



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

Ciências Ambientais

ANA CLAUDIA BENTO

**DIFERENTES ÍNDICES PARA ESTIMAÇÃO DO CONFORTO
TÉRMICO EM SOROCABA-SP**

Sorocaba
2018

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

*ciências
ambientais*



unesp
Sorocaba

ANA CLAUDIA BENTO

**DIFERENTES ÍNDICES PARA ESTIMAÇÃO DO CONFORTO
TÉRMICO EM SOROCABA-SP**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" na Área de Concentração Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Jonas Teixeira Nery

Sorocaba
2018

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Unesp
Instituto de Ciência e Tecnologia – Câmpus de Sorocaba

Bento, Ana Claudia.

Diferentes índices para estimação do conforto térmico em Sorocaba-SP /
Ana Claudia Bento, 2018.
85 f.: il.

Orientador: Jonas Teixeira Nery.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Ciência e Tecnologia (Câmpus de Sorocaba), 2018.

1. Microclimatologia. 2. Conforto térmico. 3. Sorocaba (SP). I. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Ciência e Tecnologia (Câmpus de Sorocaba). II. Título.

Bibliotecário responsável: Bruna B. Guimarães – CRB 8/8855



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Diferentes índices para estimação do conforto térmico em Sorocaba

AUTORA: ANA CLAUDIA BENTO

ORIENTADOR: JONAS TEIXEIRA NERY

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em CIÊNCIAS AMBIENTAIS,
área: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. JONAS TEIXEIRA NERY
/ Unesp - Câmpus de Ourinhos



Prof. Dr. ANA CLAUDIA CARFAN
Geografia / Unesp - Câmpus de Ourinhos



Prof. Dr. MANUEL ENRIQUE GAMERO GUANDIQUE
Engenharia Ambiental / Unesp - ICT Sorocaba

Sorocaba, 31 de agosto de 2018

*Dedico este trabalho aos meus
sobrinhos (Guilherme e Lorena).*

AGRADECIMENTOS

Muitas são as pessoas que prestaram valiosa atenção durante o desenvolvimento deste trabalho na trajetória do mestrado. Agradeço a todos pelo apoio, incentivo e contribuições, porém gostaria de agradecer algumas pessoas em especial.

Primeiramente ao meu querido professor e orientador Jonas Teixeira Nery que foi crucial nesta jornada, seja pela atenção, incentivo, disposição e paciência que sempre mostrou na execução deste trabalho. Certamente aprendi e continuo aprendendo muito com sua pessoa e sua experiência, obrigada por acreditar e me confiar essa pesquisa.

Agradeço imensamente a professora Ana Claudia Carfan por sempre se colocar à disposição, tirar todas as minhas dúvidas e compartilhar seus conhecimentos de forma tão lúdica e carinhosa.

À minha mãe por sempre acreditar que eu conseguiria e me apoiar nos momentos de fraqueza me animando, ao meu pai pelo carinho e compreensão, a minha irmã por sempre estar presente e aos meus sobrinhos por todo amor. Agradeço a todos os membros da minha família como um todo pelo apoio e compreensão. Em especial gostaria de agradecer também a minha amiga e fiel escudeira Sabrina pelo companheirismo, amizade, apoio e incentivo nos momentos mais difíceis dessa longa caminhada.

Agradeço ao edifício Casa Branca de Sorocaba por ceder o espaço para instalação da estação meteorológica, ao laboratório de Climatologia da Unesp de Ourinhos, pelo empréstimo de alguns aparelhos para realizarem desta pesquisa.

Por fim agradeço a Instituição, aos professores e funcionários envolvidos nesta jornada, por tornarem possível essa realização.

BENTO, A. C. **Diferentes índices para estimação do conforto térmico em Sorocaba-SP**. 2018. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Campus de Sorocaba, UNESP – Universidade Estadual Paulista, 2018.

RESUMO

Os modelos microclimáticos vêm sendo uma ferramenta que pode auxiliar no estudo específico do clima urbano e do conforto térmico de um município, pois fornecem diretrizes nas simulações e quantifica seus efeitos na estrutura da cidade. O presente trabalho foi realizado no centro da cidade de Sorocaba-SP, local com elevado grau de urbanização. O objetivo desse trabalho foi analisar o conforto térmico na cidade através dos índices de PMV e PPD utilizando o modelo ENVI-met para as simulações das variáveis meteorológicas, de vinte quatro horas para o período de verão e de inverno. Desse modo, observa-se que todos os resultados encontrados para o verão foram considerados desconfortáveis termicamente, segundo as normas da ISO 7730 e somente no inverno encontrou-se neutralidade térmica nos pontos onde se tem uma alta concentração de vegetação, o que permite concluir que o elevado grau de impermeabilização, os edifícios, a grande presença de asfalto e concreto e a falta de planejamento urbano, interferem diretamente no clima da cidade, gerando uma má qualidade de vida e desconforto térmico para população seja ele tendendo para o frio ou para o calor.

Palavras-chave: clima urbano; conforto térmico; índices; PMV; PPD;

BENTO, A. C. **Different indices for thermal comfort estimation in Sorocaba-SP.** 2018. 83 f. Dissertation (Master' degree Environmental Sciences) - Campus Sorocaba, UNESP – Universidade Estadual Paulista 2018.

ABSTRACT

The microclimate models are tools that may help on specific urban climate and thermal comfort study of a city, since they provide guidelines on simulations and it quantifies its effects at city's structure. This work took place at Sorocaba-SP downtown, where can be seen a high urbanization degree. The goal of this work is to analyze Sorocaba's thermal comfort through PMV and PPD index using the model ENVI-met to simulations of meteorological variants, of twenty-four hours up to summer and winter. This way, it can be seen that the results for the summer were considered uncomfortable, following ISO 7730 guidelines and only during the winter thermal neutrality was found on a high amount of vegetation spot, what may lead that the high amount of impermeabilization, the buildings, the great amount of asphalt and concret and the lack of urban plan, interfere directly on the weather of the city, resulting in a bad quality of life and thermal discomfort for population no matter cold or warm weather.

Key-words: Urban climate; thermal comfort; indexes; PMV; PPD;

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1	= Componentes do balanço de energia radiante.
Figura 2	= Índice de PMV em relação ao PPD de 10,0 %.
Figura 3	= Localização de Sorocaba no estado de São Paulo.
Figura 4	= Imagem da área de estudo com o local da estação meteorológica.
Figura 4a	= Imagem da área de estudo do urbano denso.
Figura 5	= Ponto de coleta, classificado como urbano denso.
Figura 5a	= Imagem da área de estudo do urbano permeável.
Figura 6	= Ponto de coleta, classificado como urbano permeável.
Figura 7	= Construção da área de simulação no programa ENVI-met.
Figura 8	= Construção da área de simulação no programa ENVI-met.
Figura 9	= Estrutura do modelo ENVI-met versão português.
Figura 10	= Fluxograma com as fases de desenvolvimento da pesquisa.
Figura 11	= Simulação da planta da área de estudo em 3D.
Figura 12	= Simulação da planta da área de estudo em 3D com zoom.
Figura 13	= Simulação da temperatura para às 09h00min.
Figura 14	= Trajetória do sol.
Figura 15	= Simulação da temperatura para às 15h00min.
Figura 16	= Simulação da TMR para às 09h00min.
Figura 17	= Simulação da TMR para às 15h00min.
Figura 18	= Simulação da umidade relativa para às 09h00min.
Figura 19	= Simulação da umidade relativa às 15h00min.
Figura 20	= Influência das edificações no fluxo do vento.
Figura 21	= Simulação da velocidade e direção do vento para às 09h00min.
Figura 22	= Simulação da velocidade e direção do vento para às 15h00min.
Figura 23	= Corte da simulação de velocidade do vento para às 09h00min.
Figura 23a	= Corte da simulação de velocidade do vento para às 09h00min com <i>zoom</i> .
Figura 24	= Simulação do índice de PMV para às 09h00min.
Figura 25	= Simulação do índice de PPD para às 09h00min.
Figura 26	= Simulação do índice de PMV para às 15h00min.
Figura 27	= Simulação do índice de PMV para às 15h00min.

- Figura 28 = Simulação da temperatura para às 15h00min.
- Figura 29 = Simulação da TMR para às 09h00min.
- Figura 30 = Simulação da TMR para às 15h00min.
- Figura 31 = Simulação da umidade relativa para às 09h00min.
- Figura 32 = Simulação da umidade relativa às 15h00min.
- Figura 33 = Influência das edificações no fluxo do vento.
- Figura 34 = Simulação da velocidade e direção do vento para às 09h00min.
- Figura 35 = Simulação da velocidade e direção do vento para às 15h00min.
- Figura 35a = Corte da simulação de velocidade do vento para às 09h00min.
- Figura 36 = Corte da simulação de velocidade do vento para às 09h00min com *zoom*.
- Figura 37 = Simulação do índice de PMV para às 09h00min.
- Figura 38 = Simulação do índice de PPD para às 09h00min.
- Figura 39 = Simulação do índice de PMV para às 15h00min.
- Figura 40 = Simulação do índice de PMV para às 15h00min.

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASHRAE	= <i>America Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
EMBRAPA	= Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ISO	= <i>International Organization for Standardization</i>
IBGE	= Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PMV	= <i>Predicted Mean Vote</i> – (Voto Médio Estimado)
PPD	= <i>Predicted Percentage of Dissatisfied</i> – (Porcentagem Estimada de Insatisfeitos)
PIB	= Produto Interno Bruto
SEADE	= Sistema Estadual de Análise de Dados
TMR	= Temperatura Média Radiante
UR	= Umidade Relativa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	O CLIMA URBANO	15
2.2	O CONFORTO TÉRMICO	17
2.3	MODELAGEM MATEMÁTICA COMO UM VIÉS PARA ANÁLISE CLIMÁTICA	20
2.4	ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO: PMV/PPD	23
3	OBJETIVOS.....	29
3.1	OBJETIVO GERAL.....	29
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	29
4	MATERIAIS E PROCEDIMENTOS	29
4.1	ÁREA DE ESTUDO.....	29
4.2	MODELO MICROCLIMÁTICO ENVI-MET	34
4.3	ESTRUTURA DO MODELO	38
4.4	FLUXOGRAMA DE ORIENTAÇÃO DE RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES PRELIMINARES	40
	SITUAÇÃO DE VERÃO	40
5.1	TEMPERATURA.....	41
5.2	TMR.....	44
5.3	UMIDADE RELATIVA	47
5.4	VELOCIDADE E DIREÇÃO DO VENTO.....	50
5.5	PMV E PPD.....	55
	SITUAÇÃO DE INVERNO	59
5.1	TEMPERATURA.....	59
5.2	TMR.....	61
5.3	UMIDADE RELATIVA	63
5.4	VENTO E DIREÇÃO DO VENTO	65
5.5	PMV E PPD.....	68
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
	REFERÊNCIAS	76
	ANEXOS	84

1 INTRODUÇÃO

Entender as características climáticas de determinado local é primordial, visto que o clima interfere diretamente no homem e na natureza. Dentro do estudo da Climatologia destaca-se a Climatologia Urbana que é totalmente voltada para o estudo do clima das cidades. MONTEIRO (1976), inspirado pelas ideias propostas pelo autor Bertalanfy, considerou o clima das cidades como um sistema. Dentro do clima urbano tem-se a possibilidade de analisar seus elementos (composição, comportamento e produção) de maneira integrada, considerando os efeitos da atmosfera sobre a população, de maneira a poder contribuir para o planejamento das cidades.

Pautado nessas ideias tem-se o clima urbano, que segundo Oke (1978) é o resultado das modificações causadas pelo processo de urbanização na superfície terrestre e nas características atmosféricas de um determinado local. Monteiro (2003) afirma que: clima urbano é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização. O clima urbano é um clima específico, um clima local que se forma a partir das características daquele ambiente, ou seja, pode-se dizer em outras palavras que o clima urbano se dá a partir das atividades e ações da população local.

Dentro do clima urbano muitos autores analisam e abordam a questão do conforto térmico, que segundo a determinação da norma ISO 7730 - conforto térmico é a condição que expressa satisfação com o ambiente térmico, portanto o conforto térmico é a sensação térmica que os indivíduos de determinado local estão sentindo, podendo ser confortável ou desconfortável.

Atualmente sabe-se que o clima urbano e a sensação térmica nas cidades estão diretamente ligados ao uso e ocupação do solo, a urbanização, impermeabilização, desmatamento, projetos urbanísticos, arquitetônicos e a poluição que acontecem nas cidades. Ainda convém lembrar a importância e a relação do planejamento urbano de uma cidade com o clima e o conforto térmico da população, uma vez que o planejamento urbano é onde se desenvolve meios de criação e desenvolvimentos para melhorar a qualidade de vida da população de uma determinada área urbana. Com o crescimento populacional e a elevação das

edificações cada vez maior nas cidades, o clima local acaba sendo modificado, deixando a temperatura dos centros urbanos mais elevados.

Sabe-se que a partir do aumento da temperatura média de uma cidade ocorrem vários fenômenos climáticos que contribuem para isso, como, por exemplo, as ilhas de calor que é o aumento da temperatura das áreas centrais em relação ao seu entorno. A ilha de calor é um fenômeno totalmente antrópico, pois se dá a partir da remoção da vegetação, junto com a impermeabilização do solo e a presença de poluição nas cidades, que impedem a circulação do ar, gerando aumento de calor e desconforto para a população.

Inúmeros são os pontos que podem ser trabalhados dentro do clima das cidades, todavia esse trabalho tem por objetivo analisar o conforto térmico no município de Sorocaba, através dos índices de PMV e PPD - *Predicted Mean Vote* e *Predicted Percentage Dissatisfied* (Voto Médio Predito e Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas) para calcular o stress térmico dos ambientes utilizando o modelo ENVI-met para as simulações das variáveis meteorológicas em um período de vinte quatro horas, tanto no verão quanto no inverno.

Estudar as variáveis meteorológicas que compõe o clima de uma cidade é de extrema importância para uma melhor qualidade de vida da população, fornecendo um ambiente termicamente mais agradável, junto com um planejamento urbano climático ideal, uma vez que o desconforto das grandes áreas urbanas está conexo ao fato do homem modificar o seu entorno e automaticamente modificar os aspectos físicos do meio urbano, alterando o clima e tendo por consequência inúmeros fatos como, por exemplo, a alteração no regime de chuva, o aumento da nebulosidade, aumento das temperaturas médias, entre outros.

Deste modo nota-se que os aspectos climáticos necessitam ser pensados e analisados no projeto arquitetônico, mesmo quando seus impactos não são sentidos em curto prazo, porém a ocupação máxima do solo, assim como a urbanização desenfreada contribuem para a formação de microclimas diferenciados nas cidades, quando comparado com as áreas rurais e com outros lugares urbanos. Desta maneira o estudo do clima em uma determinada cidade oferece importantes contribuições às questões ambientais, urbanas e econômicas das cidades.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O clima urbano

Muitos são os estudos que envolve a temática sobre o clima, uma vez que o clima atua de maneira decisiva na vida do homem. Diversas são as definições sobre o conceito de clima, contudo para Mascaró (1991) o clima pode ser definido como a função característica e permanente do tempo, em um lugar, em meio a diversas variações.

Sobretudo o clima pode ser classificado em três níveis de escalas climáticas, para TONIETTO & MANDELLI (2005) *apud* ALMEIDA JÚNIOR (2005), sendo eles:

1. MACROCLIMA: Podendo ser chamado de clima original ou clima regional é o resultado da situação geográfica e orográfica. Corresponde ao clima médio ocorrente num território relativamente vasto, exigindo, para sua caracterização, dados de um conjunto de postos meteorológicos; em zonas com relevo acentuado, os dados macroclimáticos possuem um valor apenas relativo exigindo, para sua caracterização, dados também de um conjunto de postos meteorológicos.
2. MESOCLIMA: Ou clima local, que corresponde a uma situação particular do macroclima, ou seja, o macroclima sofre localmente modificações em vários de seus elementos, o que determina um mesoclima. Normalmente, é possível caracterizar um mesoclima através dos dados de uma estação meteorológica, permitindo avaliar as possibilidades de uma cultura, do clima de floresta ou de uma vertente. A superfície abrangida por um mesoclima pode ser muito variável, podendo fazer referência a situações bastante particulares do ponto de vista de exposições, declividade ou altitude, por exemplo. Muitas vezes o termo topoclima é utilizado para designar um mesoclima onde a orografia constitui um dos critérios principais de identificação, por exemplo, o clima de um vale ou de uma encosta de montanha.

3. MICROCLIMA: Corresponde às condições climáticas de uma superfície realmente pequena, ou seja, ao clima de microescala. Pode se considerar dois tipos de microclima: microclima natural – que corresponde a superfícies da ordem de 10 m a 100 m e microclima da planta – o qual é caracterizado por variáveis climáticas (temperatura e radiação) medida por aparelhos instalados na própria planta. O termo genérico de bioclima é utilizado para essa escala que visa o estudo do meio natural e das técnicas de cultivo.

Baseado nessas escalas dentro da Climatologia surge o Clima Urbano, que vai estudar especificamente o clima das cidades, denominado clima urbano. Segundo Monteiro (1990), o clima urbano pode ser entendido como um sistema complexo, aberto, adaptativo que, ao receber energia do ambiente maior no qual se insere, transforma-o substancialmente, a ponto de gerar uma produção exportada ao ambiente.

Para García (1999), o clima urbano é aquele próprio das cidades e áreas urbanas, correspondendo às características do clima original da região onde se assenta a cidade e modificadas localmente pela ação do ser humano. **García, Souza** (1996), aponta o clima urbano como a situação climática específica das cidades, resultado da ocupação antrópica do meio que se manifestam devido à inter-relação de fenômenos, muitos deles causado pela própria urbanização.

Já Lombardo (1985) define o clima urbano como um mesoclima que está incluído no macroclima e que sofrem na proximidade do solo, influências microclimáticas derivadas dos espaços intra-urbanos.

Dessa forma Monteiro (1976, p.134) aponta que:

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 capazes de desorganizar a vida da cidade e deteriorar a qualidade de vida de seus habitantes.

Em virtude do que foi mencionado nota-se que o clima urbano está ligado a diversos fatores, como o crescimento desordenado e sem planejamento, a construção de ruas e edificações que retiram a vegetação original para a

impermeabilização o solo, entre outros fatores que tornam a cidade urbanizada e muda o clima, aumentando a temperatura e diminuindo a umidade relativa do ar.

Para Mendonça (2003), a queda da qualidade da atmosfera urbana e os problemas humanos a ela correlatos apresentaram intensificação paulatina no momento mais atual devido ao processo de crescimento urbano e a ausência de implementação de medidas que favoreçam o bem estar das populações que vivem na cidade.

SANT'ANNA NETO (2008) observa que o espaço urbano é o palco maior das ações impactantes, da organização da superfície terrestre e da deterioração do ambiente. O clima é um dos aspectos que expressa a relação entre sociedade e a organização econômica e social de um espaço urbano, pois este se configura em uma das dimensões do espaço, sendo derivado da alteração da paisagem natural e sua substituição por um ambiente construído.

Cruz (2009) coloca que, atender as necessidades dessa sociedade cada vez mais urbana, resulta em grandes mudanças na paisagem, o que acarreta em pressões sobre condicionantes do clima local. Dado o exposto a modificação da paisagem para construção da cidade, altera o equilíbrio entre a superfície e a atmosfera, gerando assim um clima urbano e específico de cada cidade. Por isso, tornam-se necessários os estudos sobre clima urbano, uma vez que o ser humano sempre está em busca de melhor qualidade de vida e conforto ambiental (CRUZ, 2009). Desta forma, o desenvolvimento de pesquisas sobre clima urbano pode auxiliar o planejador urbano, gerando possibilidade de trabalhar alternativas de organização dos espaços urbanos, não apenas nos critérios técnicos e de desenho, mas principalmente em critérios ambientais, como o de conforto térmico dos ambientes urbanos (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007).

2.2 O conforto térmico

O clima urbano é totalmente influenciado pelo desenvolvimento das cidades, que pode variar de uma cidade para outra, não sendo nunca igual. O homem cria diversas formas de construções nas cidades, todas para suas atividades diárias. Todas essas construções e modificações no espaço urbano das cidades podem

contribuir ou minimizar os impactos no clima e a qualidade de vida da população local.

Uma das alterações climáticas mais significativas decorrente da urbanização é o fenômeno das ilhas de calor, que é o resultado direto das modificações antrópicas na criação do espaço urbano, que altera no balanço de energia radiativa, provocando alteração na temperatura, umidade do ar, comportamento dos ventos, resultando diretamente no desconforto e/ou conforto térmico da população.

Para Sant'Anna Neto e Amorim (2009) as ilhas de calor urbana, aliada às características de seus materiais construtivos, “podem ser consideradas como um indicador de qualidade ambiental urbana”, bem como da eficiência energética, demonstrando assim a possibilidade de analisar a segregação sócio espacial através da ciência climatológica. Na cidade de Londrina, Mendonça (2003) afirma que os locais de fluxo intenso de veículos e pessoas, concentração de edificações verticais, aliadas a poucos espaços verdes são propícios à formação de ilhas de calor e desconforto térmico.

O aumento de temperatura nas áreas urbanas está diretamente ligado à presença humana na modificação do ambiente. A explosão das construções verticais e a diminuição das áreas de florestas e matas acabam por intensificar esse fato. O calor produzido pelo trânsito, pelas indústrias, pelas habitações eleva consideravelmente a temperatura do ar na cidade e reduz a umidade relativa, formando o que se convencionou denominar de ilha de calor, (SANT'ANNA NETO, 1998, p.126).

Monteiro e Mendonça (2003) afirmam que “conforto térmico engloba os componentes termodinâmicos que, em suas relações, se expressam através do calor, ventilação e umidade nos referenciais básicos a esta noção”.

A ISO 7730 (1994) define conforto térmico como sendo “aquele estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico”. Para García (1985), conforto térmico consiste no conjunto de condições em que os mecanismos de autorregulação são mínimos ou ainda na zona delimitada por características térmicas em que o maior número de pessoas manifeste se sentir bem.

Segundo Xavier (2000), o conforto térmico pode ser analisado sob dois aspectos distintos:

- a) Do ponto de vista pessoal: onde uma determinada pessoa que se encontre em determinado ambiente, esteja em estado confortável com relação a sua sensação térmica;
- b) Do ponto de vista ambiental: onde a combinação das variáveis físicas inertes a esse ambiente, cria condições termo-ambientais para um menor número de pessoas, que estejam satisfeitas com esse ambiente;

Para Silva et al. (2003), a sensação de conforto térmico está associada ao ritmo de troca de calor entre o corpo humano e o meio ambiente.

Nesse sentido Leal Santos e Andrade (2008, p.38) afirmam:

O desempenho humano durante qualquer atividade deve ser otimizado, desde que o ambiente propicie condições de conforto e que sejam evitadas as sensações desagradáveis, tais como dificuldade de eliminar o excesso de calor produzido pelo organismo, perda exagerada de calorias pelo corpo e desigualdade de temperatura entre as diversas partes do corpo.

