE TEMPERATURA DA ESTAÇÃO NA ÁREA EXPANSÃO URBANA E OS DADOS DO MODELO PARA O DIA 10 E 11/06/2009	77
FIGURA 26– UMIDADE RELATIVA DO AR JUNTO À SUPERFÍCIE NO CENTRO DA CIDADE DE OURINHOS, SP PARA A SITUAÇÃO REAL NO DIA 10/06/2009	78
FIGURA 27 – UMIDADE RELATIVA DO AR JUNTO À SUPERFÍCIE, NO CENTRO DA CIDADE DE OURINHOS SP (URBANO DENSO), PARA A SITUAÇÃO DE AUMENTO DA ALTURA DAS EDIFICAÇÕES PARA 30,0 M.	78
FIGURA 28- UMIDADE RELATIVA DO AR JUNTO À SUPERFÍCIE NO CENTRO DA CIDADE DE OURINHOS SP PARA A SITUAÇÃO DE SUBSTITUIÇÃO DAS CONSTRUÇÕES DA QUADRA CENTRAL POR VEGETAÇÃO.....	79
FIGURA 29 - UMIDADE RELATIVA DO AR JUNTO À SUPERFÍCIE NO CENTRO DA CIDADE DE OURINHOS SP PARA A SITUAÇÃO ROTAÇÃO.	79
FIGURA 30- UMIDADE RELATIVA DO AR JUNTO À SUPERFÍCIE NA ÁREA URBANO PERMEÁVEL - OURINHOS SP.....	80
FIGURA 31 – UMIDADE RELATIVA DO AR JUNTO À SUPERFÍCIE NA ÁREA CARACTERIZADA COMO EXPANSÃO URBANA.	80
FIGURA 33 – PLANTA BAIXA E CORTE VERTICAL DA SITUAÇÃO 30,0 M REPRESENTANDO DIREÇÃO E VELOCIDADE DO VENTO NA ÁREA URBANO DENSO.....	83
FIGURA 34 - PLANTA BAIXA E CORTE VERTICAL DA SITUAÇÃO PARQUE REPRESENTANDO DIREÇÃO E VELOCIDADE DO VENTO NA ÁREA URBANO DENSO.....	85
FIGURA 35– DIREÇÃO DO VENTO PARA A SITUAÇÃO REAL E A SITUAÇÃO ROTACIONADA.....	86
.....	88
FIGURA 38 - CONTINUAÇÃO.	90
FIGURA 39 - VARIAÇÃO EM 24 HORAS DA TEMPERATURA DO AR PARA A ÁREA URBANO DENSO PARA TRÊS SITUAÇÕES ESTUDADAS PARA O DIA 10/06/2009, EM 2,5M DA SUPERFÍCIE.	91
FIGURA 40 - VARIAÇÃO EM 24 HORAS DA TEMPERATURA DO AR PARA A ÁREA URBANO DENSO PARA TRÊS SITUAÇÕES ESTUDADAS PARA O DIA 10/06/2009 JUNTO A SUPERFÍCIE	91
FIGURA 41- CORTE REPRESENTATIVO DA ÁREA URBANO DENSO.....	92
FIGURA 42 - ISOLINHAS DE TEMPERATURA DO AR, NO NÍVEL DA SUPERFÍCIE, NA ÁREA DE ESTUDO URBANO DENSO, PARA A SITUAÇÃO REAL NO DIA 10/06/2009	93
FIGURA 43 - ISOLINHAS DE TMR NA ÁREA DE ESTUDO URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO REAL NO DIA 10/06/2009.....	94
FIGURA 44 - ISOLINHAS DE TEMPERATURA DO AR NO NÍVEL DA SUPERFÍCIE NA ÁREA DE ESTUDO URBANO DENSO PARA EDIFICAÇÕES COM 30,0 M NO DIA 10/06/2009.	95
FIGURA 45 ISOLINHAS DA TMR NA ÁREA DE ESTUDO URBANO DENSO PARA EDIFICAÇÕES COM 30,0 M DE ALTURA NO DIA 10/06/2009.	96
FIGURA 46 - CORTE REPRESENTATIVO DA ÁREA URBANO DENSO SUBSTITUINDO AS EDIFICAÇÕES POR VEGETAÇÃO, NO CENTRO DA CIDADE DE OURINHOS SP.	96
FIGURA 47- ISOLINHAS DE TEMPERATURA DO AR NO NÍVEL DA SUPERFÍCIE NA ÁREA URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO DE SUBSTITUIÇÃO DAS CONSTRUÇÕES DA QUADRA CENTRAL POR VEGETAÇÃO NO DIA 10/06/2009.	97
FIGURA 47A- ISOLINHAS DE TEMPERATURA DO AR NO NÍVEL DA SUPERFÍCIE NA ÁREA URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO DE SUBSTITUIÇÃO DAS CONSTRUÇÕES DA QUADRA CENTRAL POR VEGETAÇÃO NO DIA 10/06/2009.	98
FIGURA 48 - ISOLINHAS DE TMR NA ÁREA URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO DE SUBSTITUIÇÃO DAS CONSTRUÇÕES DA QUADRA CENTRAL POR VEGETAÇÃO NO DIA 10/06/2009.	98

FIGURA 48A - ISOLINHAS DE TMR NA ÁREA URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO DE SUBSTITUIÇÃO DAS CONSTRUÇÕES DA QUADRA CENTRAL POR VEGETAÇÃO NO DIA 10/06/2009.	99
FIGURA 49- ISOLINHAS DE TEMPERATURA DO AR NA ÁREA URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO ROTACIONADO NO DIA 10/06/2009.	100
FIGURA 50- ISOLINHAS DE TMR NA ÁREA URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO ROTACIONADO NO DIA 10/06/2009.....	101
FIGURA 51 - CORTE REPRESENTATIVO DA ÁREA DE ESTUDO URBANO PERMEÁVEL – BAIRRO VILA BRASIL NO MUNICÍPIO DE OURINHOS SP.	101
FIGURA 52 - ISOLINHAS DE TEMPERATURA DO AR NO NÍVEL DA SUPERFÍCIE NA ÁREA URBANO PERMEÁVEL NO DIA 10/06/2009.	102
FIGURA 56- ISOLINHAS DE TMR NA ÁREA URBANO PERMEÁVEL NO DIA 10/06/2009.....	103
FIGURA 57 - CORTE REPRESENTATIVO DA ÁREA DE ESTUDO EXPANSÃO URBANA EM OURINHOS SP.	103
FIGURA 59 - ISOLINHAS DE TEMPERATURA DO AR NO NÍVEL DA SUPERFÍCIE NA ÁREA EXPANSÃO URBANA NO DIA 10/06/2009.	104
FIGURA 60 - ISOLINHAS DE TMR NA ÁREA EXPANSÃO URBANA NO DIA 10/06/2009	104
FIGURA 61 – FATOR VISÃO DO CÉU PARA A ÁREA URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO REAL.....	105
FIGURA 62 – FATOR VISÃO DO CÉU PARA A ÁREA URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO DE AUMENTO DAS EDIFICAÇÕES.....	106
FIGURA 63- ISOLINHAS DE PMV NA ÁREA URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO REAL NO DIA 10/06/2009.....	107
FIGURA 64- ISOLINHAS DE PPD NA ÁREA URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO REAL NO DIA 10/06/2009.....	108
FIGURA 65- ISOLINHAS DE PMV E PPD NA ÁREA URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO REAL NO DIA 10/06/2009.....	109
FIGURA 66 - ISOLINHAS DE PMV PARA A ÁREA URBANO DENSO PARA EDIFICAÇÕES COM 30,0 M DE ALTURA NO DIA 10/06/2009	110
FIGURA 67- ISOLINHAS DE PPD PARA A ÁREA URBANA DENSA PARA EDIFICAÇÕES COM 30 M DE ALTURA.	110
FIGURA 68- ISOLINHAS DE PMV E PPD NA ÁREA DE ESTUDO URBANO DENSO PARA EDIFICAÇÕES COM 30,0 M DE ALTURA NO DIA 10/06/2009.....	111
FIGURA 69A - ISOLINHAS DE PMV PARA A ÁREA URBANA DENSA PARA A SITUAÇÃO DE SUBSTITUIÇÃO DAS CONSTRUÇÕES DA QUADRA CENTRAL POR VEGETAÇÃO NO DIA 10/06/2009.	112
FIGURA 70 – ISOLINHAS DE PPD PARA A SITUAÇÃO DE SUBSTITUIÇÃO DAS CONSTRUÇÕES DA QUADRA CENTRAL POR VEGETAÇÃO, NA ÁREA URBANA DENSA.	113
FIGURA 70A - ISOLINHAS DE PPD PARA A ÁREA URBANA DENSA PARA A SITUAÇÃO DE SUBSTITUIÇÃO DAS CONSTRUÇÕES DA QUADRA CENTRAL POR VEGETAÇÃO NO DIA 10/06/2009.	114
FIGURA 71 – ISOLINHAS DE PMV E PPD NA ÁREA PARQUE PARA A SITUAÇÃO DE SUBSTITUIÇÃO DAS CONSTRUÇÕES DA QUADRA CENTRAL POR VEGETAÇÃO NO DIA 10/06/2009.	114
FIGURA 71A - ISOLINHAS DE PMV E PPD NA ÁREA URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO DE SUBSTITUIÇÃO DAS CONSTRUÇÕES DA QUADRA CENTRAL POR VEGETAÇÃO NO DIA 10/06/2009.	115
FIGURA 72- ISOLINHAS DE PMV NA ÁREA URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO ROTACIONADO NO DIA 10/06/2009.....	115
FIGURA 73- ISOLINHAS DE PPD NA ÁREA URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO ROTACIONADO NO DIA 10/06/2009.....	116
FIGURA 74- ISOLINHAS DE PMV + PPD NA ÁREA URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO ROTACIONADO NO DIA 10/06/2009.....	117
FIGURA 75 - ISOLINHAS DE PMV NA ÁREA URBANO PERMEÁVEL NO DIA 10/06/2009	117
FIGURA 76 - ISOLINHAS DE PPD NA ÁREA DE ESTUDO URBANO PERMEÁVEL EM OURINHOS - SP, NO DIA 10/06/2009.....	118
FIGURA 77 - ISOLINHAS DE PMV+ PPD NA ÁREA DE ESTUDO URBANO PERMEÁVEL EM OURINHOS- SP NO DIA 10/06/2009.....	118
FIGURA 78 - ISOLINHAS DE PMV NA ÁREA DE ESTUDO EXPANSÃO URBANA EM OURINHOS SP NO DIA 10/06/2009.....	119

FIGURA 79 - ISOLINHAS DE PPD NA ÁREA DE ESTUDO URBANO PERMEÁVEL EM OURINHOS - SP NO DIA 10/06/2009.....	119
FIGURA 80 - ISOLINHAS DE PMV + PPD NA ÁREA DE ESTUDO EXPANSÃO URBANA EM OURINHOS SP NO DIA 10/06/2009.....	120
FIGURA 81 – EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA DO AR NA ÁREA URBANO DENSO, NO CENTRO DE OURINHOS, ONDE ESTÁ LOCALIZADA A SAE PARA O DIA 15 E 16/02/2010, EM 24 HORAS.	121
FIGURA 81A - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO. COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS DE TEMPERATURA DA ESTAÇÃO DA SAE (CENTRO) E OS DADOS DO MODELO PARA O DIA 15 E 16/02/2010.....	121
FIGURA 82 – EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA DO AR URBANO PERMEÁVEL EM OURINHOS ONDE ESTÁ LOCALIZADA A SAE PARA O DIA 15 E 16/02/2010, EM 24 HORAS	122
FIGURA 82A - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO. COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS DE TEMPERATURA DA ESTAÇÃO DA SAE DO BAIRRO VILA BRASIL E OS DADOS DO MODELO PARA O DIA 15 E 16/02/2010.	122
FIGURA 83 - EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA DO AR NA ÁREA EXPANSÃO URBANA DE OURINHOS PARA O DIA 15 E 16/02/2010, EM 24 HORAS.	123
FIGURA 83A - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO. COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS DE TEMPERATURA DA ESTAÇÃO DA ÁREA EXPANSÃO URBANA EM OURINHOS E OS DADOS DO MODELO PARA O DIA 15 E 16/02/2010.....	123
FIGURA 84 - UMIDADE RELATIVA DO AR JUNTO À SUPERFÍCIE NO CENTRO DA CIDADE DE OURINHOS (URBANO DENSO), PARA A SITUAÇÃO REAL NO DIA 15/02/2010.	124
FIGURA 85 - UMIDADE RELATIVA DO AR JUNTO À SUPERFÍCIE NO CENTRO DA CIDADE DE OURINHOS (URBANO DENSO) PARA A SITUAÇÃO DE AUMENTO DA ALTURA DAS EDIFICAÇÕES PARA 30,0 M NO DIA 15/02/2010.	125
FIGURA 86- UMIDADE RELATIVA DO AR JUNTO À SUPERFÍCIE NO CENTRO DA CIDADE DE OURINHOS (URBANO DENSO) PARA A SITUAÇÃO DE SUBSTITUIÇÃO DAS CONSTRUÇÕES DA QUADRA CENTRAL POR VEGETAÇÃO.	126
FIGURA 87- UMIDADE RELATIVA DO AR JUNTO À SUPERFÍCIE PARA A SITUAÇÃO URBANO DENSO ROTACIONADO NO DIA 15/02/2010.	126
FIGURA 88- UMIDADE RELATIVA DO AR JUNTO À SUPERFÍCIE URBANO PERMEÁVEL NO MUNICÍPIO DO OURINHOS SP.	127
FIGURA 89- UMIDADE RELATIVA DO AR JUNTO À SUPERFÍCIE NA ÁREA EXPANSÃO URBANA EM OURINHOS - SP.....	127
FIGURA 90 - PLANTA BAIXA E CORTE DA SITUAÇÃO REAL REPRESENTANDO SENTIDO E VELOCIDADE DO VENTO NA ÁREA NO CENTRO DA CIDADE (URBANO DENSO) DE OURINHOS - SP.....	129
FIGURA 91 - PLANTA BAIXA E CORTE DA SITUAÇÃO 30,0 M REPRESENTANDO SENTIDO E VELOCIDADE DO VENTO NA ÁREA URBANO DENSO.....	130
FIGURA 92 - PLANTA BAIXA E CORTE DA SITUAÇÃO “PARQUE” REPRESENTANDO SENTIDO E VELOCIDADE DO VENTO NA ÁREA NO CENTRO DA CIDADE (URBANO DENSO) DE OURINHOS - SP.....	131
FIGURA 93– DIREÇÃO DO VENTO PARA A SITUAÇÃO REAL E A SITUAÇÃO ROTACIONADA.....	132
FIGURA 94 - PLANTA BAIXA E CORTE DA SITUAÇÃO “ROTACIONADO” REPRESENTANDO SENTIDO E VELOCIDADE DO VENTO NA ÁREA NO CENTRO DA CIDADE (URBANO DENSO) DE OURINHOS – SP.	132
FIGURA 95 - PLANTA BAIXA DO LOCAL ONDE ESTÁ SITUADA A SAE NO BAIRRO VILA BRASIL (URBANO PERMEÁVEL) MOSTRANDO A VELOCIDADE E DIREÇÃO DO VENTO PARA O DIA 15/02/2010 ÀS 12H0MIN.	133
FIGURA 96 – PLANTA BAIXA E CORTE DA REGIÃO EXPANSÃO URBANA MOSTRANDO A DIREÇÃO E VELOCIDADE DO VENTO PARA 15/02/2010 ÀS 12H00MIN.....	134
FIGURA 97 - VARIAÇÃO EM 24 HORAS DA TEMPERATURA DO AR PARA A ÁREA URBANO DENSO (CENTRO DA CIDADE DE OURINHOS) PARA AS TRÊS SITUAÇÕES ESTUDADAS PARA O DIA PARA O DIA 15/02/2010.....	135
FIGURA 98 - VARIAÇÃO EM 24 HORAS DA TEMPERATURA DO AR PARA A ÁREA URBANO DENSO (CENTRO DA CIDADE DE OURINHOS) PARA AS TRÊS SITUAÇÕES ESTUDADAS PARA O DIA PARA O DIA 15/02/2010.....	136
FIGURA 99 ISOLINHAS DE TEMPERATURA DO AR NO NÍVEL DA SUPERFÍCIE NA ÁREA URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO REAL NO DIA 15/02/2010.	136

FIGURA 100 - ISOLINHAS DE TMR NA ÁREA URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO REAL NO DIA 15/02/2010.....	137
FIGURA 101 - ISOLINHAS DE TEMPERATURA DO AR NO NÍVEL DA SUPERFÍCIE PARA A ÁREA URBANA DENSA PARA EDIFICAÇÕES COM 30,0 M DE ALTURA NO DIA 15/02/2010.....	138
FIGURA 102 - ISOLINHAS DE TMR PARA A ÁREA URBANA DENSA PARA EDIFICAÇÕES COM 30,0 M DE ALTURA NO DIA 15/02/2010.	139
FIGURA 103 - ISOLINHAS DE TEMPERATURA DO AR NO NÍVEL DA SUPERFÍCIE PARA A ÁREA URBANA DENSA PARA A SITUAÇÃO DE SUBSTITUIÇÃO DAS CONSTRUÇÕES DA QUADRA CENTRAL POR VEGETAÇÃO NO DIA 15/02/2010.	139
FIGURA 104 - ISOLINHAS DE TMR PARA A ÁREA URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO DE SUBSTITUIÇÃO DAS CONSTRUÇÕES DA QUADRA CENTRAL POR VEGETAÇÃO NO DIA 15/02/2010.	140
FIGURA 105- ISOLINHAS DE TEMPERATURA DO AR NA ÁREA URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO ROTACIONADO NO DIA 15/02/2010	141
FIGURA 106- ISOLINHAS DE TMR NA ÁREA URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO ROTACIONADO NO DIA 15/02/2010.....	142
FIGURA 107 - ISOLINHAS DE TEMPERATURA DO AR NO NÍVEL DA SUPERFÍCIE NA ÁREA DE ESTUDO URBANO PERMEÁVEL EM OURINHOS - SP NO DIA 15/02/2010.....	142
FIGURA 108 - ISOLINHAS DE TMR NA ÁREA DE ESTUDO URBANO PERMEÁVEL EM OURINHOS - SP, NO DIA 15/02/2010.	143
FIGURA 109 - ISOLINHAS DE TEMPERATURA DO AR NO NÍVEL DA SUPERFÍCIE NA ÁREA DE ESTUDO EXPANSÃO URBANA NO DIA 15/02/2010.....	143
FIGURA 110- ISOLINHAS DE TMR NA ÁREA DE ESTUDO EXPANSÃO URBANA NO MUNICÍPIO DE OURINHOS - SP, NO DIA 15/02/2010.	144
FIGURA 111 - ISOLINHAS DE PMV NA ÁREA URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO REAL NO DIA 15/02/2010.....	144
FIGURA 112- ISOLINHAS DE PPD NA ÁREA URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO REAL NO DIA 15/02/2010.....	145
FIGURA 113 - ISOLINHAS DE PMV - PPD NA ÁREA URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO REAL NO DIA 15/02/2010.....	146
FIGURA 114 ISOLINHAS DE PMV PARA A ÁREA URBANA DENSA PARA EDIFICAÇÕES COM 30,0 M DE ALTURA NO DIA 15/02/2010.	146
FIGURA 116 - ISOLINHAS DE PPD PARA A ÁREA URBANA DENSA PARA EDIFICAÇÕES COM 30,0 M DE ALTURA NO DIA 15/02/2010.	147
FIGURA 117 - ISOLINHAS DE PMV + PPD PARA A ÁREA URBANA DENSA PARA EDIFICAÇÕES COM 30,0 M DE ALTURA NO DIA 15/02/2010.	147
FIGURA 118- ISOLINHAS DE PMV PARA A ÁREA URBANA DENSA PARA A SITUAÇÃO DE SUBSTITUIÇÃO DAS CONSTRUÇÕES DA QUADRA CENTRAL POR VEGETAÇÃO NO DIA 15/02/2010.	148
FIGURA 119 - ISOLINHAS DE PPD PARA A ÁREA URBANA DENSA PARA A SITUAÇÃO DE SUBSTITUIÇÃO DAS CONSTRUÇÕES DA QUADRA CENTRAL POR VEGETAÇÃO NO DIA 15/02/2010.	149
FIGURA 120 - ISOLINHAS DE PMV + PPD PARA A ÁREA URBANA DENSA PARA A SITUAÇÃO DE SUBSTITUIÇÃO DAS CONSTRUÇÕES DA QUADRA CENTRAL POR VEGETAÇÃO NO DIA 15/02/2010.	149
FIGURA 121- ISOLINHAS DE PMV NA ÁREA URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO ROTACIONADO NO DIA 15/02/2010.....	150
FIGURA 122- ISOLINHAS DE PPD NA ÁREA URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO ROTACIONADO NO DIA 15/02/2010.....	151
FIGURA 123- ISOLINHAS DE PMV + PPD NA ÁREA URBANO DENSO PARA A SITUAÇÃO ROTACIONADO NO DIA 15/02/2010.....	151
FIGURA 124- ISOLINHAS DE PMV NA ÁREA DE ESTUDO URBANO PERMEÁVEL EM OURINHOS SP NO DIA 15/02/2010.....	152
FIGURA 125- ISOLINHAS DE PPD NA ÁREA DE ESTUDO URBANO PERMEÁVEL EM OURINHOS SP NO DIA 15/02/2010.....	152
FIGURA 126 - ISOLINHAS DE PMV + PPD NA ÁREA DE ESTUDO URBANO PERMEÁVEL EM OURINHOS SP NO DIA 15/02/2010.	153
FIGURA 127 - ISOLINHAS DE PMV NA ÁREA DE ESTUDO EXPANSÃO URBANA NO MUNICÍPIO DE OURINHOS – SP, NO DIA 15/02/2010.....	153

FIGURA 128- ISOLINHAS DE PPD NA ÁREA DE ESTUDO EXPANSÃO URBANA NO MUNICÍPIO DE OURINHOS SP NO DIA 15/02/2010.	154
FIGURA 129- ISOLINHAS DE PMV + PPD NA ÁREA DE ESTUDO EXPANSÃO URBANA NO MUNICÍPIO DE OURINHOS - SP NO DIA 15/02/2010.	154

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Velocidade aceitável dentro da área urbana e seus efeitos.	16
Tabela 2 – Índices de conforto térmico.....	32
Tabela 3 – Limites de PMV	33
Tabela 3 – Limites de PMV.	33
Tabela 4 – Dados de temperatura e precipitação do município de Ourinhos - SP.	46
Tabela 5 - Dados de entrada do modelo - Urbano denso.....	61
Tabela 6 - Dados de entrada do modelo - Urbano permeável.....	62
Tabela 7 - Dados de entrada do modelo – Expansão urbana	63
Tabela 8 – Dados de entrada do modelo – Urbano denso.....	64
Tabela 9 - Dados de entrada do modelo– Urbano permeável	65
Tabela 10– Dados de entrada do modelo–Expansão urbana.....	66
Tabela 11 – Coeficiente de correlação e nível de significância.	90
Tabela 12 – Síntese dos resultados para o dia 10/06/2009.....	151
Tabela 13 – Síntese dos resultados para o dia 15/02/210	151

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. HIPÓTESE	21
3. OBJETIVO	21
3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
4. REVISÃO DE LITERATURA	22
4.1. ALTERAÇÕES NO CLIMA NO AMBIENTE URBANO – ILHAS DE CALOR.....	22
4.2. UTILIZAÇÃO DE MODELOS NOS ESTUDOS DE CLIMA URBANO	30
4.3. ESTUDOS DE CONFORTO TÉRMICO EM ÁREAS URBANAS	33
4.4. FATOR VISÃO DO CÉU E A ENTRADA DE RADIAÇÃO NO ESPAÇO URBANO	42
4.5. ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO PMV E PPD	45
5. MATERIAL E PROCEDIMENTOS	49
5.1. ÁREA DE ESTUDO.....	49
5.2. MODELO MICROCLIMÁTICO ENVI-MET	55
5.2.1. A ESTRUTURA DO MODELO.....	56
5.2.2 DADOS DE ENTRADA DO MODELO.....	58
5.2.3. FLUXOGRAMA DE ORIENTAÇÃO DE RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	70
5.3. SITUAÇÃO SINÓTICA DA ÁREA PARA OS DIAS ESTUDADOS.....	71
5.4. ESTATÍSTICA UNIVARIADA UTILIZADA NA CALIBRAÇÃO	72
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	73

6.1. SITUAÇÃO DE INVERNO	73
6.1.1. CALIBRAÇÃO DO MODELO PARA O DIA DE INVERNO	73
6.1.2. UMIDADE RELATIVA DO AR.....	77
6.1.3. VENTO	81
6.1.4. TEMPERATURA	90
6.1.5. FATOR VISÃO DO CÉU (SVF).....	105
6.1.6. PMV E PPD	106
6.2. SITUAÇÃO DE VERÃO.....	120
6.2.1. CALIBRAÇÃO DO MODELO PARA O DIA DE VERÃO	120
6.2.2. UMIDADE RELATIVA	124
6.2.3. VENTO	128
6.2.4. TEMPERATURA	135
6.2.5. PMV E PPD	144
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	155
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	158

1. Introdução

As modificações no espaço urbano impostas pelas características das cidades trazem conseqüências para a qualidade de vida do homem. Alterando o espaço em que produz suas relações, o homem torna-se refém da natureza artificial que criou. A estrutura urbana cria climas diferenciados em função da sua forma física e dos tipos de materiais que a compõe, alterando a superfície que interage com a atmosfera e modificando o ambiente microclimático local. Segundo Santos (1985), forma, função, estrutura e processos são conceitos que explicam a organização do espaço. A forma é o aspecto visível de algo e está diretamente relacionada com a função, que é a atividade desempenhada pelo objeto. A estrutura refere-se à maneira pela qual os objetos estão inter-relacionados e o processo é a estrutura em transformação, ou seja, é uma ação que se realiza continuamente visando um resultado qualquer, implicando tempo e mudança (Câmara; Monteiro; Medeiros, 2001).

Segundo Santos (1991, p. 27),

O espaço deve ser considerado como um conjunto indissociável de que participam de um lado, certo arranjo de objetos geográficos, objetos naturais e objetos espaciais e de outro a vida que os preenche e os anima, ou seja, a sociedade em movimento. O conteúdo (da sociedade) não é independente da forma (os objetos geográficos) e cada forma encerra uma fração do conteúdo. O espaço, por conseguinte, é isto: um conjunto de formas contendo cada qual frações da sociedade em movimento. As formas, pois, têm um papel na realização social.

Segundo Rossini, Forest e Viadana (2002), a importância das pesquisas ambientais cresceu em função das modificações no equilíbrio ambiental provocadas pela intervenção do homem no processo de produção da cidade. Ainda segundo Rossini, Forest e Viadana (2002, p.199),

A produção do espaço quando não acompanhada de um planejamento que considere suas características e aptidão física à ocupação, reflete os efeitos negativos da relação sociedade/natureza provocando o aparecimento de sérios problemas ambientais, tais como a inadequação das infra-estruturas, carência de áreas verdes, lixo urbano [...] dificuldade de circulação de pessoas e veículos.