Sendo assim, se a temperatura média radiante (TMR) do ambiente for maior que a temperatura do corpo humano, o indivíduo passa a ganhar calor por radiação. Por outro lado, se a TMR do ambiente for menor que do corpo humano, o mesmo perderá calor por radiação, fato que interfere diretamente na condição de conforto/desconforto térmico.

Conforme salienta Baldini e Tavares (1985), as temperaturas nas quais se verificará uma sensação de desconforto variam de acordo com os indivíduos que, por sua vez, estão adaptados a determinado tipo de clima.

O conceito de conforto térmico envolve aspectos climáticos, biológicos e psicológicos implicando equilíbrio energético entre o homem e o meio. A temperatura do ar é uma variável que importa de forma mais direta no conforto térmico, mas não pode ser aferida sozinha, pois o conforto térmico é consequência da interação de um conjunto de condições.

Segundo Monteiro (2003, p. 48)

[...] a análise termodinâmica da cidade, fornece a informação básica ao arquiteto e ao urbanista. É exatamente nesse nível de criação dos espaços habitacionais e urbanos que se estabelecem os mecanismos de reciclagem e adaptação do sistema urbano ao clima em especial e a qualidade do ambiente de modo mais abrangente, (MONTEIRO, 2003, p. 48).

Romero (2001) afirma que as formas urbanas redesenham o meio, como pode ser visualizado na densidade e geometria das verticalizações que tornam a superfície cada vez mais rugosa influenciando na circulação do ar, no transporte de calor e vapor d'água e na existência de áreas sombreadas devido às barreiras formadas pelas edificações, que funcionam como obstáculos para incidência dos raios solares. Segundo Nikolopoulou (2001), as condições de conforto térmico afetam o comportamento das pessoas e o uso dos espaços abertos.

De acordo com Fanger (1970), a razão de criar-se condições de conforto térmico, reside no desejo do homem sentir-se termicamente confortável.

Perante a grande quantidade de variáveis, sejam elas ambientais como individuais, a serem consideradas na sensação térmica foram criados diversos índices de faixas de conforto térmico. Todas as variáveis do clima que agem no conforto térmico são alteradas pela ação antrópica, que tem no aperfeiçoamento da estrutura urbano um dos principais impactos.

Para Ruas (2001) o “índice de conforto é um parâmetro que representa o efeito combinado das principais variáveis intervenientes. Através dele é possível avaliar a situação de conforto térmico de um ambiente, bem como obter subsídios para melhor adequá-lo às necessidades humanas”.

2.3 Modelagem matemática como um viés para análise climática

Entende-se a modelagem matemática como um recurso matemático utilizado pelo homem para buscar a compreensão de determinado fenômeno por meio de um modelo. Segundo Bassanezi (2010, p. 16), a modelagem matemática consiste na arte de transformar problemas da realidade em problemas matemático e resolvê-los interpretando suas soluções na linguagem do mundo real.

Santos (2015) coloca que na modelagem matemática estão envolvidos um fenômeno real e a construção de um modelo por meio de conceitos matemáticos, com vistas a antecipar a evolução desse fenômeno. No passado a modelagem matemática não era muito difundida, poucos eram os pesquisadores que a utilizavam, contudo isso foi mudando com o passar do tempo e hoje são inúmeros os pesquisadores que a utilizam em diferentes áreas indo das ciências humanas até as

ciências naturais. A modelagem matemática segundo Bassanezi (2002) é um processo dinâmico utilizado para a obtenção e validação de modelos matemáticos.

Skilling (1964) argumenta que os modelos, enquanto recursos metodológicos, podem ser hipóteses, hipóteses não testadas ou insuficientemente testadas, teorias, sínteses de dados, funções, relações ou equações. Conforme Biembengut e Hein (2013) nessa perspectiva, a modelagem passa a ser um conjunto de símbolos e relações matemáticas que procura traduzir, de alguma forma, um fenômeno em questão ou um problema de situação real, sendo denominado “modelo matemático”. Santos (2015) afirma que um modelo pode ser formulado em termos familiares, utilizando-se de expressões numéricas ou fórmulas, diagramas, gráficos ou representações geométricas, equações algébricas, tabelas, programas computacionais etc. Seja como for, um modelo matemático retrata, ainda que em uma visão simplificada, aspectos da situação pesquisada, (BIEMBENGUT, 1999).

Inúmeros são os modelos existentes hoje para se fazer pesquisa, todavia a Climatologia utiliza os modelos para previsão regional e global, criação de cenários, simulação, análise de índices, avaliação e impacto de variáveis meteorológicas, entre outros. A escolha do tipo de modelo usado reflete o nível de informação disponível sobre o sistema e o nível da elaboração realizada sobre essa informação, o nível de compreensão dos fenômenos envolvidos e, finalmente, a própria complexidade do comportamento, (MADUREIRA, 1992).

Góis (2002) aponta que:

Os modelos climáticos quando considerados em relação ao planeta, originam os designados modelos de circulação geral (MCG) e têm como objetivo a interpretação do sistema climático (ou dos subsistemas que o compõem) à escala do globo terrestre. As suas estruturas estão alicerçadas em leis fundamentais da Física (lei da gravidade, 1ª e 2ª leis fundamentais da termodinâmica, lei fundamental da dinâmica e lei da conservação da massa), sendo-lhes posteriormente incorporados outros submodelos complementares para uma mais correta aproximação à realidade, (GÓIS, 2002, p.216).

Para Carfan et al. (2009) no estudo do clima urbano, muitos pesquisadores têm utilizados modelos para simular a dinâmica da atmosfera. Alguns autores 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. Além disso os modelos são capazes de simular cenários diversos por meio das forçantes antrópicas existentes, obtendo assim a possibilidade de criar cenários simulando o futuro, o passado e o presente na questão climática.

De acordo com Groat e Wang (2002) a pesquisa através de simulação é caracterizada pela geração de dados que podem ser aplicados de volta ao contexto do mundo real em seu benefício. Conforme apontado por Wardoyo et al. (2011), numerosos programas de simulação foram desenvolvidos para conduzir pesquisas sobre a relação entre arquitetura ou forma urbana e microclima, sendo que a base de cálculo desses modelos varia de cálculo empírico até o cálculo numérico e/ou matemático.

Francisco (2012) afirma que:

As pesquisas de simulação computacional podem fornecer vários tipos de informações sobre condições futuras, sendo assim, podem constituir-se em um importante instrumento para o processo de planejamento, gestão, políticas públicas e intervenções urbanas. A modelagem, no entanto é eficiente quando trata das trocas radiativas no canyon urbano, calculando as interreflexões da radiação de onda curta e as trocas de onda longa por aquecimento das superfícies, (FRANCISCO, 2012, p. 36).

Dentro das pesquisas de clima urbano pode-se citar alguns trabalhos que utilizaram modelos, como Junk, Helbig e Luers (2003) que estudaram a cidade de Trier na Alemanha, analisando a questão de poluentes, conforto térmico e ilhas de calor. Bruse (2007b), que utilizou o modelo *BOTworld* também chamado *Multi-Agent Systems* (MAS), para analisar a questão do conforto térmico em espaços urbanos abertos. Ali-Toudert e Mayer (2005) que estudaram a cidade Ghardaia na Argélia, entre outros, contudo já é viável a simulação das trocas de calor sensível em modelos físicos reduzidos com diferentes configurações para adensamento e altura em cidades tropicais continentais (ASSIS, 2000) e a simulação das condições de ventilação urbana com modelos físicos em túnel de vento e em modelos computacionais de mecânica de fluidos, (SILVA, 1999; PRATA, 2005).

Ferreira (2014) comenta que:

Estes modelos permitem ter uma visão de conjunto do ambiente, considerando simultaneamente suas características físicas (clima,

topografia, hidrografia, declividade), biótica (vegetação), socioeconômicas (aqui considerados os elementos derivados ou influenciados pela ação antrópica no ambiente urbano, como as edificações, taxa de impermeabilização, fator de visão do céu, vias de circulação, áreas verdes, etc), possibilitando operacionalizar em conjunto um grande número de variáveis, (FERREIRA, 2014, P.57).

Cabe salientar a utilização de modelos para previsão de mudanças climáticas, no entanto CHOU et al. (2014) explica que as projeções de mudanças no sistema climático são produzidas usando uma hierarquia de modelos climáticos que vão desde modelos climáticos simples, passando por modelos de média complexidade, até modelos de categoria Sistema Terrestre (*Earth System Models – ESM*).

2.4 Índices de conforto térmico: PMV/PPD

Baseado nos conceitos de conforto térmico, inúmeros foram os índices desenvolvidos para estimar e padronizar as sensações térmicas em escalas por diversos autores. Fanger em 1970 desenvolveu um método estatístico que calcula a sensação térmica de um grupo de pessoas e a porcentagem das pessoas insatisfeitas com a sensação térmica do ambiente, chamados de PMV e PPD - *Predicted Mean Vote* e *Predicted Percentage Dissatisfied* (Voto Médio Predito e Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas). Esses dois índices são a metodologia mais utilizada para calcular o stress térmico dos ambientes, pois trabalham com variáveis ambientais e fatores individuais para determinar a sensação térmica. Estes índices avaliam o ambiente térmico baseado na avaliação de seis fatores, sendo quatro fatores internos ou ambientais (temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar e umidade relativa do ar) e dois fatores externos ou pessoais (vestimenta e atividade), (BRODAY, 2013; GOUVÊA, 2004).

Ruas (2001) e Gouvêa (2004) colocam que o PMV, desenvolvido por Fanger em 1970, é o método mais conhecido e amplamente aceito para avaliação de conforto térmico. O modelo do PMV e PPD serviu e ainda serve como base para normas internacionais de conforto térmico como a ISO 7730 (2005) e ASHRAE 55 (2013) para ambientes com ar condicionado.

O índice do PMV pode ser calculado pela equação representada por:

$$PMV = (0,303 e^{-0,036M} + 0,028). [(M - W) - H - Ec - Cres - Eres]$$

ou

$$PMV = (0,303 e^{-0,036M} + 0,028). L$$

Onde:

PMV = voto médio estimado ou voto de sensação de conforto térmico

M = Atividade desempenhada pelo indivíduo/nível da atividade metabólica

L = Carga térmica atuante sobre o corpo.

W – Trabalho mecânico exterior.

H = Perda de calor sensível.

Ec = Troca de calor por evaporação na pele.

Cres = Troca de calor por convecção na respiração.

Eres = Troca de calor evaporativa, na respiração.

Sendo assim, após conhecer os parâmetros pessoais, resistência térmica, atividade e medindo-se os parâmetros físicos (conforme a norma ISO 7726/85), calcula-se o voto médio estimado.

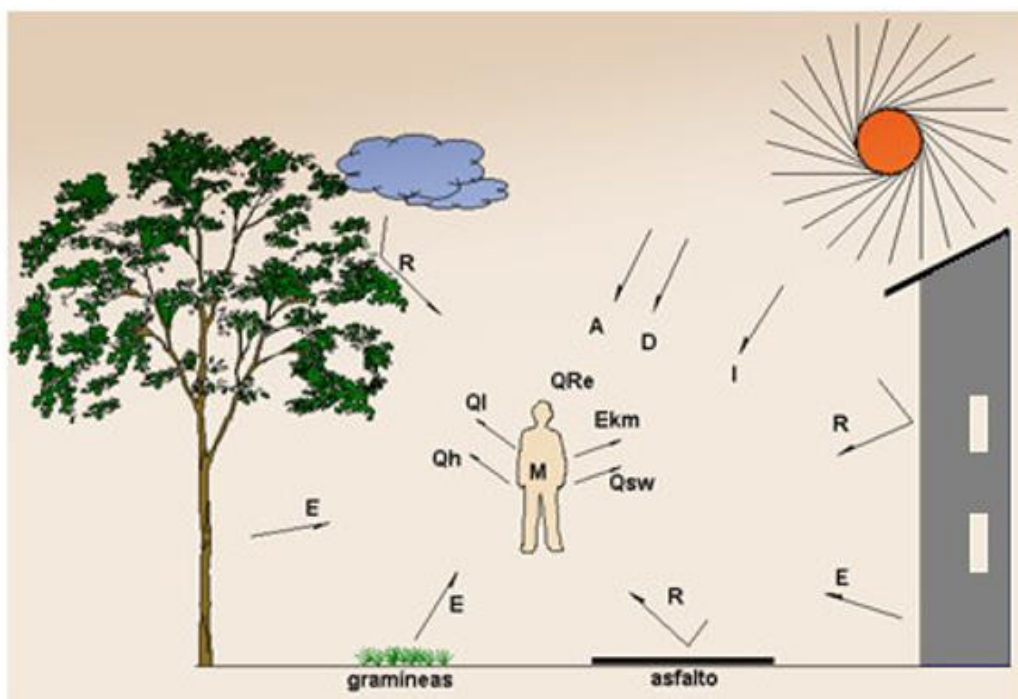
O PMV, como descrito por Bruse (2009a), “refere-se ao equilíbrio de energia do corpo humano em relação ao sentimento pessoal dos indivíduos expostos a determinados climas”. Deste modo para se obter o PMV é necessário calcular o valor da atividade que venha a ser desempenhada pelo valor da carga térmica que atua sobre o corpo do indivíduo, obtendo assim o voto médio estimado, ou seja, a sensação de conforto térmico sobre o local.

Jendritzky e Nubler (1981) apresenta na Figura 1 os componentes do balanço de energia radiante em áreas abertas. Onde:

- 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.
- Ekm = radiação de onda longa emitida pelo homem.

- Q_h = fluxo turbulento de calor sensível.
- Q_{sw} = fluxo turbulento de calor devido à transpiração.
- Q_1 = fluxo turbulento de calor latente devido à difusão de vapor.
- Q_{Re} = fluxo de calor pela respiração (sensível e latente).

Figura 1: Componentes do balanço de energia radiante.



Fonte: Jendritzky e Nubler (1981). Adaptado por Carfan (2011).

Sendo assim para Fanger (1970), a primeira condição para que uma pessoa esteja em conforto térmico, é que a mesma se encontre em balanço térmico, isto é, que todo o calor gerado por seu organismo seja transferido na mesma proporção ao ambiente, através das perdas por convecção, radiação, evaporação e eventualmente também por condução através das roupas.

Perante isso Xavier (2000) define o balanço térmico como a relação entre o homem e o ambiente podendo ser entendido como o equilíbrio existente na produção de calor verificada no interior do organismo humano, através de processos metabólicos e a dissipação desse calor ao ambiente.

Para Fanger (1970), haverá sempre uma quantidade mínima de 5,0 % de insatisfeitos em um grupo com relação ao ambiente térmico, mesmo que a sensação média térmica entre eles seja igual à zero.

O índice PMV, desenvolvido por Fanger (1972) sob condições climáticas controladas (câmaras climatizadas) e adaptado para áreas externas por Jendritzky (1993), varia de -3,0 (muito frio) a +3,0 (muito quente), podendo atingir valores menores ou maiores. Vale destacar que como os resultados do PMV são obtidos por meio de um clima local, os valores podem estar acima de 3 ou abaixo de 3.

Entretanto, segundo a ISO 7730, o índice PMV indica a sensação térmica das pessoas, que varia em sete pontos como mostra a Tabela 1.

Tabela 1: As classificações e suas características.

+ 3	Muito quente
+2	Calor
+1	Leve sensação de calor
0	Confortável (neutralidade térmica)
-1	Leve sensação de frio
-2	Frio
-3	Muito frio

Fonte: Fanger (1970).

Nota-se que os valores positivos correspondem a situações de desconforto por calor, o valor zero, de conforto e valores negativos, desconforto por frio.

De acordo com essa escala, o conforto térmico estaria na faixa de -0,5 a +0,5, caracterizado pela neutralidade térmica, isso é pela “condição na qual uma pessoa não prefira nem mais calor nem mais frio no ambiente a seu redor”, (FANGER, 1970 *apud* LAMBERTS; XAVIER, 2002).

Segundo Jendritzky et al. (1990) a Temperatura Média Radiante (TMR) é a principal variável para descrever a sensação térmica em áreas abertas, principalmente áreas com maior incidência de radiação solar, sendo assim o cálculo da TMR passa a ser um dos mais importantes e utilizados para se calcular o PMV.

O índice do PMV está diretamente relacionado ao índice de PPD, que indica a percentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico, onde seu valor pode ser obtido a partir dos dados do PMV.

Deste modo o índice de PPD vai estabelecer a quantidade de pessoas insatisfeitas termicamente com o ambiente, se baseando na porcentagem de um

grupo grande de pessoas que vai apontar que gostaria que o local estivesse mais quente ou mais frio, votando na escala das sete sensações desenvolvida por Fanger (1970), presente na Tabela 1.

Para o cálculo do PPD usa-se:

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

Segundo Fanger (1970), as pessoas que votaram +1 ou -1 na escala de sensações ou percepções, não foram considerados como insatisfeitos para determinação do PPD, pois elas não manifestavam uma situação de desconforto bem acentuada. É importante destacar que agradar a todos termicamente em um ambiente não é possível, uma vez que existem diferenças individuais. Sendo assim, diz-se que um ambiente é aceitável termicamente, quando o mesmo apresenta combinações das variáveis físicas que o tornem desconfortável para o menor número de pessoas possível, (ISO 7730, 1994).

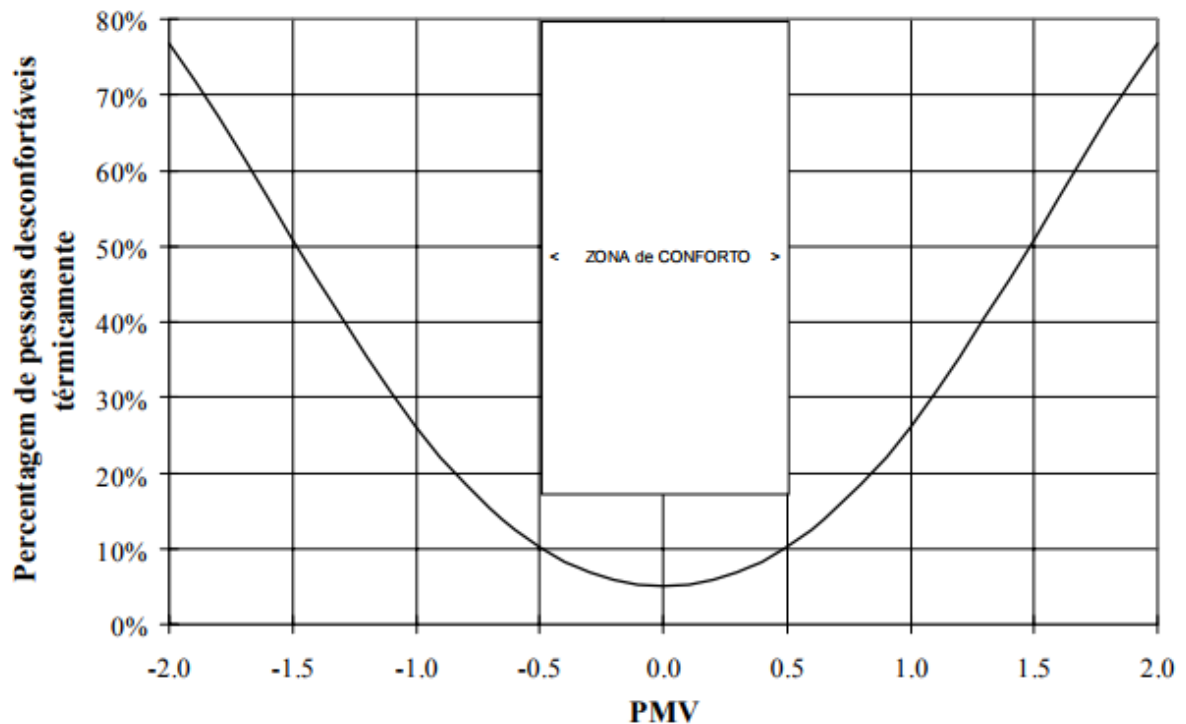
Sobretudo esse índice vai ser um importante recurso para análise do conforto térmico, pois segundo as normas da ISO 7730, um recinto será considerado termicamente confortável quando o PPD não supera o valor de 10,0 %.

Para o cálculo do PMV, os valores utilizados foram pautados com base na literatura comumente mais usada, sendo:

- Atividade: caminhando na horizontal com $v = 0,88 m/s$.
- Metabolismo = $116 W/m^2$.
- Índice de resistência térmica = $0,5 C/o$ (isolamento térmico das roupas utilizadas ("clo" de clothes, $1 C/o = 0,155 m^2 \frac{K}{W}$ (Kelvin/watt)).

Ressalta-se que para um local estar dentro do que se conhece por conforto térmico, segundo a ISO o PMV tem que estar entre -0,5 a +0,5 correspondendo diretamente ao máximo de 10/5 de pessoas insatisfeitas, salientando um índice de PPD a 10,0 %, como mostra a Figura 2.

Figura 2: Índice de PMV em relação ao PPD de 10,0 %.



Fonte: IST /DEM-Mestrado – Conforto Térmico – Miguel P. N. Águas – 00/01

Fanger (1970) aponta que a variação do PPD com o PMV corresponde exatamente a uma curva da Gauss invertida.

Sendo assim nota-se que os índices de PMV e PPD conseguem representar bem as sensações de conforto térmico e desconforto de um ambiente, tornando-se excelentes índices para estimar os níveis de conforto.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Analisar o conforto térmico em determinada área de Sorocaba, tendo como principal ferramenta o modelo ENVI-met para simulação das variáveis meteorológicas, por meio dos índices de conforto térmico PMV (*Predicted Mean Vote*) e PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*), que serão dados pelo modelo, considerando o mais adequado para a análise do conforto térmico na cidade. Para tanto, serão consideradas as seguintes variáveis meteorológicas: direção e velocidade do vento, temperatura do ar, umidade específica, umidade relativa e conforto térmico em áreas abertas para determinar termicamente o conforto ou desconforto térmico pelo calor ou frio na cidade.

3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram:

- a) Verificar o fluxo dos ventos, da umidade relativa e da temperatura em dois pontos com características diferentes no centro da cidade de Sorocaba, sendo eles espaços urbanos densamente povoados e espaço urbano permeável.
- b) Estabelecer os valores dos índices de conforto térmico PMV e PPD e criar gráficos.
- c) Analisar as variáveis (vento, temperatura e temperatura média radiante) para área virtual criada no modelo para o centro da cidade.

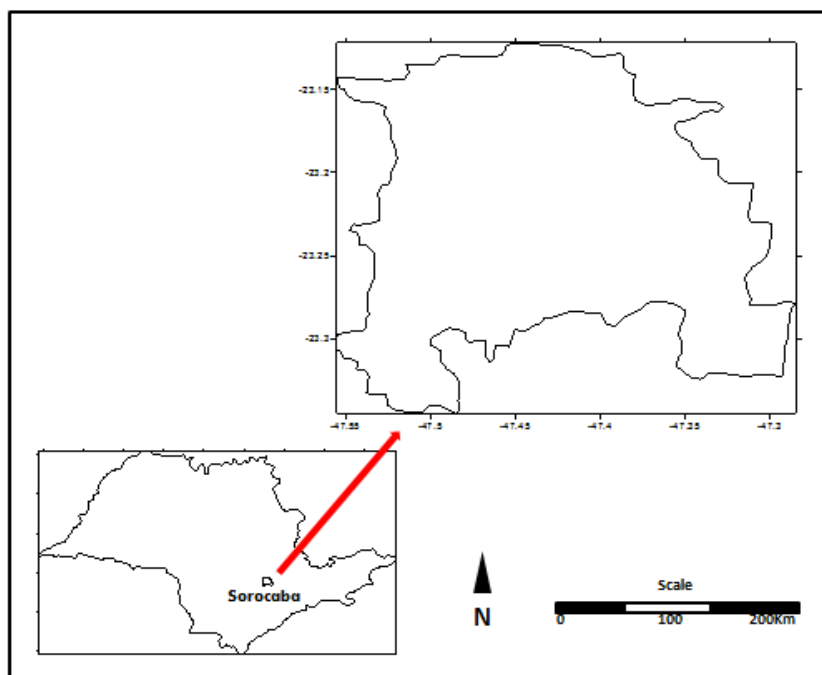
4 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS

4.1 Área de estudo

O município de Sorocaba se encontra sob o Trópico de Capricórnio na porção sudeste do interior do estado de São Paulo, entre as seguintes coordenadas:

23°21' e 23°35' de latitude Sul e 47°17' e 47°36' de longitude Oeste (Figura 3). Possui uma área de 450 km² e uma população de 652.481 habitantes, sendo, aproximadamente, 98,0 % considerada urbana, (IBGE, 2015).

Figura 3: Localização de Sorocaba no estado de São Paulo.



O clima da região segundo Köppen é descrito como “Cfa” (subtropical quente). Sua temperatura média anual de 21,4 °C, a altura pluviométrica anual média é 1.285 mm, (EMBRAPA, 2003). Na região encontram-se solos pertencentes predominantemente às classes de Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico e Latossolo Vermelho distrófico (Oliveira et al. 1999). Sua vegetação é predominantemente Mata Atlântica, mas se encontra alguns resquícios de pequenas manchas de cerrado. Em termos geomorfológicos situa-se na borda da Depressão Periférica Paulista, na linha de Queda Apalachiana, segundo Aziz Ab'Saber (1969).

A cidade possui um poder econômico relativamente alto, sendo responsável por 1,8 % do PIB (Produto Interno Bruto) paulista, segundo a Fundação Seade, (SEADE, 2014). Possui localização privilegiada, próximo às rodovias Castelo Branco e Raposo Tavares que ligam aos grandes centros de consumo. Hoje se pode dizer que Sorocaba é uma região geoestratégica e geoeconômica muito importante, fator esse que favorece muito o seu desenvolvimento constante.

Realizaram-se simulações para duas áreas distintas na cidade de Sorocaba, sendo todas elas dentro da área urbana. As simulações foram realizadas no dia 22/12/2016 para o período de verão, no entanto é importante ressaltar que para a simulação realizada nesta data deve-se levar em consideração a trajetória do Sol, uma vez que marca o período de solstício. Já para as simulações realizadas no período de inverno foi dia 23/07/2017. A escolha do ponto para instalação da estação meteorológica ocorreu em função da segurança dos equipamentos e da arquitetura do local em função das dinâmicas climáticas e urbana local como mostra a Figura 4, a $23^{\circ}30'00''\text{S}$ e $47^{\circ}27'16''\text{W}$.

Figura 4: Imagem da área de estudo.



Fonte: Google Earth, 2017.

Já as áreas escolhidas para análise e simulação, foram baseadas segundo a classificação de Luchiari, Martini e Silva, 2009, que caracterizam o urbano denso e o urbano permeável (Quadro 1).

Quadro 1: As classificações e suas características.

<u>URBANO DENSO</u>	<u>URBANO PERMEÁVEL</u>
Área central da cidade, densamente urbanizada, predomínio de comércios, prédios e lojas.	Área central da cidade, com a presença de áreas verdes e com menor densidade de construção.

Fonte: Luchiari, Martini e Silva (2009). Adaptado pela autora.

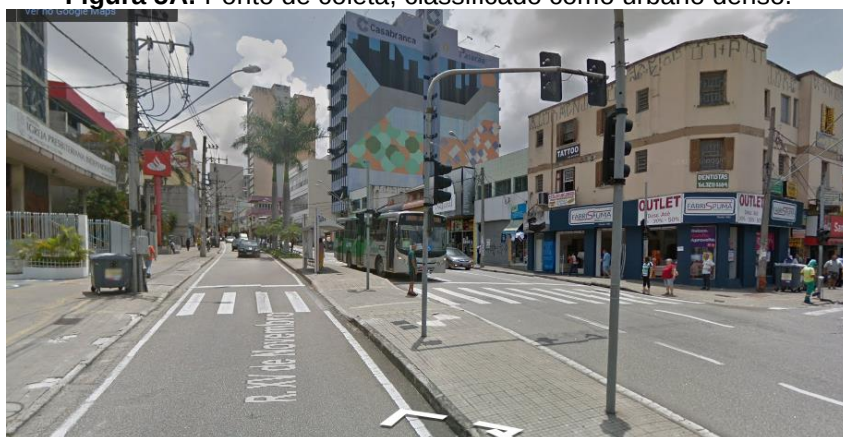
A Figura 5 e 5A mostra o ponto que representa o urbano denso, escolhido na cidade de Sorocaba. A Figura 6 e 6A identificam o ponto na cidade que representa o urbano permeável, com aspecto de urbanização diferente e a presença de áreas verdes, ambos locais escolhidos para gerar as simulações.

Figura 5: Imagem da área de estudo.



Fonte: Google Earth, 2017.

Figura 5A: Ponto de coleta, classificado como urbano denso.



Fonte: Street View, 2017.

Figura 6: Imagem da área de estudo.



Fonte: Google Earth, 2017

Figura 6A: Ponto de coleta, classificado como urbano permeável.



Fonte: Street View, 2017.

4.2 Modelo Microclimático ENVI-met

O modelo microclimático ENVI-met foi desenvolvido por Michael Bruse, na Alemanha. O *software* cria simulações de espaços reais por meio das variáveis microclimáticas, que se interagem por meio da superfície, vegetação e atmosfera, criando assim modelos microclimáticos por meio de inúmeros cálculos estatísticos e sendo representado por mapas 3D.

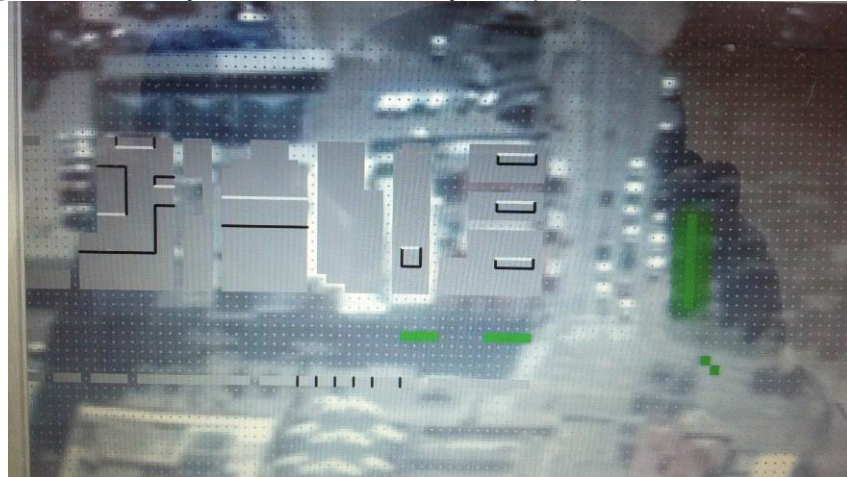
Para trabalhar com o modelo a metodologia baseou-se na elaboração de cenários preditivos por meio do *software* ENVI-Met, (BRUSE; FLEER, 1998). Como todo programa o modelo necessita de dados de entrada. Sendo assim a área de estudo foi modelada no programa e os dados das variáveis meteorológicas coletados na estação meteorológica instalada no centro da cidade de Sorocaba. De acordo com Bruse (2008), o cálculo do balanço de energia é realizado por meio das seguintes variáveis: radiação, reflexão e sombreamento de edifícios e vegetação, fluxo do ar, temperatura, umidade, turbulência local e sua taxa de dissipação e as trocas de água e calor dentro do solo.

Maciel (2014) destaca que o *software* ENVI-met disponibiliza três aplicativos principais e um visualizador de resultados, sendo eles respectivamente: a *Area Input File* Editor (aplicativo de criação e construção da geometria do modelo), o *Configuration File* Editor (aplicativo que determinar os dados de entrada das variáveis para simulação de determinado caso), o ENVI-met *Interface* (*software* de simulação, que permite editar as configurações e selecionar as variáveis para os dados de saídas realizarem a simulação) e por fim o visualizador chamado Leonardo (que gera os mapas esquemáticos da área de estudo).

Para calcular os dados brutos e desenvolver a pesquisa, primeiramente foi necessária a construção da planta baixa dentro do modelo ENVI-met, que é feita por meio da captação de imagens de satélite do *Google Earth* do local desejado, em seguida é feito a construção e reprodução da área no programa, reproduzindo e construindo tudo que existe na imagem, desde ruas, casas, prédios, altura dos prédios, vegetações existentes, calçadas entre outros, como mostra a Figura 7. Vale ponderar que muitas vezes é necessário reduzir e cortar a área projetada, para que o modelo consiga se ajustar e reproduzir as simulações da melhor maneira possível, uma vez que se trata de um modelo microclimático que trabalha com áreas

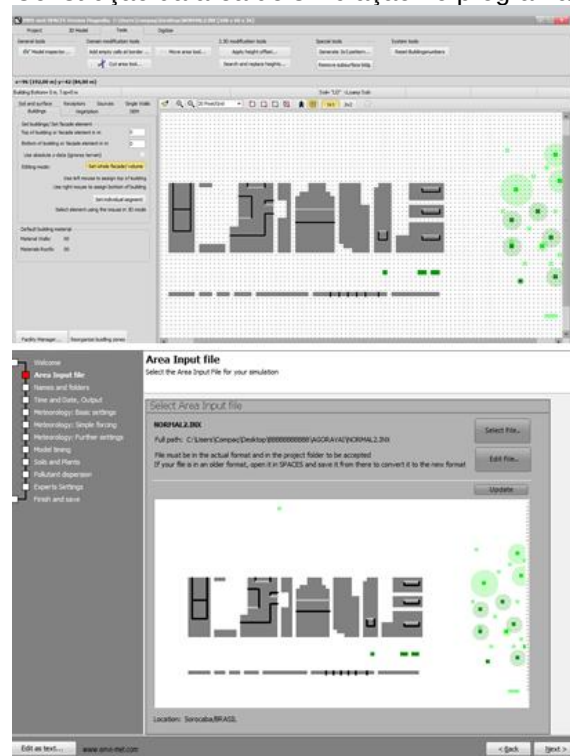
construídas com 100x100x40 m² de extensão para simulação de dados que vai da superfície até a atmosfera.

Figura 7: Construção da área de simulação no programa ENVI-met.



O modelo ENVI-met reconhece todo esse processo por meio de grades que correspondem a áreas com metragem específica de cada ponto da imagem construído. A partir daí se tem a planta baixa do local onde serão realizadas as simulações, como mostra a Figura 8.

Figura 8: Construção da área de simulação no programa ENVI-met.



Dessa forma a área de estudo fica pronta para ser introduzida com os dados meteorológicos que a estação instalada capta para realizar as simulações dentro do modelo. Sendo assim o *software* para rodar necessita das seguintes informações: Data de início da simulação, horário de início, período total de simulações, frequência de registro de dados no modelo, velocidade do vento, direção do vento, rugosidade da superfície, temperatura inicial, umidade específica e umidade relativa do ar. Para o respectivo trabalho os dados de abertura do modelo podem ser observados na Tabela 2 para a situação de verão e Tabela 3 para a situação de inverno, onde todos os dados foram simulados. Todos os dados (temperatura, umidade relativa, velocidade e direção do vento) inseridos no modelo foram obtidos a partir da própria estação que foi instalada no local.

Tabela 2: Dados principais de abertura do modelo ENVI-met 4.0 – Verão.

DADOS PRINCIPAIS	
Dia do início da simulação (DD.MM.AAAA)	= 22.12.2016
Horário do início da simulação (HH:MM:SS)	= 06:00:00
Total de horas de simulação	= 24,00
Salvar o modelo a cada? min	= 00:60
Vel. Vento a 10 m da superfície [m/s]	= 1,6
Direção do vento (0:N..90:E..180:S..270:W)	= 166
Temperatura do ar inicial [C]	= 26
Umidade específica em 2500 m [g /kg]	= 15
Umidade relativa em 2m [%]	= 49
[PMV]	Dados para o cálculo do 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

Tabela 3: Dados principais de abertura do modelo ENVI-met 4.0 – Inverno.

DADOS PRINCIPAIS	
Dia do início da simulação (DD.MM.AAAA)	= 23.07.2017
Horário do início da simulação (HH:MM:SS)	= 06:00:00
Total de horas de simulação	= 24,00
Salvar o modelo a cada? min	= 00:60
Vel. Vento a 10 m da superfície [m/s]	= 1.8
Direção do vento (0:N..90:E.180:S..270:W)	= 145
Temperatura do ar inicial [C]	= 9,0
Umidade específica em 2500 m [g /kg]	= 15
Umidade relativa em 2m [%]	= 63
[PMV]	Dados para o cálculo do 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

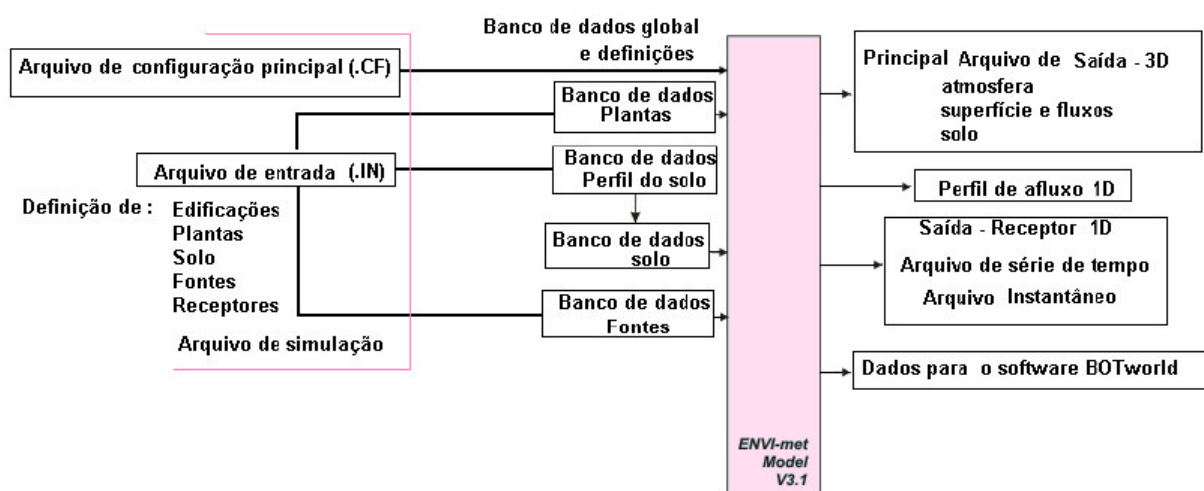
A partir das simulações realizadas pelo *software* ENVI-met 4.0 automaticamente o modelo cria um banco de dados com todos os resultados das diferentes variáveis que o *software* calcula para cada hora de simulação dentro da planta baixa da área de estudo, facilitando assim a ordenação dos dados e a visualização dos resultados, por meio dos mapas, maquetes e gráficos no formato de 1D, 2D e 3D (Figura 6, 7 e 11) que são construídos pelo programa em cima de cada variável que o programa calcula. Além disso, para visualização dos resultados obtidos pela modelagem, o programa oferece a ferramenta chamada LEONARDO para visualização dos dados.

Considera-se que para o presente trabalho as simulações escolhidas para análise dos dados foram em cima das seguintes variáveis: temperatura, TMR, vento, direção e dos índices de PMV e PPD.

4.3 Estrutura do modelo

O ENVI-met é um sistema de modelagem climática tridimensional que retrata diferentes aspectos climáticos, feito exclusivamente para realizar simulações entre a atmosfera, o solo, a vegetação e o clima. A Figura 9 mostra a estrutura e funcionamento do programa.

Figura 9: Estrutura do modelo ENVI-met versão português.



Fonte: ENVI-met. Adaptado por Carfan, 2011.

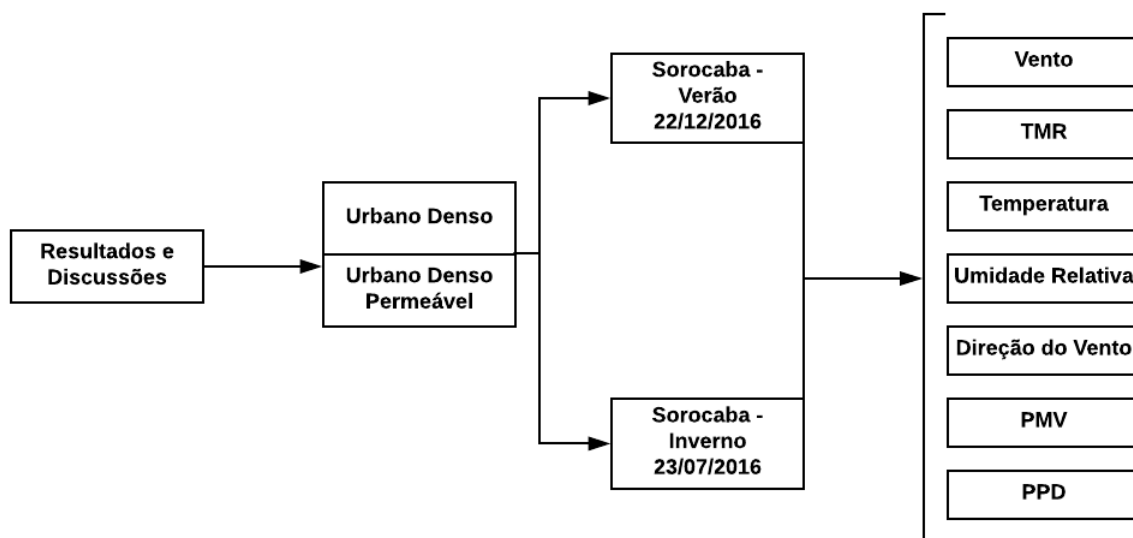
O modelo combina o cálculo dos parâmetros da mecânica dos fluidos, como a forma de escoamento e a ocorrência de turbulências, com os processos termodinâmicos que ocorrem nas superfícies dos solos, das construções e das plantas para prever o fluxo de ar entre as edificações, (SILVEIRA, 2008).

Segundo Carfan (2011) a principal diferença do Envi-met para os demais modelos é que ele além de se basear na mecânica dos fluidos também se baseia nas leis fundamentais da termodinâmica, o que é um avanço para o meio de programas existentes de simulações urbanas.

4.4 Fluxograma de orientação de resultados e discussão

Por ser uma pesquisa que envolve diferentes etapas de processos e análises a Figura 10, retrata o fluxograma mostrando de forma resumida todas as fases de desenvolvimento da pesquisa.

Figura 10: Fluxograma com as fases de desenvolvimento da pesquisa.



5 RESULTADOS E DISCUSSÕES PRELIMINARES

Situação de Verão

As simulações foram realizadas para o dia 22/12/2016 representando a situação de verão. A área modelada no programa está representada nas Figuras 11 e 12 no formato 3D para detalhar as construções presentes na área de estudo.

Figura 11: Simulação da planta da área de estudo em 3D.

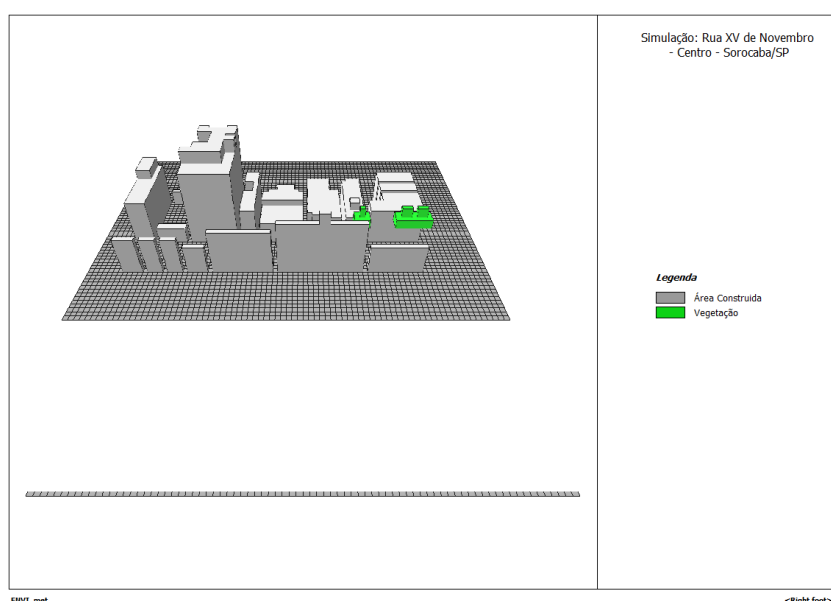
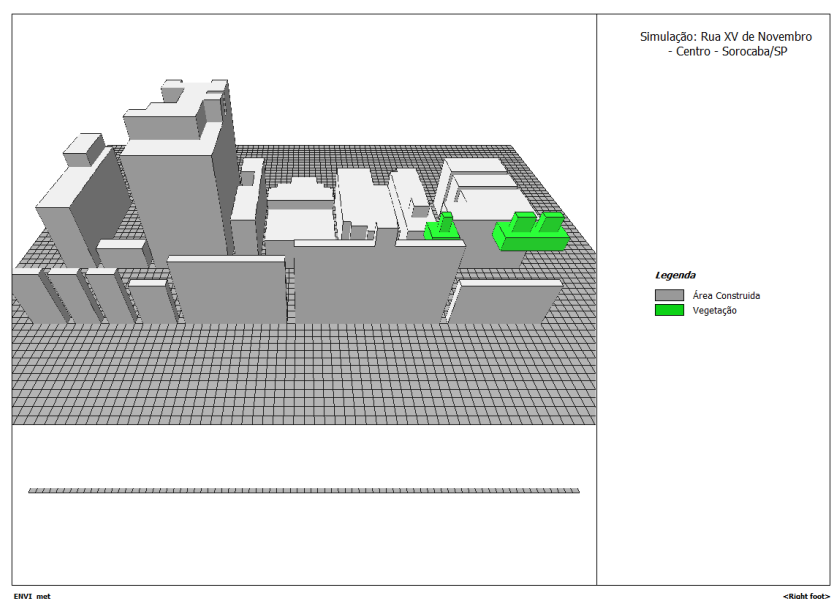


Figura 12: Simulação da planta da área de estudo em 3D com zoom.