A cidade, fruto da ação do homem, é o lugar onde acontecem os processos de relações sociais, econômicas e políticas, onde a qualidade de vida passa a ter menor importância e segundo Padovani (2003, p.173),

As relações existentes nas cidades, sem dúvida são as grandes responsáveis pelo modo de vida urbano e os processos que nela acontecem extrapolam seus limites,

pois interferem de forma integral em todos os espaços. Por exemplo, ao criar espaços segregados impõe-se aos cidadãos à situação de ruptura do contato, portanto da transmissão de informações, mensagens, o que impede o desenvolvimento (qualitativo) dos indivíduos, aprisionando-os a tempos quantitativos, cujo lema é “tempo é dinheiro”. O tempo qualitativo está ligado ao espaço qualitativo, onde nós temos nossas ligações afetivas, onde nascemos, vivemos e morremos, enquanto o tempo quantitativo está ligado ao espaço quantitativo, onde tudo é geometricamente traçado, onde o espaço é dos objetos e não dos homens.

Os espaços urbanos podem ser lugares de inclusão ou exclusão e ainda segundo Padovani (2003), as ruas são espaços sem identidade, pouco aproveitado onde momentos de encontros coletivos tornam-se raros.

Uma questão importante dos dias atuais é como projetar espaços urbanos visando atender as necessidades das pessoas por espaços onde possa se socializar e trabalhar se mantendo em equilíbrio com o ambiente. A forma física e os materiais utilizados devem ser pensados buscando o melhor desempenho dos mesmos para que possa proporcionar um ambiente que contemple o bem estar do homem.

As alterações provocadas pelo homem sobre a superfície modificam o clima local, alterando as condições de conforto. Segundo Monteiro (1976, p. 134),

A cidade gera um clima próprio (clima urbano), resultante da interferência de todos os fatores que se processam sobre a camada limite urbana e que agem no sentido de alterar o clima em escala local. Seus efeitos mais diretos são percebidos pela população através de manifestações ligadas ao conforto térmico, à qualidade do ar, aos impactos pluviais e a outras manifestações capazes de desorganizar a vida da cidade e deteriorar a qualidade de vida de seus habitantes.

Clima urbano é o resultado de processos que ocorrem dentro da camada limite. A camada limite planetária (CLP) é a parte da atmosfera que é diretamente influenciada pela superfície. As características da CLP dependem da superfície subjacente e variam ao longo do dia. O efeito, na atmosfera terrestre, das cidades com sua estrutura física e seus habitantes, direciona a atenção de pesquisadores para o estudo do clima urbano. Essas alterações no clima local criam a necessidade de se saber mais sobre a biologia de ambientes urbanos e também gera interesse na sustentabilidade ambiental com relação à energia, preocupações com a saúde populacional relacionada à qualidade do ar, estresse térmico e a dispersão de substâncias tóxicas nestes espaços ocupados pelo homem.

A camada mais próxima a superfície terrestre, que pode variar entre 100,0 e 300,0 m, é a parte da atmosfera onde ocorre a maioria dos fenômenos meteorológicos, como massas de ar, linhas de instabilidade, nebulosidade, vórtices e outros. Nesta região (CLP) estão as forçantes que ocorrem no tempo de uma hora ou menos. Dentre estas forçantes estão: a fricção de arrasto, a evaporação/transpiração, transferência de calor e indução do fluxo modificado pela superfície. Embora, indiretamente, toda a atmosfera sofre alteração em resposta as características da superfície, esta alteração é muito pequena fora da CLP, onde o ar é influenciado por processos de macro-escala e reage mais lentamente às alterações.

A CLP responde ao fluxo diário de calor sensível na superfície. A parte da camada limite planetária (CLP) que é dominada por processos turbulentos (térmicos e mecânicos) é chamada de camada limite convectiva (CLC) ou de mistura e varia de tamanho dependendo da latitude, podendo chegar a uma altura entre 1 e 2 km, a partir da superfície, em latitudes médias, e até 5 km, na região dos trópicos.

A superfície urbana é caracterizada por sua aspereza desigual, o que retarda o fluxo de vento em toda a cidade. Entre o solo e cerca de duas vezes a altura dos edifícios, o fluxo de ar é muito turbulento e difícil de caracterizar. Os padrões de fluxo de vento influenciam a troca de energia, gases e materiais particulados.

A estrutura urbana é heterogênea e rugosa o que intensifica processos de turbulência e leva a uma alta variabilidade no tempo e no espaço de todas as grandezas meteorológicas criando, assim, um mosaico de microclima num espaço bastante limitado. Os fluxos de vento nas cidades podem ser forçados pelo calor (turbulência térmica) ou por obstruções, (turbulência mecânica) e são chamados de vórtices. Uma compreensão mais aprofundada do desenvolvimento da turbulência no ambiente urbano é importante para muitas aplicações como dispersão de poluentes e concepção e construção de altos edifícios. Portanto, estas alterações devem ser levadas em conta ao se projetar estes espaços urbanos.

Segundo Ali-Toudert (2005), o fluxo do vento no cânion urbano é uma circulação secundária impulsionada pelo fluxo dominante sobre o dossel e é fortemente afetada pela orientação da rua e sua geometria (h : altura, l : comprimento, w : largura). Quando o fluxo sobre os edifícios é perpendicular ao eixo da rua, diferentes regimes podem ocorrer, dependendo da relação h/w e razão de construção L/w .

Segundo Tahbaz (2006) as condições gerais do vento na área urbana são importante para ventilação das edificações, dispersão de poluentes junto à superfície e conforto dos pedestres. A velocidade do fluxo de ar e a turbulência dependem da velocidade do vento regional que é um fator climatológico, mas eles são influenciados pela malha urbana. Para

padrões de conforto, o limite de velocidade aceitável próximo à superfície é de 10,7 m/s, mas somente velocidades abaixo de 5,4 m/s são agradáveis para os pedestres e seus efeitos estão descritos na Tabela 10.

Tabela 1 – Velocidade aceitável dentro da área urbana e seus efeitos.

Velocidade do vento aceitável	Vel. vento m/s	Efeito
	3,3 a 5,4	O vento estende bandeiras, cabelos são despenteados e roupas voam
	1,5 a 3,3	O vento é sentido no rosto
	Abaixo de 1,5	Nenhum vento é sentido

Fonte: Tahbaz (2006).

As modificações no clima das cidades, segundo Bonan (2008), foram detectadas pela primeira vez por Lucas Howard, cujo trabalho sobre o clima de Londres, em 1820, estabeleceu muitas das características básicas do que é hoje denominado de ilha de calor. Posteriormente, os estudos seguiram por dois caminhos, de um lado arquitetos concentram-se no arranjo físico das construções com foco no consumo de energia, por outro lado, os climatologistas têm-se concentrado no efeito urbano no clima externo, sendo que os dois estão intimamente ligados.

Os estudos de clima urbano no Brasil iniciaram com o professor da Universidade de São Paulo Dr. Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro em 1971. Monteiro (1976) apresenta em “Teoria e clima Urbano” metodologia de estudo do clima nas áreas urbanas. Esta metodologia de estudo do clima urbano propõe a terminologia Sistema Clima Urbano (SCU), visando abordar integrações e alterações entre clima e cidade, em que o SCU é resultante das interações entre as atividades antrópicas e a atmosfera próxima à superfície, num contexto regional. Este sistema está subdividido em três subsistemas: termodinâmico (conforto térmico); físico-químico (qualidade do ar) e hidrometeorológico (impacto pluvial).

Conforme Lois e Labaki (2001), a relevância dos estudos do clima das cidades reside na sua aplicação, que abrange não somente o lazer ao ar livre, mas também os trabalhadores que exercem suas atividades no ambiente externo, os quais não têm a possibilidade de escolha dos horários de maior conforto. Além disso, salienta-se que há uma ponte térmica entre exterior e interior em função da edificação, portanto o microclima influi no consumo energético para garantir o conforto interno.

Conhecer maneiras de mitigar o estresse térmico gerado pela urbanização é uma necessidade urgente em cidades tropicais que crescem rapidamente e, na maioria das vezes,

desordenadamente. A possibilidade de manipular o sombreamento através das edificações pode ser um caminho para alterar este desconforto térmico. Nas áreas urbanas, o conforto térmico depende da acessibilidade à radiação e ao vento. A orientação e altura das construções são fatores determinantes na criação de ambientes agradáveis em áreas abertas. As relações entre o ambiente atmosférico e a saúde humana ou o conforto podem ser analisadas por meio de índices que levam em conta as variáveis meteorológicas e seus efeitos nos seres humanos. Dentre os índices desenvolvidos para ambientes urbanos externos está o PET (*Physiologically Equivalent Temperature*) desenvolvido por Hoppe (1999), o ET (*Effective Temperature*) e o SET (*Standard Effective Temperature*). O índice de conforto térmico PMV (*Predicted Mean Vote*), baseado em Fanger (1972), refere-se ao equilíbrio energético do corpo humano e as sensações térmicas das pessoas expostas ao tempo. Originalmente desenvolvido para ambientes internos, o PMV foi adaptada para áreas abertas, por Jendritzky (1993).

Mitigar as conseqüências indesejadas dos eventos de ilhas de calor, ou seja, reduzir a realimentação negativa da urbanização na temperatura do ar tem sido focado em três aspectos: reforço do albedo (Akbari e Konopacki, 2003); aumento da cobertura vegetal (MacPherson; WARK; ARMSTRONG, 1988) e telhados “frios” (Wong et al., 2003).

Esta pesquisa justifica-se pela análise das variáveis climáticas (temperatura, umidade e vento) na escala microclimática no município de Ourinhos, caracterizada como uma cidade de porte médio, com a finalidade de analisar a variabilidade do conforto térmico em áreas abertas e fornecer subsídios para futuros planejamentos urbano-climáticos na região.

2. Hipótese

A morfologia urbana cria condições climáticas que são impostas às pessoas que utilizam espaços públicos abertos. Estas condições determinam a forma como os espaços são utilizados e as atividades neles realizadas. A compreensão das características microclimáticas em espaços abertos e suas implicações no conforto das pessoas que os utilizam, abrem novas possibilidades para a ampliação e desenvolvimento dos espaços públicos. Diferentes formas e direção das estruturas físicas urbanas podem resultar em diferentes valores de conforto térmico, assim, através do entendimento dessas alterações pode-se adaptar o meio físico às necessidades e satisfação dos usuários.

3. Objetivo

O objetivo deste trabalho é analisar o clima urbano e o conforto térmico no município de Ourinhos, tendo para isso o modelo ENVI-met como ferramenta principal de

simulação das variáveis meteorológicas que serão analisadas. Através dos índices de conforto térmico PMV (Predicted Mean Vote) e PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) fornecidos pelo modelo, considerando serem estes os mais indicados a traduzir condições de conforto e considerando ainda o modelo capaz de reproduzir satisfatoriamente as variáveis ambientais, analisar se outras estruturas urbanas diferentes da real poderiam favorecer um ambiente térmico mais agradável à permanência da população.

3.1. Objetivos Específicos

Validar o modelo ENVI-met através de comparações de dados de temperatura do ar medidos e dados fornecidos pelo modelo em situações de verão e inverno.

Estabelecer valores dos índices de conforto térmico *PMV* e *PPD*, verificar o fluxo do vento e da umidade relativa em três regiões do município de Ourinhos (urbano denso, urbano permeável e expansão urbana). Analisar as variáveis acima citadas para duas áreas virtuais criadas no modelo para o centro da cidade, através do aumento das edificações presentes na área de 5 para 30,0 m e inserção de vegetação (gramíneas e árvores) na quadra central da área de estudo.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Alterações no clima no ambiente urbano – Ilhas de calor

Oke (1984) separou a área urbana em escalas espaciais: micro, local e mesoescala (Figuras 1, 2 e 3). Esta distinção foi utilizada para identificar processos atmosféricos na área urbana.

A escala micro-climática é definida por elementos individuais (edifícios, árvores, jardins, ruas, etc.) que vão de menos de um a algumas centenas de metros. A Figura 2 mostra a camada limite planetária (CLP) e a camada limite urbana (CLU) que são indicadas para uma situação de convecção diurna.

Figura 1– Área urbana em microescala. Adaptado de Oke (1984).

A escala local inclui os efeitos da paisagem como a topografia e exclui os efeitos da microescala. Neste contexto, entrariam bairros com estrutura similares, ou seja, cobertura do solo, tamanho e espaçamento das edificações, atividade desenvolvida no local. Pode variar de um a vários quilômetros. Pode-se observar na Figura 2 que a camada de dossel urbano é definida como sendo a altura média dos elementos de rugosidade, que inclui uma variação de edifícios e árvores, dependendo de onde ou vizinhança, em uma área urbana, a escala local está situada.

Figura 2- Área urbana em escala local. Adaptado de Oke (1984).

A meso escala, Figura 3, seria o clima do município e possui algumas dezenas de quilômetros de extensão. Segundo Grimmond (2006), esta divisão passou por uma série de refinamentos, baseada na compreensão crescente do efeito de elementos que produzem fluxos turbulentos. Rotach (1999) observou que nas áreas urbanas, devido ao elevado tamanho dos elementos rugosos, a subcamada de rugosidade (RSL) será grande, portanto a camada superficial de inércia (ISL) será uma camada com espessura menor na superfície. A altura da camada de mistura ou a parte superior do RSL é uma função do tamanho dos elementos de rugosidade e do seu espaçamento.

Figura 3– Área Urbana em mesoescala. Adaptado de Oke (1984).

A malha urbana é composta de um mosaico de edificações e usos de solo e ruas, com forma e disposição complexas criando um microclima próprio. Estudos mostram que uma das causas desse clima diferenciado é o desenho ou geometria da cidade (Arnfield; Grimmond, 1998).

A ilha de calor tem sido o principal objeto de estudo relacionado às alterações do clima local pela urbanização. A análise da temperatura do ar feita dentro e fora da área urbana revela a existência de ilhas de calor ou frescor. A ilha de calor urbano é mais intensa durante a noite e diminui com o aumento da velocidade do vento e cobertura de nuvens. Estes campos de temperatura elevada estão fortemente relacionados com o uso do solo, a geometria das construções e a existência de vegetação urbana e são mais intensos no verão.

Todhunter (1990), afirma que em microescala a temperatura do ar é mais influenciada pela geometria urbana do que pelo albedo da superfície. Emmaneul et al., (2007), considera a geometria urbana e seu sombreamento mais importantes para o conforto térmico do que as características dos materiais da superfície, ou seja, uma interação da forma da área

urbana e a radiação solar incidente. Além da geometria da cidade, a capacidade calorífica dos materiais de construção também influencia o fluxo de radiação de onda longa, sendo este o principal fator das diferenças de temperatura entre as áreas rurais e urbanas.

Nakamura e Oke (1988) observaram grande diferença de temperatura entre a superfície nas áreas urbanas e a superfície das áreas adjacentes, cujas faces recebem radiação direta, formando ilhas de calor. Próximo ao meio-dia, a diferença entre a temperatura da superfície e a temperatura do ar ($T_s - T_a$) ultrapassou os 10,0°C. Essas diferenças são muito menores na parte sombreada, ao longo da rua, que só receberam a radiação solar difusa. A temperatura do ar pode ser ainda maior do que a temperatura da superfície na sombra, devido a transferência de calor sensível turbulento das superfícies iluminadas e sua mistura através da circulação do ar.

Em cidades de regiões tropicais, quentes e úmidas pode-se encontrar áreas mais quentes (ilhas de calor) e áreas mais frias (ilhas de frescor) que seu entorno rural (Jonsson, 2005). Ilhas de calor noturnas são menores em áreas úmidas e quentes, nas regiões tropicais, um fato normalmente atribuído a maior umidade do solo, no entorno rural e também a alta emissividade da atmosfera para superfície devido à alta umidade do ar e da cobertura de nuvens (Arnfield, 2003; Jonsson, 2005). Durante o dia a intensa radiação solar e as altas temperaturas podem causar estresse térmico.

A Figura 4 mostra a variação da temperatura do ar num corte transversal de uma área em meso escala, passando pela área urbana, suburbana e rural, segundo Oke (1987), que faz uma analogia com os elementos da geomorfologia com a ilha de calor urbana.

Figura 4– Seção transversal de uma típica ilha de calor urbana.

Fonte: Oke (1987). Adaptado pelo autor.

As ilhas de frescor não são incomuns, em regiões tropicais durante o dia, apesar da elevada radiação solar (Emmanuel, 2005). Esta situação pode ser explicada pelo sombreamento de edificações e vegetação (Emmanuel; Johansson, 2006). Outra explicação se deve ao fato que a maior parte da radiação, que chega à superfície terrestre, ser transformada em calor latente devido à grande quantidade de vegetação e umidade na superfície (Oke, 1987). Assim como a existência de ilhas de calor, durante o inverno, a existência de ilhas de frescor durante o verão pode ser uma estratégia para mitigar o desconforto térmico.

As áreas construídas têm um clima distinto de áreas naturais. Diferentes usos de solo, introdução de materiais de construção, com a conseqüente impermeabilização do solo, redução de áreas vegetadas e diminuição da umidade relativa, faz com que haja grandes alterações no clima local. Entender o clima urbano e buscar soluções para amenizar a influência de áreas construídas no clima da cidade é de grande interesse para o conforto e desenvolvimento humano.

A preocupação com a queda da qualidade ambiental das grandes cidades brasileiras, fato que se tornou mais evidente a partir da década de 1960, foi o principal fator a impulsionar o surgimento dos estudos relacionados ao clima urbano no Brasil. Entretanto, foi a partir da década de 1970, que a pesquisa em Climatologia Urbana registrou os primeiros estudos de caso; daquela fase inicial para os dias atuais se observou um grande avanço, o que se pode constatar a partir de um levantamento aproximado das cidades, que foram alvo de estudos de seu ambiente atmosférico, no país.

Lombardo (1985) no estudo do clima da cidade de São Paulo mostrou a existência de ilhas de calor, com diferenças de temperatura entre as áreas urbanas e rurais de 5,0°C.

As alterações do clima urbano podem ser verificadas em trabalhos realizados por Tarifa e Armani (2001). Os autores fizeram um estudo comparativo entre favelas e o bairro do Morumbi, no município de São Paulo e constataram que as favelas apresentaram temperaturas em média 2,0 a 3,0 °C a mais que o Morumbi.

No estudo do clima da cidade de Londrina, Paraná, Mendonça (2003) relaciona a temperatura e a umidade do ar e verifica que as áreas com as mais elevadas diferenças térmicas urbano-rurais também são aquelas de menor teor de umidade do ar, gerando desconforto térmico para a população residente.

Brandão e Lucena (1999) estudaram a influência das ilhas de calor no conforto humano na área central da cidade do Rio de Janeiro e constataram que, mesmo o ambiente mais confortável da área de estudo, apresentou situações de desconforto em pelo menos um horário do dia.

Souza (1996) analisou a influência da geometria urbana na temperatura do ar, no município de São Carlos (SP), verificando a existência de ilha de calor e sua ordem de grandeza, através de dados coletados, medidas fixas e móveis, de temperatura e umidade relativa.

Com relação às várias unidades climáticas urbanas, Tarifa e Armani (2001, p. 48) afirmaram que: “As diferentes formas, arranjos e conteúdos da urbanização dão origem a vários núcleos de Unidades Mesoclimáticas. Essa passagem ou transição não é absoluta, nem muito nítida, são várias mudanças até alcançar-se o nível inferior ou superior”.

Naturalmente o ambiente tropical é capaz de gerar desconforto pela grande quantidade de calor, intensificado pelo crescimento das cidades. Assim, ao se implantar novos loteamentos deve-se considerar as características climáticas, evitando-se a impermeabilização generalizada do solo, a utilização de materiais inadequados nas construções, a derrubada da vegetação original sem a preocupação de deixar áreas que possam contribuir para amenizar as altas temperaturas.

No estudo do clima urbano de Presidente Prudente SP, Amorim (2000) verificou que a cidade possui um conjunto de microclimas e que as diferenças de temperatura entre as áreas intra-urbanas e rural são maiores em condições de céu claro, onde os microclimas se desenvolvem em função das próprias características dos vários tipos de uso de solo.

Sant’Anna Neto (2002) organizou trabalhos de vários autores sobre o clima local e urbano de várias regiões geográficas do país, em cidades de diferentes portes como Campo Grande (MT) e São Luis (MA), demonstrando as variações que a mancha urbana provocam condicionantes atmosféricos.

Maitelli (1994, p. 44) afirma que conhecer o balanço de energia de uma superfície é fundamental para entender a camada limite:

As aglomerações urbanas causam fortes alterações no balanço de energia da superfície local quando comparado ao balanço de energia de uma superfície vegetada. A estocagem de energia é aumentada devido aos componentes do tecido urbano, o que contribui para manter o ar aquecido por mais tempo, enquanto a remoção da vegetação e a redução das superfícies líquidas diminuem as taxas de evapotranspiração. Além disso, a poluição do ar e a introdução de calor pelas atividades da população contribuem para elevar a temperatura local, fazendo com que muitas cidades tenham diferenças superiores a 10,0°C entre áreas centrais e arredores.

Os fluxos de energia dissipados pelo homem nos centros urbanos podem influenciar os elementos (temperatura e umidade do ar, por exemplo) que caracterizam o clima local. Azevedo (2001, p. 91) analisou o fluxo de calor gerado pelas atividades humanas comparando-o com o fluxo anual de energia proveniente da radiação solar na Região Metropolitana de São Paulo:

Mesmo sob uma perspectiva conservadora, o montante de energia introduzido e dissipado no clima urbano de São Paulo pela atividade humana é comparável ao montante de energia introduzido pela radiação solar na mesma escala de magnitude, ou seja, de um a dez, a energia de origem antrópica é no mínimo um se a de origem solar for dez.

Uma forma de avaliar o impacto da ocupação urbana é analisar o balanço energético na superfície. Ferreira, Oliveira e Soares (2010) descrevem os fluxos de energia antropogênica na cidade de São Paulo. São estimados dados horários, mensais e anuais através de levantamento de dados secundários, fontes veiculares e estacionárias e fontes de metabolismo humano no período de 2004 a 2007. As fontes veiculares e estacionárias são avaliados através do consumo primário de energia baseada sobre os combustíveis fósseis, biocombustíveis e uso da eletricidade pela população. O fluxo de energia antropogênica é composto de três partes, $Q_F = Q_{FV} + Q_{FS} + Q_{FM}$, onde Q_{FV} , Q_{FS} e Q_{FM} indicam, respectivamente, os fluxos de energia antropogênica liberados por fontes veiculares na queima de combustíveis fósseis, fontes estacionárias como eletricidade e combustível consumidos em residências, indústrias e atividades e metabolismo humano e animal.

Os dois métodos básicos de estimar o fluxo de energia antropogênica são o método de resíduos que consiste em utilizar a equação do balanço de energia e o método de armazenamento que é o método mais aplicado em áreas urbanas e as informações do consumo de energia de uma determinada região é obtida através de dados estatísticos. O método de armazenamento assume que o uso de energia primária é transformada em calor que é liberada pelo dossel urbano. O método de armazenamento utilizado neste trabalho consiste na soma dos fluxos liberados pelos veículos que circulam na cidade de São Paulo, a energia liberada pelo consumo de eletricidade e combustíveis em fontes estacionárias e a energia liberada pelo metabolismo da população. Os autores concluíram que a energia liberada por fontes veiculares representa 50% do total de fluxo de energia antropogênica. Fontes estacionárias representam 41% e o metabolismo humano representa 9%. Não existe uma variação sazonal das fontes de energia estacionárias, o que indica que a cidade de São Paulo não necessita de

uma quantidade significativa de energia para aquecimento e iluminação no inverno comparativamente as cidades de latitudes médias. Os valores médios anuais de energia antropogênica representou, aproximadamente, 11% da radiação líquida no período de 2004 a 2007. Uma das conclusões deste trabalho é que a variação sazonal do fluxo de energia antropogênica varia exponencialmente com a latitude.

Barbaro et al., (2009), descreve as variações sazonais e diurnas da irradiação de onda longa utilizando valores da média de cinco minutos de onda longa, temperatura do ar, umidade relativa e radiação solar das observações realizadas entre os anos de 1997 a 2006. Eles efetuaram uma análise detalhada do conjunto de dados, com a finalidade de remover erros associados ao mau funcionamento do sensor do pirgeômetro, utilizando para isso a técnica de rede neural proposta por Oliveira et al., (2006) e a equação de balanço de calor. Também realizaram comparações das medições feitas no local e as estimadas por satélites para verificar se apenas um ponto de observação da estação do IAG (Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas) pode ser usado para representar as emissões de radiação de onda longa na atmosfera em toda a região metropolitana. Na variação sazonal e diurna de onda longa verificou-se a importância das nuvens, comparando as emissões em uma situação de céu limpo e todas as outras condições de céu. As variações diurnas da emissividade efetiva mostraram um mínimo de $0,781 \pm 0,027$ ($0,720 \pm 0,025$, durante o dia e um máximo de $0,842 \pm 0,030$ ($0,790 \pm 0,028$), durante a noite. A variação sazonal da radiação de onda longa em São Paulo indica que o valor máximo mensal de valores médios de onda longa são observados durante o verão ($389 \pm 14 \text{ W m}^{-2}$; de janeiro) e no mínimo durante inverno ($332 \pm 12 \text{ W m}^{-2}$; em junho). A variação diurna da radiação de onda longa para os dias de céu claro em agosto mostra maior amplitude, mas menor intensidade do que a radiação de onda longa para todas as condições do céu, indicando que a presença de nuvens não só aumenta a intensidade da radiação de onda longa, mas também diminui a amplitude do ciclo diurno. Não há aparente variação diurna da diferença de emissividade efetiva, considerando todo o dia e só condições de céu claro, ($0,060 \pm 0,007$) ou cerca de $7 \pm 1\%$. Assim, o efeito médio nuvens aumenta a amplitude da emissividade efetiva, mas não alteram o seu padrão diurno.

Spirn (1995) menciona os diversos problemas causados pelo crescimento das cidades, tanto em tamanho, quanto em densidade. Dentre esses problemas encontrou-se a formação de ilhas de calor, inversão térmica e uma grande variação de microclimas, causados pela emissão de poluentes pelos veículos automotores e fábricas, pela capacidade térmica dos materiais de construção que absorvem calor e o estocam durante o dia, liberando-o à noite, pelo aprisionamento de poluentes nos chamados “cânions urbanos”.

A vegetação é uma grande aliada na melhoria da qualidade de vida nas cidades, sendo fundamental a existência de parques e praças. Spirn (1995, p.86) escreve sobre a importância da vegetação na qualidade do ar nas cidades:

As árvores removem parte do monóxido de carbono e dos particulados emitidos pelo tráfego de veículos, uma vez que a taxa de remoção dos poluentes gasosos depende do vigor da árvore, as espécies devem ser selecionadas por sua resistência às condições urbanas. Como o solo é também um eficiente absorvente de poluentes, a remoção dos poluentes é melhorada quando árvores são plantadas em solos cobertos por folhas e plantas, do que em solos totalmente pavimentados.