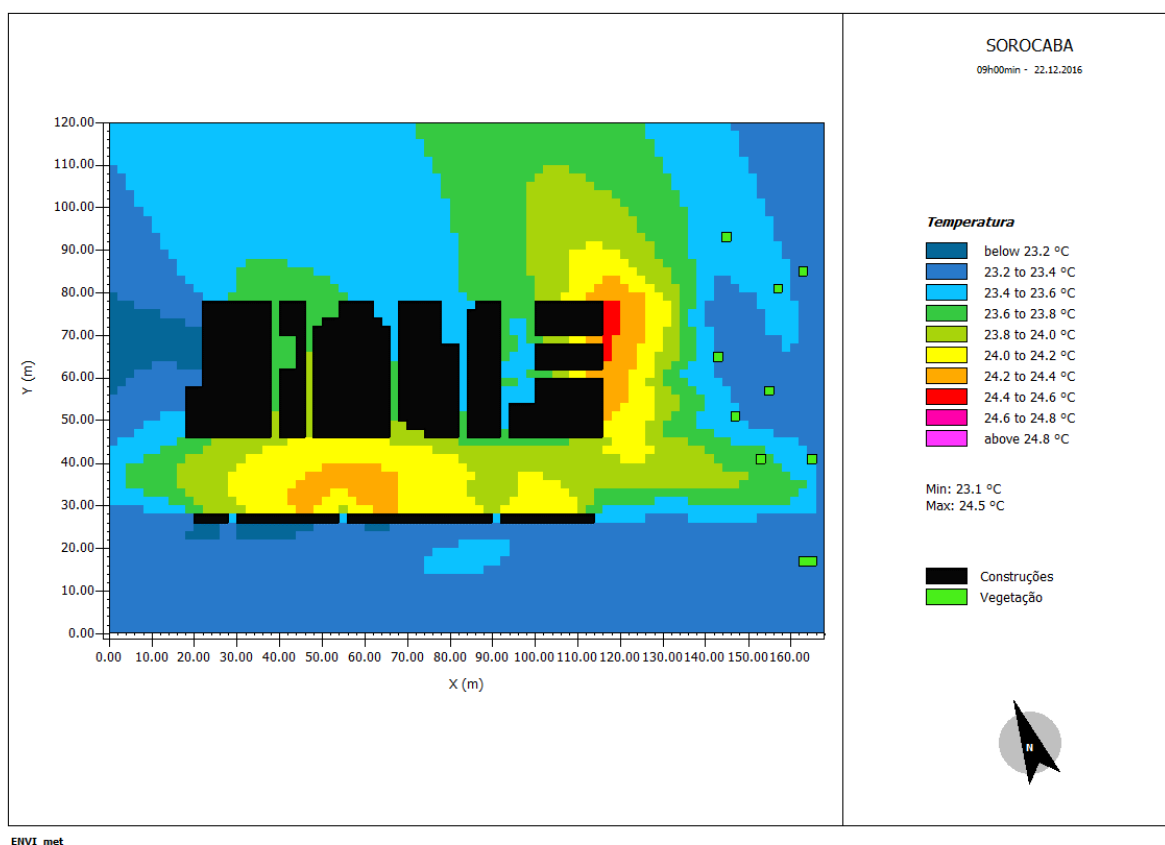


Trabalhou-se com duas modelagens diferentes para cada variável, uma às 09h00min e outra às 15h00min.

5.1 Temperatura

Dos resultados obtidos para temperatura observa-se que na primeira modelagem (Figura 13) a diferença dos valores para área toda não foi grande, ficando em torno de 1,0 °C, o que chama a atenção é a formação de um foco ou ilha que se concentra apresentando o maior valor encontrado para o período da manhã. Tal fato pode ser explicado pela altura dos prédios que se encontram naquela área, uma vez que ali se concentra as construções mais baixas.

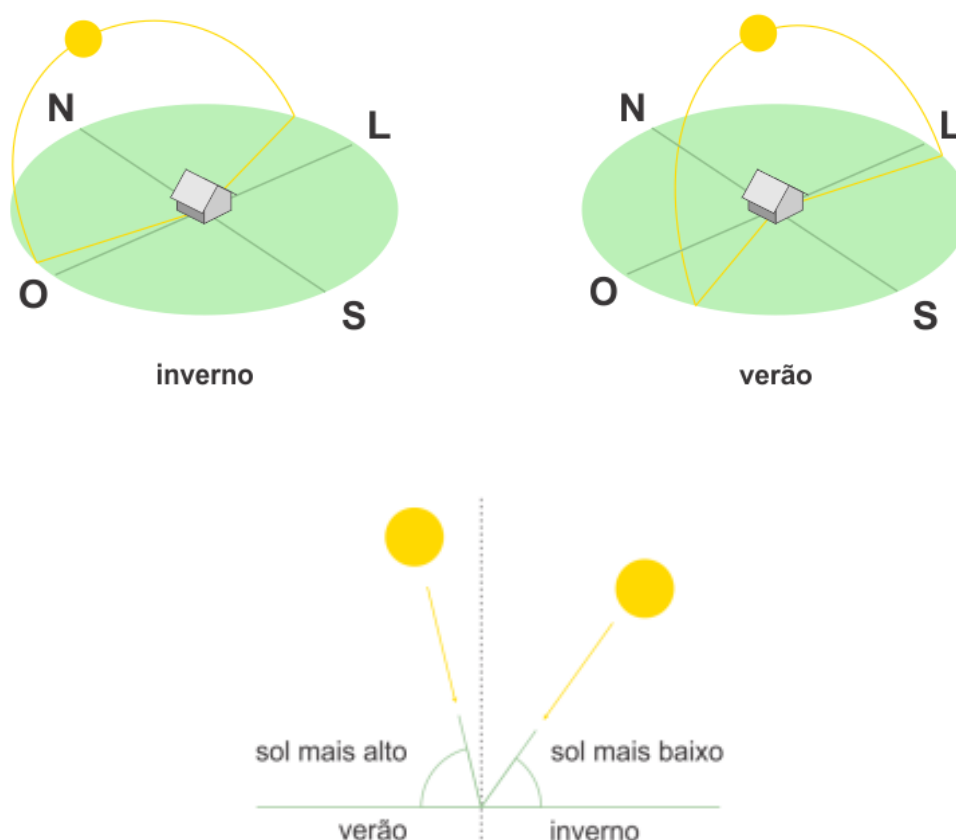
Figura 13: Simulação da temperatura para as 09h00min.



Outro ponto interessante que deve ser ressaltado é o nascer e o por do Sol (Figura 14), além da estação do ano, visto que são fatores que interfere diretamente na quantidade de radiação que chega e o horário em questão, lembrando que

apenas quando o Sol está a pino ou no ângulo zenit (momento em que o Sol está totalmente a cima da nossa cabeça) a radiação vai chegar igual em ambas as direções. Deste modo nota-se que devido ao horário da simulação (Figura 13) realizada e a trajetória do Sol, compreende-se o porque se tem um foco a norte da simulação em frente aos prédios de menor altitude.

Figura 14: Trajetória do sol.



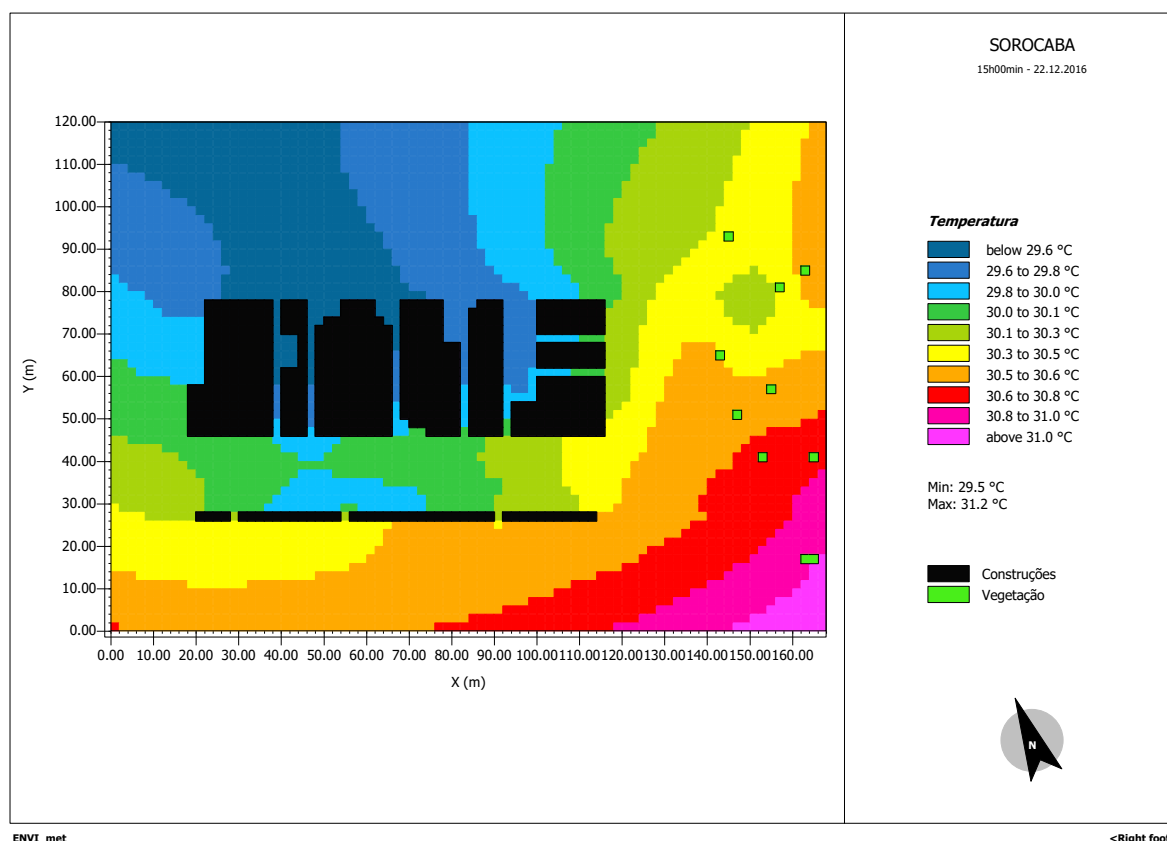
Fonte: Line (2016).

Para a simulação do período da tarde realizada às 15h00min, percebe-se que a amplitude térmica em relação ao período da manhã foi de 1,0 °C para 2,0 °C, todavia a espacialização das temperaturas na área de estudo se modificou bastante (Figura 15), uma vez que toda a área onde se encontra as ruas apresentou uma temperatura maior e mais uniforme, exceto em dois pontos na rua à oeste e nos vãos em meio aos prédios, onde estão as menores temperaturas da simulação registrando cerca de 29,0 °C, ou seja, 1,5 °C, aproximadamente, menor do que as

demais áreas. Essa diferença ocorre devido as sombras que os edifícios proporcionam, deixando nítido isso na simulação.

Gustavsson et al. (1995); Karlsson (2000) aponta que em áreas abertas ou acima das coberturas, as trocas térmicas ocorrem de maneira mais acelerada, enquanto os ambientes enclausurados retardam este processo, conservando por mais tempo a temperatura e obstruindo o ganho ou perda de radiação.

Figura 15: Simulação da temperatura para as 15h00min.



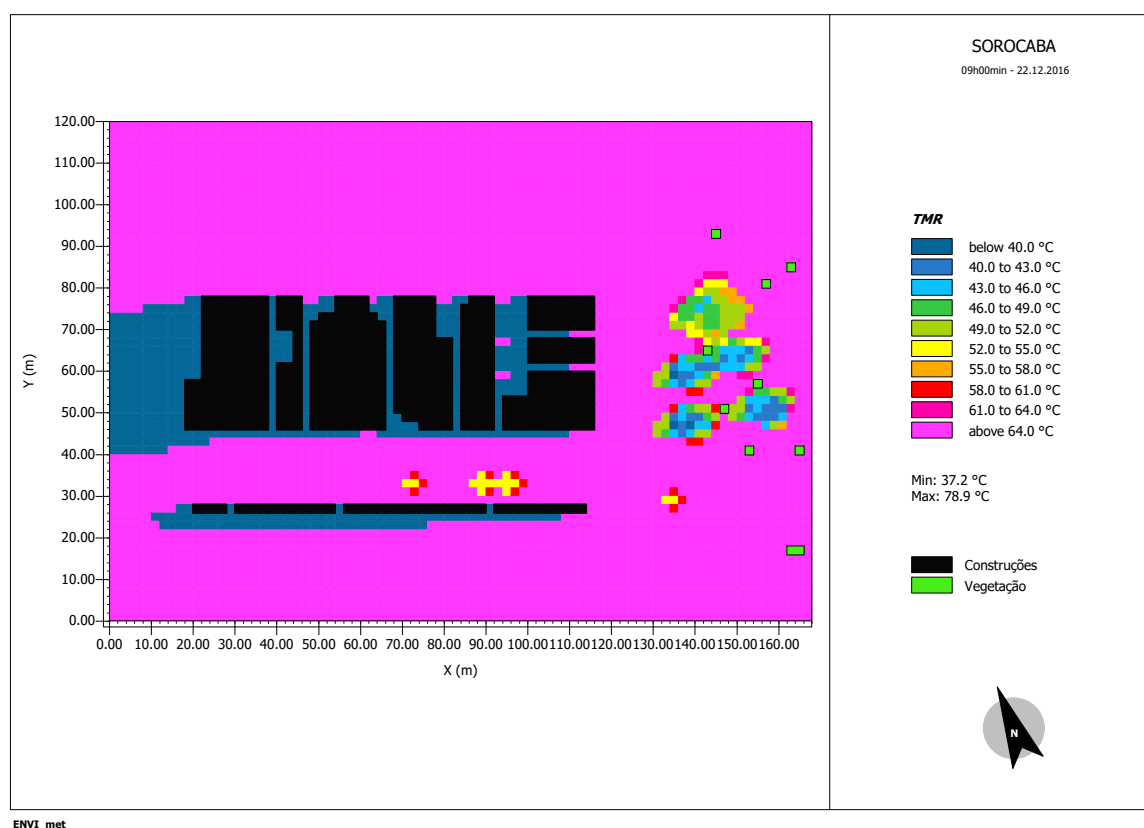
Percebe-se que do período da manhã para o período da tarde ocorre um aquecimento com aumento de temperatura de 8,0 °C. Os valores máximos de temperaturas ocorreram entre 12h00min e 15h00min, devido a posição do Sol e a incidência dos raios solares que chegam e aquecem a superfície, contudo nota-se que a temperatura média da manhã fica em torno de 24,0 °C e a da tarde de 30,0 °C, tendo assim um aumento considerável, mostrando também como áreas urbanizadas, sem a presença de vegetação concentram temperaturas elevadas.

5.2 Temperatura Média Radiante (TMR)

A TMR é uma variável que auxilia no cálculo do *stress* térmico, ou seja, ela ajuda a medir o conforto térmico. Carfan (2011) coloca que a TMR é útil para análise do conforto, 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 do recinto real não uniforme. Sendo assim a TMR é uma variável ambiental que corresponde à temperatura média da superfície em relação aos elementos presentes no local.

As Figuras 16 e 17 mostram os valores obtidos da TMR da simulação realizada pelo modelo *Envi-met* para o centro da cidade de Sorocaba.

Figura 16: Simulação da TMR para as 09h00min.



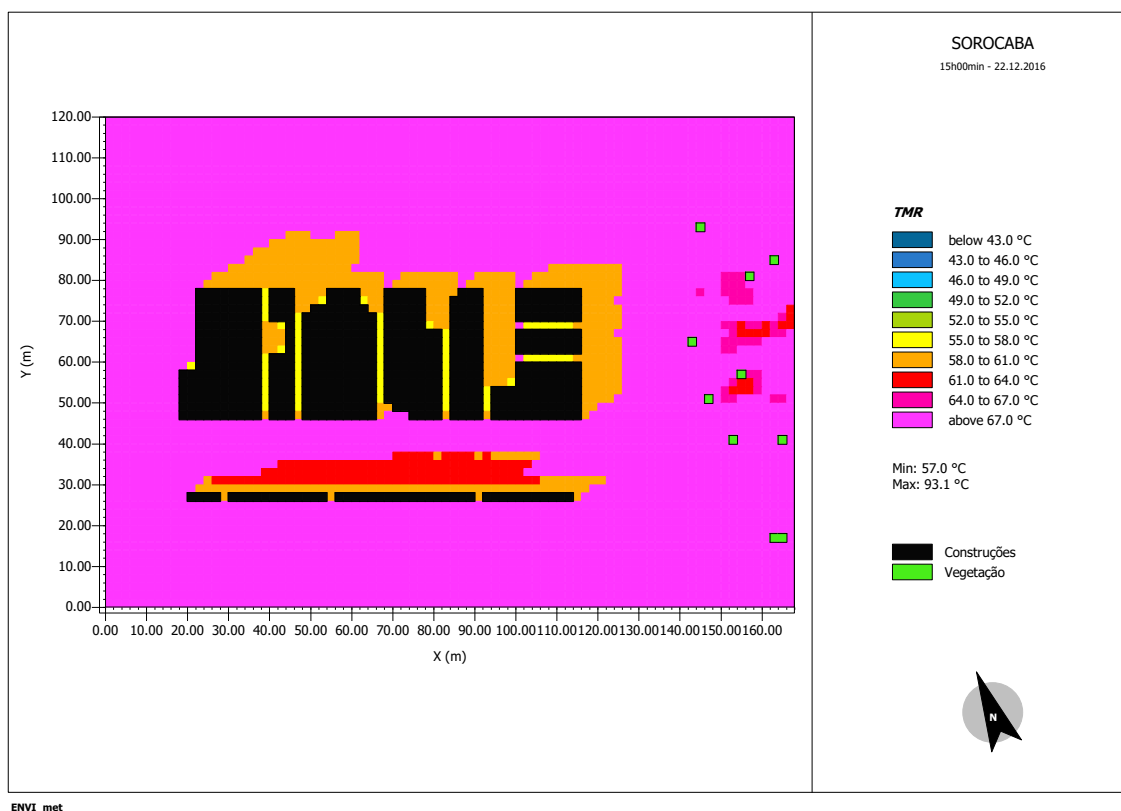
Segundo Ali-Toudert e Mayer (2006) o conforto térmico é fortemente dependente dos fluxos de radiação representados pela TMR. Sendo assim a ISO 7730 recomenda que a TMR esteja entre 10,0 °C e 40,0 °C.

No período da manhã os valores obtidos da temperatura média radiante variaram tendo uma mínima de 37,2 °C e uma máxima de 78,9 °C, onde próximo as construções encontra-se os menores valores, devido as alturas das construções e o sombreamento causado. Já em todos pontos onde existe a presença de vegetação a TMR varia de 43,0 °C até 61,0 °C, explicação essa que ocorre em função do fator visão céu. A presença de árvores reduz a radiação direta que chega no ambiente, visto que gera a mesma gera sombra.

Para o período da tarde, a simulação das 15h00min (Figura 17) apresenta os maiores valores da TMR, tendo uma máxima de 93,1 °C e uma mínima de 57,0 °C, ou seja, todos valores acima do que recomenda a ISO 7730.

Comparando as simulações da manhã e da tarde percebe-se que a da tarde vai apresentar os maiores valores principalmente devido a angulação do Sol, uma vez que para o período da tarde nem mesmo onde se tem presença de vegetação ocorreu valores menores de TMR, ficando nítido assim a trajetória que sol percorre durante o dia e como isso reflete nas rugosidades das construções, influenciando a questão do sombreamento e o aquecimento da superfície.

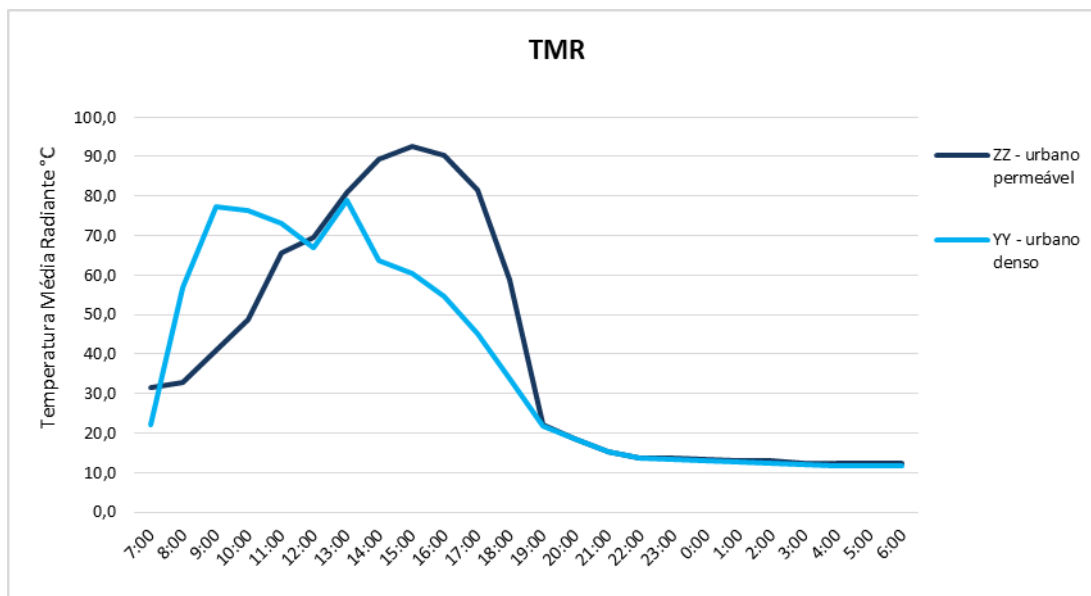
Figura 17: Simulação da TMR para às 15h00min.



Os valores apresentados em ambas às simulações estão acima dos valores recomendados pela ISO 7730 que define o estado médio de conforto térmico, com base na TMR.

Para análise realizada no decorrer do dia (Gráfico 1) nota-se que das 8h00min até 18h00min a temperatura média radiante ficou acima de 40,0 °C, chegando a atingir o pico 79,0 °C às 13h00min nos locais onde não se tem vegetação. Já no ponto onde existe a presença de vegetação a TMR também fica acima dos 40,0 °C, no período da tarde e da manhã, contudo ela tem sua máxima registrada às 15h00min, chegando a 92,0 °C no urbano permeável, devido aos materiais, já no urbano permeável as temperatura aumenta mais rápido, mais também diminui mais rápido do que na área permeável. Somente à noite ambos os pontos apresentam uma TMR constante e dentro dos limites estabelecidos pela ISO 7730.

Gráfico 1: Variação da TMR durante o dia.



5.3 Umidade Relativa

Dos resultados obtidos para umidade relativa foi possível relacionar o microclima da cidade com a saúde, com base na tabela do Cepagri/Unicamp (2011), que mostra os possíveis riscos à saúde da população (Tabela 4) que estão ligados à umidade relativa do ambiente.

Tabela 4: Recomendações da Organização Mundial de Saúde para procedimentos nas diferentes faixas da umidade relativa do ar.

<u>ESTADO DE ATENÇÃO</u> <u>(DE 20 A 30%)</u>	• Evitar exercícios físicos ao ar livre entre 11 e 15 horas. • Umidificar o ambiente através de vaporizadores, toalhas molhadas, recipientes com água, molhamento de jardins etc; • Sempre que possível permanecer em locais protegidos do sol, em áreas vegetadas etc; • Consumir água à vontade.
<u>ESTADO DE ALERTA</u> <u>(DE 12 A 20%)</u>	• Observar as recomendações do estado de atenção; • Suprimir exercícios físicos e trabalhos ao ar livre entre 10 e 16 horas; • Evitar aglomerações em ambientes fechados; • Usar soro fisiológico para olhos e narinas.

<u>ESTADO DE EMERGÊNCIA</u> <u>(ABAIXO DE 12%)</u>	• Observar as recomendações para os estados de atenção e de alerta; • Determinar a interrupção de qualquer atividade ao ar livre entre 10 e 16 horas como aulas de educação física, coleta de lixo, entrega de correspondência etc; • Determinar a suspensão de atividades que exijam aglomerações de pessoas em recintos fechados como aulas, cinemas etc, entre 10 e 16 horas; • Durante as tardes, manter com umidade os ambientes internos, principalmente quarto de crianças, hospitais etc.
---	--

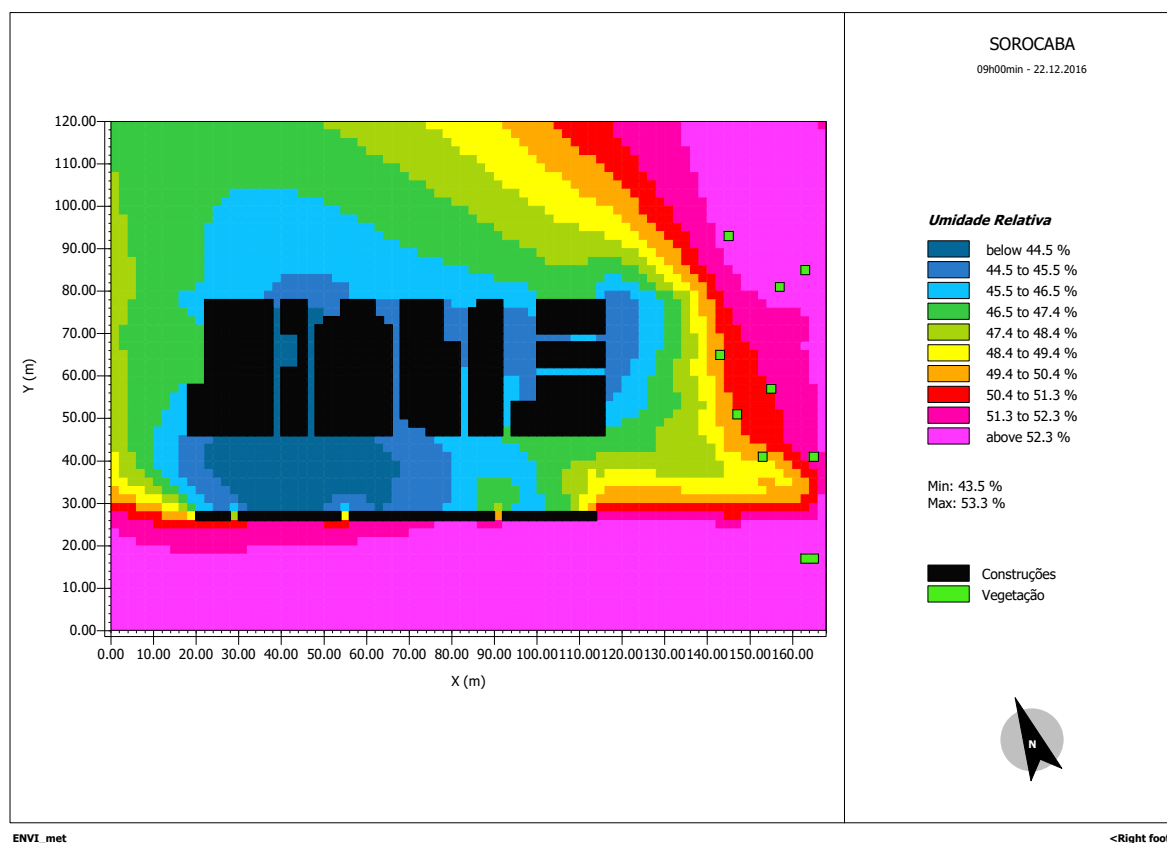
Fonte: CEPAGRI/UNICAMP (2011).

Ressalta-se que normalmente os dados registrados no período da manhã são mais altos quando comparados em relação aos do período da tarde, devido a questão do ponto de orvalho, que nada mais é do que a temperatura pela qual o ar deveria ser resfriado, com pressão constante para ficar saturado, ou seja, é a temperatura abaixo da onde a umidade começa a se condensar formando gotículas de água, interferindo assim no ar e deixando mais fresco e mais úmido.

Ometto (1981) aponta que a umidade relativa do ar é a porcentagem de vapor d'água existente no ar em relação ao máximo que poderia existir aquela temperatura.

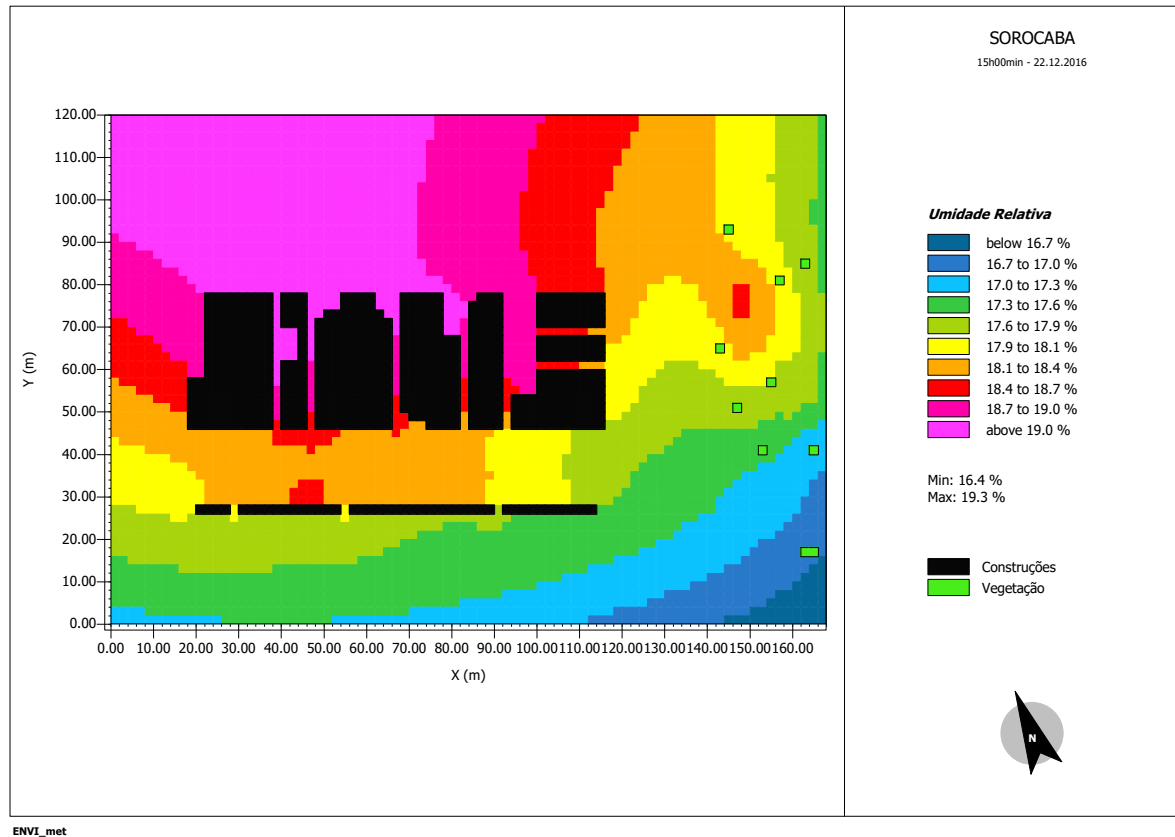
Verificou-se que na simulação realizada no período da manhã os resultados encontrados não afetam a saúde da população, pois todos os valores estão acima de 40,0 % de umidade relativa, o que é aceitável (Figura 18), mostrando assim que a quantidade de vapor d'água existente na superfície não interfere na questão fisiológica da população.

Figura 18: Simulação da umidade relativa para as 09h00min.



Já na simulação realizada às 15h00min a situação é outra, com valores diferentes, uma vez que os resultados encontrados foram muito baixos, girando em torno de 16,0 % a 19,0 % (Figura 19). Segundo a tabela do Cepagri/Unicamp (2011) para os resultados obtidos já entra em um estado de alerta para população, que deve ficar em atenção, evitando aglomerações e fazer o uso do soro fisiológico para os olhos e a narina, pois o ambiente é seco. Entretanto, esses valores são explicáveis por ser período de verão, onde as temperaturas durante essa época tendem a ser mais elevada. Sendo assim a umidade relativa do ar possui relação direta com a temperatura, visto que em razão de seu calor específico, tende a conservar por mais tempo a temperatura, fazendo assim com que haja uma menor variação delas, ou seja, a amplitude térmica é menor quanto maior for a umidade do ar. Nota-se que para circulação de pessoas na região simulada o melhor horário é no período da manhã, visto que apresenta uma temperatura menor e uma umidade relativa maior.

Figura 19: Simulação da umidade relativa para as 15h00min.



5.4 Velocidade e Direção do Vento

O vento é a diferença do gradiente de pressão atmosférica, que tem a capacidade de deslocar o ar, resultando em um fluxo. Para Tubellis e Nascimento (1984), zonas de maior pressão para as de menor, são influenciadas pelo movimento de rotação da terra, topografia, da força centrípeta ao seu movimento.

Sabe-se que o vento pode influenciar muito, tanto na agricultura quanto nas cidades e que se for bem planejado pode ser aproveitado para geração de energia, por ser uma energia renovável.

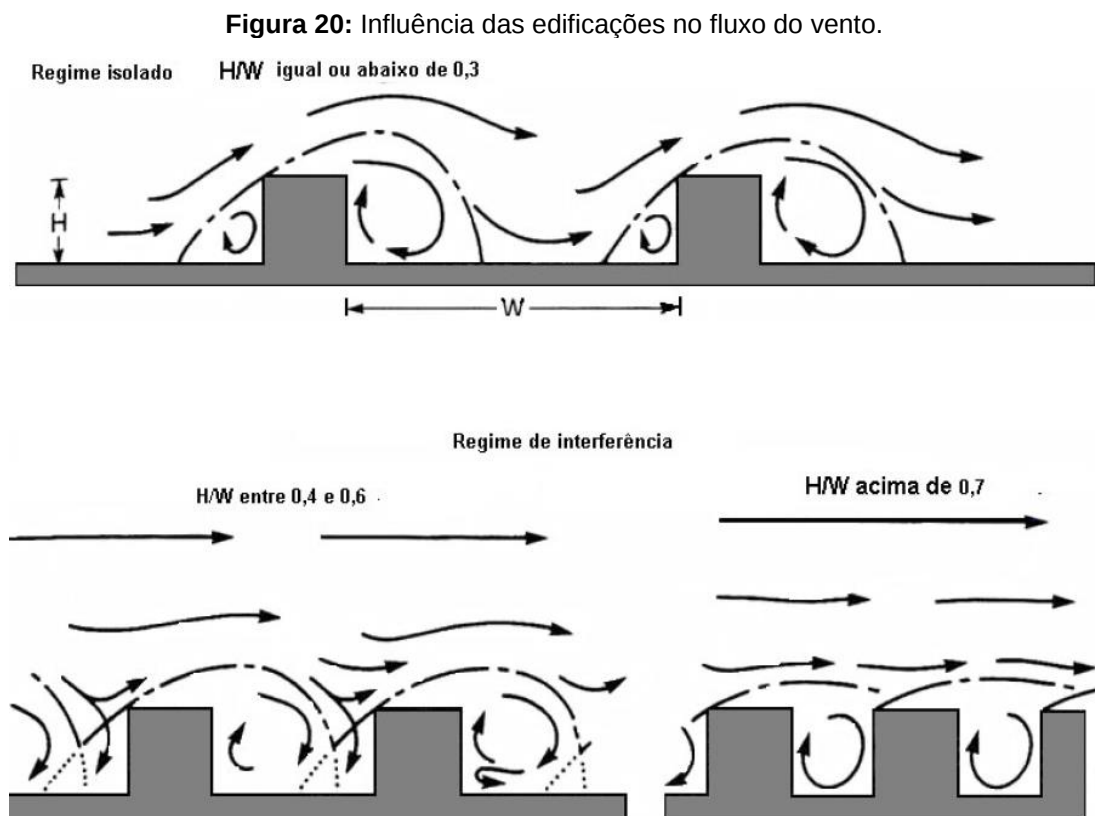
A priori é importante elucidar a relação do vento com a morfologia das cidades, visto que essa variável pode agir positivamente ou negativamente dentro das cidades.

Oliveira (1988) aponta que:

A orientação refere-se ao posicionamento apropriado da forma urbana frente aos caminhos aparentes do Sol, aos ventos e a elementos naturais

ou não, contudo significativos – o mar, uma encosta de montanha, um grande rochedo, um lago artificial etc. - seja para expor-se ou para abrigar-se, periódica ou permanentemente, aos e dos efeitos produzidos por esses elementos”, (OLIVEIRA,1988).

Segundo Oliveira (1988) é fácil observar como o clima urbano pode ser alterado em função da geometria do lugar e o quanto isso pode modificar o clima local. Segundo Oke (1998) a sotavento de cada edificação uma recirculação é formada, como mostra a Figura 20.



Fonte: Adaptado de Oke (1988).

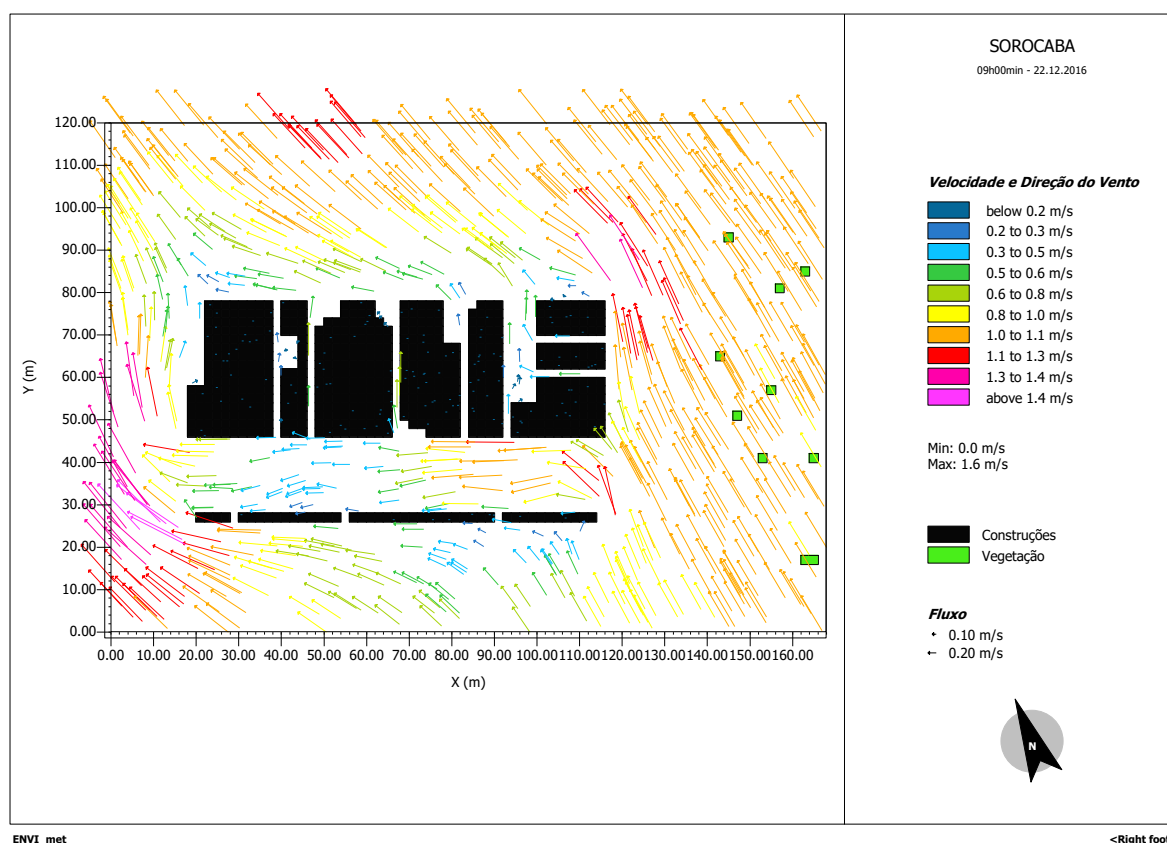
Carfan (2011) coloca:

Quando as edificações são bastante espaçadas entre si pode se formar redemoinhos à montante do fluxo. 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 próxima edificação. No regime a troca turbulenta que ocorre sobre as edificações dirige a recirculação para dentro do cânion (desfiladeiro ou vale urbano), (CARFAN 2011, p.61).

Para área estudada os resultados obtidos não mudaram muito nas diferentes simulações, ambos apresentaram valores entre 0,0 m/s a 1,6 m/s, todavia vale destacar que as Figuras 21 e 23 mostram os valores com a área simulada apresentadas de cima as construções, vegetações e ruas. Para a simulação realizada às 09h00min (Figura 21) a velocidade do vento foi de 0,2 m/s nas áreas próximas e entre as construções e de 1,4 m/s à noroeste próximo à rua.

Quanto a direção do vento na área de estudo, foi possível perceber que o sentido do vento está na direção SSE (sul-sudeste), o que está dentro do esperado para o mês de dezembro. Notou-se como as construções interferem diretamente na direção e velocidade do vento, uma vez que o vento tem que desviar e contornar o obstáculo, modificando assim sua trajetória.

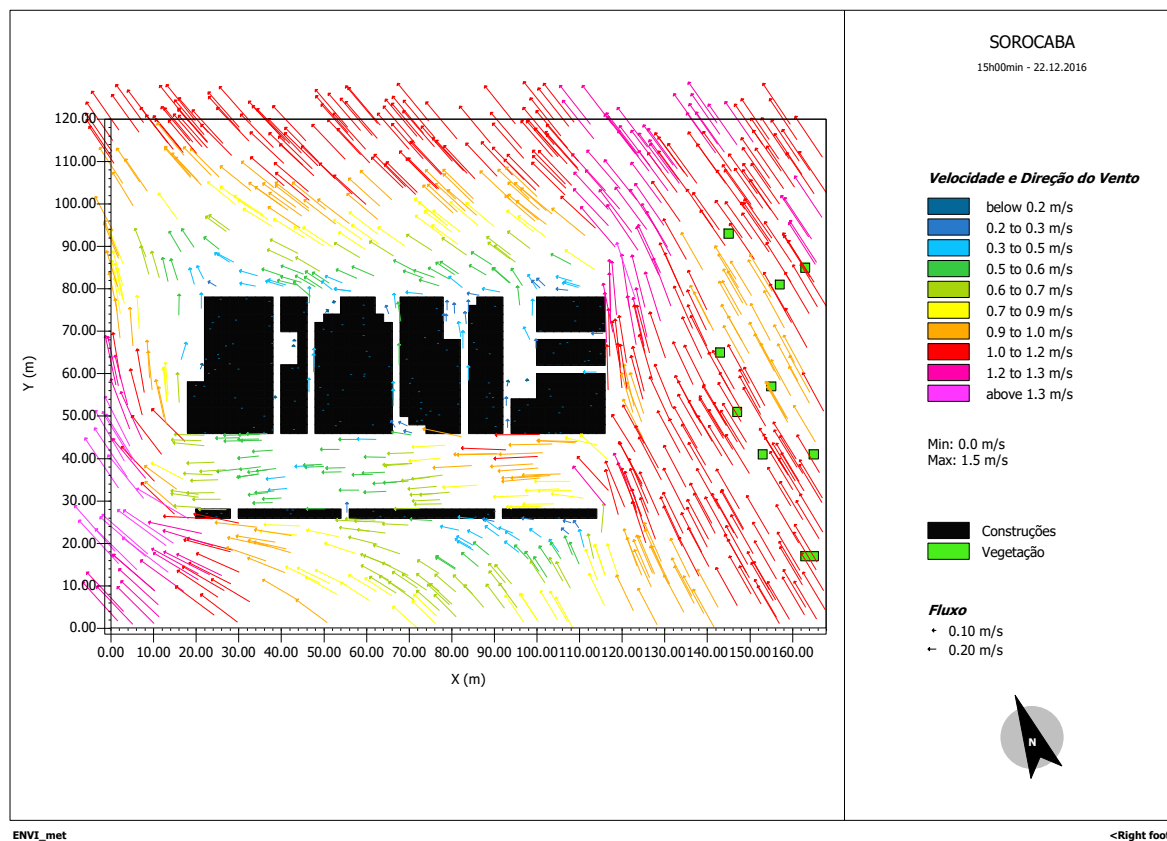
Figura 21: Simulação da velocidade e direção do vento para as 09h00min.



No período da tarde às 15h00min (Figura 22) o predomínio dos ventos foram de 1,0 a 1,2 m/s, apresentando a maior velocidade em torno de 1,5 m/s nos dois pontos extremos da simulação à leste a oeste. Observa-se o cânion de vento que se cria à noroeste da simulação na rua, onde conforme se canaliza o vento diminui o

fluxo, com velocidade inicial de 1,0 m/s no começo da rua para 0,6 m/s no centro da rua, contudo cabe ressaltar a redução da velocidade do vento nas áreas entre as construções.

Figura 22: Simulação da velocidade e direção do vento para as 15h00min.



A Figura 23 e 23A apresenta um corte realizado na simulação do vento para o período da manhã, retratando a visão frontal da rua pelo modelo, podendo ver as construções de frente.

Observou-se como a variação do fluxo da velocidade do vento tornou-se menor conforme diminui a altura, mostrando a variação de 1,2 m/s na altura das construções indo para 2,3 m/s acima dos telhados das construções, obtendo uma redução de 1,1 m/s. Marin, Assad e Pilau (2008, p. 88) citam que a redução da velocidade tende a ocorrer de acordo com a proximidade das moléculas de ar em deslocamento da superfície. Já Dewes (2016) coloca que isso acontece por causa da viscosidade do ar e o atrito das moléculas que se deslocam com a superfície, onde quanto mais rugosa for, maior será o atrito e menor será a velocidade do vento conforme a altura diminuir.