Emmanuel (2005) propõe a mitigação dos aumentos de temperatura na camada limite urbana, principalmente próximo à superfície, através do sombreamento trazido pelas edificações.

No estudo do clima urbano da cidade de Lisboa, Alcoforado, Lopes e Vasconcelos (2005) introduzem o termo “climatopos” para definir áreas homogêneas do ponto de vista físico, que interagem com a atmosfera criando um clima local. Cada climatopo corresponde a um clima próprio que influenciará de maneira diferenciada a vida e as atividades humanas. Os autores confeccionaram mapas de climatopos da cidade de Lisboa. Esses mapas foram elaborados com base na morfologia urbana, onde áreas com características físicas semelhantes do ponto de vista da morfologia urbana foram agrupadas. Desse agrupamento resultaram três classes: ocupação urbana de baixa, média e alta densidade. Foram criados, também, mapas de classe ventilação, ou seja, áreas separadas pelo limite aerodinâmico, confeccionados através do cruzamento de informações topográficas com a rugosidade aerodinâmica do lugar. Para cada climatopo foi estudada as alterações térmicas e aerodinâmicas.

4.2. Utilização de modelos nos estudos de clima urbano

Pesquisadores têm utilizados modelos para simular a dinâmica da atmosfera e têm obtido resultados muito próximos da realidade o que torna a utilização de modelos uma ferramenta importante, já que oferece a possibilidade de descrição pormenorizada e análise dos processos subjacentes do clima. Um modelo também pode ser utilizado para prever as mudanças climáticas causadas pelas mudanças estruturais do ambiente.

A modelagem tem proporcionado novos conhecimentos no campo da micrometeorologia, confirmando a variabilidade espacial e temporal da umidade (pressão de

vapor), temperatura, direção e velocidade do vento e por fim o bem estar humano dentro do dossel urbano para diferentes usos da terra.

A grande vantagem da utilização de modelos no estudo da CLP sobre as medições realizadas em campo é que eles podem abranger uma quantidade maior de variáveis atmosféricas. Os modelos microclimáticos podem variar em aspectos como base física e resolução temporal e espacial. As escalas podem variar de centímetros a quilômetros.

Os modelos micro-climáticos, segundo a OMM (Organização Mundial de Meteorologia) permitem o estudo de pequenas áreas como bairros urbanos, mas sua complexidade pode variar bastante. Modelos de meso-escala são utilizados para fins climatológicos e meteorológicos como previsão do tempo. Modelos globais não trabalham com parâmetros urbanos, no entanto as alterações climáticas têm forte impacto sobre as cidades com questões como risco, vulnerabilidade e estratégias de adaptação

Matzarakis, Rutz e Mayer (2000) no estudo do clima urbano de Alemanha, utilizaram o modelo RayMan que é capaz de estimar os fluxos de radiação mostrando efeito da morfologia urbana na radiação de onda curta. O modelo fornece a temperatura média radiante (TMR) que é necessária para a avaliação bioclimática urbana e é utilizada no cálculo de índices de conforto térmico, tais como PMV (*Predicted Mean Vote*), PET (*Physiologically Equivalent Temperature*) e SET (*Standard Effective Temperature*).

O modelo TVM-30C foi desenvolvido por Bornstein (1975), com nome de URBMET, uma versão hidrostática e bi-dimensional, para estudar a estrutura da camada limite de áreas urbanas em terrenos planos. Bornstein et al., (1986) expandiram o URBMET para três dimensões ainda na forma hidrostática e utilizaram o modelo para simular a interação entre o dossel urbano e sistemas sinóticos em Nova Iorque, Estados Unidos. Uma nova versão foi desenvolvida por Schayes e Thunis (1990), denominada TVM e incluindo os efeitos da topografia. Thunis e Clappier (2000) desenvolveram uma versão não-hidrostática. Karam et al., (1995, 1996) utilizou o modelo para simular a circulação induzida termicamente pela topografia na região de Iperó (SP) e para simular a evolução temporal e espacial da Camada Limite Planetária (CLP) na dispersão de SO₂ na região de Candiota (RS). Stivari (1999) utilizando o modelo TVM não-hidrostático investigou o papel da topografia, do uso do solo e do lago de Itaipu no padrão de circulação, na fronteira Brasil/Paraguai tendo o Lago de Itaipu no centro da área de estudo. Stivari constatou que o uso do solo influencia a distribuição espacial da circulação que se propaga por uma área maior quando a situação real do uso do solo é substituída por uma área homogênea; a topografia contribui para alterar a intensidade do vento, assim, a brisa é mais intensa na presença de topografia acentuada.

O modelo MEMI (*Munich Energy Balance for Individuals*), (Höppe, 1993) baseia-se no balanço térmico do corpo humano e fornece o índice térmico PET (Temperatura Fisiologica Equivalente). Höppe define PET como sendo a temperatura equivalente à temperatura do ar onde o balanço térmico do corpo humano é mantido, com temperaturas do centro do corpo e da pele iguais às do ambiente em questão. Este modelo é descrito na norma VDI-Guideline 3787: métodos para a valiação da Biometeorologia-humana do clima e higiene do ar para o Planejamento Urbano e Regional (VDI 1998).

Para aplicar o índice de conforto PMV às condições exteriores, Jendritzky e Nübler (1981) adicionaram a este índice a influência da radiação da área exterior. O modelo é conhecido como KMM (*Klima-Michel-model*) e foi utilizado na confecção de um mapa de distribuição de PMV, em Freiburg, Alemanha, onde os efeitos dos edifícios e das ilhas de calor são bem marcados.

O modelo bioclimático UBIKLIM (Graetz, Jendritzky e Sievers, 1992; Friedrich, Graetz e Jendritzky, 2001) utiliza técnicas de um sistema de informação geográfica e simula o ambiente térmico na camada limite urbana de acordo com o tipo de uso da terra para 24 horas. As interações entre as estruturas circunvizinhas, a topografia em escala local e o clima de meso e macroescala são considerados pelo modelo. O UBIKLIM exige um modelo de altura digital com 10 metros de resolução e informações sobre uso da terra. Dividindo a área urbana em um número limitado de regiões caracterizadas pelo tipo de uso da terra: água, florestas, parques, campos, espaços abertos pavimentados e não pavimentados e áreas edificadas, levando-se em conta a altura dos edifícios, densidade de construção e cobertura vegetal. O resultado é um mapa bioclimático amplo e detalhado da distribuição da carga térmica horizontal com 10 metros de resolução e que fornece as informações necessárias para os planejadores urbanos, profissionais de saúde e outros tomadores de decisão.

O clima urbano da cidade de Trier, Alemanha, foi estudado por Junk, Helbig e Luers (2003) utilizando o modelo Envi-met (*Environment Meteorology*). Neste trabalho foram analisados os parâmetros ilhas de calor, concentração de poluentes atmosféricos, concentração de ozônio e conforto térmico. A diferença de temperatura registrada por uma estação no centro da cidade e outra no entorno mostrou a existência de ilhas de calor. A maior diferença de temperatura média do ar encontrada ocorreu no mês de julho (verão na região) e foi de 1,8 °C. Se por um lado as ilhas de calor demandam menos gasto de energia para aquecer as casas no inverno, no verão são responsáveis pelo estresse térmico e concentração de poluentes. Para descrever a variação do conforto térmico os autores se utilizaram do parâmetro “mormaço” cuja ocorrência está associada com a pressão de vapor acima de 18,8 hPa e temperatura do ar

acima de 25,0 °C. Médias diárias registradas entre 1996 a 2001 mostraram valores acima de 24 hPa com uma frequência de 0,06 %, mostrando que a pressão vapor acima do patamar estipulado. A combinação de altas temperatura e pressão de vapor resulta em uma situação de desconforto. Ocorrência de pressão e temperaturas elevadas com duração de 1 a 2h00min, com uma frequência de 32,6 %. Em dois casos especiais esta ocorrência teve duração de 11 horas. Assim, concluíram que o evento “mormaço” apenas em raras ocasiões afetam a saúde das pessoas da cidade. A topografia, a estrutura dos edifícios, o uso do solo e as emissões antropogênicas influem na qualidade do ar da cidade. Os autores propuseram uma redução do tráfego de veículos assim como redução de emissão de poluentes por esses mesmos veículos e o incentivo ao transporte coletivo.

4.3. Estudos de Conforto Térmico em áreas urbanas

Os seres humanos têm consciência de que o tempo e o clima afetam sua saúde e bem estar. Ondas de calor ou frio podem modificar o estresse térmico produzindo cansaço e reduzindo a produtividade. Praticamente todas as atividades humanas envolvem a geração de umidade e calor como um subproduto. A queima de combustíveis fósseis é um bom exemplo dessas atividades humanas e os efeitos tendem a ser complexos, tanto espacial quanto temporalmente, com importantes implicações para as trocas radiativas, nevoeiro e visibilidade e conforto térmico.

Segundo Ali-Toudert e Mayer (2006) a estrutura (desenho) de uma rua é a chave para os estudos em bioclimatologia urbana influenciando os microclimas internos e externos e como resultado influenciando também na sensação térmica das pessoas e no consumo de energia de edificações. Num estudo realizado em Ghardaia, na Argélia, numa condição típica de verão para uma região que faz parte do deserto do Saara, onde o clima é caracterizado por intensa radiação solar e altas temperaturas os autores utilizaram o modelo ENVI-met com a finalidade de entender a sensação térmica em cânions urbanos e sugerir modelos de estrutura urbana que possam contribuir para melhorar o conforto das pessoas nas cidades. Foram realizadas simulações para diferentes cânions urbanos, ou seja, para diferentes razões altura/largura e com direções Norte – Sul e Leste-Oeste. Foram analisados gráficos de radiação solar direta, difusa e global, gráficos mostrando a evolução espacial e temporal da temperatura do ar e temperatura média radiante e gráficos com o índice de conforto térmico PET (*Physiologically Equivalent Temperature* ou temperatura fisiológica equivalente). As simulações mostraram que valores de PET e de estresse térmico são fortemente influenciados pela razão entre alturas das edificações e a largura das ruas e suas orientações, mostrando a

importância do desenho urbano. Os resultados mostraram também que a temperatura do ar diminui com a diminuição da razão altura/largura, ou seja, aumentando a largura das ruas. A orientação leste/oeste é a que causa mais estresse térmico na área de estudo. Assim, uma orientação das ruas norte/sul combinada com uma razão altura/largura igual a dois trará um ambiente térmico melhor, com valores baixos de PET e com pequenos períodos de estresse térmico.

Estudos de conforto térmico em áreas abertas têm sido realizados por diversos autores como ferramenta de planejamento na expansão dos espaços urbanos.

Bruse (2007b) do Instituto de Geografia da Universidade de Mainz realizou um estudo relacionando espaços urbanos abertos e conforto térmico. Neste estudo utilizou o modelo *BOTworld* também chamado *Multi-Agent Systems* (MAS), onde cada agente representa um pedestre com suas próprias características físicas que segue por diferentes caminhos exposto a diferentes condições climáticas. O modelo simula o impacto dessas condições climáticas no conforto térmico do indivíduo. O autor comparou duas áreas abertas distintas, sendo uma área sem vegetação e com um pequeno lago no centro e outra com vegetação representada por árvores, onde foram encontrados vários tipos de conforto térmico.

Espaços urbanos abertos como ruas e praças geralmente cobrem cerca de dois terços da área total de uma cidade, portanto desempenham papel importante no microclima local (Shashua-Bar, 2004). As condições climáticas na camada do dossel urbano variam significativamente numa mesma cidade e de uma cidade para outra, modificados por fatores como geometria de edificações, albedo de paredes e telhados, vegetação e calor antrópico.

O conforto térmico pode ser definido como um estado de espírito que exprime satisfação com o ambiente térmico segundo a ASHRAE (2001a), apresentando-se como conceito pessoal e psicológico. Outra definição, menos subjetiva, relaciona o conforto a ganhos e perdas de energia, onde pode-se atingir o conforto térmico quando há equilíbrio na troca de calor entre o corpo humano e o meio ambiente (Fanger, 1970), ou seja, quando variáveis fisiológicas como temperatura da pele, temperatura interna e taxa de sudorese estão dentro dos limites de conforto.

Apesar de existirem vários índices de conforto térmico, a maioria compartilha características comuns e segundo Ali-Toudert (2005) podem ser divididos em duas categorias: empíricos e racionais como mostra a Tabela 2. Os índices empíricos não consideram a fisiologia humana, a atividade e a vestimenta. Já os índices racionais associam a teoria da transferência de calor, nas trocas de fluxo de calor latente e sensível, às expressões empíricas.

Tabela 2 – Índices de conforto térmico.

Índices	Definição
Índices empíricos	
ET - <i>effective temperature</i>	Representa a sensação térmica instantânea estimada pela combinação das seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa e vento.
RT - <i>resultant temperature</i>	Semelhante a TE, mas testada por um longo tempo até atingir o equilíbrio térmico.
O_pT - <i>operative temperature</i>	Temperatura de um ambiente uniforme com UR=100% em que a pessoa perde a mesma quantidade de calor se estivesse num ambiente real.
WCI - <i>wind chill Index</i>	Baseado na perda de calor pela exposição ao vento e ao frio e é apropriado para condições de inverno.
Índices racionais	
ITS - <i>index of thermal stress</i>	Pressupõe que, em condições de equilíbrio térmico, o suor é secretado a taxa suficiente para manter um resfriamento evaporativo
SET - <i>standard effective temperature</i>	Inclui a variável vestimenta.
PMV - <i>predicted mean vote</i>	Baseado no equilíbrio do balanço de calor no corpo humano e varia de -0,3 a 0,3.
PET - <i>physiological equivalent temperature</i>	Temperatura de área interna onde o balanço de calor do corpo humano é mantido com temperatura interna e da pele igual às condições reais.

Fonte: Ali-Toudert (2005), modificada pelo autor.

As principais normas de conforto e estresse térmico são:

ISO 7730 – 2005: Determinação e interpretação analítica de conforto térmico usando o cálculo dos índices de PMV e PPD e critérios de conforto térmico local.

ISO 7726 – 1998: Instrumentos para medição de quantidades físicas

ASHRAE Standard 55 – 2004: Condições ambientais térmicas para ocupação humana.

ISO 7243 – 1989: Ambientes Quentes – Estimativa de estresse térmico em trabalhadores, baseado no índice IBUTG.

ISO 11079 – 2007: Determinação e interpretação do estresse térmico por frio, utilizando isolamento requerido de vestimenta (IREQ).

- ISO 8996 – 2004: Ergonomia – determinação da produção de calor metabólico.
- ISO 9920 – 2007: Ergonomia de ambientes térmicos – estimativa de isolamento térmico e resistência evaporativa de um traje de roupa.
- NR 15: Limites de tolerância para exposição ao calor. Ministério do Trabalho.

Índices de conforto para áreas internas foram aplicados em áreas abertas por Spagnolo e Dear (2003). Foram coletadas as variáveis relevantes para o conforto, tais como velocidade e direção do vento, umidade e temperatura e comparadas à opinião de 1.018 indivíduos, ou seja, compararam o ambiente biofísico com estados subjetivos das pessoas. Os autores trabalharam com SET (temperatura padrão efetiva) e constataram que a neutralidade térmica, em termos de conforto humano, é maior em áreas abertas que em áreas fechadas. A neutralidade térmica ficou em 26,2 °C para áreas abertas e 24,0 °C para áreas fechadas. Isso confirma a preferências das pessoas pelas condições um pouco mais quentes que a neutralidade térmica.

A *American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE, 1997), utiliza uma escala com sete pontos psicofísicos para avaliar o conforto térmico. O PMV é o índice de voto prognosticado em sete pontos da escala de sensação térmica e sua escala varia de +3 (corresponde a quente) a -3 (corresponde a frio), conforme (Tabela 3).

Tabela 3 – Limites de PMV.

Pontos	Sensação Térmica
-3	Fria
-2	Resfriada
-1	Levemente fria
0	Neutra
+1	Levemente morna
+2	Morna
+3	Quente

Fonte: ASHRAE (1997).

Os principais parâmetros que influenciam o conforto térmico são: temperatura do ar, TMR (temperatura média radiante), umidade e velocidade do vento. A TMR é definida como a temperatura média ponderada das superfícies em torno, encerra toda a radiação de ondas curtas e ondas longas absorvidas pelo corpo humano. A TMR é a variável fundamental na avaliação da sensação térmica em condições de exposição ao sol, independentemente do índice de conforto utilizado, no entanto os ambientes externos urbanos têm alta complexidade, por isso alguns autores preferem utilizar a temperatura e a umidade do ar pela facilidade de medição. Segundo Ali-Toudert e Mayer (2006) o conforto térmico é fortemente dependente dos fluxos de radiação representados pela TMR. A ISO 7730 (1994) revisada em 2005 recomenda $10,0 \leq TMR \leq 40,0^{\circ}\text{C}$, $-0,5 \leq PMV \leq 0,5$ e PPD abaixo de 10%.

Um estudo realizado por Nikolopoulou et al., (2001) no Reino Unido mostrou que uma abordagem puramente fisiológica não é suficiente para caracterizar o conforto em áreas externas (abertas) sendo necessário também uma adaptação psicológica. O trabalho foi desenvolvido analisando as variáveis meteorológicas e opiniões de mil pessoas. Foi pedido às pessoas para escolherem lugares termicamente confortáveis para elas, dentro de uma área de recreio e que não alterassem a sua rotina. Analisando o comportamento dessas pessoas, os autores constataram que o ambiente térmico é de primordial importância na influência do uso de determinados espaços e a resposta subjetiva ao microclima é subconsciente, levando a padrões sazonais na frequência desses espaços exteriores. A disponibilidade de áreas na escolha, a estimulação ambiental, a história térmica de cada pessoa, o efeito da memória das condições climáticas passadas recentes e as expectativas foram variáveis decisivas na escolha de lugares confortáveis.

O microclima local é influenciado pelo clima urbano em geral e pelas atividades urbanas, em particular. O clima urbano é formado por elementos estáticos como edifícios, árvores e ruas e, também, por elementos dinâmicos como o clima regional. A largura e orientação da rua, a altura dos edifícios com suas projeções laterais e frontais nos espaços abertos, a distância entre edifícios adjacentes, definidos pelo próprio homem, modificam o clima local. A exposição ao sol e ao vento em algumas áreas torna-se restrita após a construção da cidade amparada em normas e diretrizes de desenvolvimento. Superfícies horizontais e verticais absorvendo e refletindo a radiação, redistribuem o calor e a umidade. A vegetação, o volume e altura das construções criam sombreamento e redirecionam o vento e alteram sua velocidade, gerando um clima urbano típico. Bolsões de calor podem ser criados dentro da cidade e o padrão de circulação pode ser alterado drasticamente. A umidade também pode ser redistribuída dependendo do tipo de material utilizado nas construções e o grau de impermeabilização do lugar.

A variação diurna da temperatura na camada limite não é causada diretamente pela radiação e sim pela resposta do aquecimento/resfriamento da superfície através de processos de transporte de calor e a turbulência é um dos mais importantes processos de transportes na camada limite.

Segundo Johansson e Emmanuel (2006), algumas sugestões para melhorar o conforto térmico em áreas abertas podem ser:

- a razão entre a largura das ruas e a altura dos edifícios influencia os índices de conforto e valores altos desta razão podem levar a diminuição da temperatura.

- sombreamentos horizontais que atingem pedestres podem ser feito através do dossel das árvores, coberturas e outros.

- alargamento das ruas nas faixas litorâneas permitindo a passagem da brisa marítima.

- criar corredores de vento através de posições e alturas diferenciadas das edificações no município, OKE (1987).

Segundo Gómez, Tamarit e Jabaloyes, (2001) áreas verdes significam todas as áreas cobertas com plantas naturalmente ou introduzidas artificialmente pelo homem que respondem por uma necessidade vital de saúde física e mental dos moradores das cidades. O crescimento das cidades e as especulações imobiliárias fizeram com que essas áreas verdes desaparecessem. Preocupações com a qualidade de vida nas cidades juntamente com a consciência científica do papel desempenhado pela vegetação têm aumentado o interesse em introduzir áreas verdes, através de parque e praças nas áreas urbanas. Com o objetivo de quantificar a sensação de calor e estabelecer escalas que permitem a reação do indivíduo à determinada condição climática foi realizado um estudo bioclimático da cidade de Valença, Espanha, utilizando os índices de conforto ID (índice de desconforto térmico), WBGT (*Wet-bulb Globe Temperature Index*) e CP (*cooling power*). Foram escolhidas oito áreas que se mostravam mais representativas dentro da cidade, assim foram escolhidas as regiões mais populosas e aquelas peculiares como a periferia e beira-mar. Assim realizaram medições em diferentes pontos com diferentes tipos de pavimento e espaços com e sem árvores e com e sem grama. Utilizaram a estatística para determinar o número de amostras que deveriam ser tiradas de cada ponto, assim cada ponto foi amostrado dez vezes em diferentes anos e diferente tempo do ano, no período úmido e seco. Um dos resultados deste estudo mostrou a não correlação entre a existência de áreas verdes e a existência de conforto térmico em um dos pontos analisados. Este ponto, que possui uma grande área verde, não apresentou índice de conforto melhor comparativamente a outro ponto com menos vegetação, o que levou os autores a pesquisar a relação de conforto entre área mais e menos densamente construída. Foram analisados todos os índices para diferentes pontos e estações do ano e foi verificada a correlação positiva em 100,0 % dos casos. Assim, foi necessária uma revisão de literatura onde os autores encontraram que são necessários 10 hectares (ha) de área verde para a diminuição de 1,0 °C da temperatura, 50 ha para diminuição de 2,0 °C e 200 ha para diminuição de 3,0 °C, justificando os resultados encontrados, ou seja, é necessária uma quantidade mínima de área verde para alterar os índices de conforto térmico.

Na região tropical de Bangladesh, Ahmed (2003) definiu limites de conforto térmico em espaços urbanos através de resultados obtidos no estudo de áreas abertas no município de Dhaka. A cidade de Dhaka teve um crescimento acelerado e muitas de suas terras baixas, plantas de inundação e áreas verdes tornaram-se áreas construídas. Esta degradação do meio ambiente elevou a temperatura nas áreas abertas da cidade e contribuiu para o maior consumo de energia para tornar ambientes internos mais frescos. Foram analisadas situações nos meses de julho a agosto onde as temperaturas máximas foram de 31,8 °C e as mínimas de 24,6 °C. Este período escolhido tem a particularidade de possuir alta umidade (de 70,0 a 80,0 %) e altas temperaturas, características de regiões tropicais úmidas e que causam sensação de desconforto. O autor trabalhou com três ambientes diferentes, sendo o primeiro uma área com grande cobertura vegetal e baixa densidade de construção, a segunda área possuía pouca vegetação com altas edificações e impermeabilização do solo e a terceira próxima ao rio com alta densidade de construção. Foram entrevistadas pessoas que utilizavam os locais de estudo com relação à sensação de conforto. As variáveis pessoais foram idade, sexo, ocupação e vestimenta. As respostas de conforto foram comparadas com a umidade relativa, temperatura do ar e temperatura de globo medidas nos locais das entrevistas. Dentre os resultados encontrados estão umidade relativa média de 70,0 %, limites da temperatura do ar que trazem uma situação de conforto entre 28,5 e 32,0 °C para pessoas em atividade sedentária ou paradas. Para uma temperatura abaixo de 34,0 °C qualquer fluxo de vento aumenta o número de pessoas termicamente satisfeitas. O fluxo de ar aumenta o limite superior da umidade relativa aceitável, assim, para uma situação sem vento a umidade aceitável ficou entre 70,0 e 80,0 %, já com uma velocidade do vento de 2,0 m/s o limite subiu para 95,0 %. A redução da temperatura média radiante faz aumentar o número de pessoas satisfeitas. A satisfação térmica varia no tempo e no espaço, assim durante as primeiras horas do dia, espaços abertos ou menos sombreados são preferidos quando a temperatura está abaixo da temperatura média diária. Ao meio dia, quando a temperatura aumenta e algumas horas depois quando a temperatura é máxima os lugares preferidos são os totalmente sombreados e após as 17h00min quando o ganho de energia radiante é mínimo tanto na atmosfera quanto na superfície, os lugares abertos são os mais procurados, uma vez que facilita a perda de calor pelo corpo com algum fluxo de ar. Como conclusão o autor indica a necessidade do desenvolvimento de um modelo de conforto para áreas externas que incluam os efeitos da termodinâmica do fluxo de ar e o balanço de radiação.

O sombreamento urbano foi estudado por Emmanuel, Rosenlind e Johansson (2007) em Colombo, Sri Lanka, utilizando o modelo microclimático ENVI – met com a finalidade de

simular a variação da temperatura do ar e da superfície para duas diferentes situações. Algumas estratégias para mitigar a presença de ilhas de calor na área urbana foram a alteração (aumento) do albedo através da alteração da cor de telhados e paredes para branco e da pavimentação de concreto para cor clara, introdução de vegetação através de árvores de 10,0 m de altura e espaçamento entre elas de até 20,0 m, aumento do sombreamento através do aumento da altura das edificações (18,0 m para média densidade e 30,0 m para alta densidade de construção). Neste estudo o autor utilizou o índice de conforto térmico PET (*physiologically equivalent temperature*). O PET é um índice utilizado para áreas externas que é baseado na temperatura radiante e do ar, bem como na umidade e no fluxo de vento. Embora o modelo seja um dos que melhor simula a camada limite urbana, os dados encontrados neste trabalho mostraram que ele tende a subestimar a variação da temperatura do ar diurna. O sombreamento urbano é função da orientação da rua bem como da altura e densidade das construções (razão altura(h)/largura(w)). Na região dos trópicos, quando o ângulo solar for alto, pedestres deveriam evitar a orientação leste-oeste e preferir a orientação norte-sul que proporciona sombra pela manhã e à tarde, no lado leste das ruas. O menor valor da temperatura média radiante é apresentado quando a razão h/w é alta e o aumento da referida taxa de 1 para 3 faz com que o índice PET diminua cerca de 10,0 °C. Os resultados deste trabalho mostraram que medidas que mitigam a temperatura do ar pode não necessariamente conduzir a um melhor conforto térmico. Redução nos valores de PET e conseqüentemente melhor condições de conforto podem ser conseguidas aumentando a relação h/w. Assim, observa-se a necessidade de diretrizes para acompanhar o rápido crescimento das cidades localizadas em regiões tropicais úmidas.

Gaitani, Santamouris e Mihalakakou (2005) apresentaram um trabalho onde descrevem processos de desenhos e aplicação de técnicas baseadas em critérios bioclimatológicos e conservação de energia para melhorar o microclima em espaços abertos na grande Atenas, Grécia. Condições de conforto térmico foram usadas como indicador de bem-estar climático na área de estudo. Os índices de conforto térmico utilizados foram COMFA de Brown e Gillespie (1995), baseado no armazenamento de calor pelo indivíduo exposto a um ambiente aberto e TS (*Thermal Sensation*) que é baseado na sensação de satisfação ou insatisfação em determinadas condições climáticas em espaços abertos. O estudo foi feito no período de verão para dois cenários diferentes. O primeiro consiste num espaço convencionalmente construído e o segundo consistiu em introduzir melhorias tais como densa vegetação através da introdução de árvores no sentido norte para diminuir a velocidade do vento e criar um espaço verde dentro da área, pequenos pontos de água no

parque e uso de materiais de construção com alta emissividade e refletividade. Foram realizadas 21 simulações em diferentes pontos selecionados. Os dois índices mostraram que o segundo cenário apresentou melhores condições de conforto térmico.