Figura 23: Corte da simulação de velocidade do vento para as 09h00m.

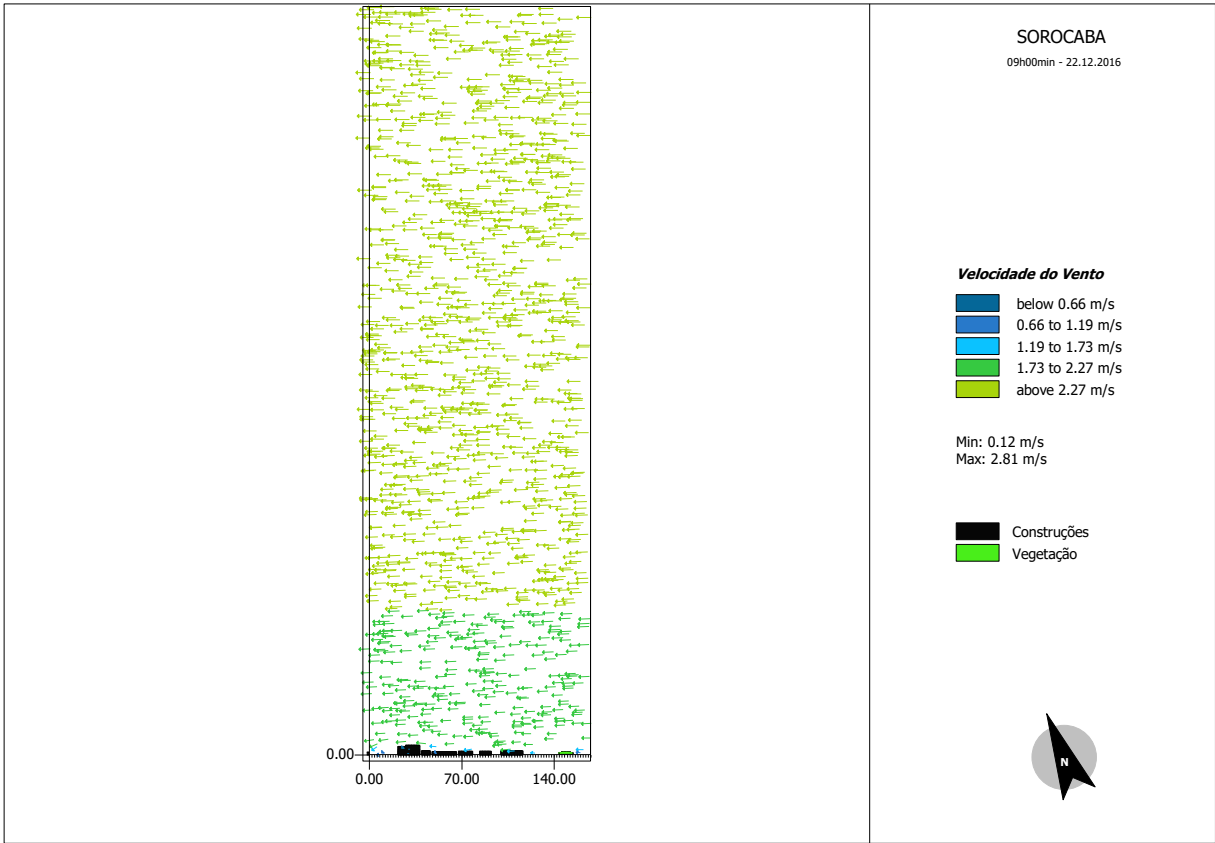
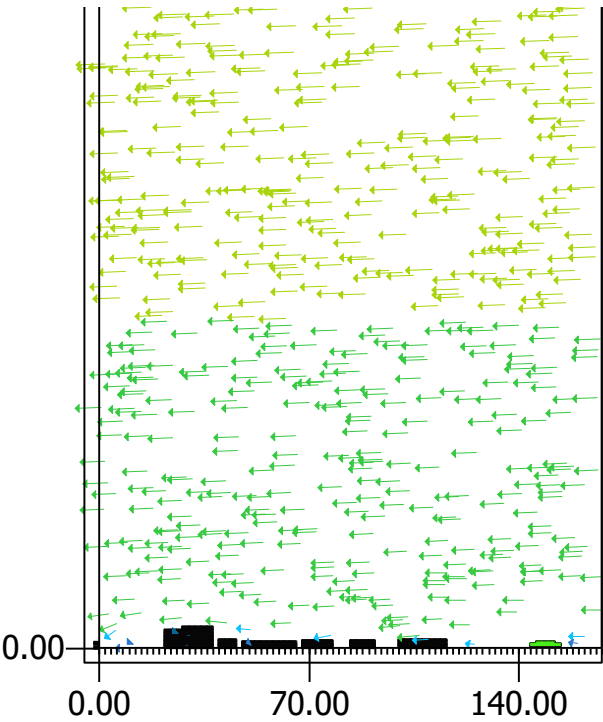


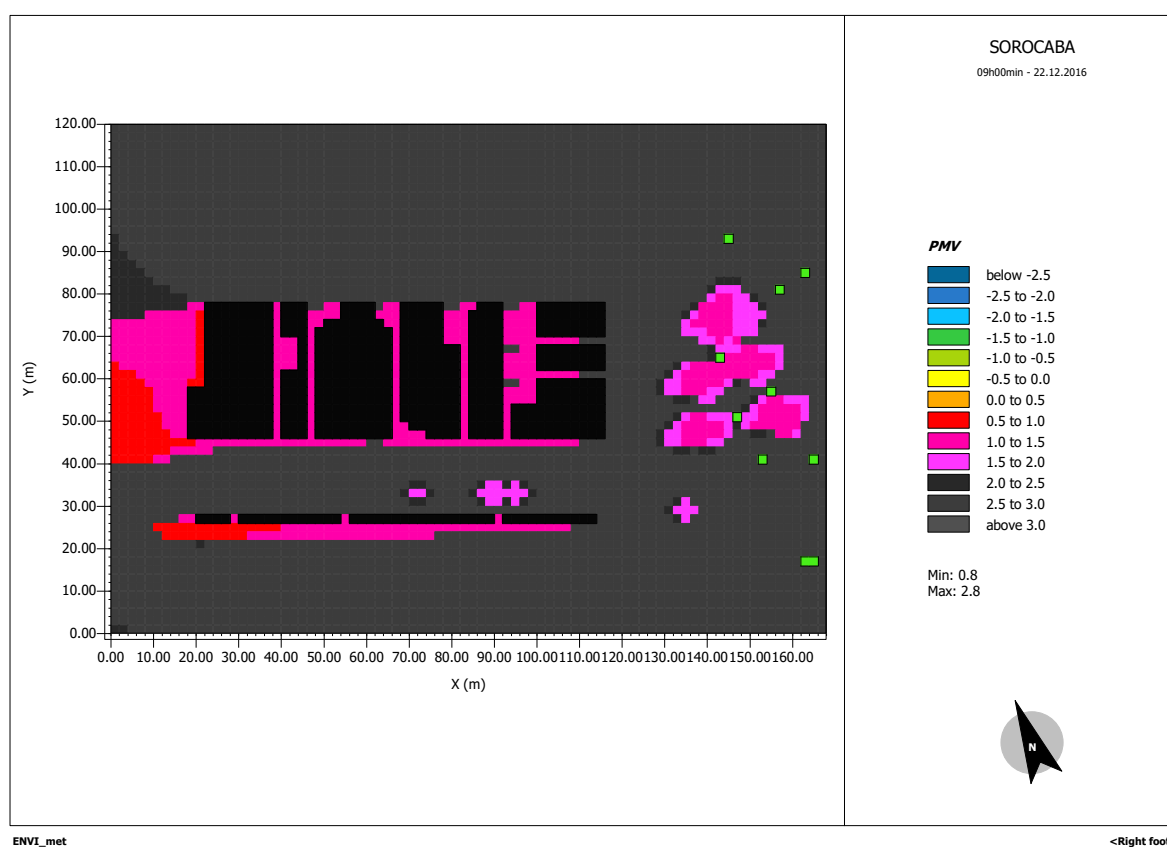
Figura 23A: Corte da simulação de velocidade do vento para as 09h00min com zoom.



5.5 PMV e PPD

As Figuras 24 e 25 mostram o índice de PMV e PPD, respectivamente para o período das 09h00min. Observou-se que o PMV ficou entre 1,0 e 2,0 em volta das construções, já nas duas ruas tanto a oeste quanto a nordeste o índice foi de 3,0, apresentando em ambos os locais valores considerados fora da zona de conforto.

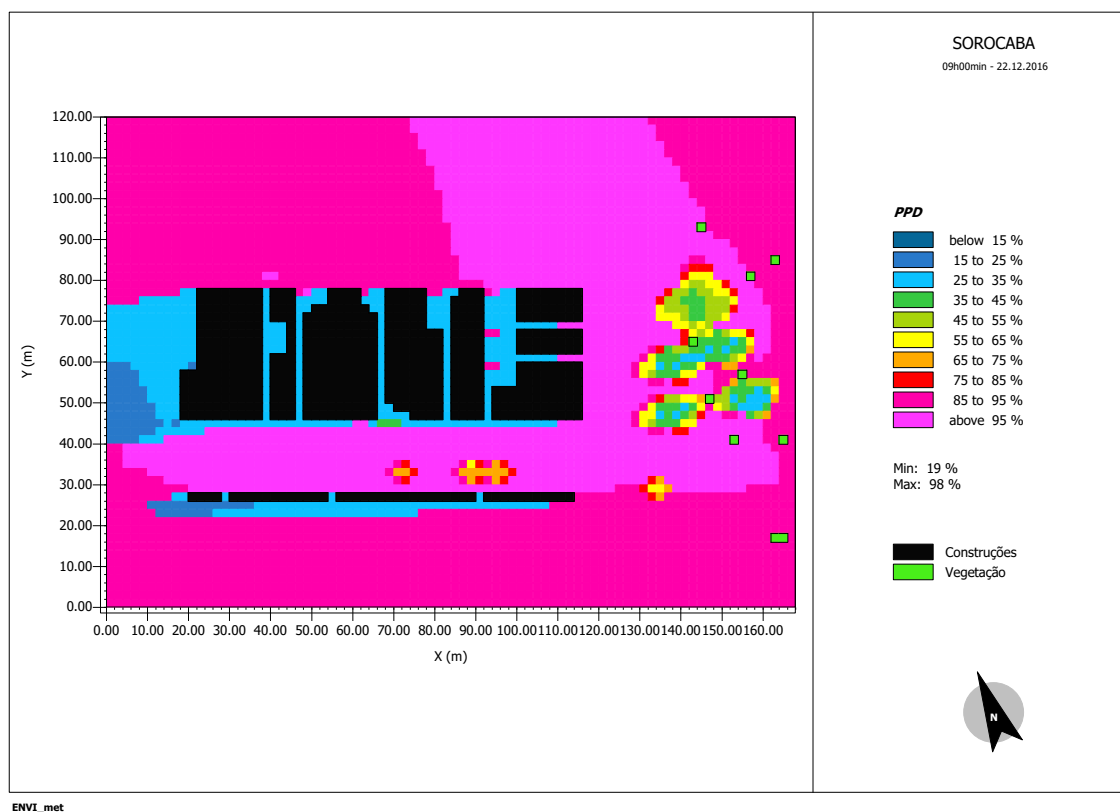
Figura 24: Simulação do índice de PMV para as 09h00min.



A noroeste das construções, nota-se três áreas em vermelho com índice de 0,5, valor esse que estaria dentro da neutralidade térmica, local com conforto térmico, todavia sabe-se que esses pontos estão com essa diferença de valor devido à sombra que as construções fazem para o respectivo horário. Carfan (2010) coloca que áreas fora do sombreamento com a radiação chegando diretamente a superfície, são mais aquecidas, por isso apresentam valores maiores.

Já o PPD foi de 95,0 %, sabe-se que segundo a ISO 7730 um local para ser considerado confortável termicamente tem que estar entre -0,5 a 0,5, salientando um índice de PPD a 10,0 %.

Figura 25: Simulação do índice de PPD para as 09h00min.



Para as simulações dos índices de PMV e PPD realizada às 15h00min (Figura 26), em toda a área simulada o valor do PMV foi acima de 3,0, o que seria muito quente segundo a escala de Fanger (1970). O valor de PPD atingiu 100,0 % (Figura 27), mostrando que a porcentagem de pessoas insatisfeitas no centro da cidade de Sorocaba é total e não apresentando nenhum local termicamente agradável, nem mesmo na praça, onde existe uma quantidade considerável de vegetação, que acaba não sendo significativa, sendo assim toda a área simulada para o período da tarde se mostra desconfortável.

Figura 26: Simulação do índice de PMV para as 15h00min.

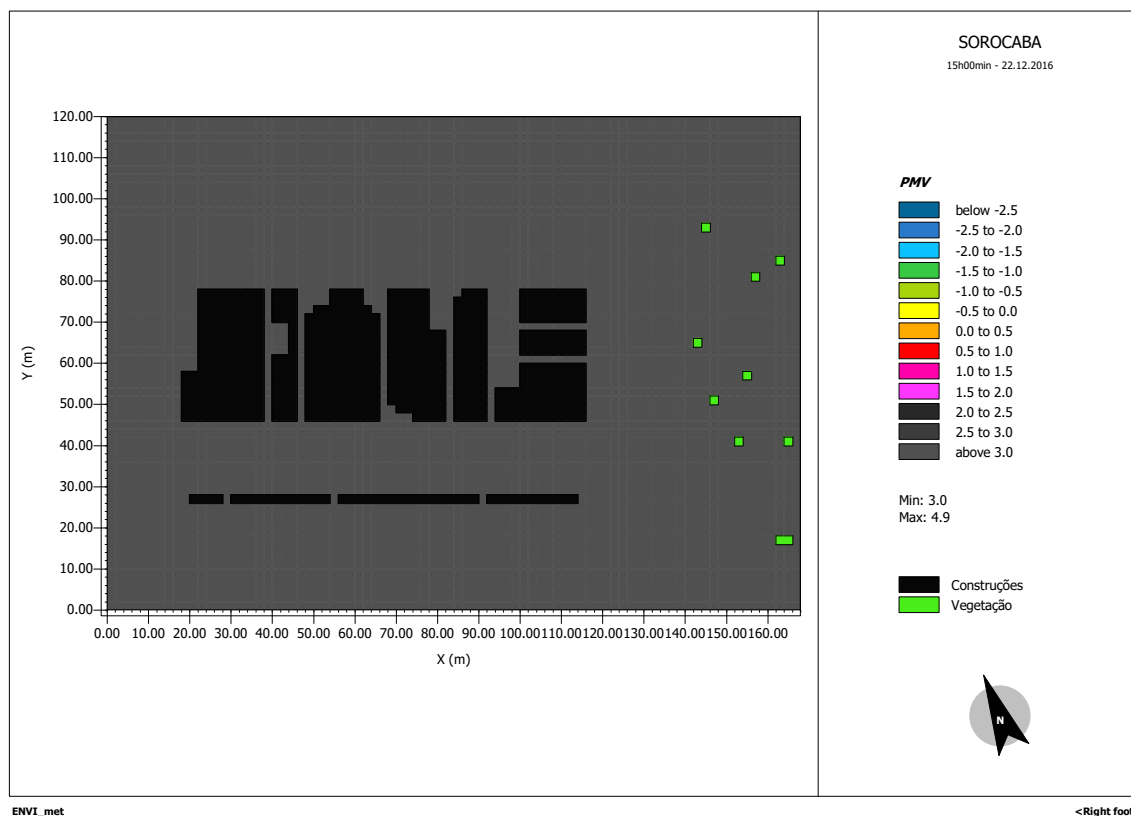
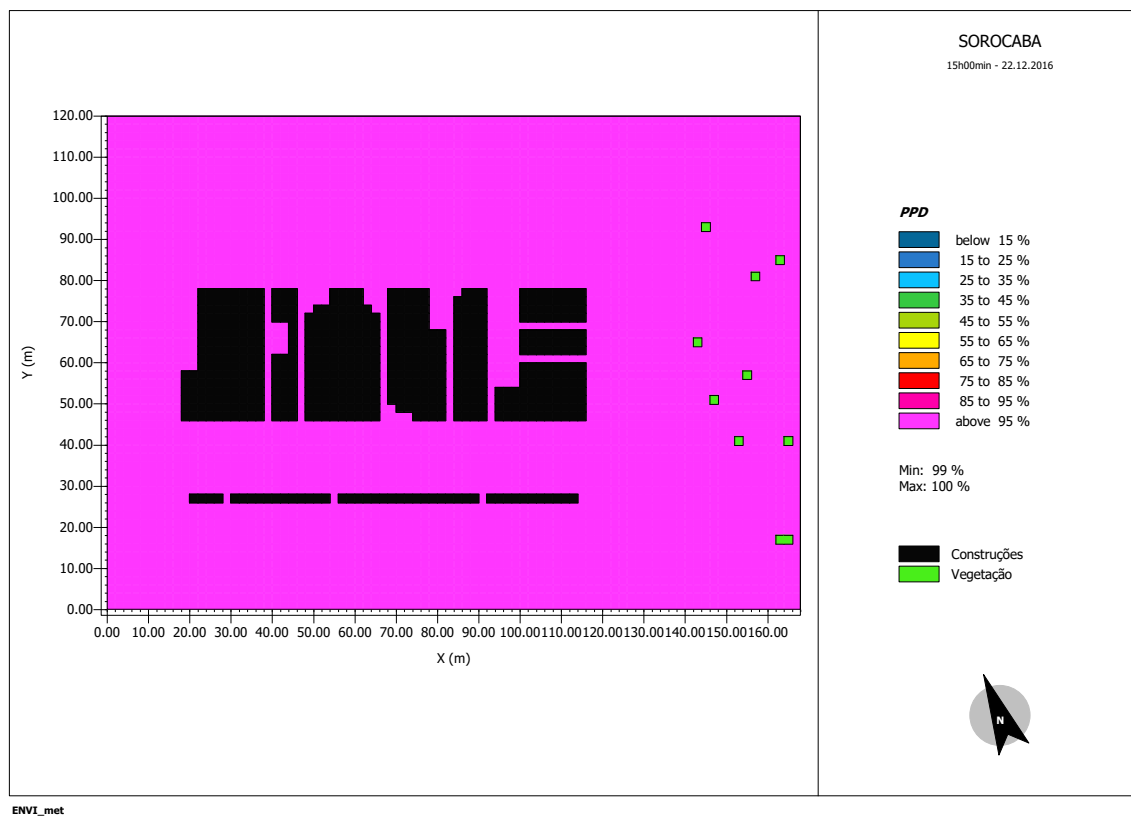


Figura 27: Simulação do índice de PPD para as 15h00min.



O Gráfico 2 e 3 apresenta a variação dos índices de PMV e PPD ao longo do dia, mostrando os valores para áreas onde existe a presença de árvores e áreas totalmente impermeabilizadas, contudo os valores obtidos para o verão foi o oposto do inverno, ficando nítido em todos os gráficos. Nota-se que em ambos os locais durante o dia os valores estão na zona de desconforto, apresentando sensação de calor, mudando isso à noite onde se encontra valores considerados confortáveis, estando entre 0,5 à -0,5 à partir das 19h00min, o que segundo Fanger (1970) é a zona de neutralidade térmica, já o PPD atingiu 100,0% praticamente todo o período da tarde das 13h00min às 17h00min, contudo existe uma pequena variação entre a área urbana densa e a permeável no tempo, mais ambas apresentam valores próximos.

Gráfico 2: Variação do PMV realizada pelo modelo.

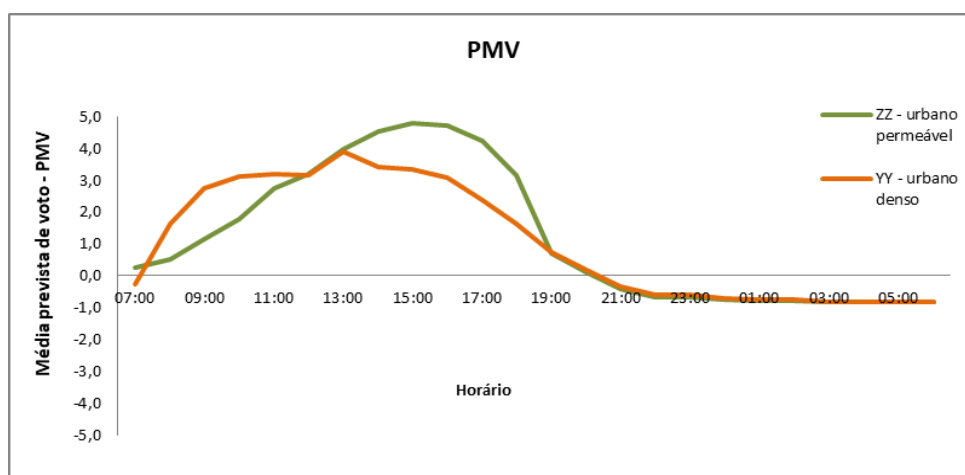
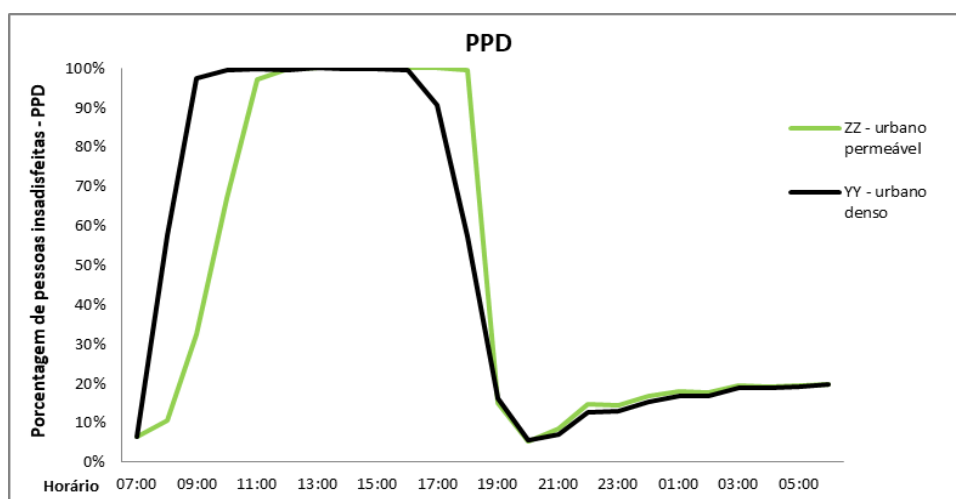


Gráfico 3: Variação do PPD realizada pelo modelo.



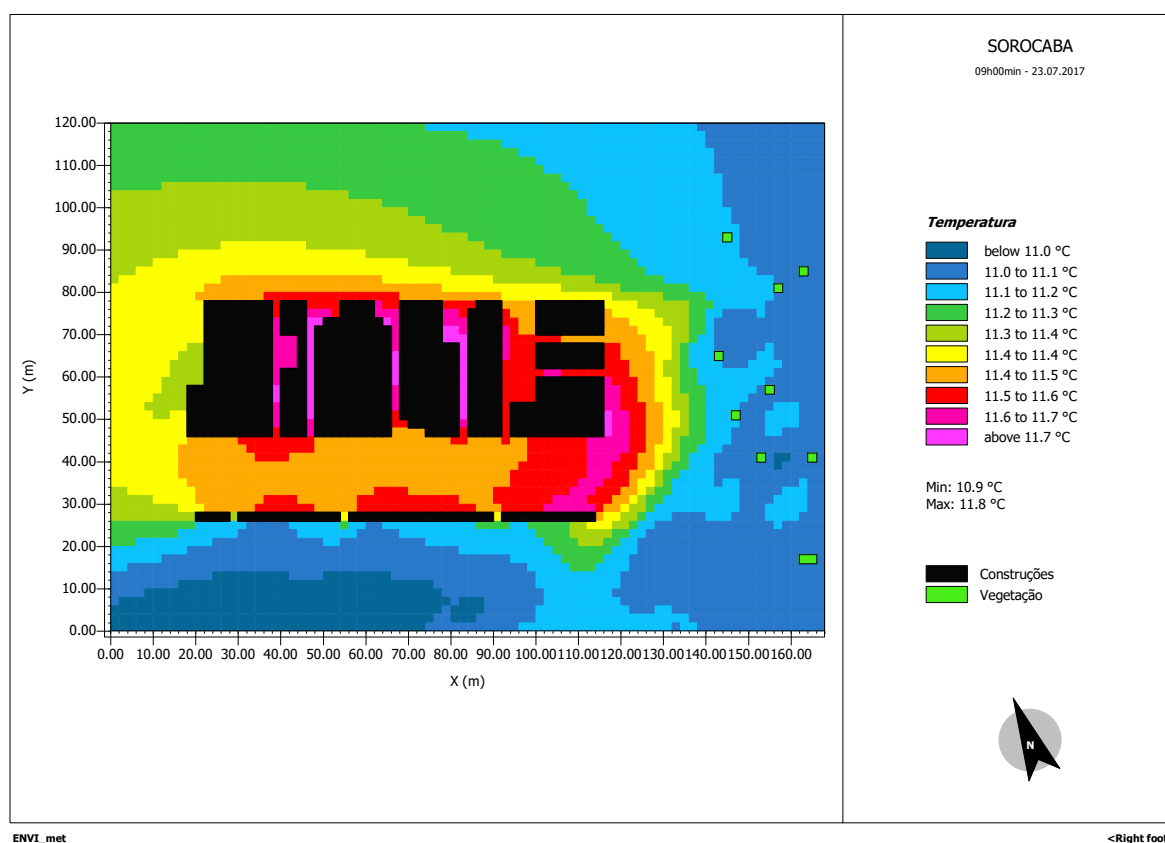
Situação de Inverno

Para representar o período de inverno as simulações foram realizadas com base nos dados obtidos no dia 23/07/2017, contemplando um horário pela manhã e outro à tarde.

5.1 Temperatura

A Figura 28 mostra os resultados adquiridos de temperatura às 09h00min, onde a máxima registrada foi de 11,8°C e a mínima de 10,9°C.

Figura 28: Simulação da temperatura para as 9h00min.

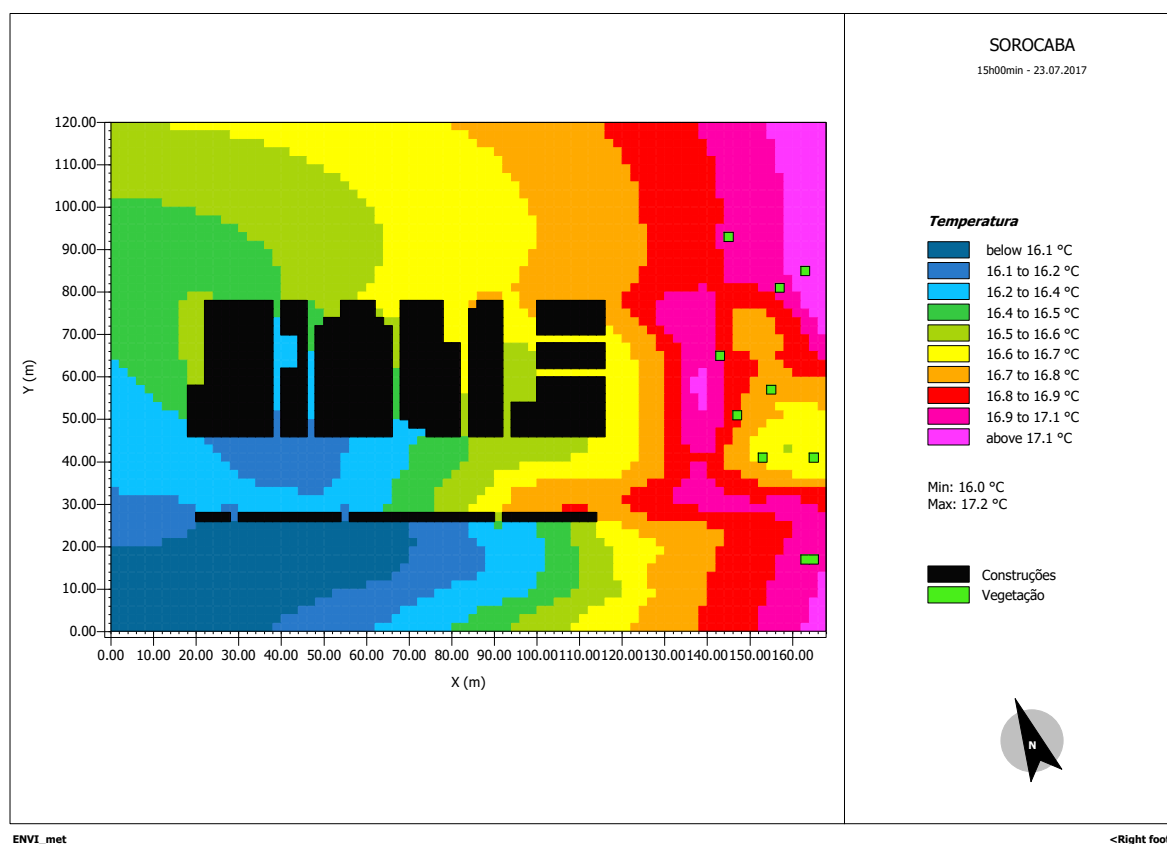


Nota-se que os valores da temperatura do período da manhã foram baixos, representando um típico dia de inverno. Percebe-se que os maiores valores se concentram próximo e entre às construções, ficando retido e se dissipando em uma velocidade menor do que a de áreas com vegetação, onde é mais aberta, pouco

obstáculos, apresentando uma maior umidade e uma área com mais sombra. A simulação mostra que toda área representada pelo azul, são os menores valores encontrados para a temperatura, consequentemente onde apresenta sombra no período da manhã, diferentes das áreas com cores quentes.

O período da tarde (Figura 29) apresenta temperaturas mais elevadas em relação ao período da manhã, tendo uma máxima de 17,2 °C e uma mínima de 16,0 °C. Já quanto a amplitude térmica do dia foi de 6,3 °C.

Figura 29: Simulação da temperatura para as 15h00min.



Embora os valores tenham sido maiores que os da manhã, ainda assim são temperaturas baixas, representando um dia frio de inverno. É importante salientar a presença de uma pequena “ilha de frescor” na área onde se tem vegetação, uma vez que locais com árvores e gramíneas sempre irão apresentar temperaturas menores do que seu entorno. Emmanuel (2005) aponta que as ilhas de frescor não são incomuns, apesar da elevada radiação solar em regiões tropicais durante o dia. Esta situação pode ser explicada pelo sombreamento de edificações e vegetação, (Emmanuel; Johansson, 2006). Oke (1987) explica essa mesma situação ao fato

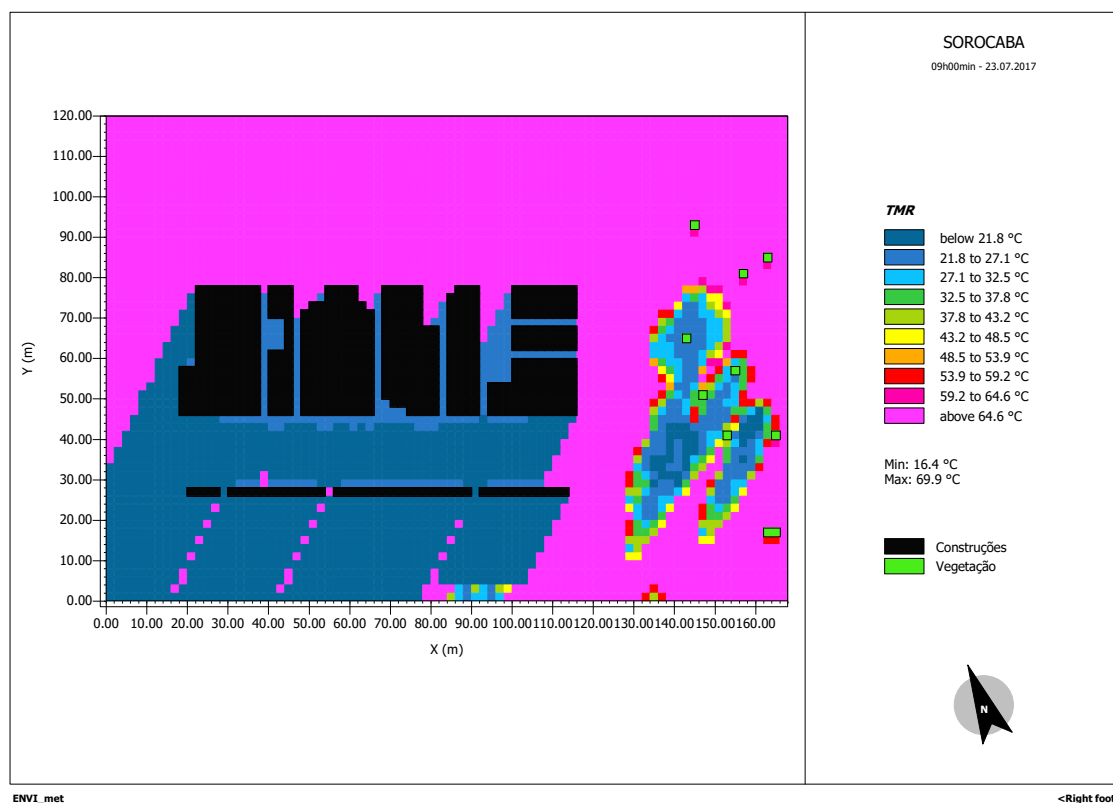
que a maior parte da radiação, que chega a superfície terrestre, seja transformada em calor latente devido à grande quantidade de vegetação e umidade na superfície.

Observou-se que na rua os valores de temperatura são menores, com uma diferença 0,9 °C, diferente do que ocorre pelo período da manhã, sobre isso Mascaró e Mascaró (2010) relacionam os efeitos do resfriamento passivo das ruas decorrentes do sombreamento arbóreo, principalmente em canyons: a influência da orientação e da geometria do espaço urbano é minimizada, sendo o efeito do resfriamento dependente da área sombreada e, durante o dia, a variação da temperatura do ar é significativamente atenuada, como consequência do aumento do atraso térmico.

5.2 TMR

A TMR ficou entre 21,0 °C e 27,0 °C para o período da manhã como mostra a Figura 30 nas regiões sombreadas, em rosa a TMR apresenta valores acima de 63,0 °C.

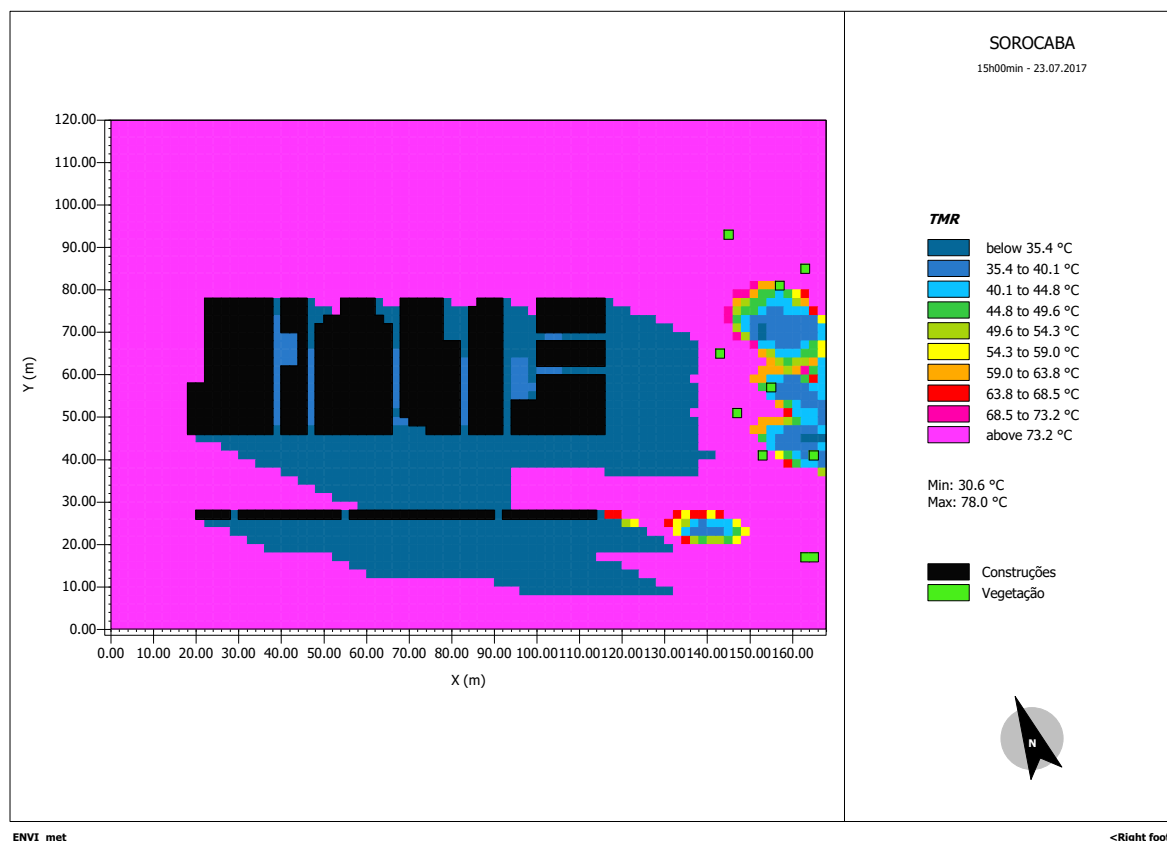
Figura 30: Simulação da TMR para as 09h00min.



Ainda que a superfície esteja revestida de asfalto, a questão da altura das construções tem um papel preponderante no resfriamento ou aquecimento do ar. A TMR é uma variável biometeorológica que representa a radiação líquida em todas as direções dos espaços urbanos e provoca trocas radiantes entorno do corpo humano, segundo Fahmy e Sharps (2009). Avaliando apenas a TMR para o horário das 09h00min, os locais onde se encontra as sombras das árvores e dos edifícios pode ser considerado confortável.

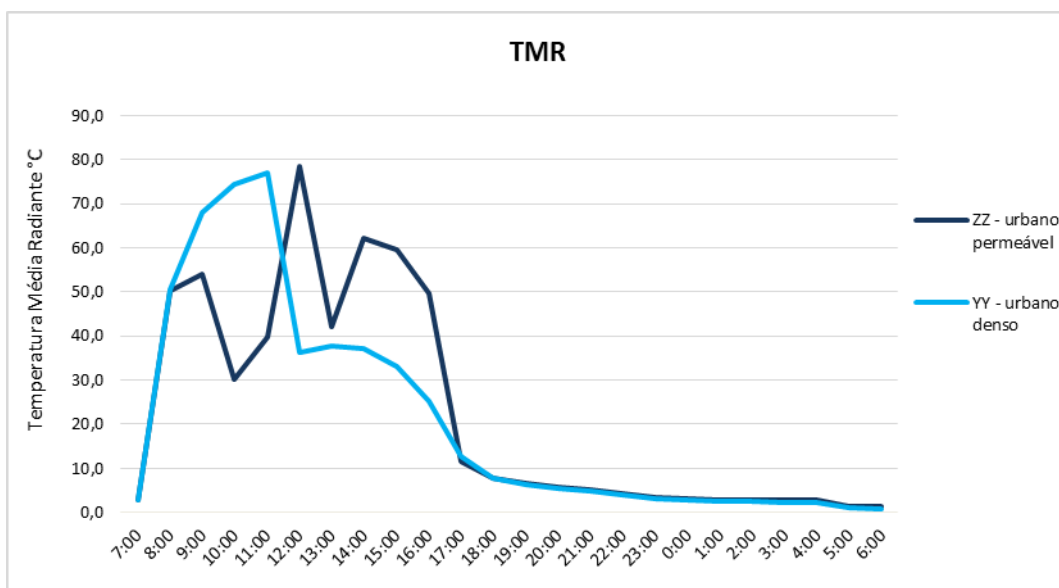
Na simulação realizada às 15h00min (Figura 31) percebe-se um aumento 15,0 °C em relação ao horário da manhã representado pela cor azul, influenciados pela intensidade da radiação solar, no entanto os valores da TMR ainda são confortáveis termicamente. Observou-se que na rua se encontra pontos com sensação de confortável e desconfortável. Os elementos – como áreas verdes, altura de prédios vizinhos, larguras de ruas, entre outros – influenciam no conforto de ambientes externos e internos por terem impacto direto na ventilação, iluminação e sensação térmica local, (DIMOUDI; NIKOLOPOULOU, 2003; TUMINI; GARCÍA; RADA, 2016; LINDBERG; THORSSON; RAYNER; LAU, 2016).

Figura 31: Simulação da TMR para as 15h00min.



O Gráfico 4 apresenta a variação da TMR durante o dia, mostrando que os valores variam ao longo do dia, apresentando uma máxima de 79,0 °C às 12h00min. Percebe-se que das 8h00min às 17h00min todos os valores de TMR estão acima do recomendado pela ISO 7730, que aponta que a temperatura média radiante deve estar em 10,0 °C e 40,0 °C. Observou-se que o gráfico apresenta algumas quedas, que pode ser explicado devido a questão do sombreamento que interfere diretamente nos valores de temperatura.

Gráfico 4: Variações da TMR ao longo do dia.



5.3 Umidade Relativa

A análise de UR infere que os maiores valores se localizam onde existe presença de vegetação, chegando a 87,0 % no local (Figura 32). Maciel (2014) coloca que a variável umidade relativa do ar tende a acompanhar, de maneira inversa, as variações na temperatura do ar, resultando em valores menores de umidade relativa do ar em regiões onde foram registrados maiores valores de temperatura do ar. Na simulação das 15h00min (Figura 33) observou-se que os valores diminuem em relação ao período das 09h00min ficando entre 64,0 % e 67,0 %, menor valor encontrado para o inverno.

Figura 32: Simulação da umidade relativa para as 09h00min.

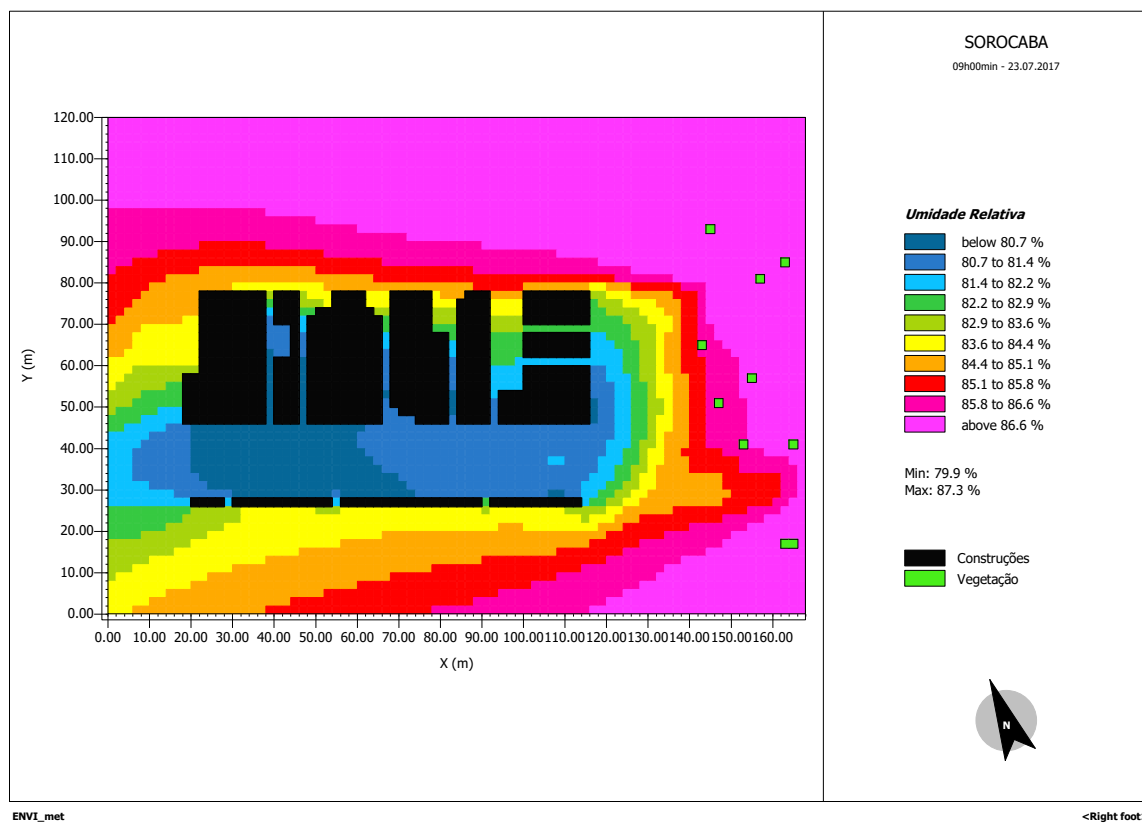
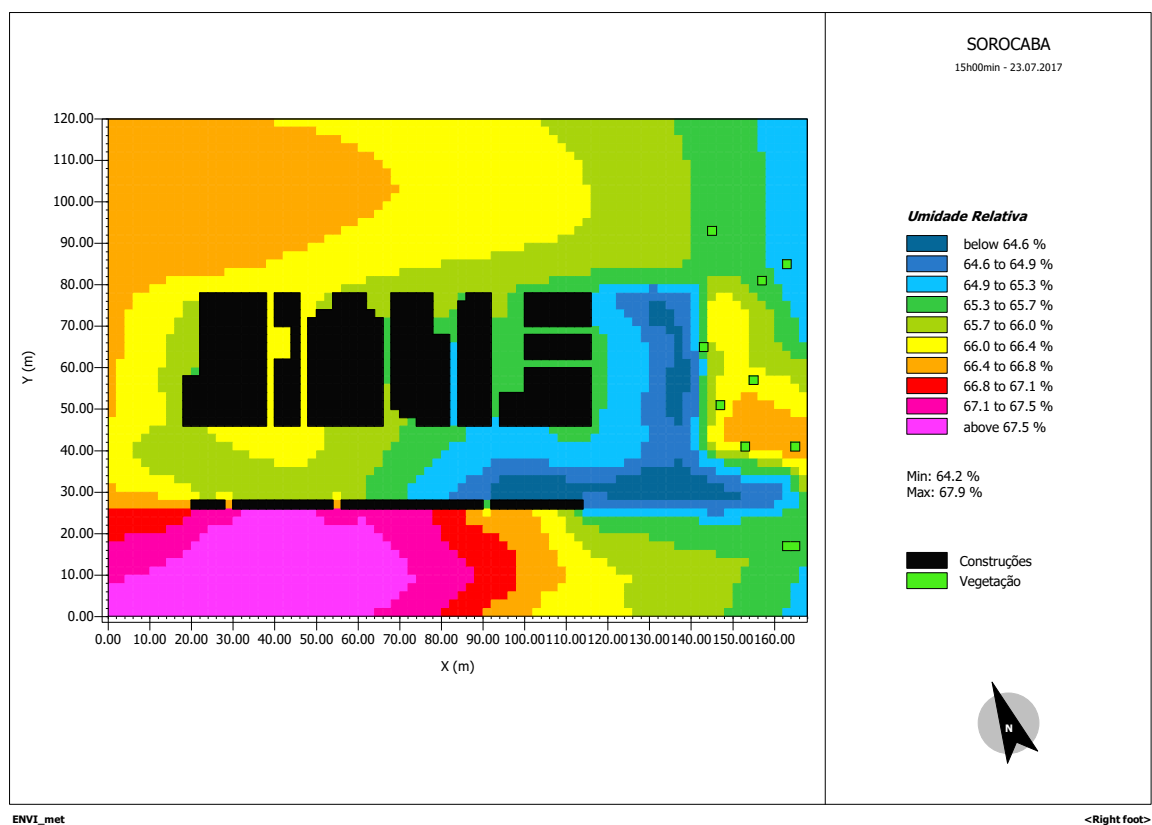


Figura 33: Simulação da umidade relativa para as 15h00min.