O efeito da vegetação no conforto térmico em áreas abertas pode ser encontrado em Shashua-Bar e Hoffmann (2000), que realizaram um estudo sobre o resfriamento de áreas urbanas com diferentes configurações geométricas na presença de vegetação. Foram analisadas onze pequenas áreas dentre elas jardins, avenidas, ruas e pátios, onde foi medida a temperatura do ar ao meio dia por dois meses. A diferença média de temperatura devido à presença de vegetação foi de 2,8 °C. Avenidas de tráfego pesado não apresentaram temperaturas elevadas devido ao fato de serem largas e possuírem árvores com copas a uma altura de 10,0 a 15,0 m. O efeito do resfriamento foi perceptível a até 100,0 m dos lugares estudados. Assim, o estudo comprova que a arborização pode ser usada para mitigar a formação de ilha de calor, principalmente em regiões de latitudes baixas.

Fahmy e Sharples (2009) estudaram a influência da forma urbana no conforto térmico no município do Cairo, Egito. Com a finalidade de estudar o efeito da compactação das construções no acesso a radiação solar e a potencialidade de formação de ilhas de calor foi utilizado modelo ENVI-met que fornece o índice de conforto térmico PMV, para realizar simulações com cinco alternativas de desenho urbano, com grau de compactação das edificações, cobertura vegetal e quantidades populacionais diferentes.

Bueno – Bartholomei (2003) avaliou a atenuação da radiação solar por diferentes espécies de árvores e o conforto térmico proporcionado pelas mesmas, no município de Campinas, São Paulo. O conforto térmico foi avaliado através do Voto Médio Estimado (VME) proposto pela ISSO 7730, 1994. A espécie com melhor desempenho na redução da radiação foi o Jambolão (*Syzygium jambolanum*) embora o sombreamento desta árvore não tenha reduzido os valores de VME, para níveis considerados confortáveis.

Com o objetivo de melhor compreender o sistema urbano microclimático Jansson (2006) estudou o micro-clima de Stockholm em relação às condições térmicas da atmosfera entre 0,0 e 2,5 m da superfície e as trocas de calor e vapor entre os diferentes usos de solo. Através de observações feitas no local durante três dias de verão e de simulações utilizando o modelo microclimático ENVI-met foram realizadas comparações do perfil vertical da temperatura do ar num parque vegetado e a área construída no entorno do parque. Os resultados mostraram que a temperatura na área do parque a 1,2 m da superfície foi 0,5 a 1,5 °C menor que nas edificações no entorno e que a estratificação térmica foi estável, ou seja,

houve aumento da temperatura com a altitude sobre o parque e instável na área construída diminuindo com a altura, o que indica advecção horizontal entre o parque e a área construída.

O modelo ENVI-met apresentou resultados similares aos medidos no local demonstrando que é eficaz para representar a troca de energia entre a superfície e a atmosfera, no entanto discrepante entre os dados reais e os modelados no que se refere ao armazenamento de calor. A análise de como as modificações no uso de solo afeta a evapotranspiração mostrou que o aumento da temperatura do ar durante a noite tem maior efeito na evapotranspiração de superfícies cobertas por vegetação de porte alto, enquanto a maior entrada de radiação de ondas longas tem mais efeito em superfícies cobertas com grama, ou seja, superfícies com vegetação de porte baixo. Em um ambiente com árvores decíduas altas, desde que haja pouca resistência estomatal, o aumento de temperatura e o consequente aumento do gradiente de pressão de vapor entre as folhas e a atmosfera resultará em grande transpiração. Em solos cobertos por vegetação rasteira apresentam menor transporte turbulento e o aumento do gradiente da pressão de vapor é menos significativo para a evapotranspiração.

Gomes e Amorim (2002) fizeram um estudo do conforto térmico no espaço urbano no município de Presidente Prudente, SP. Os autores utilizaram o índice de temperatura efetiva desenvolvido por Thom (1959), que define zonas de conforto com dados de temperatura de bulbo seco e bulbo úmido. As regiões de estudo com maior arborização apresentaram-se termicamente confortáveis, comparativamente às aquelas sem arborização.

4.4. Fator Visão do céu e a entrada de radiação no espaço urbano

A variação sazonal da temperatura é principalmente uma função da radiação solar e a quantidade de radiação solar entrando em um ponto no espaço depende em grande parte do fator visão do céu ou *Sky View Factor* (SVF) (Giridharan et al., 2007).

O SVF é um parâmetro utilizado para caracterizar a entrada de radiação em áreas urbanas e para expressar a relação entre a área visível do céu e a porção do céu coberto por edificações e/ou vegetação vistos de um ponto específico de observação. Assim, SVF varia entre 0 a 1, onde 1 representa uma área sem qualquer obstáculo entre um ponto dentro da área e o céu e 0 (zero) nenhuma visibilidade do céu.

A abóbada celeste, em áreas construídas, vista por um ponto na superfície é obstruída por outros edifícios. Desta forma, a troca de radiação por ondas longas entre as superfícies verticais não resulta numa significativa perda de calor, uma vez que maior parte da radiação

emitida por paredes ou pelo solo em áreas densamente construídas é reabsorvida e o resfriamento se dá, apenas numa estreita região, próximo ao nível do solo.

A penetração da luz natural em espaços urbanos depende, em grande parte, da geometria e da orientação do obstáculo (Wollmann, 2004) e da latitude local. Uma rua orientada no sentido norte-sul permite a penetração da luz solar excessivamente no meio do dia, uma das fachadas é iluminada antes do meio dia, a segunda após o meio dia, enquanto a penetração da luz solar em uma rua orientado no sentido leste-oeste, no meio dia é limitada a fachada orientada para o sul.

A geometria (edificações) e a insolação têm uma relação inversa, onde um aumento da geometria faz diminuir a insolação, tanto no verão, onde a magnitude da insolação é maior quanto no inverno, onde a magnitude da insolação é menor.

O SVF é a fração da interposição do hemisfério ocupada no céu, Figura 5. Por exemplo, um SVF de valor unitário seria para um local aberto, como um amplo campo ou no topo de um edifício onde não há obstruções bloqueando uma parte da vista do céu (Figura 5a). Nas áreas urbanas, edifícios e vegetação diminuem a fração de céu visível a partir do solo. A geometria urbana, que é então relacionada com o SVF, tem implicações no bloqueio da radiação direta do sol. Segundo Oke (1987), a geometria urbana influencia o aprisionamento da radiação solar de entrada e de saída de onda longa. Isso faz com que a temperatura urbana seja maior. Durante o dia o cânion intercepta a radiação solar refletida e, dependendo das propriedades térmicas de seus materiais armazenam mais ou menos calor. À noite, a perda de calor dentro dos cânions é menor (Arnfield, 1982). Mills e Arnfield (1993) constataram que, quanto mais estreitos sejam os cânions, mais isolados em termos de troca de calor com a atmosfera superior.

Figura 5 – Sol como fonte direta de radiação e a cúpula do céu (latitude) como fonte difusa.

Figura 5a – A obstrução da radiação solar pelas construções – Fator *Sky View*.

Fonte: Marsh (2007).

Pesquisadores descobriram que a geometria urbana expressa como fator de visão do céu tem grande influência sobre o clima urbano (Svensson, 2004). O SVF é um parâmetro adimensional que denota a quantidade de céu visível em um determinado local. A relação entre SVF e temperatura do ar tem sido estudada há muitos anos.

Kakon e Nobue (2009) avaliaram a geometria urbana, no centro da cidade de Dacar, com relação ao SVF e encontraram uma correlação positiva entre o fator e a radiação solar, independente da variação sazonal, influenciando intensamente o clima urbano. Assim, propõem que este fator seja levado em conta no planejamento das cidades.

Giridharan et al., (2007) identificou as principais variáveis do desenho urbano que influenciam a formação de ilha de calor urbano diurna e noturna e desenvolveu modelos correspondentes para áreas costeiras residencial de Hong Kong. O SVF, o albedo da superfície, a altitude da região, a presença de vegetação de até um metro de altura e a proximidade com o mar são as variáveis que mais influenciam a mitigação da ilhas de calor. Um aumento de 10,0 % na radiação solar ou no SVF intensificaria a ilha de calor diurna em torno de 2,9 % e diminuiria a ilha de calor noturna em 0,3 %.

O homem é um animal homeotérmico, pois possui a capacidade de manter a temperatura corporal dentro de uma faixa em torno de 36,5 °C, mesmo que haja variações térmicas no ambiente. O equilíbrio térmico é atingido pelo do balanço de calor, ou seja, entre a perda e a produção ou aquisição deste. Ao se praticar uma atividade física o músculo produz calor que é transferido para o sangue por condução e através da circulação sanguínea é levado para todo o organismo. O sangue do corpo circula próximo a superfície da pele e o excesso de calor transfere-se para a atmosfera com menor temperatura. Ao mesmo tempo, ocorre a difusão da água pela pele através da transpiração. A sudorese, por si só, não resfria o corpo, exceto quando a água é removida por evaporação e a alta umidade relativa retarda o processo de evaporação. A energia térmica necessária para evaporar a suor é extraído do corpo e assim se resfria. A perda de calor para o ambiente, quando este possui uma temperatura menor que a temperatura corporal, se dá por três mecanismos básicos: condução, irradiação e, caso a temperatura da pele atinja 37,0 °C, mecanismos de controle homeostático do hipotálamo são ativados e ocorre a transpiração. Segundo o guia sobre qualidade do ar e biometeorologia (2004) da OMM (Organização Mundial de Meteorologia) o excesso de calor mata, aproximadamente, 175 norte-americanos no verão, está taxa de mortalidade é maior do que aquelas produzidas por desastres naturais como raios, furacões, tornados e enchentes.

No período de 40 anos a partir de 1936 até 1975, quase 20.000 pessoas foram mortas nos Estados Unidos devido aos efeitos do calor e da radiação solar. Na onda de calor de 1980, mais de 1.250 pessoas morreram. No verão de 2003, na França um número estimado entre 13.000 e 15.000 idosos morreram em consequência do calor. O Serviço Meteorológico Nacional dos Estados Unidos (NWS-US/*National Weather Service*) com a finalidade de alertar a população com relação a episódios extremos de ondas de calor criou o índice de calor (HI - *Heat Index*) também chamado de temperatura aparente. O HI é dado em graus Fahrenheit para condições de sombreamento e ventos fracos. Assim quando a temperatura estiver em 95,0 °F (35,0 °C) e a umidade relativa em 55,0 % o valor de HI será de 110,0 °F (43,0 °C), equivalente a temperatura sentida pelo corpo humano. Isto pode ser agravado se o homem estiver exposto diretamente ao sol e sob ventos intensos. O alerta é enviado quando HI durante o dia for igual ou maior 105,0 °F (41,0 °C), à noite um mínimo de 80,0 °F (27,0 °C) por dois ou mais dias consecutivos.

Os seres humanos não sentem a temperatura do ar real na existência de ventos. Quando têm a sensação de frio estão sentindo a temperatura da pele que é menor quando está ventando, pois a perda de calor pela pele é maior que a produção de calor pelo corpo. Assim o vento tem um papel importante na saúde, uma vez que acelera a perda de calor pelo corpo. Na tentativa de quantificar essa sensação de frio pela pele criou-se o índice de vento frio (*W - wind chill index*). Grupos, organizações e escolas utilizam este índice para regular suas atividades ao ar livre. Trabalhadores da construção civil no Canadá, por exemplo, são obrigados a fazer uma pausa em suas atividades a fim de aquecer o corpo em situação de vento frio. Em um dia de vento calmo, com temperatura do ar em -10,0 °C o valor de W será de -20,0 °C, ou seja, o homem sentirá -20,0 °C em seu rosto. O rosto foi escolhido como a parte do corpo mais adequado para estimar o índice W por ser mais freqüentemente exposto ao vento de inverno nos Estados Unidos e Canadá.

4.5. Índices de conforto térmico PMV e PPD

Para avaliar o conforto térmico, vários tipos de índices e modelos têm sido adotados. O método mais conhecido e aceito é o método desenvolvido por Fanger (1972) e adotado na norma internacional ISO (*International Organization for Standardization*) 7730/1994.

Fanger (1972) realizou uma pesquisa analisando condições de temperatura, umidade e velocidade de ar em ambientes controlados climaticamente, onde as pessoas permaneciam algum tempo e respondiam questões sobre sua percepção quanto ao conforto térmico. Dentre os índices desenvolvidos estão o *Predicted Mean Vote* (PMV), que estima o nível de

satisfação dos indivíduos quanto ao ambiente e o *Predicted Percentage of Dissatisfied People* (PPD), que expressa o percentual de pessoas não satisfeitas com este ambiente.

Este índice de conforto (PMV) estabelece um modelo de correlação entre a percepção subjetiva humana, expressa através da votação numa escala de conforto que vai de -3 (muito frio) a +3 (muito quente) e a diferença entre o calor gerado e o calor liberado pelo corpo humano, ao qual corresponde a seguinte equação:

$$PMV = (0,303e^{-0,036M} + 0,028) * [(M - W) - H - E_c - C_{res} - E_{res}] \quad (1)$$

Onde,

M = Nível de atividade metabólica;

W = Trabalho mecânico exterior;

H = Perda de calor sensível;

E_c = Troca de calor por evaporação na pele;

C_{res} = Troca de calor por convecção na respiração;

E_{res} = Troca de calor evaporativa, na respiração.

O PMV é um dos índices biometeorológicos mais significativos a que se refere o balanço energético do corpo humano de pessoas expostas a determinados climas. Originalmente desenvolvido para interiores, foi adaptado para o ambiente externo, adicionando a radiação por Jendritzky e Nubler (1981).

Normalmente, a escala de PMV é definida entre -3 e 3, onde 0 é a neutralidade térmica (conforto). Como PMV é função do clima local, pode atingir também valores acima de 3 ou abaixo de -3. Além do índice PMV , o modelo ENVI-met fornece o valor do índice PPD que indica a percentagem de pessoas que estariam insatisfeitos com as condições climáticas encontradas.

Para o cálculo de PPD tem-se:

$$PPD = 100 - 95e^{-(0,00353PMV^4 + 0,2179PMV^2)} \quad (2)$$

A norma ISO 7730 tem como objetivo apresentar um método de previsão da sensação térmica e do grau de desconforto de pessoas expostas à ambientes térmicos moderados e especificar condições de ambiente térmico aceitáveis para o conforto. Os valores recomendados pela norma para o PMV estão entre $-0,5 < PMV < +0,5$ e PPD abaixo de 10% para considerar o ambiente termicamente confortável.

Neste trabalho para o cálculo de *PMV* foram consideradas os seguintes valores teóricos, comumente usados na literatura:

-Atividade: andando na horizontal com $v = 0,88m/s$.

-Metabolismo = $116 W/m^2$.

-Eficiência mecânica = 0

-Índice de resistência térmica= $0,5 Clo$ (isolamento térmico das roupas utilizadas - (“clo” de clothes, $1 Clo = 0,155m^2\frac{K}{W}$ (kelvin/watt)).

Nos índices de conforto que consideram a fisiologia térmica, o equilíbrio energético do corpo humano é de fundamental importância. O balanço de energia entre o corpo humano e o ambiente, tanto em ambientes internos quanto em ambientes externos, pode ser descrito pela equação geral:

$$S = M + W + Q^* + Q_H + Q_L + Q_{SW} + Q_{RE} \quad (3)$$

Onde

M = taxa metabólica ou energia produzida pela oxidação do alimento,

W = trabalho físico,

Q^* = saldo de radiação e função da TMR,

Q_H = fluxo de calor sensível,

Q_L = fluxo de calor latente pela difusão de vapor,

Q_{SW} = fluxo de calor latente pela evaporação do suor,

Q_{RE} = fluxo de calor pela respiração,

S = fluxo de calor para aquecimento (positivo) ou resfriamento (negativo).

A TMR é um dos parâmetros mais importantes utilizados no cálculo de PMV, embora seja uma variável menos utilizada no planejamento urbano. A TMR é a principal variável para descrever a sensação térmica em áreas abertas, principalmente áreas com maior incidência de radiação solar, como é o caso dos trópicos, para qualquer índice de conforto térmico utilizado (Jendritzky et al., 1990).

A TMR calculada pelo modelo, Toudert (2005), segue a equação abaixo:

$$T_{mrt} = \left\{ \frac{1}{\sigma_B} \left[E_t(z) + \frac{\alpha_k}{\epsilon_p} (D_t(z) + I_t(z)) \right] \right\}^{0.25}$$

onde,

T_{mrt} = temperatura média radiante

σ_B = constante de Stefan – Boltzman

E_t = fluxo de radiação de onda longa

Z = ponto dentro da grade

α_k = coeficiente de absorção da radiação de onda curta

ϵ_p = emissividade do corpo humano

D_t = radiação difusa

I_t = irradiância

A Figura 6 apresenta os componentes do balanço de energia radiante em áreas abertas segundo Jendritzky e Nubler (1981).

Figura 6 - Componentes do balanço de energia radiante. M =taxa metabólica, I =radiação solar direta, D = radiação solar difusa, R = radiação solar refletida, A = radiação de onda longa atmosférica, E = emissão de ondas longas pela superfície, E_{km} =radiação de onda longa emitida pelo homem, Q_h = fluxo turbulento de calor sensível, Q_{sw} = fluxo turbulento de calor devido à transpiração, Q_l =fluxo turbulento de calor latente devido à difusão de vapor e Q_{Re} = fluxo de calor pela respiração (sensível e latente). Fonte: Jendritzky e Nubler (1981). Adaptado pelo autor.

5. Material e procedimentos

5.1. Área de estudo

Fundada em 1918, sua ocupação deu-se em 1905 e está ligada ao pioneirismo da expansão do café e à ampliação da estrada de ferro Sorocabana que cruzou o rio Paranapanema em 1908. Junto com a estrada de ferro vieram os alemães, japoneses e italianos, cujos traços culturais e tradições estão presentes por toda a região do Paranapanema. Segundo D'Ambrósio (2004), em 1910 Dona Escolástica Melchert da Fonseca vendeu suas terras que representa quase a totalidade do atual município de Ourinhos, para o coronel Jacintho Ferreira e Sá, o qual loteou a parte central da cidade e doou terreno para a construção de um grupo escolar e de uma igreja. De pequeno povoado torna-se *Distrito da Paz*, subordinado a Salto Grande do Paranapanema, em 1915. Três anos depois é elevado à categoria de município, em 13 de dezembro de 1918, segundo Del Rios (1992), cuja instalação se deu a 20 de março de 1919.

Ourinhos faz divisa ao norte com a cidade de São Pedro do Turvo-SP, ao sul com a cidade de Jacarezinho-PR, a leste com Santa Cruz do Rio Pardo-SP e a oeste com Salto Grande-SP. A cidade está localizada no sudoeste do Estado de São Paulo, na divisa com o norte do Estado do Paraná. Localiza-se a uma latitude 22°58'44"S e a uma longitude 49°52'14"W e uma altitude de 483m. Situa-se na região Sudeste do Brasil e possui um clima do tipo subtropical com inverno seco e verão chuvoso.

Este município está localizado próximo ao Trópico de Capricórnio tendo em sua área de domínio uma densa rede hidrográfica, sendo o rio Paranapanema, o principal rio da região e seus tributários (rio Pardo e o Turvo). Estes dois rios, apesar de serem menores apresentam importantes volumes de água. Além destes rios o município de Ourinhos aporta mais de cem nascentes. Nos meses de maio a julho, há predominância de sistemas frontais provenientes do extremo Sul da América do Sul, provocando declínio de temperatura e baixa umidade. Já nos meses de setembro a março, com o aumento da radiação solar no Hemisfério Sul, tem-se o aumento de temperatura e evapotranspiração. Deve-se ressaltar que tanto no inverno, quanto no verão a população tem problemas de desconforto, devido a excesso de frio ou de calor, pois os ambientes construídos não estão preparados para atender as necessidades das pessoas, no quesito conforto térmico.

O município possui uma temperatura média do ar igual a 23,1 °C, sendo os meses com temperaturas mais elevadas fevereiro e março e os meses com menores temperaturas junho e julho. A precipitação média anual é de 1405,3 mm e os meses mais chuvosos são

novembro, dezembro e janeiro (verão) e os menos chuvosos são junho, julho e agosto (inverno), conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Dados de temperatura e precipitação do município de Ourinhos - SP.

Mês	Temperatura °C Média Diária	Dias	Dias de Chuva	M. Mensal Chuva Total mm
Janeiro	25,6	310	179	276,6
Fevereiro	26,0	276	97	113,0
Março	26,0	279	76	102,1
Abril	24,4	270	65	93,2
Maio	19,9	310	66	95,8
Junho	19,1	300	48	46,9
Julho	18,6	310	41	59,3
Agosto	20,4	310	42	42,3
Setembro	22,2	300	69	94,5
Outubro	24,3	310	88	149,5
Novembro	24,8	300	102	141,1
dezembro	25,7	310	112	191,0

Dados: <http://www.Ciiagro.Sp.Gov.br>
(Período: 01/05/2000 até 08/02/2010)

Ourinhos (Figura 7) possui uma área urbana de 40,0 km², uma área rural de 256,0 km², perfazendo uma área de 296,0 km². Possui uma população de 103.026 habitantes – IBGE 2010. Ainda segundo o IBGE possui um grau de urbanização de 96,3 %. Possui também uma área de matas e florestas de 398 hectares e uma área de pastagens naturais de 1.703 hectares (IBGE 2006). O Parque Ecológico Municipal possui uma área de, aproximadamente, 122 mil m², com árvores com Jaracatiá (*Jacaratia spinosa*), Peroba-rosa (*Aspidosperma polyneuron*), Pau D'alto (*Gallesia integrifolia*) e canela (*Cinnamomum zeylanicum*).

O principal cultivo do município é a cana-de-açúcar com uma área plantada de 10.500 hectares (IBGE 2006), também são cultivados milho, soja e café em menores áreas.

Segundo Zacharias (2006), economicamente, Ourinhos se destaca pela indústria alcooleira e pela distribuição de derivados de petróleo - gasolina e óleo diesel - para toda a região.

A região de Ourinhos é caracterizada por apenas duas unidades geomorfológicas: interflúvios amplos e extensos e interflúvios médios e alongados, segundo Zacharias (2006).

Os interflúvios amplos e extensos são predominantes e apresentam topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos a convexos e vales abertos, perfazendo uma área de mais de 45,0 km². Ainda segundo Zacharias (2006), os interflúvios médios a alongados

concentram-se na parte Norte e Nordeste do município de Ourinhos e não possuem expressividade.

Figura 7 – Estado de São Paulo com a localização do município de Ourinhos. Município de Ourinhos e área urbana.

Efetuuou-se simulações para três áreas no município de Ourinhos, sendo duas dentro da área urbana e uma na área suburbana. As simulações ocorreram nos dias 10/06/2009, inverno na região e dia 15/02/2010, situação de verão.

A escolha dos três pontos para a instalação das estações meteorológicas ocorreu em função da segurança e proteção dos equipamentos, levando-se em conta também a relevância do local em função das dinâmicas climáticas e urbana local.

As três áreas escolhidas para análise foram baseadas nos padrões residenciais, classificados por Luchiari; Martini e Santos, 2009. As classificações foram:

1- Urbano denso: Área central da cidade essencialmente comercial, mas com presença de algumas moradias de um pavimento e cobertura de telha cerâmica. Existe também um edifício de 45,0 m de altura, com cobertura em laje de concreto e algumas construções com cobertura de telha metálica (Figura 8 e 8a).

Figura 8 – Área de estudo no centro da cidade de Ourinhos SP.
Fonte: Google Earth. Disponível em: <http://earth.google.com>. Acesso em 08/2009

Figura 8a – Fotografia da área Urbano denso na Avenida Altino Arantes, onde está localizada a SAE de Ourinhos SP. Fonte: o autor.

2- Urbano permeável: bairro residencial Vila Brasil, com menor densidade de construção, áreas verdes, Figura 9.

Figura 9 – Área de estudo no bairro Vila Brasil, Ourinhos SP.
Fonte: Google Earth. Disponível em: [http:// earth.google.com](http://earth.google.com). Acesso em 08/2009.

Figura 9a – Fotografia da área urbano permeável no bairro Vila Brasil, onde está localizada a SAE de Ourinhos SP. Fonte: o autor.

3-Expansão urbana: área de reserva para o crescimento horizontal da cidade e embora esta área esteja dentro dos limites urbanos é uma região afastada do centro da cidade,

quase sem edificações, circundada por uma plantação de eucalipto de altura até 15 m, solo revestido com grama de até 20 cm (Figura 10).

Figura 10 – Área classificada como expansão no município de Ourinhos SP.
Fonte: Google Earth. Disponível em: [http:// earth.google.com](http://earth.google.com). Acesso em 08/2009.

Figura 10a – Fotografia da área de estudo expansão urbana no município de Ourinhos SP.
Fonte: o autor.

Na Figura 11 tem-se a localização e altitude das estações meteorológicas na área urbana de Ourinhos.

Figura 11 – Município de Ourinhos com área urbana e localização e altitude (m) das três estações automáticas utilizadas. Fonte: o autor.

5.2. Modelo microclimático ENVI-met

O Envi-met trabalha com dois sistemas físicos (superfície terrestre e atmosfera), numa altitude de até 2.500,0 m. A superfície terrestre é tratada como um sistema multi-camadas, onde a vegetação e o solo são tratados separadamente. O modelo para solo é composto de 14 camadas, mais estreitas próximo à superfície e mais amplas até a profundidade de 2,0 m. Por uma questão de simplificação, apenas as trocas de calor e umidade usam as equações de Fourier e Richards. Nos cálculos de parâmetros hidráulicos do solo são usadas as classificações de Clapp e Hornberger (1978). A condutividade térmica e difusividade são calculadas usando o formalismo de Pielke (1984) e Tjernström (1989), respectivamente, em Bruse (2004). Os fluxos turbulentos na superfície do solo são determinados pela teoria da similaridade de Monin/Obukhov, que leva em conta a estabilidade atmosférica.

A vegetação, também, é tratada como um sistema de várias camadas, com suas próprias trocas radioativas, balanços de energia e temperaturas médias. Também é importante mencionar que a primeira camada acima da superfície é dividida em cinco subcamadas, a fim

de melhor representar as trocas radioativas e as turbulências próximas à superfície. Por se tratar de um modelo para áreas urbanas, a transferência radioativa na vegetação é muito simples e vários pressupostos são feitos como, por exemplo, a radiação difusa não ser atenuada pela folhas. A distribuição inicial vertical das folhas é descrita pela densidade foliar (LAD), dada em valores médios. O modelo não considera um dossel e assume a vegetação como homogênea, o que significa que apenas um tipo de vegetação pode ser considerado na vertical. Já na direção horizontal pode-se utilizar vários tipos de vegetação.

O fluxo de calor latente, produzido pela turbulência e pela energia radioativa, disponíveis em cada camada, é calculado com base nos estômatos e na resistência aerodinâmica, bem como a temperatura e umidade do ar no entorno. Nas folhas são consideradas apenas as trocas de calor e umidade, o que significa que os fluxos de CO_2 não estão representados. O CO_2 na integração solo-atmosfera e solo-vegetação, também é negligenciado.

O sistema atmosférico é muito complexo em comparação como sistema de solo e de vegetação, uma vez que envolve equações como média de Reynolds e Navier-Stokes. Três principais variáveis são calculadas com essas equações: velocidade do vento, temperatura do ar e da umidade. O cálculo da turbulência baseia-se no modelo E- ϵ (Launder; Spalding, 1974), que calcula a energia cinética turbulenta (E) e sua taxa de dissipação (ϵ). Note que todas estas equações são utilizadas para a vegetação usando fonte/sumidouro, no cálculo de calor, umidade e dinâmica de trocas. Estas “fontes” levam em conta principalmente o LAD e o gradiente das variáveis envolvidas (velocidade do vento, umidade e temperatura).

As condições iniciais do solo e da atmosfera consistem em perfis constantes ou lineares dependentes da variável prognosticada e calculada, de acordo com os trabalhos de Bruse e Fleer (1998) e Samaali (2002).

5.2.1. A estrutura do modelo

A Figura 12 mostra a estrutura do modelo ENVI-met com arquivos de entrada (vegetação, solo, fontes) e arquivos de saída (arquivos em 3D e 1D - dados dos pontos específicos escolhidos na grade de entrada para estudo das variáveis meteorológicas na vertical).

Figura 12 – estrutura do modelo ENVI-met mostrando os arquivos de entrada e saída.

Fonte: www.envi-met.de (10/01/2008).

O ENVI-met tem a tendência de subestimar a variação diária da temperatura do ar, superestima a TMR e a absorção da radiação pelas fachadas (Jansson, 2006; Emmanuel; Rosenlind; Johansson, 2007) o que pode ser uma limitação do modelo.

A altura máxima do modelo é 2.500,0 m e permite a distribuição na vertical em quatro diferentes formas conforme mostra a Figura 12a. Neste trabalho utilizou-se a configuração C, onde o espaçamento da grade é equidistante, pois a área de estudo não apresenta edifícios muito elevados e nem limitação de altura.

Figura 12a – Tipos de grades verticais fornecidas pelo modelo ENVI-met.

Fonte: www.envi-met.de (10/01/2008).

5.2.2 Dados de entrada do modelo

O modelo necessita como dado de entrada de uma planta baixa com informações da cobertura do solo como asfalto, vegetação e edificações, da área a ser simulada, além de dados de temperatura, umidade e velocidade e direção do vento.

Nas áreas (expansão urbana e urbano permeável) as simulações foram realizadas apenas para a situação real, com a estrutura existente no local.

Para o ponto situado no centro da cidade foram feitas, além da situação real (Figura 13), três simulações distintas alterando a estrutura real, a saber:

- 1- aumento da altura média das edificações, que passaram de 5 para 30,0 m (Figura 14).
- 2 - retirada das edificações da quadra central e instalação de um parque com vegetação rasteira e árvores no lugar (Figura 15).
- 3 - rotação da planta baixa da área urbano denso de -76° , onde a avenida Altino Arantes, antes com orientação NNO/SSE, passa a ter orientação L/O (Figura 16).

Figura 13 – Grade de entrada do modelo representando uma área de 3 x 3 quadras no centro do município de Ourinhos – SP, cuja altura média das construções é 5,0 m.

Efetuuou-se a edição das plantas baixas das áreas estudadas como dado de entrada do modelo. A planta baixa é projetada em um cenário, em três dimensões (3D) onde são colocados edifícios, árvores/vegetação e diferentes superfícies como asfalto, calçadas, concreto. Também foi inserido um arquivo de configuração com informações de temperatura, velocidade do vento, umidade, obtidas através de uma estação meteorológica automática instalada no local.

Figura 14 - Grade de entrada do modelo representando uma área de 3 x 3 quadras no centro da cidade de Ourinhos – SP, com altura média das construções de 30,0 m.

A Figura 15 mostra a área de estudo onde se efetuou a substituição das construções existentes na quadra central por vegetação gramínea e arbórea. O ponto de estudo continua sobre o asfalto, mas alterou-se seu entorno com a introdução de vegetação. Esta modificação tem por objetivo verificar se o centro da cidade, densamente construído e impermeabilizado gera desconforto na população, pois a presença de concreto, do asfalto e ausência de árvores gera aumento da temperatura, devido ao armazenamento de calor pelos materiais de construção e se a presença de vegetação pode alterar os valores de temperatura.

Figura 15 - Grade de entrada do modelo representando uma área de 3 x 3 quadras no centro da cidade de Ourinhos – SP, retirando as edificações da quadra central e colocando gramíneas e árvores.

A Figura 16 apresenta a mesma estrutura de edificação da situação real, porém alterou-se a orientação da cidade e mantiveram-se as mesmas variáveis de entrada da situação real, por exemplo, manteve-se a direção e velocidade do vento da situação real.

Figura 16 - Grade de entrada do modelo representando uma área de 3 x 3 quadras no centro do município de Ourinhos – SP, com rotação de 76° da estrutura edificada.

No estudo de fluxos de ar em áreas urbanas, segundo Oke (1988), a sotavento de cada edificação uma re-circulação é formada. Quando as edificações são bastante espaçadas entre si pode se formar redemoinhos à montante do fluxo, Figura 17. O regime isolado do fluxo do vento ocorre quando o espaçamento entre as edificações é grande. Para um nível médio de espaçamento o fluxo do vento é de interferência, ou seja, o fluxo à montante interage com o fluxo à jusante da próxima edificação. No regime, a troca turbulenta que ocorre sobre as edificações dirige a re-circulação para dentro do cânion (desfiladeiro ou vale urbano).

Figura 17 – Influência das edificações no fluxo do vento. Adaptado de Oke (1988).

A relação largura x altura é quem vai determinar se a re-circulação ocupa parte ou toda a cavidade do cânion. A geometria utilizada na situação real e para aumento da altura das edificações são mostradas na Figura 18.

Figura 18 – Relação largura/altura do cânion (desfiladeiro) da avenida da área de estudo urbano denso (centro da cidade) para a situação real (a) e para o aumento da altura das edificações de 5 para 30,0 m (b) e direções da avenida (c) e (d).

A Figura 19 mostra o cenário real para a área urbano permeável onde está localizada a SAE.

Figura 19– Grade de entrada do modelo representando a área de simulação urbano permeável.

A Figura 20 mostra o cenário real da área de simulação e o ponto específico de estudo sobre uma superfície de concreto, na UNESP de Ourinhos.

Figura 20 – Grade de entrada do modelo representando o cenário real na área “expansão urbana” de Ourinhos - SP.

A Tabela 5 apresenta os dados de entrada do modelo utilizados na simulação da região urbano denso, no centro da cidade de Ourinhos. Os dados de temperatura, umidade relativa, velocidade e direção do vento foram obtidos da própria estação instalada no local.

Tabela 5 - Dados de entrada do modelo - Urbano denso
Configuração básica - ENVI-met Versão 3.2

Dados principais	
Dia do início da simulação (DD.MM.AAAA):	=10.06.2009
Horário do início da simulação (HH:MM:SS):	=06:00:00
Total de horas de simulação:	=24,00
Salvar o modelo a cada ? min	=60
Vel. Vento a 10 m da superfície [m/s]	=0.8
Direção do vento (0:N..90:E..180:S..270:W..)	=132
Comprimento de rugosidade	=0,7
Temperatura do ar inicial [K]	=287
Umidade específica em 2500 m [g /kg]	=15
Umidade relativa em 2m [%]	=76
[AJUSTE SOLAR] _____	
Fator de ajuste de ondas curtas (0.5 a 1.5)	=1,5
[TURBULENCIA]_____	Opções de turbulência
Turb. Fechada Cond. Contorno (0:diag.,1:prognos.)	=1
Turb. fechada Modelo 3D (0:diag.,1:prog)	=1
Limite superior para e-epsilon (0:fech.,1:ab.)	=1
[PMV] _____	Dados para calculo de PMV
Velocidade de caminhada (m/s)	=0,3
Balanco de energia (Col. 2 M/A)	=116
Fator mecânico	=0,0
Resistência a transferência de calor pelas roupas	=0,5

A Tabela 6 apresenta os dados de entrada do modelo adquiridos da estação automática instalada na SAE localizada no bairro Vila Brasil, região urbano permeável.

Tabela 6 - Dados de entrada do modelo - Urbano permeável	
Configuração básica - ENVI-met Versão 3.2	
Dados principais	
Dia do início da simulação (DD.MM.YYYY):	=10.06.2009
Horário do início da simulação (HH:MM:SS):	=06:00:00
Total de horas de simulação:	=24,00
Salvar o modelo a cada ? min	=60
Vel. Vento a 10 m da superfície [m/s]	=1,13
Direção do vento (0:N..90:E.180:S..270:W)	=140
Comprimento de rugosidade	=0,5
Temperatura do ar inicial [K]	=288
Umidade específica em 2500 m [g /kg]	=7
Umidade relativa em 2m [%]	=93,4
[AJUSTE SOLAR] _____	
Fator de ajuste de ondas curtas (0.5 a 1.5)	=1,5
[TURBULENCIA] _____	Opções de turbulência
Turb. Fechada Cond. Contorno (0:diagn.,1:prognos.)	=1
Turb. fechada Modelo 3D (0:diag.,1:prog)	=1
Limite superior para e-epsilon (0:fech.,1:ab.)	=1
[PMV] _____	Dados para calculo de PMV
Velocidade de caminhada (m/s)	=0,3
Balanco de energia (Col. 2 M/A)	=116
Fator mecânico	=0,0
Resistência a transferência de calor pelas roupas	=0,5

A Tabela 7 apresenta os dados de entrada do modelo para a simulação do dia 10/06/2009 na UNESP de Ourinhos, colhidos da estação automática ali instalada no ponto x conforme Figura 16.

Tabela 7 - Dados de entrada do modelo – Expansão urbana
Configuração básica - ENVI-met Versão 3.2

Dados principais	
Dia do início da simulação (DD.MM.AAAA):	=10.06.2009
Horário do início da simulação (HH:MM:SS):	=06:00:00
Total de horas de simulação:	=24,00
Salvar o modelo a cada ? min	=60
Vel. Vento a 10 m da superfície [m/s]	=0.8
Direção do vento (0:N..90:E.180:S..270:W)	=324,7
Comprimento de rugosidade	=0,5
Temperatura do ar inicial [K]	=286
Umidade específica em 2500 m [g /kg]	=12
Umidade relativa em 2m [%]	=83
[AJUSTE SOLAR] _____	
Fator de ajuste de ondas curtas (0.5 a 1.5)	=1.5
[TURBULENCIA]_____	Opções de turbulência
Turb. Fechada Cond. Contorno (0:diag.,1:prognos.)	=1
Turb. fechada Modelo 3D (0:diag.,1:prog)	=1
Limite superior para e-epsilon (0:fech.,1:ab.)	=1
[PMV] _____	Dados para cálculo de PMV
Velocidade de caminhada (m/s)	=0.3
Balanco de energia (Col. 2 M/A)	=116
Fator mecânico	=0,0
Resistência a transferência de calor pelas roupas	=0,5

A Tabela 8 apresenta os dados de entrada do modelo utilizados na simulação da situação urbano denso no centro da cidade de Ourinhos.

Tabela 8 – Dados de entrada do modelo – Urbano denso	
Configuração básica - ENVI-met Versão 3.2	
Dados principais	
Dia do início da simulação (DD.MM.AAAA):	=15.02.2010
Horário do início da simulação (HH:MM:SS):	=06:00:00
Total de horas de simulação:	=24,00
Salvar o modelo a cada ? min	=60
Vel. Vento a 10 m da superfície [m/s]	=0,7
Direção do vento (0:N..90:E.180:S..270:W)	=39
Comprimento de rugosidade	=0,7
Temperatura do ar inicial [K]	=298
Umidade específica em 2500 m [g /kg]	=4
Umidade relativa em 2m [%]	=80
[AJUSTE SOLAR] _____	
Fator de ajuste de ondas curtas (0,5 a 1,5)	=1,5
[TURBULENCIA]_____	Opções de turbulência
Turb. Fechada Cond. Contorno (0:diag.,1:prognos.)	=1
Turb. fechada Modelo 3D (0:diag.,1:prog)	=1
Limite superior para e-epsilon (0:fech.,1:ab.)	=1
[PMV] _____	Dados para calculo de PMV
Velocidade de caminhada (m/s)	=0,3
Balanco de energia (Col. 2 M/A)	=116
Fator mecânico	=0,0
Resistência a transferência de calor pelas roupas	=0,5

A Tabela 9 apresenta os dados de entrada do modelo para a simulação do dia 15/02/2010 no bairro Vila Brasil.

Tabela 9 - Dados de entrada do modelo– Urbano permeável
Configuração básica - ENVI-met Versão 3.2

Dados principais	
Dia do início da simulação (DD.MM.AAAA):	=15.02.2010
Horário do início da simulação (HH:MM:SS):	=06:00:00
Total de horas de simulação:	=24,00
Salvar o modelo a cada ? min	=60
Vel. Vento a 10 m da superfície [m/s]	=0,7
Direção do vento (0:N..90:E.180:S..270:W)	=63,8
Comprimento de rugosidade	=0,5
Temperatura do ar inicial [K]	=294
Umidade específica em 2500 m [g /kg]	=10
Umidade relativa em 2m [%]	=97
[AJUSTE SOLAR] _____	
Fator de ajuste de ondas curtas (0,5 a 1,5)	=1,5
[TURBULENCIA]_____	Opções de turbulência
Turb. Fechada Cond. Contorno (0:diag.,1:prognos.)	=1
Turb. fechada Modelo 3D (0:diag.,1:prog)	=1
Limite superior para e-epsilon (0:fech.,1:ab.)	=1
[PMV] _____	Dados para calculo de PMV
Velocidade de caminhada (m/s)	=0,3
Balanco de energia (Col. 2 M/A)	=116
Fator mecânico	=0,0
Resistência a transferência de calor pelas roupas	=0,5

A Tabela 10 apresenta os dados de entrada do modelo para a simulação do dia 15/02/2010 na UNESP de Ourinhos, colhidos da estação automática ali instalada no ponto x conforme Figura13.

Tabela 10– Dados de entrada do modelo–Expansão urbana Configuração básica - ENVI-met Versão 3.2	
Dados principais	
Dia do início da simulação (DD.MM.AAAA):	=15.02.2010
Horário do início da simulação (HH:MM:SS):	=06:00:00
Total de horas de simulação:	=24,00
Salvar o modelo a cada ? min	=60
Vel. Vento a 10 m da superfície [m/s]	=0,7
Direção do vento (0:N..90:E..180:S..270:W..)	=258,5
Comprimento de rugosidade	=0,7
Temperatura do ar inicial [K]	=294
Umidade específica em 2500 m [g /kg]	=3
Umidade relativa em 2m [%]	=99
[AJUSTE SOLAR] _____	
Fator de ajuste de ondas curtas (0,5 a 1,5)	=1,5
[TURBULENCIA]_____	Opções de turbulência
Turb. Fechada Cond. Contorno (0:diagn.,1:prognos.)	=1
Turb. fechada Modelo 3D (0:diag.,1:prog)	=1
Limite superior para e-epsilon (0:fech.,1:ab.)	=1
[PMV] _____	Dados para calculo de PMV
Velocidade de caminhada (m/s)	=0,3
Balanço de energia (Col. 2 M/A)	=116
Fator mecânico	=0,0
Resistência a transferência de calor pelas roupas	=0,5

Foram traçadas isolinhas de PMV e PPD utilizando o software Surfer. Para isso utilizou-se o conjunto de programas desenvolvido por Yvan Pannatier (1996) para a escolha do melhor variograma para cada conjunto de dados.

5.2.3. Fluxograma de orientação de resultados e discussão.

O fluxograma a seguir tem a finalidade de organizar e sintetizar as diferentes etapas desenvolvidas e analisadas no item resultado e discussão.

5.3. Situação sinótica da área para os dias estudados

As Figuras (21 e 22) referem-se aos sistemas atmosféricos atuantes nos dias 10/06/2009 e 15/02/2010 dias em que foram efetuadas as simulações.

Na análise sinótica da carta de superfície, elaborada por Mônica Lima (CPTEC-Centro de Previsão do Tempo e estudos Climáticos) das 00Z de 10/06/2009, Figuras 21 e 21a, observou-se um fraco sistema frontal em oclusão sobre o Atlântico com baixa de 1016hPa centrado em 36°S/48°W e estendendo uma frente fria sobre o Atlântico que penetra estacionária no continente entre Sul de Santa Catarina e Norte do Rio Grande do Sul. A Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) esta fortalecida com pressão de 1030 hPa posicionada em 44°S/84°W. Outro sistema frontal estende uma frente fria sobre o Atlântico até a altura do Nordeste da Patagônia Argentina. A Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) está centrada com núcleo de 1033 hPa em 34°S/21°W. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) ondula entre 9°N e 10°N sobre o Pacífico e em torno de 2 e 5°N sobre o Atlântico. Sobre o continente o cavado equatorial atua sobre a Colômbia, extremo Sul de Venezuela, Rorâima, Amapá e extremo Norte do Pará.

Figura 21 - Imagem de satélite (carta de superfície, à esquerda) mostrando os sistemas atuantes no dia 10/06/2009.

Figura 21a – Imagem de satélite, infravermelho (a direita) - do dia 10/06/2009.

Na análise da carta sinótica de superfície da 00Z, feita por Naiane Araujo (CPTEC) do dia 15/02/2010, Figuras 22 e 22a, notou-se a presença de um sistema frontal no sul do continente com baixa em oclusão de 960 hPa, centrada em torno de 55°S/48°W. Este sistema atua de forma estacionária até o Sudeste do Rio Grande do Sul, enquanto sua alta pós-frontal migratória encontra-se com centro a Sudeste da Província de Buenos Aires, na Argentina, com núcleo pontual de 1016 hPa. A Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), tem núcleo de 1024hPa centrada em torno de 35°S/20°W. Sobre o Sudeste do país atua uma área de alta

pressão com núcleo pontual de 1015 hPa verificado sobre o Nordeste de Minas Gerais. Este padrão aliado a crista em nível médio que atua nesta área inibe o desenvolvimento de nebulosidade e favorece a elevação das temperaturas. Entre 40 e 60°S, no Pacífico, nota-se um cavamento nas isóbaras que auxilia na desconfiguração da Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) que apresenta um núcleo pontual de 1028 hPa em torno de 41°S/82°W. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) oscila em torno de 4 e 6°N no Pacífico e entre 1°N e 4°N sobre o Atlântico. No interior do continente observa-se o cavado equatorial estendendo-se desde o Norte da Colômbia, Norte do Amazonas, Centro-Sul de Roraima, Norte do Pará, Centro-Sul do Amapá e extremo Sul das Guianas e do Suriname.

Figura 22 (à esquerda) – Imagem de satélite mostrando os sistemas atuantes no dia 15/02/2010.

Figura 22a (à direita) – Imagem de satélite Infravermelho para o dia 15/02/2010.

5.4. Estatística Univariada utilizada na calibração

Foram realizadas algumas estatísticas descritivas, com o intuito de calibrar o modelo e comparar os resultados da saída deste com dados obtidos nas estações meteorológicas automáticas, pertencentes a UNESP de Ourinhos (laboratório de Climatologia). A correlação e análise de regressão linear foram os parâmetros estatísticos utilizados para possibilitar essas comparações.

Dizemos que duas variáveis X e Y estão positivamente correlacionadas quando elas “caminham num mesmo sentido”, ou seja, elementos com valores grandes de X (valores da estação meteorológica automática, utilizada) tendem a ter valores grandes de Y (valores gerados pelo modelo).

Uma maneira de se visualizar se duas variáveis apresentam-se correlacionadas é através do digrama de dispersão, no qual os valores das variáveis são representados por

pontos, em um sistema cartesiano. Esta representação é feita sob forma de pares ordenados (X, Y), onde X é um valor observado de uma variável e Y é o correspondente valor de outra variável, Barbata (2003).

O instrumento empregado para a medida da correlação linear é o coeficiente de correlação. Esse coeficiente deve indicar o grau de intensidade da correlação entre duas variáveis e, ainda, o sentido dessa correlação (positivo ou negativo).

O coeficiente de correlação determinado por Pearson considera:

$$r = \frac{\text{covariância } (X, Y)}{\text{desvio padrão } (X) * \text{desvio padrão } (Y)}$$

$$r = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sqrt{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} * \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}}}$$

Onde n é o número de observações.

Os limites de r são -1 e +1, o valor de r pertence ao intervalo (-1,+1). Se o valor absoluto de r for maior que 1 há um erro de cálculo. Valores de r iguais a -1 ou +1 indicam que os pontos estão sobre a reta, isto é a correlação é perfeita. Valores de r próximos de -1 ou +1 indicam uma correlação forte e valores de r próximos de zero indicam correlação fraca.

6. Resultados e discussão

6.1. Situação de inverno

6.1.1. Calibração do modelo para o dia de inverno

Nos dias escolhidos para efetuar as simulações, 10/06/2009 e 15/02/2010.

Efetuuou-se a calibração do modelo para o dia 10/06/2009 através da comparação dos dados de temperatura registrados pelas estações automáticas e os dados fornecidos pelo modelo durante 24 horas.

A Figura 23 mostra a evolução horária (24 horas) da temperatura entre os dias 10 e 11/06/2009, no local onde está instalada a estação automática. A temperatura máxima registrada pela estação no centro da cidade foi de 19,3 °C as 15h00min e a apresentada pelo modelo foi 19,1 °C as 16h00min. Nesta evolução temporal observou-se que tanto os dados medidos quanto os obtidos pelo modelo apresentaram marcada similaridade entre si.

Figura 23 – Evolução da temperatura do ar na situação urbano denso para o dia 10 e 11/06/2009, em 24 horas.

Com base nestes resultados realizou-se a análise de regressão, conforme apresentado na Figura 23 a. Pode-se observar relativa dispersão dos pontos nesse gráfico, o que possibilita inferir visualmente que há marcada associação entre os dados obtidos na estação automática e os dados obtidos através do modelo. O software utilizado também possibilita a obtenção do coeficiente de determinação (R^2) que é a porcentagem da variação da variável dependente explicada pela variável independente em uma relação linear. Um valor de p menor que 0,05 indica que a probabilidade de que as variáveis sejam significantes é de 95,0 %.

Através do valor de p ($p < 0,05$), Figura 23a, pode-se afirmar que o coeficiente de correlação é significativo. Desta forma pode-se inferir que o modelo explica a variabilidade da temperatura, na área analisada.

Figura 23a – Análise de determinação. Comparação entre os dados de temperatura da estação na área urbano denso e os dados do modelo para o dia 10 e 11/06/2009.

Na Figura 24 observou-se que a temperatura máxima apresentada pelo modelo foi de 19,5 °C as 15h00min e a fornecida pela estação foi 19,6 °C as 16h00min. A amplitude diária de temperatura fornecida pelo modelo foi de 4,1°C e a fornecida pela estação foi de 4,2°C.

Figura 24– Evolução da temperatura do ar na situação urbano permeável no bairro Vila Brasil, onde está localizada a SAE para o dia 10 e 11/06/2009, em 24 horas.

Através dos índices de correlação apresentados na Figura 24a, $R^2 = 0,77$ e $p < 0,0001$, inferiu-se que o modelo respondeu satisfatoriamente as variações microclimáticas

durante as 24 horas analisadas na área urbano permeável, pois a correlação explica 77,0 % da associação entre os dados do modelo e os dados da estação automática, instalada no local analisado.

Figura 24a – Análise de determinação. Comparação entre os dados de temperatura da estação na área urbano permeável e os dados do modelo para o dia 10 e 11/06/2009.

A Figura 25 mostra a evolução da temperatura do ar medida pela estação e a fornecida pelo modelo para a área caracterizada como expansão urbana. A temperatura média registrada pela estação foi 16,7 °C e a dada pelo modelo foi 17,5 °C. As temperaturas máximas foram 19,9 °C (estação) e 20,0 °C (modelo) às 15h00min.

Figura 25– Evolução da temperatura do ar na área expansão urbana de Ourinhos para o dia 10 e 11/06/2009, em 24 horas.

Na Figura 25a, observou-se uma correlação linear de 0,89 e um valor de $p < 0,05$, mostrando uma correlação significativa entre os dados fornecidos pelo modelo e os registrados pela estação na área expansão urbana.

Figura 25a – Análise de determinação. Comparação entre os dados de temperatura da estação na área expansão urbana e os dados do modelo para o dia 10 e 11/06/2009.

6.1.2. Umidade Relativa do ar

As figuras de umidade relativa geradas pelo modelo apresentam uma região em torno da área de estudo chamada de condição de contorno ou área de nidificação. Essa condição de contorno é uma área de transição que serve para evitar problemas de fluxos limiares e, portanto deverá ser desprezada na análise dos resultados.

A Figura 26 apresenta a umidade relativa do ar na superfície para o dia 10/06/2009, inverno na região. A umidade relativa é a razão entre a quantidade de vapor de água no ar e a quantidade máxima de vapor de água que o ar pode conter a essa temperatura. Umidade relativa do ar entre 40% e 70% não têm um grande impacto sobre o conforto térmico. Em ambientes onde a temperatura é alta a umidade do ar acima de 80% dificulta a evaporação do suor da pele, principal método de regulamento da temperatura nos seres humanos

Observou-se nesta região, urbano denso, uma UR (umidade relativa) entre 83 e 85% ao longo das duas principais avenidas e no entorno da quadra central. Houve precipitação entre 6 e 15h00min no local segundo dados da estação.

Figura 26– Umidade relativa do ar junto à superfície no centro da cidade de Ourinhos, SP para a situação real no dia 10/06/2009.

A umidade relativa mostrou-se entre 80 e 82% como mostra a Figura 27, na situação de aumento das edificações. No entorno da quadra central houve uma redução da umidade relativa de 2%.

Figura 27 – Umidade relativa do ar junto à superfície, no centro da cidade de Ourinhos SP (urbano denso), para a situação de aumento da altura das edificações para 30,0 m.

Com a retirada das edificações da quadra central e a inserção de árvores e gramíneas no solo, a umidade relativa ficou entre 81 e 82% em toda a área estudada (Figura 28), valor menor que a situação real.

Figura 28- Umidade relativa do ar junto à superfície no centro da cidade de Ourinhos SP para a situação de substituição das construções da quadra central por vegetação.

A Figura 29 apresenta a umidade relativa junto à superfície na situação rotacionado. Observou-se uma umidade variando entre 62 e 68% no entorno da quadra central junto à superfície. Assim, a alteração na direção da estrutura urbana reduziu a umidade relativa em 20,0 % comparativamente à situação real

Figura 29 - Umidade relativa do ar junto à superfície no centro da cidade de Ourinhos SP para a situação rotação.

Observou-se na área urbano permeável (Figuras 30), que a umidade relativa variou entre 88 e 90 %. Neste dia houve precipitação entre 6 e 15h00min segundo dados da estação.

Figura 30- Umidade relativa do ar junto à superfície na área urbano permeável - Ourinhos SP.

A umidade relativa na região expansão urbana, Figura 31, mostrou-se acima de 98% em toda a área no horário das 15h00min. Neste dia, entre 6 e 15h00min houve precipitação segundo dados da estação.

Figura 31 – Umidade relativa do ar junto à superfície na área caracterizada como expansão urbana.

A região urbana densa (área central da cidade) foi a que apresentou menor valor de umidade relativa junto à superfície comparativamente as áreas urbano permeável (bairro Vila

Brasil) e expansão urbana (UNESP), embora todas as áreas tenham apresentado umidade acima de 100%. A supersaturação, próximo a superfície, onde a atmosfera contém poeiras e aerossóis é extremamente improvável o que mostra a necessidade de ajuste do modelo quanto a essa variável.

6.1.3. Vento

O fluxo do vento dentro do desfiladeiro urbano é impulsionado pelo fluxo dominante do dossel urbano, que é fortemente influenciado pela orientação e geometria da rua (efeito mecânico). Esta correlação é válida para ventos fortes, já para velocidade do vento entre 1,5 e 2,0 m/s o fluxo do vento é acionado termicamente. O aquecimento diferencial da superfície da rua pode alterar a velocidade do fluxo. Um vento soprando paralelamente ao eixo da rua gera uma canalização do vento médio com possível elevação da velocidade ao longo das paredes devido ao aumento da fricção (atrito) próximo à superfície.

A Figura 32 apresenta a velocidade e direção do vento para a situação real na área urbano denso às 15h00min. Próximo a superfície, no ponto de estudo, a velocidade do vento ficou entre 0,9 e 1,1 m/s. Ao longo da avenida a velocidade esteve sempre abaixo de 1,5 m/s, portanto, ventos muito calmos.

Nesta situação de inverno a direção do vento está menos perpendicular e mais paralela ao cânion com direção SE, o que justifica não ocorrer o padrão de fluxo de ar proposto por Oke (1988), onde ocorre um *looping* causado pela influência das edificações para ventos perpendiculares a estas. Neste caso as edificações apenas influenciaram na velocidade do vento que aumenta acima do dossel urbano.

Figura 32– Planta baixa e corte da situação real representando sentido e velocidade do vento na área de estudo urbano denso.

A próxima análise refere-se à área urbana densa com a alteração da altura das edificações de 5,0 para 30,0 m. A Figura 33 apresenta a velocidade e o fluxo do vento na avenida. Próximo a superfície a velocidade do vento ficou entre 1,1 e 1,3 m/s. Observou-se

que o sentido do fluxo é para baixo a partir do telhado das edificações, reduzindo a velocidade e não criando um vórtice o que pode resultar em problemas caso a atmosfera esteja poluída.

Esta situação aumentou a velocidade do vento próximo à superfície que para a situação real ficou entre 0,9 e 1,1 m/s. Na situação real ($h/w = 0,25$), também pode observar que o fluxo do vento não modifica sua direção apesar de reduzir a velocidade quando entra no cânion diferente do que acontece para edificações com 30,0 m ($h/w = 1,5$) onde fluxo dirige-se para baixo.

Figura 33 – Planta baixa e corte vertical da situação 30,0 m representando direção e velocidade do vento na área urbano denso.

Figura 33 – (continuação)

Para a situação “parque”, próximo à superfície a velocidade do vento variou entre 0,6 e 1,0 m/s, junto à quadra da vegetação onde o fluxo do vento apresenta-se ascendente ao longo da edificação, diferente da situação de aumento das edificações, onde o fluxo apresenta-se descendente. A vegetação possui três principais propriedades que afetam o clima: sombreamento, umidificação (evapotranspiração) e quebra-vento (McPherson et al. 1994a). A vegetação instalada na quadra central (árvores de até 15,0 m) produziram uma redução do vento comparativamente a área real com edificações de 5,0 m, funcionando, então, como quebra-vento na região da avenida.

Figura 34 - Planta baixa e corte vertical da situação parque representando direção e velocidade do vento na área urbano denso.

Na Figura 35 pode-se observar a alteração da direção do vento para a área rotacionada, assim o vento que na situação real é de Nordeste passa a ser de Sudeste.

Figura 35– Direção do vento para a situação real e a situação rotacionada.

Para a situação rotacionado, Figura 36 a, o vento apresentou direção oposta (L/O) ao apresentado pela situação real, com uma velocidade menor, entre 0,6 e 0,8 m/s.

Figura 36 a - Planta baixa e corte vertical da situação rotacionado representando direção e velocidade do vento na área urbano denso.

Figura 36 a - Continuação

Entre as quatro situações, as situações parque e rotacionado apresentaram menor velocidade do vento, comparativamente a situação real.

Na análise do vento na área urbano permeável (Figura 37), observou-se que o fluxo de ar reduz sua velocidade junto à edificação. A velocidade do vento que chega à área é de 1,2 a 1,4 m/s e vai diminuindo à medida que se aproxima da edificação. Junto ao prédio a velocidade fica entre 0,6 e 0,8 m/s.

No corte AA, observou-se que a velocidade do vento variou entre 1,2 a 1,4 m/s ao longo dos 36,0 m da área do corte, portanto uma velocidade dentro dos padrões de conforto, abaixo de 5,4 m/s segundo Tahbaz (2006).

Figura 37 – Figura 37 – Planta baixa e corte da área de estudo urbano permeável , representando direção e velocidade do vento.

A Figura 38 apresenta o fluxo do vento que chega a barlavento com uma velocidade de 1,2 m/s e junto à edificação passa a ter uma velocidade abaixo de 0,2 m/s. A sotavento, junto a calçada matem-se abaixo de 0,2 m/s e segue aumento a velocidade até 1,4 m/s.

Analisando o corte AA, o vento, nesta situação, chega perpendicular à edificação e apresenta seu fluxo parecido com estudos feitos em laboratório com túnel de vento e um cubo representando a edificação isolada e que segundo Oke (1987) apresenta uma boa aproximação da realidade. O ar ao encontrar uma superfície impermeável sofre deflexão sobre e em torno do obstáculo. A pressão é maior a barlavento e menor a sotavento causando uma circulação em sentido contrário ao fluxo do vento, em direção ao centro da edificação.

Figura 38 - Planta baixa representando direção e velocidade do vento na área de estudo caracterizada como expansão urbana no dia 10/06/2009.

Figura 38 - Continuação.

6.1.4. Temperatura

Na Figura 34a, tem-se variação da temperatura do ar em 2,5 m para três situações estudadas (real, 30 m e parque). Observou-se que as situação real e rotacionado apresentaram a maior temperatura, seguida das situações “parque” e “30,0 m” que apresentaram a mesma temperatura máxima, sendo as temperaturas 19,2 °C para a situação real e 18,8 °C para 30 m e parque as 15h00min.

Muitos trabalhos têm mostrado que a existência de áreas construídas tem como conseqüências o surgimento de ilhas de calor, áreas mais aquecidas dentro das cidades. Entretanto, num estudo micro meteorológico, pode-se verificar uma maior diminuição da temperatura quando se aumenta a altura das edificações do que quando se substituiu a área construída por vegetação. Neste caso de estudo esta diferença foi de 0,4 °C, valor reduzido que necessitaria de mais simulações para confirmar o pressuposto. Embora a temperatura seja um dos principais elementos do conforto térmico ela sozinha não basta para garantir um ambiente agradável, devendo-se levar em conta a umidade do ar e a velocidade do vento, variáveis que podem ser modificadas pelo aumento destas edificações.

Figura 39 - Variação em 24 horas da temperatura do ar para a área urbano denso para três situações estudadas para o dia 10/06/2009, em 2,5m da superfície.

Na Figura 40 a tem-se a evolução da temperatura do ar junto a superfície no ponto de estudo Y. Observou-se que estas foram mais elevadas do que as apresentadas em 2,5 m, onde a máxima foi de 20,0°C. A maior máxima foi de 43,5°C para a situação rotacionado e a menor foi de 41,8 para a situação 30m. A menor variação da temperatura do ar junto á superfície foi a apresentada pela situação 30m. A temperatura da situação parque acompanhou a da situação real.

Figura 40 - Variação em 24 horas da temperatura do ar para a área urbano denso para três situações estudadas para o dia 10/06/2009 junto a superfície.

A Figura 41 refere-se a um corte transversal no ponto em vermelho na área de estudo mostrado na Figura 20. Este corte abrange a avenida Altino Arantes e respectivas calçadas na área caracterizada como urbano denso e representa a área das Figuras 36 a 39.

Figura 41- Corte representativo da área urbano denso.

Nas Figuras 42 e 43 pode-se comparar os resultados da simulação para temperatura do ar e temperatura média radiante através da área estudada que corresponde a avenida e as duas calçadas subjacentes.

A máxima temperatura do ar ocorreu entre 11h30min e 13h00min (40,0 °C) pelos primeiros 16m e a mínima de 18,0°C às 8h00min, em toda a extensão do corte. A Figura 42 mostra uma diferença de 20,0 °C entre a calçada da direita e a da esquerda, às 12h00min. As edificações junto às calçadas têm a mesma altura (5,0 m) e o material utilizado na superfície é o mesmo (concreto). O que diferencia estas extremidades é a presença de uma árvore junto à calçada da direita. Esta diferença de temperatura é maior quando se observa a Figura 43, que mostra a temperatura média radiante, e uma diferença de 40°C entre as calçadas para as 12h00min. A TMR é uma variável útil para a análise de conforto térmico, pois corresponde a temperatura uniforme de um recinto imaginário no qual a transferência de calor radiante do corpo humano é igual à transferência de calor radiante no recinto real não uniforme.

Figura 42 - Isolinhas de temperatura do ar, no nível da superfície, na área de estudo urbano denso, para a situação real no dia 10/06/2009.

A Figura 43 apresenta TMR máxima de 80,0°C entre 10 e 13h00min entre 5,0 e 14,0 m, nos 6,0 m seguintes a TMR vai diminuindo progressivamente até 38°C junto a calçada a direita da figura. Assim, a diferença entre as duas calçadas laterais foi de 42,0°C.

Esta pode ser explicada pela presença á direita de uma arvore reduzindo o fator visão do céu, aumentando o sombreamento e a umidade e diminuindo a radiação direta que chega à superfície.

Figura 43 - Isolinhas de TMR na área de estudo urbano denso para a situação real no dia 10/06/2009.

Nas isolinhas de temperatura do ar (Figura 44), observou-se as maiores temperaturas (entre 32,0 e 34,0 °C) entre 12h30min e 14h30min ao longo dos 20,0 m. A situação 30m apresentou uma diminuição da temperatura máxima de 6,0°C em relação a situação real. A calçada á direita na figura apresentou menores temperaturas comparativamente a calçada a esquerda. O fator visão do céu para a situação real foi de 0,7 e da situação 30 m abaixo de 0,5. Assim, a diferença de temperatura de uma situação para outra deve-se a diferentes exposições a radiação solar direta e ventos calmos. Maiores valores do fator visão do céu corresponde a temperaturas mais elevadas.

Figura 44 - Isolinhas de temperatura do ar no nível da superfície na área de estudo urbano denso para edificações com 30,0 m no dia 10/06/2009.

Observa-se na Figura 45 que, entre 12 e 13h00min a diferença entre as calçadas é de 30,0 °C. A TMR máxima para 30 m foi 20,0°C menor que o apresentado pela situação real, e as áreas com máxima temperatura também foram menores.

Com o aumento das alturas das construções passa-se a ter menores valores de TMR, justificado pelo maior sombreamento causado por esta situação. Assim, observam-se valores de 20,0 °C das 08h00min às 9h00min e após as 16h00min em toda extensão, ou seja, calçadas e avenida. Portanto, a área modificada trouxe uma redução da área com altos valores de TMR, e diminuição das temperaturas do ar e TMR.

A tendência de aumento da esquerda para a direita da temperatura do ar e média radiante também se manteve nesta situação de aumento das alturas dos prédios.

Figura 45 Isolinhas da TMR na área de estudo urbano denso para edificações com 30,0 m de altura no dia 10/06/2009.

A Figura 46 representa um corte na grade da área de estudo onde se vê a avenida, toda a extensão do parque e parte do asfalto da outra avenida perfazendo um total de 145,0 m e representa a área das Figuras 40 e 41.

Figura 46 - Corte representativo da área urbano denso substituindo as edificações por vegetação, no centro da cidade de Ourinhos SP.

Analisando a temperatura do ar na Figura 47, as áreas mais quentes são aquelas sobre o asfalto e concreto da calçada a esquerda da figura. A temperatura máxima nesta região foi de 40,0 °C às 11h30min e 14h00min. A máxima na área vegetada foi de 26,0 °C, às 13h00min. Observou-se que em toda a área do corte entre 8 e 9h00min e após às 15h00min, a

temperatura variou entre 16 e 20,0 °C que poderiam ser consideradas temperaturas agradáveis e que na relação PMV + PPD apresentaram como áreas desconfortáveis. Isto ocorre quando se leva em conta somente a variável temperatura, não se levando em conta a velocidade do vento, umidade e TMR, o que é um senso comum.

Figura 47- Isolinhas de temperatura do ar no nível da superfície na área urbano denso para a situação de substituição das construções da quadra central por vegetação no dia 10/06/2009.

A Figura 47a a representa a área com cobertura vegetal na área urbano denso parque. As temperaturas máximas ocorreram entre 11 e 15h00min e variaram entre 22 a 26°C e para o mesmo horário, na região da avenida, a máxima foi 16°C mais elevada.

Figura 47a- Isolinhas de temperatura do ar no nível da superfície na área urbano denso para a situação de substituição das construções da quadra central por vegetação no dia 10/06/2009.

A TMR mesmo sobre a vegetação apresentou-se alta, entre 50,0 e 60,0 °C entre as 10 e 14h00min. Nas extremidades da Figura 48, onde estão localizadas as avenidas, ou seja, superfície asfaltada a TMR chegou a 80,0 °C para o mesmo horário. Após as 16h00min a TMR variou entre 40,0 e 10,0 °C em toda a extensão da área de estudo, ficando dentro dos padrões exigidos para conforto térmico de pedestres.

Figura 48 - Isolinhas de TMR na área urbano denso para a situação de substituição das construções da quadra central por vegetação no dia 10/06/2009.

Para a área urbano densa parque com cobertura vegetal a TMR máxima foi de 50°C entre 11 e 14h00min e foi 30°C menor comparativamente à apresentada na região da avenida.

Figura 48a - Isolinhas de TMR na área urbano denso para a situação de substituição das construções da quadra central por vegetação no dia 10/06/2009.

Observou-se na área urbano denso situação rotacionado (Figura 49) uma temperatura do ar máxima entre 12 e 15h00min de 35,0°C nos primeiros 8 m que inclui calçada e asfalto. Deste ponto em diante, até a calçada no lado oposto a temperatura foi diminuindo até 20,0°C.

Esta situação rotacionado apresentou temperatura máxima menor 5,0°C comparativamente a situação real e por um espaço menor, mostrando que a orientação do desfiladeiro urbano interfere nos valores de temperatura do ar.

Figura 49- Isolinhas de Temperatura do ar na área urbano denso para a situação rotacionado no dia 10/06/2009.

Na Figura 50, observa-se um padrão diferente para a TMR, que apresentou-se máxima entre 8h30min e 11h00min, junto á calçada nos primeiros metros de asfalto. A alteração da orientação da rua provocou uma variação na TMR, reduzindo seu valor e o horário de temperatura média radiante. Na rotação, o fator visão do céu não se altera uma vez que, na área do corte as edificações tem a mesma altura, assim, a redução da TMR não se justifica por esse fator. A direção do vento mostrada no corte AA na situação rotacionada é oposta a apresentada pela situação real, o que poderia influenciar os valores de TMR.

Figura 50- Isolinhas de TMR na área urbano denso para a situação rotacionado no dia 10/06/2009.

A Figura 51 refere-se a um corte transversal no ponto Y na área de estudo conforme descrição anterior (Figura 19). Este corte abrange 36,0 m de uma área localizada em frente a SAE que possui vegetação rasteira e algumas árvores e serve de área de lazer para os moradores do bairro.

Figura 51 - Corte representativo da área de estudo urbano permeável – bairro Vila Brasil no município de Ourinhos SP.

Observou-se na Figura 52 que as máximas temperaturas ocorreram entre 11 e 15h00min, com a máxima de 23,0 °C às 14h00min. A temperatura apresentou-se homogênea

ao longo dos 36m apresentando apenas variação temporal com uma amplitude térmica de 7,0 °C.

Figura 52 - Isolinhas de temperatura do ar no nível da superfície na área urbano permeável no dia 10/06/2009.

Na Figura 56 a TMR máxima ocorreu entre 13 e 14h00min, com 65,0 °C. A TMR apresentou-se maior que a Tar no horário de pico (13h00min) com uma diferença de 42,0 °C. As temperaturas foram elevadas entre as 8h30min e as 16h30min, após este horário a TMR ficou abaixo de 20,0 °C.

A TMR é uma variável biometeorológica que representa a radiação solar líquida em todas as direções dos espaços urbanos e provoca trocas radiantes entorno do corpo humano, segundo Fahmy e Sharps (2009). Assim, pode ser uma rerepresentação da densidade de construção local. Para a área urbano denso a TMR máxima foi de 80,0°C e para a área urbano permeável foi de 60,0°C.

Figura 56- Isolinhas de TMR na área urbano permeável no dia 10/06/2009.

A Figura 57 refere-se a um corte transversal no ponto Y em vermelho na área de estudo mostrado na Figura 20. Este corte abrange uma calçada em concreto, 2,0 m no lado esquerdo e gramado nos 24,0 m restantes.

Figura 57 - Corte representativo da área de estudo expansão urbana em Ourinhos SP.

Quando se analisa as isothermas da Figura 59 observa-se um padrão diferente que deverá se analisado juntamente com o fluxo do vento. Na área entre 0 e 6,0 m e entre 11h30min e 14h00min há uma diminuição da temperatura em 2,0 °C. Esta região de menor temperatura corresponde a área sombreada pela edificação.

A temperatura máxima do ar na superfície foi de 26,0 °C e a TMR foi de 60,0 °C, portanto uma diferença de 34,0 °C. As maiores temperaturas ocorreram entre 10h30min e 15h00min e a menor temperatura registrada pelo modelo foi às 8h00min de 18,0 °C.

Figura 59 - Isolinhas de temperatura do ar no nível da superfície na área expansão urbana no dia 10/06/2009.

A TMR apresentada na Figura 60 mostrou um padrão diferente da Tar. As maiores temperaturas ocorreram entre 8h00min e 15h00min, variando entre 30 e 60°C. A TMR mínima ocorreu após as 18h00min de forma irregular ao longo dos 26,0 m, apresentando uma temperatura de 10,0 °C.

Figura 60 - Isolinhas de TMR na área expansão urbana no dia 10/06/2009.

6.1.5. Fator visão do céu (SVF)

Um dos efeitos mais importantes da geometria urbana, no clima local, é a obstrução do céu, uma vez que atrasa o resfriamento da superfície durante noites claras e com ventos calmos (Oke 1981).

O fator *Sky-view* (visão do céu) nos cânions das cidades exerce grande influência sobre a radiação líquida das áreas urbanas, tanto na absorção de ondas curtas quanto na emissão de ondas longas (OKE, 1987). A estrutura urbana altera o balanço de radiação e dá origem a diferenças de temperatura entre a parte central e o entorno urbano a que se chama de Ilha de calor (IC). A intensidade das IC depende do SVF, portanto é de grande utilidade conhecer sua variabilidade nos estudos de clima urbano.

Em ambientes urbanos, tradicionalmente, utiliza-se a lente olho de peixe para o cálculo do SVF, a partir da imagem obtida. Entretanto, consome muito tempo fazer tal medição para toda a área urbana, pois há necessidade de grande número de pontos imageados.

Observou-se na Figura 61 que o SVF variou entre 0,6 e 0,8. Algumas áreas no centro da avenida apresentaram SVF 0,8 e algumas áreas próximas às calçadas e próximas a árvores ou edificações de maior altura, o SVF é menor e ficou entre 0,6 e 0,7. Valores altos de SVF, acima de 0,5 indicam menor obstrução e resultam em maior resfriamento noturno por radiação de onda longa.

Figura 61 – Fator visão do céu para a área urbano denso para a situação real.

Os fluxos de radiação são fortemente modificados pelas obstruções de edifícios e da vegetação. Para um dado ponto de grade no modelo, se um bloco de construção impede a passagem da radiação solar direta então o fator *sky view* (σ) é igual a zero. Outra

consequência do SVF é que quanto mais obstruída estiver a visão do céu maior será a dificuldade de dispersão de energia térmica armazenada para a atmosfera, uma vez que o aumento das edificações faz com haja um aumento da re-erradiação, conseqüentemente um aumento da absorção. Este aumento da área de contato faz com que mais energia fique retida na região elevando as temperaturas. Com o aumento das edificações, o SVF apresentou-se abaixo de 0,5 em toda a área de estudo, Figura 62. A área em torno das edificações corresponde às áreas de nidificação e não devem ser analisadas

Figura 62 – Fator visão do céu para a área urbano denso para a situação de aumento das edificações.

6.1.6. PMV e PPD

A Figura 63 contempla o corte feito na grade que mostra a avenida e calçadas no centro da cidade aqui caracterizada como urbano denso. Esta avenida tem direção NO/SE. Esta representação tem a vantagem de apresentar um quadro completo da evolução diurna das condições térmicas e mostra as diferenças entre a calçada e a parte central da rua.

Esta informação é interessante, pois permite determinar se e quanto tempo a rua/calçada é totalmente ou parcialmente confortável ou desconfortável e possibilita reajustes. Isto é importante por que a frequência nos espaços urbanos é favorecida se o período de conforto é suficiente e se há necessidade de ocupar espaços sombreado para evitar uma situação de estresse climático.

A Figura 63 mostra a evolução do índice PMV no tempo e no espaço através da rua, de uma calçada a outra. Este tipo de figura tem a vantagem de apresentar a total situação da evolução diurna da situação térmica da rua.

Alguns parâmetros seriam subestimados quando mostrados para somente um ponto dentro da área de estudo. Este tipo de representação determina a duração da situação de conforto ou desconforto sofrida pelo usuário (pedestre) e é importante uma vez que a frequência com que os espaços urbanos são utilizados é favorecido por períodos longos de conforto e se o pedestre tem a opção de mudar para um local mais agradável durante o dia.

O índice PMV varia entre -2,0 e 1,5 ao longo do dia e entre -1 e 1,5 pelos vinte metros. Valores de PMV entre -0,5 e 0,5 que satisfazem os padrões na norma ISO 7730, foram encontrados entre 10 e 11h00min e entre 15 e 16h00min ao longo de toda a avenida. Ilhas com valores de PMV acima de 0,5 ocorreram em toda a extensão (20,0 m) entre 12 e 15h00min.

Encontrou-se valores de PMV dentro dos limites estipulados pela norma onde a TMR foi menor que 40,0°C e acima de 30,0°C.

Figura 63- Isolinhas de PMV na área urbano denso para a situação real no dia 10/06/2009.

Na Figura 64 observou-se que valores de PPD abaixo de 10,0 % ocorreram às 9h00min, próximo a calçada à esquerda e em 15,0 m e junto á calçadas entre 14 e 15h00min. Sob a forma de pequenas ilhas. Em todos os outros horários e áreas ficou acima do limite de 10,0 %.

Figura 64- Isolinhas de PPD na área urbano denso para a situação real no dia 10/06/2009.

A Figura 65 representa a junção dos dois índices PMV e PPD onde pode ser visto mais facilmente as áreas que estão dentro das normas de conforto.

Observou-se três áreas de conforto, uma às 9h00min, junto à calçada em 0,0 m, outra em 15,0 m sobre o asfalto entre 15 e 16h00min e outra junto á calçada em 20,0 m às 15h00min. Normalmente, entre 14 e 15h00min esperava-se um alto índice de desconforto pelo calor, pelo efeito do atraso de aquecimento do ar pela superfície, que se aquece primeiro e então aquece o ar próximo a ela, geralmente duas horas após seu aquecimento máximo.

Observou-se que tanto a Tar quanto a TMR apresentaram-se maiores às 13h00min e diminuindo após este horário.

Figura 65- Isolinhas de PMV e PPD na área urbano denso para a situação real no dia 10/06/2009.

Esta diferença de temperatura e a conseqüente diferença de PMV e PPD ao longo dos 20,0 m do corte, para um mesmo horário, justificam-se pelo fator visão do céu que se altera ao longo na área de estudo entre 0,8, 0,9, 0,7 e abaixo de 0,2 alterando a radiação direta e o balanço de energia junto à superfície.

Na Figura 66 o índice PMV varia entre -1,5 e 1,5 ao longo do dia e entre -1 e 1,5 pelos vinte metros. Valores de PMV entre -0,5 e 0,5 foram encontrados entre 8h30min e 9h00min e entre as 14h e 15h00min, ao longo de toda a avenida no corte estudado. Não houve alteração do padrão de conforto comparativamente à área real. Encontrou-se valores de PMV dentro dos limites de conforto nos locais onde a TMR ficou acima de 30,0°C, abaixo deste valor o PMV apresentou-se não confortável tendendo a frio.

Figura 66 - Isolinhas de PMV para a área urbano denso para edificações com 30,0 m de altura no dia 10/06/2009.

Com relação ao índice PPD (Figura 67), observou-se pequenas “ilhas” com 10,0 % de pessoas insatisfeitas, segundo o modelo, próximas á calçada à esquerda, nos horários de 9 e 15h00min. Esta situação manteve o mesmo padrão comparativamente a situação real com relação ao PPD.

Figura 67- Isolinhas de PPD para a área urbana densa para edificações com 30 m de altura.

Na união dos índices PMV e PPD (Figura 68), observou-se conforto térmico apenas junto à calçada em 18,3 e 20,0 m entre 8 e 20h00min. Entre 10h30min e 15h30min em toda a extensão verificou-se apenas o índice PMV dentro dos limites da ISSO. Demais horários apresentaram desconforto para ambos índices.

Figura 68- Isolinhas de PMV e PPD na área de estudo urbano denso para edificações com 30,0 m de altura no dia 10/06/2009.

Na análise de PMV para a situação “parque” utilizou-se o corte de 20,0 m e outro maior (145m) da grade onde se vê na avenida, toda a extensão do parque e parte do asfalto da outra avenida.

O PMV variou de -2,0 a 1,5 na situação “parque” (Figura 69), que é uma variação maior daquela verificada nas situações real e 30,0 m. Apresentou situação de conforto na calçada à esquerda entre 13h30min e 15h30min.

Na calçada à direita, próxima às árvores do parque, houve um tempo maior de conforto que ocorreu entre as 9h00min até as 16h30min.

Figura 69– Isolinhas de PMV para a situação de substituição das construções da quadra central por vegetação, na área urbana densa.

A Figura 69a mostra que em toda a extensão do parque (120,0 m) o índice PMV ficou entre 0,5 e 0,0 das 10 às 15h00min. Na região da avenida no lado esquerdo e em 5,0 m de asfalto que corresponde a uma parte de outra avenida do lado direito o índice ficou em 1,0, ou seja, fora do limite de conforto.

Figura 69a - Isolinhas de PMV para a área urbana densa para a situação de substituição das construções da quadra central por vegetação no dia 10/06/2009.

Observou-se na Figura 70 que junto á calçada á direita, entre 10 e 16h00min e na calçada à esquerda às 9h00min ocorreram áreas com 10,0 % de pessoas insatisfeitas o que não aconteceu nas outras duas situações.

Figura 70 – Isolinhas de PPD para a situação de substituição das construções da quadra central por vegetação, na área urbana densa.

Na região do parque com uma extensão de 120m, o valor de PPD foi de 10,0 % entre 11 e 14h00min, conforme Figura 70a. Na região dos trópicos entre 13 e 15h00min ocorrem às temperaturas máximas e por se tratar de um período de inverno, nestes horários encontrou-se conforto térmico junto à vegetação. Na avenida à esquerda e no asfalto à direita este valor ficou entre 40,0 e 50,0 %, para o mesmo horário, valores bem acima dos 10,0 % exigidos pela norma. Antes das 11h00min após as 14h00min observou-se valores acima de 50,0 % de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico.

Figura 70a - Isolinhas de PPD para a área urbana densa para a situação de substituição das construções da quadra central por vegetação no dia 10/06/2009.

Na união dos dois índices, PMV e PPD (Figura 71), somente a área com vegetação apresentou conforto térmico através de pequenas “ilhas” ao longo do parque entre 11 e 13h00min.

Figura 71 – Isolinhas de PMV e PPD na área parque para a situação de substituição das construções da quadra central por vegetação no dia 10/06/2009.

Observou-se na Figura 71a que houve uma alteração no padrão de conforto com a introdução da área verde. Na análise dos 20,0 m ao longo da avenida Altino Arantes houve um acréscimo de área de conforto junto à calçada, à direita onde está localizado o parque.

Figura 71a - Isolinhas de PMV e PPD na área urbano denso para a situação de substituição das construções da quadra central por vegetação no dia 10/06/2009.

A Situação rotacionado (Figura 72) apresentou-se dentro do limites de PMV em quase toda a área e horários. Somente após as 17h00min e até aproximadamente 16m observou-se valores de PMV abaixo de -0,5 indicando desconforto tendendo a frio.

Figura 72- Isolinhas de PMV na área urbano denso para a situação rotacionado no dia 10/06/2009.

O padrão apresentado na Figura 73 com valores de PPD é diferente do padrão de PMV. Assim, somente entre 18 e 20 m e entre 9 e 19h00min encontrou 10% de pessoas insatisfeitas termicamente com o ambiente. Este índice ficou abaixo de 50% em toda a área e horários.

Figura 73- Isolinhas de PPD na área urbano denso para a situação rotacionado no dia 10/06/2009.

A área termicamente confortável com relação a PMV e PPD foi entre 18 e 20 m entre os horários de 9 e 19h00min para a situação rotacionado como mostra a Figura 74. Esta situação aumentou a área de conforto térmico em 1,0 m, mas reduziu o período que ficou entre 9h00min e 18h30min.

Figura 74- Isolinhas de PMV + PPD na área urbano denso para a situação rotacionado no dia 10/06/2009.

O índice PMV (Figura 75), mostrou-se dentro dos limites de conforto as entre 9h30min e 11h00min e entre as 15h00min e 16h30min em toda a extensão (calçadas e rua). Entre 8 e 9h00min e após as 16h30min, a sensação é de frio em toda a área do corte e entre 11 e 15h00min observou-se pequenas “ilhas” de conforto e desconforto. Estas ilhas podem ser o efeito da copas das árvores produzindo áreas iluminadas e sombreadas gerando as ilhas.

Figura 75 - Isolinhas de PMV na área urbano permeável no dia 10/06/2009.

A Figura 76 apresenta várias “ilhas” com valores abaixo de 10,0 % de pessoas insatisfeitas, ao longo dos 36,0 m estudados entre 9h30min e 16h00min juntamente com ilhas de 30,0 % de pessoas insatisfeitas. Às 20h00min este índice chega a 70,0 %.

Figura 76 - Isolinhas de PPD na área de estudo urbano permeável em Ourinhos - SP, no dia 10/06/2009.

Unindo os dois índices (PMV e PPD) (Figura 77), entre 9 e 16h00min áreas de conforto envoltas de ilhas de desconforto. Resultando em áreas possíveis de se estar por mais tempo devido ao conforto.

Figura 77 - Isolinhas de PMV+ PPD na área de estudo urbano permeável em Ourinhos-SP no dia 10/06/2009.

A área expansão urbana apresentou valores de PMV dentro dos limites aceitáveis de conforto entre 8h00min e 16h00min, onde oscilou entre -0,5 e 0,5, pelos 26,0 m do corte. Nos

outros horários e áreas a situação foi de desconforto para quente entre 12h00min e 14h00min, e para frio após as 16h00min.

Figura 78 - Isolinhas de PMV na área de estudo expansão urbana em Ourinhos SP no dia 10/06/2009.

Valores de PPD abaixo de 10% aparecem nos primeiros 6,0 m entre 11h00min e 15h00min conforme Figura 79. Em todos os outros horários e área ficou acima do limite estipulado pela norma..

Figura 79 - Isolinhas de PPD na área de estudo urbano permeável em Ourinhos - SP no dia 10/06/2009.

Na união dos dois índices, Figura 80, observou-se nos primeiros 6,0 m entre 11h00min e 15h00min uma área dentro dos limites térmicos. Em todos os outros horários e área ficou acima do limite estipulado pela norma.

Figura 80 - Isolinhas de PMV + PPD na área de estudo expansão urbana em Ourinhos SP no dia 10/06/2009.

Observou-se na variação temporal, em todas as isolinhas traçadas para a área “expansão urbana” (PMV, PPD, Tar e TMR), uma forte redução dos valores das variáveis. Isto se deve à velocidade do vento que, próximo ao prédio, torna-se maior pela turbulência mecânica gerada. Apesar de se tornar maior, a velocidade do vento ficou entre 0,8 e 0,9 m/s que é uma velocidade baixa e não causa incômodo, apenas reduz o valor das variáveis ao longo dos primeiros 15,0 m.

O conforto térmico está intimamente ligado à velocidade do vento, uma vez que esta variável pode induzir a perda de calor pela evaporação e o transporte de calor pela convecção. Assim, a vegetação altera o fluxo do vento aumentando ou diminuindo a sensação de conforto, conforme o tipo e a altura da planta.

6.2. Situação de verão

6.2.1. Calibração do modelo para o dia de verão

A Figura 81 mostra a evolução horária da temperatura entre os dias 15 e 16/02/2010, no ponto x, local onde está instalada a estação automática. A temperatura registrada pela estação no centro da cidade apresentou uma temperatura máxima de 5,9 °C, às 14h00min e o modelo 31,2 °C, às 13h00min. Nesta evolução temporal observou-se que, tanto os dados medidos quanto os obtidos pelo modelo apresentaram marcada similaridade entre si.

Figura 81 – Evolução da temperatura do ar na área urbano denso, no centro de Ourinhos, onde está localizada a SAE para o dia 15 e 16/02/2010, em 24 horas.

Através do valor de p ($p < 0,05$) pode-se afirmar que o coeficiente de determinação é significativo e que o modelo atende á variabilidade da temperatura analisada, Figura 71 a.

Figura 81a - Análise de determinação. Comparação entre os dados de temperatura da estação da SAE (centro) e os dados do modelo para o dia 15 e 16/02/2010.

Observou-se na Figura 82 uma temperatura máxima fornecida pelo modelo de 32,0°C e a registrada pela estação de 32,6 °C, ambas às 14h00min.

Figura 82 – Evolução da temperatura do ar urbano permeável em Ourinhos onde está localizada a SAE para o dia 15 e 16/02/2010, em 24 horas.

Na análise da correlação (Figura 82a), pode-se observar uma correlação significativa entre os dados do modelo e da estação para o verão urbano permeável com $R^2 = 0,84$ e $p < 0,05$.

Figura 82a - Análise de determinação. Comparação entre os dados de temperatura da estação da SAE do bairro Vila Brasil e os dados do modelo para o dia 15 e 16/02/2010.

A Figura 83 mostra a evolução da temperatura do ar medida pela estação e a fornecida pelo modelo tendo uma pequena diferença no início da simulação. A temperatura média registrada pela estação foi de 24,3 °C e a dada pelo modelo foi de 25,1 °C. As temperaturas máximas foram 31,5 °C (estação) e 32,0 °C (modelo) às 14h00min.

Figura 83 - Evolução da temperatura do ar na área expansão urbana de Ourinhos para o dia 15 e 16/02/2010, em 24 horas.

Na Figura 83a, observou um coeficiente de determinação de 0,82 e $p < 0,05$, mostrando uma correlação significativa entre os dados fornecidos pelo modelo e os registrados pela estação.

Figura 83a - Análise de determinação. Comparação entre os dados de temperatura da estação da área expansão urbana em Ourinhos e os dados do modelo para o dia 15 e 16/02/2010.

O modelo simulou satisfatoriamente a evolução da camada limite para as três diferentes áreas escolhidas, tanto inverno quanto verão.

6.2.2. Umidade relativa

A Figura 84 apresenta a umidade relativa do ar na superfície para o dia 15/02, verão na região. Observou ao longo da avenida uma UR entre 72,0 e 80,0 %, valor menor do que o encontrado no inverno (acima de 100 %). Não houve registro de precipitação neste dia pela estação automática.

,Figura 84 - Umidade relativa do ar junto à superfície no centro da cidade de Ourinhos (urbano denso), para a situação real no dia 15/02/2010.

A umidade relativa variou entre 76,0 e 82,0 % ao longo da avenida como mostra a Figura 85, na situação de aumento das edificações, portanto houve um aumento da UR em relação a situação real.

Figura 85 - Umidade relativa do ar junto à superfície no centro da cidade de Ourinhos (urbano denso) para a situação de aumento da altura das edificações para 30,0 m no dia 15/02/2010.

Dentro de uma estrutura urbana, segundo Toudert (2005), a eficácia climática da vegetação depende da relação área verde/ área construída, bem como do tamanho, localização e características próprias da planta como espécie, densidade, forma, tamanho, volume, idade, etc.

Com a retirada das edificações da quadra central e inserção de árvores e gramíneas no solo a umidade relativa, Figura 86, variou entre 76,0 e 86,0 % no entorno da quadra central, valor maior comparativamente a situação real.

Figura 86- Umidade relativa do ar junto à superfície no centro da cidade de Ourinhos (urbano denso) para a situação de substituição das construções da quadra central por vegetação.

A umidade relativa para a área rotacionada ficou entre 66,0 e 72,0 % em toda a área urbano denso, assim, a alteração na direção da estrutura urbana reduziu a umidade relativa em 10,0 % comparativamente à situação real.

Figura 87- Umidade relativa do ar junto à superfície para a situação urbano denso rotacionado no dia 15/02/2010.

Na Figura 87 observou-se a umidade relativa entre 88,0 e 90,0 % sobre a superfície gramada, valores maiores comparativamente a situação de inverno. Não houve registro de precipitação neste dia pela estação automática.

Figura 88- Umidade relativa do ar junto à superfície urbano permeável no município do Ourinhos SP.

A umidade relativa na região expansão urbana (Figura 89) ficou entre 94% e 97% entorno da edificação, valores abaixo do apresentado na situação de inverno. Observou-se uma pequena área onde o solo é desnudo com umidade abaixo de 92%. Neste dia houve precipitação de 3,0 mm entre 6 e a5h00min.

Figura 89- Umidade relativa do ar junto à superfície na área expansão urbana em Ourinhos - SP.

6.2.3. Vento

A Figura 90 apresenta a velocidade e direção do vento para a situação real. Próximo a superfície, no ponto de estudo, a velocidade do vento ficou entre 0,8 e 1,2 m/s. Observou-se que o vento acima dos telhados, sofre uma redução na sua velocidade quando se aproxima da avenida (cânion). Com velocidade inicial acima 2,0 m diminui para 0,8 m/s no centro da avenida. Após passar pela avenida o fluxo de vento encontra outra edificação, sobe e torna a aumentar sua velocidade para 1,1 m/s. Acima dos telhados, para esta situação de verão, o vento é quase perpendicular ao cânion e segue na direção NNE/SSO forçado pela estrutura física do local.

Figura 90 - Planta baixa e corte da situação real representando sentido e velocidade do vento na área no centro da cidade (urbano denso) de Ourinhos - SP.

Os ventos se mostraram ascendentes no cânion formado quando se elevou a altura das edificações para 30,0 m (Figura 91), com velocidade entre 0,8 e 1,0 m/s. Acima das edificações os ventos apresentaram uma velocidade acima de 1,2 m/s. O fluxo do vento apresenta-se ascendente, explicado pela ação térmica do fluxo, diferentemente do apresentado no inverno.

Figura 91 - Planta baixa e corte da situação 30,0 m representando sentido e velocidade do vento na área urbano denso.

A velocidade do vento para a situação parque ao longo da avenida diminuiu de 1,0 a 0,4 m/s. Próximo a vegetação o vento possui uma velocidade de 0,8 m/s e vai aumentando sua velocidade ao atravessar avenida, passando, então a uma velocidade de 0,4 m/s.

Figura 92 - Planta baixa e corte da situação “parque” representando sentido e velocidade do vento na área no centro da cidade (urbano denso) de Ourinhos - SP.

Figura 92 - Continuação.

Na Figura 93 pode-se observar a alteração da direção do vento para a área rotacionada, assim o vento que na situação real é de Nordeste passa a ser de Sudeste.

Figura 93– Direção do vento para a situação real e a situação rotacionada.

A velocidade do vento para a simulação com alteração na direção da estrutura urbana manteve-se em 0,8 a 1,0 m/s, somente mudando a direção comparativamente a situação real.

Figura 94 - Planta baixa e corte da situação “rotacionado” representando sentido e velocidade do vento na área no centro da cidade (urbano denso) de Ourinhos – SP.

Figura 94 - Continuação.

Na área urbana permeável os ventos foram de 0,7 m/s no verão. No inverno ficaram entre 1,2 e 1,40 m/s. A velocidade do vento diminui ao chegar próximo das edificações, assim, na frente e laterais do prédio da SAE os ventos ficaram abaixo de 0,2 m/s junto às paredes. Após a passagem pelas edificações os ventos voltaram à velocidade de 0,7 m/s. O mesmo padrão ocorreu na situação de inverno, porém com velocidades maiores.

Figura 95 - Planta baixa do local onde está situada a SAE no bairro Vila Brasil (urbano permeável) mostrando a velocidade e direção do vento para o dia 15/02/2010 às 12h0min.

Os ventos na região, denominada de expansão urbana não apresentaram confluência na lateral direita da figura para o dia 15/02/2010 como em 10/06/2009. Os ventos juntos as paredes laterais do prédio ficaram entre 0,5 e 0,6m/s. Na parede do fundo a velocidade do vento foi menor, abaixo de 0,1 m/s e aumentando à medida que se afastam do prédio. A velocidade do vento no inverno foi menor que no verão para os dias estudados.

Figura 96 – Planta baixa e corte da região expansão urbana mostrando a direção e velocidade do vento para 15/02/2010 às 12h00min.

6.2.4. Temperatura

Na análise da variação diária da temperatura (Figura 97), para as três situações (real, 30,0 m e parque) no dia 15/02/2010, observou-se que a situação parque apresentou menor variação ($T_{min} = 21,5\text{ °C}$ e $T_{max} = 29,9\text{ °C}$) seguida da situação 30,0 m ($T_{min} = 21,8\text{ °C}$ e $T_{max} = 30,5\text{ °C}$) e real ($T_{min} = 21,7\text{ °C}$ e $T_{max} = 31,3\text{ °C}$). Assim, a vegetação adicionada possibilitou uma redução de $1,4\text{ °C}$ da temperatura máxima comparativamente a situação real e o sombreamento causado pelas edificações reduziu em $1,0\text{ °C}$ a máxima ocorrida às 13h. As temperaturas médias foram $25,5\text{ °C}$, $25,7\text{ °C}$ e $26,1\text{ °C}$ para o parque, 30,0 m e real, sucessivamente. Observou-se que a situação parque e 30,0 m apresentaram um padrão de variação de temperatura bastante similar.

Figura 97 - Variação em 24 horas da temperatura do ar para a área urbano denso (centro da cidade de Ourinhos) para as três situações estudadas para o dia para o dia 15/02/2010.

Na figura 98 a tem-se a evolução da temperatura do ar junto a superfície no ponto de estudo Y. Observou-se que estas foram mais elevadas do que as apresentadas em 2,5 m, onde a máxima foi de $25,7\text{ °C}$. A maior máxima foi de $65,2\text{ °C}$ para a situação real e a menor foi de $58,7\text{ °C}$ para a situação parque. A menor variação da temperatura do ar junto á superfície foi a apresentada pela situação 30m.

Figura 98 - Variação em 24 horas da temperatura do ar para a área urbano denso (centro da cidade de Ourinhos) para as três situações estudadas para o dia para o dia 15/02/2010.

A temperatura do ar máxima, próximo à superfície, observada na Figura 99 foi de 60,0 °C sobre o asfalto entre 11h30min e 14h30min, valor acima do encontrado para a situação de inverno (40,0 °C sobre o asfalto). Às 20h00min as temperaturas ainda estavam elevadas em toda a extensão da avenida (calçadas e asfalto) com 35,0 °C. A menor temperatura foi 25,0 °C, às 8 horas em uma pequena faixa à direita na figura, sendo 3,0 °C acima da situação de inverno.

Figura 99 Isolinhas de temperatura do ar no nível da superfície na área urbano denso para a situação real no dia 15/02/2010.

Segundo Ali-Toudor (2005) os fluxos de radiação expressos pela TMR tem papel dominante no verão com relação ao conforto térmico. A temperatura do ar e a velocidade do vento têm papel secundário, pois variam menos com a geometria urbana que a TMR.

No dia 15/02/2010 a área de estudo no centro da cidade apresentou uma TMR máxima de 80,0 °C sobre o asfalto e calçada (às 15h00min).

Figura 100 - Isolinhas de TMR na área urbano denso para a situação real no dia 15/02/2010.

Para a situação de elevação das edificações, Figura 101, a temperatura do ar e a TMR apresentaram valores elevados. A Tar máxima foi de 50,0°C entre 13 e 15h00min no centro da avenida, área com maior exposição a radiação solar direta devida ao fator visão do céu. A temperatura mínima foi 20,0 °C às 8h.

Figura 101 - Isolinhas de temperatura do ar no nível da superfície para a área urbana densa para edificações com 30,0 m de altura no dia 15/02/2010.

A Figura 102 mostra a evolução da TMR que foi máxima entre 11 e 13h30min junto a calçada, à esquerda e pequena área mais aquecida de 60,0 °C sobre o asfalto. Valores abaixo de 40,0 °C ocorreram em toda a extensão entre 8 e 10h00min e após as 15h30min. Comparativamente à situação real o aumento das edificações trouxe menores áreas com máxima TMR, mostrando a relação do fator visão do céu com a TMR.

Figura 102 - Isolinhas de TMR para a área urbana densa para edificações com 30,0 m de altura no dia 15/02/2010.

A temperatura do ar junto à superfície na situação parque apresentou a mesma temperatura máxima comparativamente a situação real. As máximas temperaturas ocorreram na calçada à esquerda e sobre o asfalto entre 12h00min e 15h30min. Entre 8 e 9h00min e pós as 17h00min a temperatura variou entre 30 e 40°C em toda a extensão.

Figura 103 - Isolinhas de temperatura do ar no nível da superfície para a área urbana densa para a situação de substituição das construções da quadra central por vegetação no dia 15/02/2010.

A TMR máxima para a situação parque ocorreu entre 10h00min e 13h00min com valor de 80,0 °C no centro da avenida sobre o asfalto. A TMR foi menor 40,0 °C após as 17h30min chegando em 20,0 °C as 20h00min. Observou-se nesta figura temperaturas muito elevadas entre 8 e 9h00min o que aparenta ser erro de simulação.

Figura 104 - Isolinhas de TMR para a área urbano denso para a situação de substituição das construções da quadra central por vegetação no dia 15/02/2010.

A temperatura do ar junto à superfície na situação rotacionado apresentou temperatura máxima entre 60 e 65°C. As máximas temperaturas ocorreram na calçada à esquerda e sobre o asfalto entre 12h00min e 15h30min. Entre 8 e 9h00min e pós as 18h00min a temperatura variou entre 30 e 40°C em toda a extensão.

Figura 105- Isolinhas de Temperatura do ar na área urbano denso para a situação rotacionado no dia 15/02/2010

A TMR máxima para a situação parque ocorreu entre 10h00min e 14h00min com valor de 80,0 °C no centro da avenida sobre o asfalto. A TMR foi menor 30,0 °C após as 19h00min. Observou-se nesta situação, assim como para a situação parque, temperaturas muito elevadas entre 8 e 9h00min o que aparenta ser erro de simulação.

Figura 106- Isolinhas de TMR na área urbano denso para a situação rotacionado no dia 15/02/2010.

A temperatura do ar variou entre 24,0 e 36,0 °C. A máxima ocorreu entre 12 e 15h30min e a mínima às 8h00min em toda a área da avenida. A diferença entre as temperaturas máximas nos dias de inverno e verão estudados foi de 13,0 °C.

Figura 107 - Isolinhas de temperatura do ar no nível da superfície na área de estudo urbano permeável em Ourinhos - SP no dia 15/02/2010.

A TMR máxima foi de 65,0°C entre 14h30min e 16h00min, conforme mostra a Figura 108. Entre 19 e 20h00min a TMR foi de 15,0 °C, a menor temperatura apresentada na área.

Figura 108 - Isolinhas de TMR na área de estudo urbano permeável em Ourinhos - SP, no dia 15/02/2010.

As maiores temperaturas do ar ocorreram entre 11 e 15h00min em toda extensão da área de estudo (26,0 m). As menores temperaturas ocorreram em 08h30min e 19h30min, 25,0 °C, portanto 10,0 °C a mais que no dia de inverno.

Figura 109 - Isolinhas de temperatura do ar no nível da superfície na área de estudo expansão urbana no dia 15/02/2010.

Na análise da TMR (Figura 110), observou-se que em toda a extensão entre 08 e 17h00min a temperatura média radiante esteve entre 40,0 e 50,0 °C. A máxima ocorreu junto à calçada entre 09 e 13h00min. No inverno o tempo com temperaturas entre 40,0 e 50,0 °C foi menor, entre 08h30min e 16h00min.

Figura 110- Isolinhas de TMR na área de estudo expansão urbana no município de Ourinhos - SP, no dia 15/02/2010.

6.2.5. PMV e PPD

Na Figura 111 o índice PMV esteve acima da norma estabelecida entre -0,5 e 0,5. Apenas uma pequena área às 8h00min apresentou-se dentro deste limite. Observaram-se valores de 4,5 às 14h00min em toda extensão da avenida. Na situação de inverno o maior valor do índice encontrado foi de 1,5 e -1,5. Na situação de verão não foi encontrado índices negativos.

Figura 111 - Isolinhas de PMV na área urbano denso para a situação real no dia 15/02/2010.

Na Figura 100 observaram-se valores de PPD acima de 10,0 % em toda a área de estudo, chegando a 100% de pessoas insatisfeitas com o ambiente entre 11 e 16h00min ao longo da avenida. Na situação de inverno não foi encontrado valores de 100,0 % em nenhum horário ou local.

Figura 112- Isolinhas de PPD na área urbano denso para a situação real no dia 15/02/2010.

Somente uma pequena área próxima à calçada, à direita e entre 14 e 16,0 m sobre a rua, às 8h00min, apresentou conforto térmico para o dia 15/02/2010, como pode ser visto na Figura 113, que mostra a união dos índices PMV e PPD. Na situação de inverno também a maior área foi de desconforto, embora oscilasse entre frio e calor. Na situação de verão o desconforto apresenta-se somente em função do calor.

Figura 113 - Isolinhas de PMV - PPD na área urbano denso para a situação real no dia 15/02/2010.

Valores de PMV dentro dos limites de conforto ocorreram entre 08 e 09h00min e após as 19h00min, em toda a extensão da avenida. Assim, entre 10 e 19h00min o ambiente encontrava-se desconfortável para o pedestre. Observou-se que com o aumento das alturas das edificações houve uma redução no índice PMV máximo que passou de 4,5 da situação real para 3,0 entre 11 e 14h00min na nova situação. Para esta situação de verão não houve índices negativos.

Figura 114 Isolinhas de PMV para a área urbana densa para edificações com 30,0 m de altura no dia 15/02/2010.

O valor máximo de PMV (Figura 118) foi de 3,0, mesmo valor apresentado pela situação anterior (30,0 m), porém, com um tempo maior, das 10 às 17 horas e valor menor do o encontrado na situação real (4,5). Não foram encontrados valores entre -0,5 e 0,5.

Figura 118- Isolinhas de PMV para a área urbana densa para a situação de substituição das construções da quadra central por vegetação no dia 15/02/2010.

Analisando o índice PPD, observou-se que em toda a extensão e entre 8 e 20h00min não ocorreram valores abaixo de 10% de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico. Entre 10 e 16h00min este índice foi de 100% de pessoas insatisfeitas. Comparativamente a situação real a área com 100% foi maior, pois ocorreu em toda a extensão da área de estudo e pode ser explicado pelo aumento da umidade relativa, Figura 119.

Figura 119 - Isolinhas de PPD para a área urbana densa para a situação de substituição das construções da quadra central por vegetação no dia 15/02/2010.

Às 8h00min, próximo a calçada da direita (Figura 120), observou-se pequena área de conforto tanto para o índice PMV quanto para o índice PPD e em relação à situação real houve um aumento do tempo e espaço confortáveis na área de estudo. Em todos os outros horários e em toda a avenida não houve situação de conforto.

Figura 120 - Isolinhas de PMV + PPD para a área urbana densa para a situação de substituição das construções da quadra central por vegetação no dia 15/02/2010.

Valores de PMV dentro dos limites de conforto foram encontrados próximo à calçada à direita entre 19 e 20,0 m em todos os horários como pode ser visto na Figura 121.

Entre 9h30min e 17h30min apresentou-se uma grande área até 16,0 m com PMV tendendo a quente (3,0).

Figura 121- Isolinhas de PMV na área urbano denso para a situação rotacionado no dia 15/02/2010.

Na Figura 122, observou-se valores de PPD abaixo de 10% nos mesmos locais e horários apresentados pelo índice PMV, ou seja, próximo a calçada à direita e em todos os horários.

Figura 122- Isolinhas de PPD na área urbano denso para a situação rotacionado no dia 15/02/2010.

Assim, na união dos dois índices PMV e PPD observou-se a que as áreas de conforto para esta situação foram junto à calçada á direita. A quase totalidade da área ficou fora dos limites estabelecidos pela ISO.

Figura 123- Isolinhas de PMV + PPD na área urbano denso para a situação rotacionado no dia 15/02/2010.

Na análise de PMV (Figura 124) encontrou-se valores de 5,5 entre 14 e 15h30min em toda a extensão da avenida. Não ocorreram valores entre -0,5 e 0,5. No inverno a situação foi mais agradável para pedestres, pois em toda a extensão (36,0 m) entre 09h30min e 16h30min houve situação de conforto.

Figura 124- Isolinhas de PMV na área de estudo urbano permeável em Ourinhos SP no dia 15/02/2010.

Observou-se na Figura 125, entre 09h00min e 17h30min PPD igual a 90% em toda a área da avenida. Não foram encontrados valores abaixo de 10% de pessoas insatisfeitas.

Figura 125- Isolinhas de PPD na área de estudo urbano permeável em Ourinhos SP no dia 15/02/2010.

Na união de PMV e PPD (Figura 126), não houve nenhuma área dentro dos limites de conforto estipulados pela ISO e nenhuma hora do dia, portanto, no verão, a praça em frente à SAE pode ser considerada inapropriada a transeantes. Somente no inverno encontrou-se “ilhas” de conforto possibilitando a estada no local por mais tempo.

Figura 126 - Isolinhas de PMV + PPD na área de estudo urbano permeável em Ourinhos SP no dia 15/02/2010.

A Figura 127 apresenta as isolinhas de PMV para verão. Valores máximos de 4,0 foram encontrados entre 13 e 16h00min. Valores dentro dos limites desejáveis (-0,5 a 0,5) foram encontrados somente após as 19h em toda a extensão (26m). Na situação de inverno a totalidade da área entre as 09h30min e 16h00min ficou dentro da zona de conforto.

Figura 127 - Isolinhas de PMV na área de estudo expansão urbana no município de Ourinhos – SP, no dia 15/02/2010.

Na Figura 128, observaram-se valores de PPD abaixo de 10% somente após as 19h30 min. Entre 10h30min e 16h00min, PPD foi de 100% de pessoas insatisfeitas.

Figura 128- Isolinas de PPD na área de estudo expansão urbana no município de Ourinhos SP no dia 15/02/2010.

Observou-se na Figura 129, na união do PMV e PPD, das 8 às 20h houve conforto térmico na área da calçada até 9m e após as 19h em toda a área do corte.

Figura 129- Isolinas de PMV + PPD na área de estudo expansão urbana no município de Ourinhos - SP no dia 15/02/2010.

Na tabela 12 tem-se a síntese dos resultados obtidos para os dias 10/06/2009. Assim, observa-se que, somente a área urbano permeável não apresentou nenhuma área de conforto térmico, a região com temperatura do ar e TMR mais elevadas foi o centro da cidade, região mais densamente construída.

Tabela 12 – Síntese dos resultados fornecidos pelo modelo para o dia 10/06/2009

Área de estudo		Temp. ar °C máxima	Horário da máxima	Temp. ar °C média	TMR °C máxima	Umidade relativa %	Chuva	Vento m/s no corte	Área de conforto PMV
	real	43,4	13h00min	24,0	80,0	82 a 85	sim	1,0 a 1,2	sim
urbano denso	30 m	41,8	13h00min	21,9	60,0	80 a 82	sim	1,0 a 1,4	sim
	parque	43,2	13h00min	24,1	80,0	81 a 82	sim	0,8 a 1,0	sim
	rotacionado	43,5	13h00min	25,0	70,0	62 a 68	sim	0,6 a 1,0	sim
urbano permeável expansão urbana		27,7	14h00min	21,9	60,0	88 a 90	sim	1,2 a 1,4	não
		25,1	14h00min	20,3	60,0	98 a 100	sim	inferior a 0,2	sim

Na tabela 13 tem-se a síntese dos resultados obtidos para os dias 15/02/2010.

Observa-se que, no verão, a área urbano permeável e a urbano denso (situações parque e rotacionado) não apresentaram nenhuma área de conforto térmico, a região com temperatura do ar e TMR mais elevadas foi a área urbano denso, mesma situação do inverno.

Tabela 13 – Síntese dos resultados fornecidos pelo modelo para o dia 15/02/2010

Área de estudo		Temp. ar °C máxima em Y	Horário da máxima	temp. ar °C média	TMR °C máxima	Umidade relativa %	Chuva	Vento m/s no corte	Área de conforto PMV + PPD
	real	65,2	13h00min	35,6	80,0	72 a 80	não	0,8 a 1,2	sim
urbano denso	30 m	61,7	13h00min	32,0	60,0	72 a 80	não	1,0 a 1,4	sim
	parque	58,7	13h00min	33,6	80,0	76 a 86	não	0,6 a 1,2	não
	rotacionado	59,4	14h00min	37,0	80,0	66 a 72	não	0,8 a 1,0	não
urbano permeável		41,4	14h00min	29,0	65,0	87 a 91	não	0,4 a 0,8	não
expansão urbana		51,5	12h00min	32,0	60,0	94 a 97	não	0,4 a 0,6	sim

7. Considerações finais

Utilizou-se o modelo como ferramenta de cálculo dos índices PMV e PPD para diferentes cenários (reais e fictícios), buscando analisar a influência da forma urbana nas variáveis climatológicas e por sua vez no conforto térmico. Os índices PMV e PPD são

representativos do conforto térmico em áreas abertas e que os valores limites estipulados pela norma ISO 7730 corresponde às sensações térmicas dos usuários desses espaços urbanos.

O modelo Envi-met representou as condições microclimáticas com significância estatística e possibilitou análise dos diferentes cenários.

Estes estudos mostraram que existe uma marcada correlação entre a parte física da cidade (ruas, edificações e vegetação) e o conforto térmico humano. A situação de conforto para o verão e inverno é muito diferenciada. No verão, as propostas de modificação feitas neste trabalho não foram suficientes para mitigar o estresse térmico das áreas urbanas abertas, cabendo assim, propor outras alterações para que pedestres possam utilizar e permanecer por um tempo maior nas ruas e praças da cidade.

No estudo da umidade relativa, para a situação de inverno as 15h00min, a área expansão urbana apresentou os maiores valores, chegando a alguns pontos a 100%, seguida pelas áreas urbano permeável (88 a 90%) e urbano denso real (82 a 85%). Nas quatro simulações da área urbano denso (real, 30,0 m, parque e rotacionado) a área real apresentou maiores valores seguida da situação parque, 30,0 m e situação rotacionado.

Ainda no estudo da umidade relativa, para a situação de verão, a área urbano permeável apresentou os maiores valores (88 a 90%), seguida das áreas expansão urbana (94 a 97%) e urbano denso real (72 a 80%). Nas diferentes simulações para urbano denso a situação “rotacionado” apresentou o menor valor de umidade relativa (66%).

No estudo da temperatura do ar, para a situação de inverno, as máximas ocorreram entre 13 e 14h00min. A área com os maiores valores foi urbano denso real (43,4 °C), no ponto sobre a superfície asfaltada, seguida da área urbano permeável (27,7 °C) e da área expansão urbana (25,1 °C), sobre a superfície de concreto. Dentre as quatro simulações para a área urbano denso, a situação “30,0 m” apresentou a menor máxima no ponto sobre a superfície asfaltada (41,8 °C), 1,6 graus abaixo da situação real. Na situação “parque” a máxima temperatura na área com gramíneas e árvores foi de 24,0 °C.

No dia de verão, as maiores temperaturas ocorreram na área urbano denso, expansão urbana e urbano permeável sucessivamente. Para as simulações feitas na área urbano denso a situação real apresentou a maior temperatura máxima sobre o asfalto, seguida das situações “30,0 m”, rotacionado e “parque” que apresentou a menor máxima que foi de 58,7°C.

Na análise do vento, em todas as áreas e situações a velocidade apresentou baixa variando entre 0,2 e 1,4 m/s. Na área urbano denso, a situação “30,0 m” apresentou um aumento da velocidade do vento comparativamente à situação real. Aumentando a altura das edificações de 5,0 para 30,0 m o fluxo do vento foi descendente na situação de inverno em

virtude do efeito mecânico e ascendente no verão, efeito mecânico e térmico, dentro do cânion formado pelas edificações. Dentre as áreas estudadas e simuladas somente a área “expansão urbana” apresentou um comportamento do fluxo do vento similar ao proposto por Oke (1987) para áreas urbanas, uma vez que somente para esta situação o fluxo apresentou-se perpendicular à edificação.

Na análise dos índices de conforto PMV e PPD, no inverno somente a área urbano permeável não apresentou nenhuma área dentro dos limites de conforto estipulado pela norma ISSO 7730. No verão, a área urbano denso para a situação real e com aumento das edificações e a área expansão urbana apresentaram pequenas áreas de conforto. As demais áreas, tanto no inverno quanto no verão apresentaram-se desconfortáveis. As propostas de modificação feitas, neste trabalho, não foram suficientes para mitigar o desconforto térmico das áreas urbanas abertas, segundos os índices aqui trabalhados PMV e PPD.

8. Referências bibliográficas

AHMED, K. S. Comfort in urban space: defining the boundaries of outdoor thermal comfort for the tropical urban environments. **Energy and Building**, v. 35 p 103-110, 2003.

AIR QUALITY GUIDELINES – Global up dates 2005- **WHO Regional Office for Europe**
Scherfi gsvej 8, DK-2100 Copenhagen Ø, Denmark- World Health Organization 2006. 496 p.

AKBARI, H.; KONOPACKI, S. Streamlined Energy Savings Calculations for Heat-Island Reduction Strategies. **Lawrence Berkeley National Laboratory Report LBNL-47307**, Berkeley, CA, 2003.

ALCOFORADO, M. J; LOPES, A., ANDRADE, H. VASCONCELOS, J. **Orientações Climáticas para o Ordenamento em Lisboa. Universidade de Lisboa – Centros de Estudos Geográficos**, 2005. 83 p.

ALI-TOUDERT, F. Dependence of outdoor thermal comfort on street design in hot and dry climate. **Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg** No. 15, 2005.

ALI-TOUDERT, F.; MAYER H. Numerical Study On The Effects Of Aspect Ratio And Orientation Of An Urban Street Canyon On Outdoor Thermal Comfort In Hot And Dry Climate. **Building and Environment** n. 41, p. 94-108, 2006.

AMORIM, M. C. C. T. **O clima urbano de Presidente Prudente/SP**. 2000. 374 f. Tese (Doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas; Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ARNFIELD, A. J. An approach to the estimation of the surface radiative properties and radiation budgets of cities. **Physical Geographic**, n.3, 97–122, 1982.

ARNFIELD, A.; GRIMMOND, C. S. B. An urban canyon energy budget model and its application to urban storage heat flux modeling. **Energy and Build**, n. 27, p. 61-68, Feb. 1998.

ARNFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. **International Journal of Climatology**, n. 23 p. 1-26, Jan. 2003.

BARBARO, E.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J.; CODATO, G.; FERREIRA, M.J.; MLAKAR, P.; BOZNAR, M. Z.; ESCOBEDO, J. Observational Characterization of the Downward Atmospheric Longwave Radiation at the Surface in the City of São Paulo. **Journal of Applied Meteorology and Climatology** 49 (2010)12. - ISSN 1558-8424 - p. 2574 - 2590.

BARBETA, P. A. **Estatística Aplicada às Ciências Sociais**. Editora da UFSC; (5^a ed. revisada). Florianópolis, 340p. 2003.

BONAN, G. **Ecological climatology**. Cambridge University Press, New York, 2002. 678 p.

BORNSTEIN, R. D. The two-dimensional URBIMET urban boundary layer. **Journal Applied Meteorology** nº14, p. 1459-1477, 1975.

BORNSTEIN, R.D., et al. Modeling the Polluted Coastal Urban Environment: the PBL model. **Electric Power Research Institute EPRI**, Report EA-5091, vol.1, Research Project 1630-13, 1986.

BRANDÃO, A. M. P. M.; LUCENA, A. J. A ilha térmica e sua influência no conforto humano na área central da cidade do Rio de Janeiro. In: **VIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Belo Horizonte: UFMG, 1999. p. 66-67.

BROWN, R. D.; GILLESPIE, T. J. **Microclimatic Landscape Design—Creating Thermal Comfort and Energy Efficiency**. Wiley, New York, 1995.

BRUSE, M.; FLEER, H. **Simulating Surface- Plant-Air Interactions Inside Urban Environments with Three Dimensional Numerical Model**. Environmental Modelling and Software, v.13, p. 373–384, 1998.

BRUSE M. 2004: ENVI-met website. <http://www.envi-met.com>.

BRUSE, M. (2007a): Particle filtering capacity of urban vegetation: A microscale Numerical Approach. In ENDLICHER et al.: **Tagungsband zum Workshop über den wiss. Erkenntnisstand über das Feinstaubfilterungspotential [..] von Pflanzen**, Berlin, p. 61-70, 2000.

BRUSE, M. (2007b): Simulating human thermal comfort and resulting usage patterns of urban open spaces with a Multi-agent System. In: WITTKOPF, St. and TAN, B. K. (eds.): **Proceedings of the 24th International Conference on Passive and Low Energy Architecture PLEA**, p.699-706, 2007.

BUENO-BARTHOLOMEI, C. L. **Influência da vegetação no conforto térmico urbano e no ambiente construído**. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. 189p. Tese (Doutorado), 2003.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; MEDEIROS J. S. Fundamentos epistemológicos da ciência da geoinformação. INPE, São José dos Campos 2001.

CLAPP, R. B.; HORNBERGER, G. M. Empirical Equations for Some Hydraulic Properties. **Water Resource Res.**, v. 14, p. 601-604, 1978.

D'AMBRÓSIO, C. **OURINHOS: um século de história**. São Paulo: Nova América, 2004.

DANNI-OLIVEIRA, I. M. **A cidade de Curitiba/PR e a poluição do ar: implicações de seus atributos urbanos e geológicos na dispersão de poluentes em período de inverno**. 1999. 330 f. Tese (Doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas; Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

DEL RIOS, J. **Ourinhos: memórias de uma cidade paulistana** – Ourinhos, SP: Prefeitura Municipal, 1992. 255 p.

EMMANUEL. R. **An Urban approach to Climate-Sensitive Design, Strategies for the tropics**. London e New York, Spon Press, 2005.

EMMANUEL, R.; JOHANSSON, E. Influence of urban morphology and sea breeze on hot humid microclimate: the case of Colombo, Sri Lanka. **Climate Research** n° 30, p.189-200, 2006.

EMMANUEL, R.; ROSENlund, H.; JOHANSSON, E. Urban shading – a design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka. **International Journal Climatology** n. 27, 2007.

FAHMY, M.; SHARPLES, S. On the development of an urban passive thermal comfort system in Cairo, Egypt'. **Building and Environment**. Volume 44, Issue 9, September, p 1907-1916, 2009.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort**. Danish Technical Press, Copenhagen, 1970.244p.

FANGER, P. O. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering**. United States: McGraw-Hill Book Company, 1972. p. 244.

FERREIRA M. J.; OLIVEIRA A.P.; SOARES J. Anthropogenic heat in the City of São Paulo, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, 104:43 – 56. 2011.

FRIEDRICH, M., GRÄTZ, A.; JENDRITZKY, G. Further development of the urban bioclimate model UBIKLIM, taking local wind systems into account. – **Meteorologische Zeitschrift**, Vol. 10, No. 4: 267-272, 2001.

GAITANI, N.; SANTAMOURIS, M.; MIHALAKAKOU, G. Thermal comfort conditions in outdoor spaces. **International Conference Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment**, May, Santorini, Greece, 2005.

GIRIDHARAN, R., LAU, S.S.Y., GANESAN, S.; GIVONI, B. Urban design factors influencing heat island intensity in high-rise high-density environments of Hong Kong, **Building and Environment**, 42–10: 3669 – 3684, 2007.

GÓMEZ, F.; TAMARIT, N.; JABALOYES, J. Green zones, bioclimatics studies and human comfort in the future development of urban planning. **Landscape and urban planning** ISSN 0169, vol. 55, n°3, pp. 151-161, 2001.

BONAN, G. **Ecological Climatology: Concepts and applications**. England. Cambridge University Press, 2008. 550 p.

GRAETZ, A.; JENDRITZKY, G.; SIEVERS, U. The urban bioclimate model of the Deutscher Wetterdienst. In: K. Hoeschele (ed): **Planning applications of urban and building climatology**. Proceedings IFHP/CIB-Symposium Berlin, October 14-15. Wiss. Ber. Institute of Meteorology Klimaforschg. Uni Karlsruhe: 96-105, 1992.

GRIMMOND C.S.B. Progress in measuring and observing the urban atmosphere. **Theoretical Applied Climatology**, 84, 3–22, Austrália, 2006.

GOMES, M. A. S. e AMORIM, M. C. C. T. A. As praças públicas de Presidente Prudente/SP: dinâmica sócio-espacial e caracterização da vegetação. In: **Geografia em Atos**, v. 1, n 4. Presidente Prudente: FCT/UNESP, p. 21-37, 2002.

HOLMAN, J. P. **Heat Transfer**. 7th ed. McGraw-Hill, 1990. 512p.

HÖPPE, P. Heat Balance Modeling. **Experientia**, 49, 741-746, 1993.

HÖPPE, P. The physiological equivalent temperature: a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. **International Journal of Biometeorology**, n.43, p.71-75, 1999.

JONSSON, P. Urban climate and air quality in tropical cities. **PhD Thesis**, A98, Earth Sciences Centre, Göteborg University, Sweden, 2005.

JANSSON, C. **Urban Microclimate and Surface Hydrometeorological Processes.** 2006 24 f. Doctoral thesis. urn:nbn:se:kth:diva-3879. Department of Land and Water Resources Engineering, 2006.

JOHANSSON, E.; EMMANUEL R. The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka. **International Journal of Biometeorology** n. 51, p.119-133, 2006.

JENDRITZKY, G.; NÜBLER, W. A model analysing the urban thermal environment in physiologically significant terms. **Architecture Meteorology Geophysical Bioclimatology**, Serial B 29, p. 313-26, 1981.

JENDRITZKY G.; SCHIRMER H.; MENZ G.; SCHMIDT-KESSEN W. Methode zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell). **Beiträge Akad Raumforschung Landesplanung Hannover**, 114, p. 7-69, 1990.

JENDRITZKY, G. **The atmospheric environment – an introduction.** Cellular and Molecular Life Sciences (CMLS), 49 (9):733, 1993.

JUNK, J.; HELBIG, A.; LÜERS, J. Urban climate and quality in trier Germany. **International Journal of Biometeorology**, v. 47, n. 4, Aug. 2003.

KAKON, A. N.; NOBUO, M. The sky view factor effect on the microclimate of a city Environment: a case study of Dhaka city. **The seventh International Conference on Urban Climate**, 29 June - 3, Yokohama, Japan July 2009.

KARAN, H. A. **Simulação numérica tridimensional da Camada Limite Planetária em Iperó, São Paulo.** Dissertação de Mestrado. São Paulo: Departamento de Ciências Atmosféricas; Universidade de São Paulo, 1995, 112p.

KARAN, H. A. **Simulação numérica da dispersão de SO₂ na região de Candiota com um modelo Langrangeano.** Bauru: Workshop on Air Pollution and Acid Rain, The Candiota Program, 1996.

LAHME, E.; BRUSE, M. Microclimatic effects of a small urban park in densely built-up areas: Measurements and model simulations. in: Klysik et al. (Hrsg.): **Fifth International Conference on Urban Climate, Lodz, Poland**, Vol.2 p.27- 276, ISB-916728-2-4, 2003.

LOIS, E.; LABAKI, L. C. Conforto térmico em espaços externos: uma revisão. In: encontro nacional de conforto no ambiente construído, 6., 2001, São Pedro/SP. **Anais...** São Pedro: ANTAC, 2001.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de Calor nas Metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Editora Hucitec Ltda, 1985. 244 p.

LUCHIARI, A.; MARTINI, B.; SANTOS, M.G.C. Padrões residenciais urbanos obtidos por meio de imagens Ikonos 2 e dados censitários. In: Mendonça, F. A.; Lowen-Sahr, C. L. e Silva, M. **Espaço e Tempo: complexidade e desafios do pensar e do fazer geográfico**. (organizadores). Curitiba: Associação de defesa do meio Ambiente e Desenvolvimento de Antonina (ADEMADAN), 2009.740p.

MAITELLI, G. T. **Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá-MT**. 1994. 204f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, letras e Ciências Humanas; Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MCPHERSON E.G., ROWNTREE R. A, WAGAR J. A. Energy efficient landscapes. Urban Forest Landscapes: integrating multidisciplinary perspectives. **University of Washington Press. Seattle**: 150-160, 1994a.

MACPHERSON, G. J.; WARK, D. A.; ARMSTRONG, A. in: **Meteorites and the Early Solar System**. Editores J. F. Kerridge, & M. S. Matthews Tucson: University Arizona Press, 746, 1988.

MATZARAKIS A., RUTZ F., MAYER H. Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures. In: Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millenium. Ed. by R.J. de Dear, J.D. Kalma, T.R. Oke and A. Auliciems. Selected

Papers from the Conference ICB-ICUC'99, Sydney, WCASP-50, WMO/TD No. 1026, 273-278, 2000.

MENDONÇA, F. (Org.). **Clima Urbano**. São Paulo: Editora Contexto, p. 93-120, 2003.

MILLS G.M., ARNFIELD J. Simulation of the energy budget of an urban canyon - II. Comparison of model results with measurements. **Atmospheric Environment**, 27B, 171-181, 1993.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: USP/IG, 1976.

NAKAMURA, Y.; OKE, T. R. Wind, temperature and stability conditions in an E-W oriented urban canyon. **Atmospheric Environment**, 22, 2691-2700, 1988.

NIKOLOPOULOU M., BAKER N., STEEMERS K. Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. **Solar Energy**, 70: 227-235, 2001.

OKE, T. R.; FUGGLE, R. F. Comparison of urban/rural counter and net radiation at night. **Boundary-Layer Meteorology** n. 2, 290-308, 1972.

OKE, T.R. **Boundary layer climates**. New York: Methun & Co., 1987. 435 p.

OKE T.R. - Towards a prescription for the greater use of climatic principles in settlement planning. **Energy and Buildings**, n. 7: 1-10, 1984.

OKE, T.R. Street design and urban canopy layer climate. **Energy Building**, 11, 103-113, 1988

PADOVANI, E. G. R. A cidade: o espaço, o tempo e o lazer. In: Gerardi, L. H. O. (Org.) **Ambientes estudos de geografia**. Rio Claro – SP, AGETEO, 2003.

PANNATIER, Y. **Variowin - Software for Spatial Statistics**. Analysis in 2D (Statistics and Computing). New York : Springer Verlag, 1996. 91 p.

PIELKE, R. A. **Mesoscale Meteorological Modelling**, Orlando, Academic Press, 1984. 612 p.

ROSSINI, D. FORESTI, C. VIADANA, M. I. C. F. Análise ambiental do padrão espacial em áreas de expansão urbana de Limeira SP. In: Gerardi, L. H. O. G, Mendes, I. A. (Org.) **Do Natural, do social e de suas Interações: visões geográficas**. Rio Claro – SP, AGETEO, 2002.

SAMAALI, M. **Evaluation d'un modèle de couche limite atmosphérique 3D dans un cas homogène: application à une parcelle agricole de soja**. 2002. 209f. Tese (Doutorado). Mécanique Energétique: Ecole Polytechnique Universitaire de Marseille, France, 2002.

SANT'ANNA NETO, J. L. (Org.). **Os Climas das Cidades Brasileiras: São Luis (MA), Aracaju (SE), Campo Grande (MS), Petrópolis (RJ), Sorocaba (SP), Penápolis (SP) e Presidente Prudente (SP)**. Presidente Prudente. Presidente Prudente: UNESP/FCT, 2002. 227 p.

SANTOS, M. **Espaço e Método**. São Paulo: Nobel, 1985.88 p.

SANTOS, M. **Metamorfoses do espaço habitado**. Hucitec, S. Paulo 1991 (2ª ed.). 64p.

SCHAYES, G, P. THUNIS, R. BORNSTEIN. Topographic Vorticity-Mode Mesoscale-B (TVM) Model. Part I: Formulation, **Journal Applied Meteorology**, **35**, p. 1815-823, 1996.

SHASHUA-BAR L., HOFFMAN M.E. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street. **Energy and Buildings**, 31: 221-235, 2000.

SOUZA, L. C. L. **Influência da geometria urbana na temperatura do ar ao nível do pedestre**. 1996. 125 f. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos; Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

SPAGNOLO J.; DE DEAR R. A field study of thermal comfort in outdoor and semioutdoor environments in subtropical Sydney Australia. **Building and Environment**, 38: 721-738, 2003.

SPIRN, A. W. **O Jardim de Granito: a natureza no desenho da cidade**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1995. 345 p.

STIVARI, S. M. S. Um Estudo da Brisa Lacustre do Lago de Itaipu. **Tese de Doutorado**, Departamento de Ciências Atmosféricas. IAG-USP, 1999. 126 p.

STULL, R. B. **An introduction to boundary layer meteorology**. Dordrecht: Kluwer, 1988. 666 p.

SVENSSON, M. K. Sky view factor analysis – implications for urban air temperature differences. **Meteorological applications**, 11–3: 201 – 211, 2004.

TARIFA J. R., ARMANI, G. Os climas urbanos. In: TARIFA JR, AZEVEDO TR, organizadores. **Os climas no município de São Paulo: teoria e prática**. São Paulo: FFLCH/USP; 2001. p. 47-70.

THOM, E.C. **The discomfort index**. *Weatherwise* (V). 2:57-60, 1959.

THUNIS, P.; CLAPPIER, A. **Formulation and evaluation of a nonhydrostatic mesoscale vorticity model**. *Monthly Weather: Review* 128 n° 9, 3236-51 S, 2000. 23 p.

TODHUNTER P.E. Microclimatic Variations Attributable to Urban Canyon Asymmetry and Orientation. **Physical Geography** n.2, v.11: 131-141, 1990.

WOLLMANN, H. Urban Leadership in German Local Politics: The Rise, Role and Performance of the Directly Elected (Chief Executive) Mayor. **International Journal of Urban and Regional Research** 28(1): 150-165, 2004.

WONG N H., CHENA Y, ONG C L, SIAB A. Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. **Building and Environment**, n. 38:261-270, 2003.

ZACHARIAS, A. A. **A representação Gráfica das Unidades de Paisagem no Zoneamento Ambiental: um estudo de caso no Município de Ourinhos-SP.** 2007. Vol.1. 200 f. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP- Universidade Estadual Paulista- Rio Claro, 2007.

<http://www.ourinhos.sp.gov.br> – Prefeitura Municipal de Ourinhos. 04/03/2008.

<http://www.ibge.gov.br> – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 04/03/2009.

<http://www.mdic.gov.br> – Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. 04/03/2008.

http://www.cati.sp.gov.br/Cati/_servicos/lupa/lupa.shtml. 04/03/2008.