5.4 Vento e Direção do Vento

Na análise de dados sobre a velocidade e direção do vento para as 09h00min (Figura 34), nota-se o predomínio de ventos mais fortes nas laterais da simulação, locais onde não apresentam barreiras, onde o vento varia sua velocidade de 1,4 m/s a 2,1 m/s. Masiero e Souza (2012) apresentaram em suas pesquisas áreas abertas onde a rugosidade é mínima, é possível observar maiores velocidades. Os ventos para o período da manhã procede da direção NE (nordeste), todavia percebe-se que a velocidade do vento diminui ao chegar próximo aos edifícios, além de mudar sua direção. As Figuras 35 e 35A mostram o contorno que o vento faz ao se deparar com uma barreira, uma vez que as construções interrompem o fluxo dos ventos. DACANAL et al. (2010): os ventos regionais sofrem alterações no meio urbano, em decorrência da rugosidade causada pela presença de elementos construídos, arborização e pela concentração de partículas no ar, alterando sua densidade. Há uma redução de 20,0% a 30,0% na velocidade dos ventos na área urbana e um aumento de 50,0% a 100,0% nas turbulências.

Figura 34: Simulação da velocidade e direção do vento para as 09h00min.

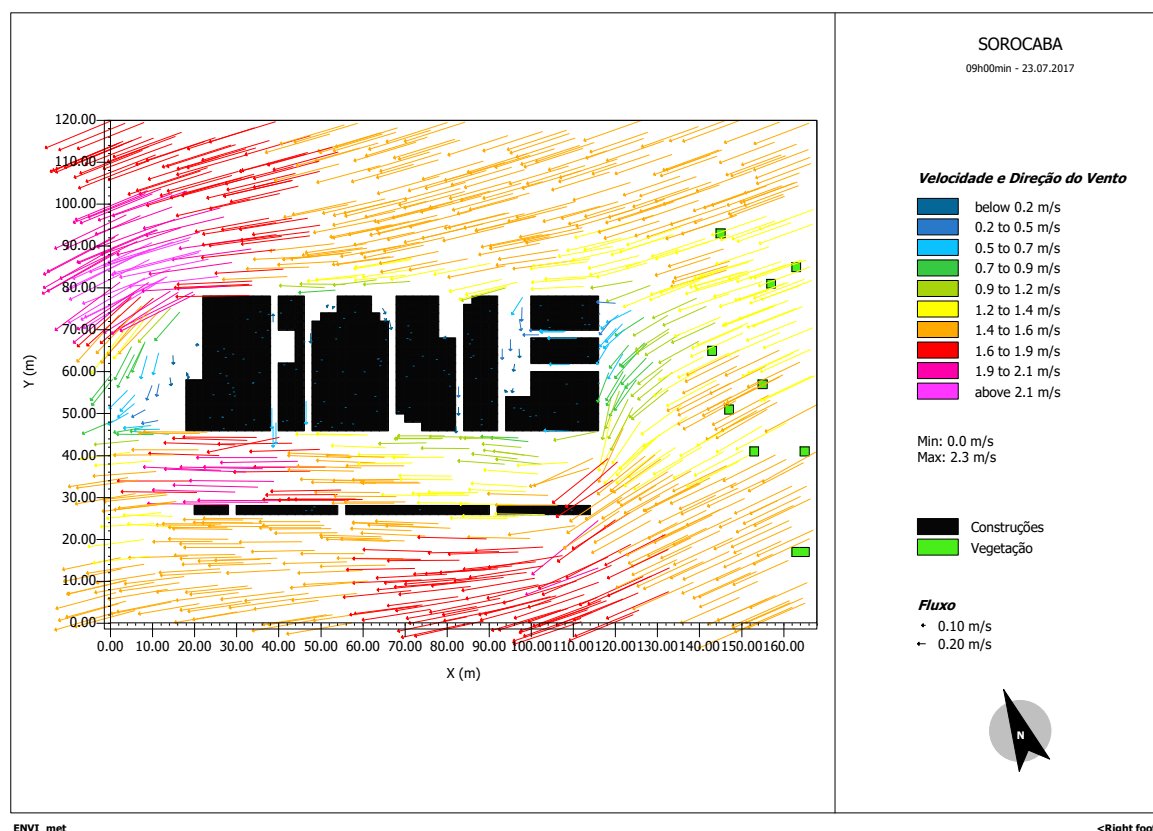


Figura 35: Corte da simulação de velocidade do vento para as 09h00min.

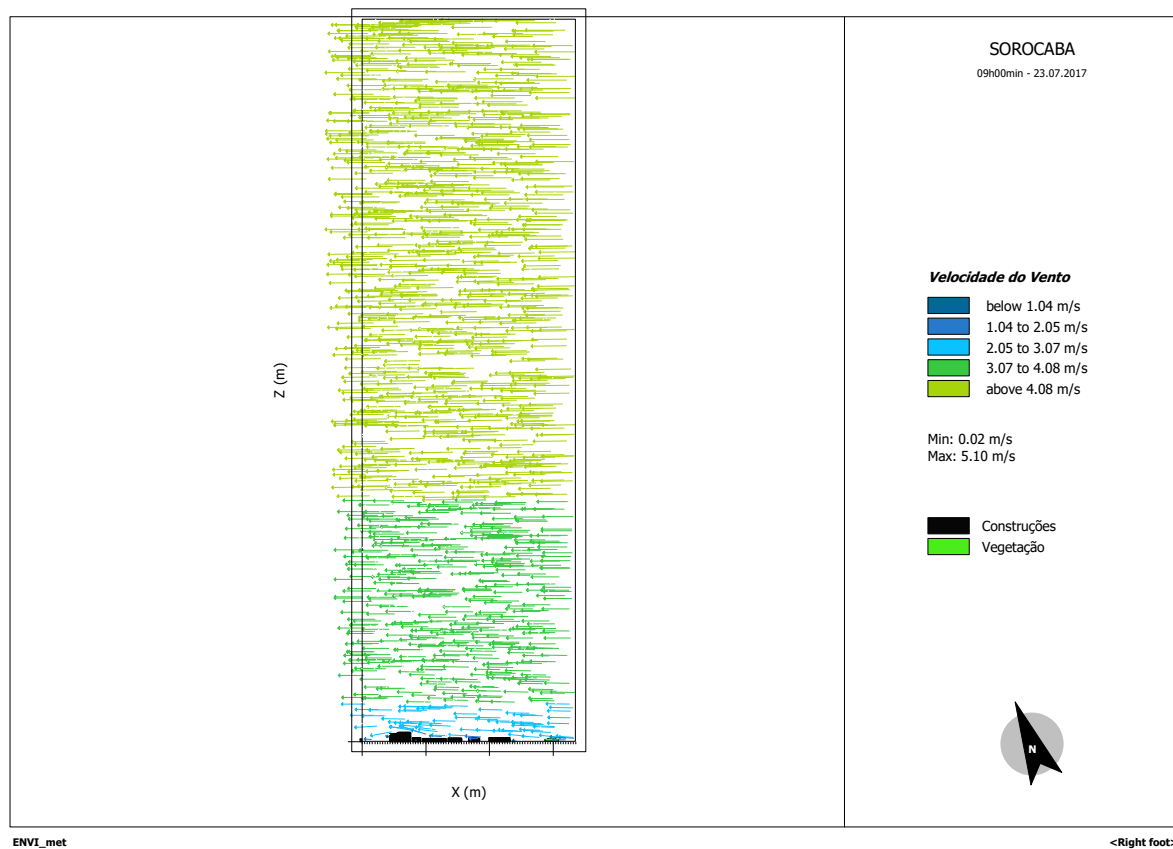
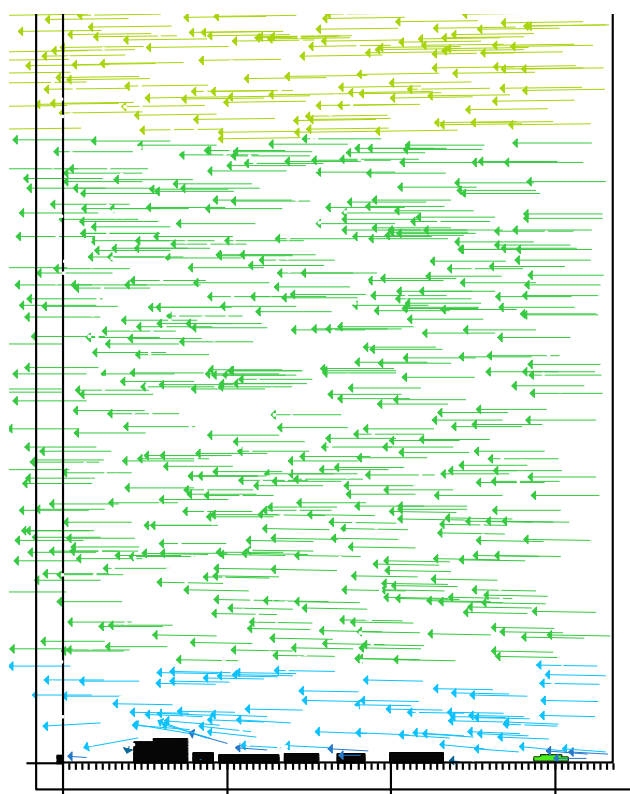
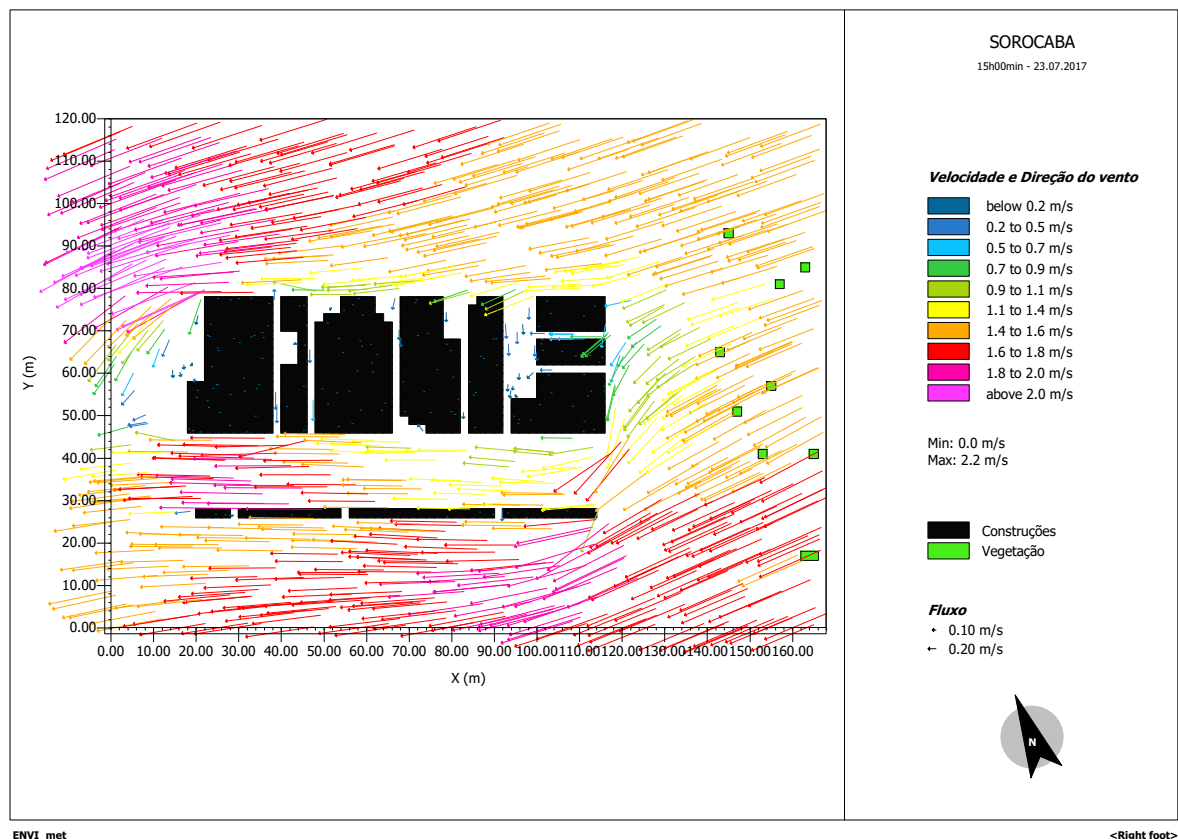


Figura 35A: Corte da simulação de velocidade do vento para as 09h00min com zoom.



Observou-se que na parte da tarde, às 15h00min (Figura 36) a direção e velocidade do vento não sofre tanta alteração em relação ao período da manhã. O destaque da simulação fica para o corredor de vento com velocidades de 1,4 m/s no começo da rua no sentido oeste e o final com ventos de 2,0 m/s que é possível observar na simulação. Para Nóbrega e Vital (2010) as formas geométricas irregulares dos edifícios afetam os padrões de radiação solar e de ventos, visto que os edifícios interrompem os fluxos de vento diminuindo assim a perda de calor por resfriamento advectivo. Em média os ventos perdem 25,0 % de sua velocidade ao atravessar uma área urbana. Entretanto, as cortinas de edifícios geram o efeito de túnel de vento, especialmente, durante o dia, o que ameniza o calor, (Côrrea, 2006). Sendo assim é possível perceber que a cortina de vento que se forma na rua frente as construções no verão ajudam a minimizar o calor, já no período de inverno aumenta e intensifica o frio, gerando um possível desconforto.

Figura 36: Simulação da velocidade e direção do vento para as 15h00min.



5.5 PMV e PPD

Nas simulações dos índices de PMV e PPD para o período de inverno, notou-se a interferência da radiação solar que chega na superfície devido ao horário em questão.

A Figura 37 mostra os valores obtidos para as 09h00min da manhã, é possível perceber a influência das sombras sob as construções e as vegetações, representada pela cor azul, variando entre -2,5 e -2,0 de PMV e o restante da área varia entre -1,0 e -0,5. Entretanto, não se encontra área com conforto térmico de manhã, tendendo a um desconforto de frio.

Quanto ao PPD (Figura 38) toda área à noroeste e oeste da simulação teve de 79,0 % a 87,0 % de pessoas insatisfeitas, já nos pontos onde a radiação chega direta o PPD diminui para 21,0 %. É importante destacar que o local onde apresentou o maior valor de PMV e PPD ocorre na rua frente as construções, local com elevada rugosidade urbana.

Figura 37: Simulação do índice de PMV para as 09h00min.

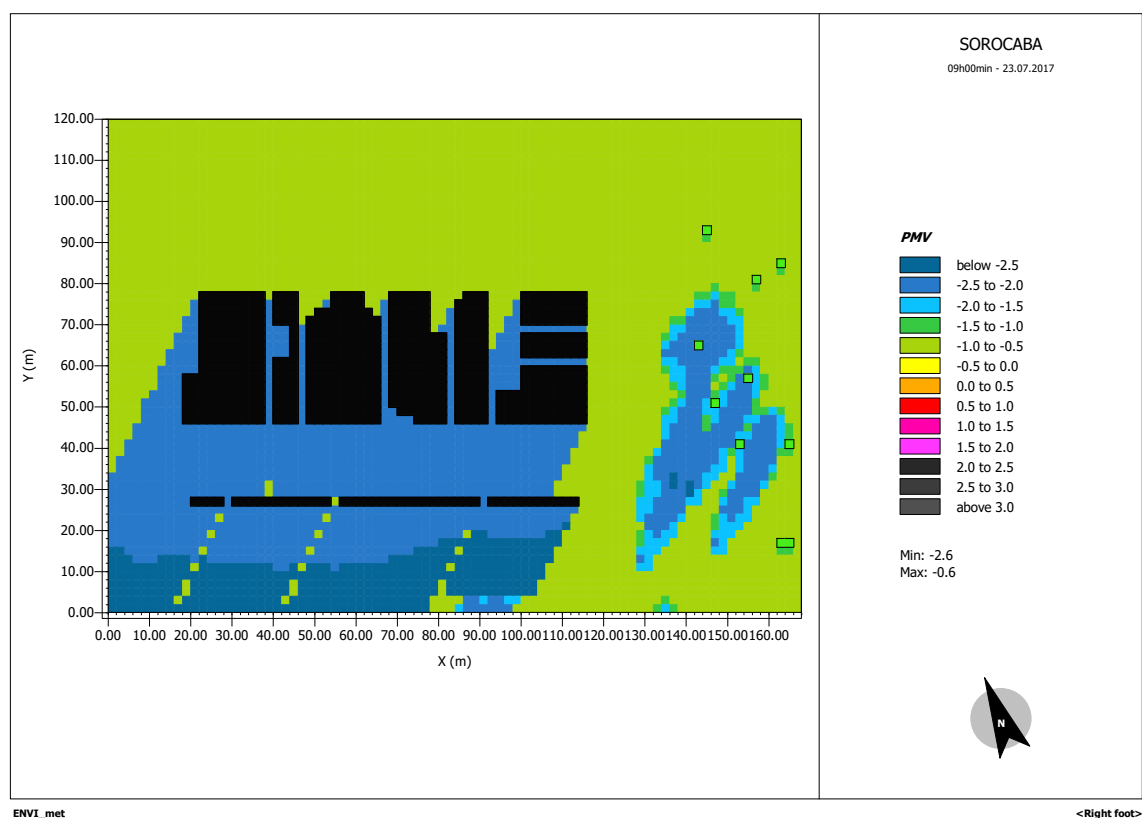
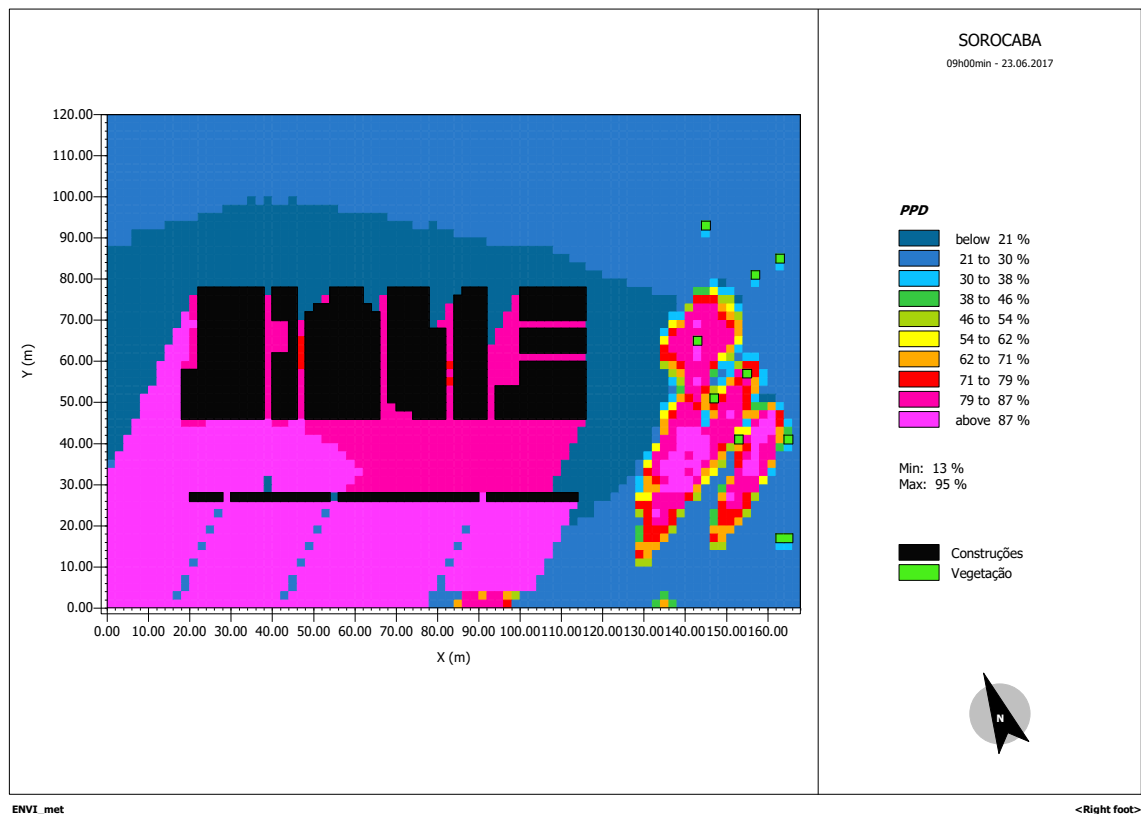


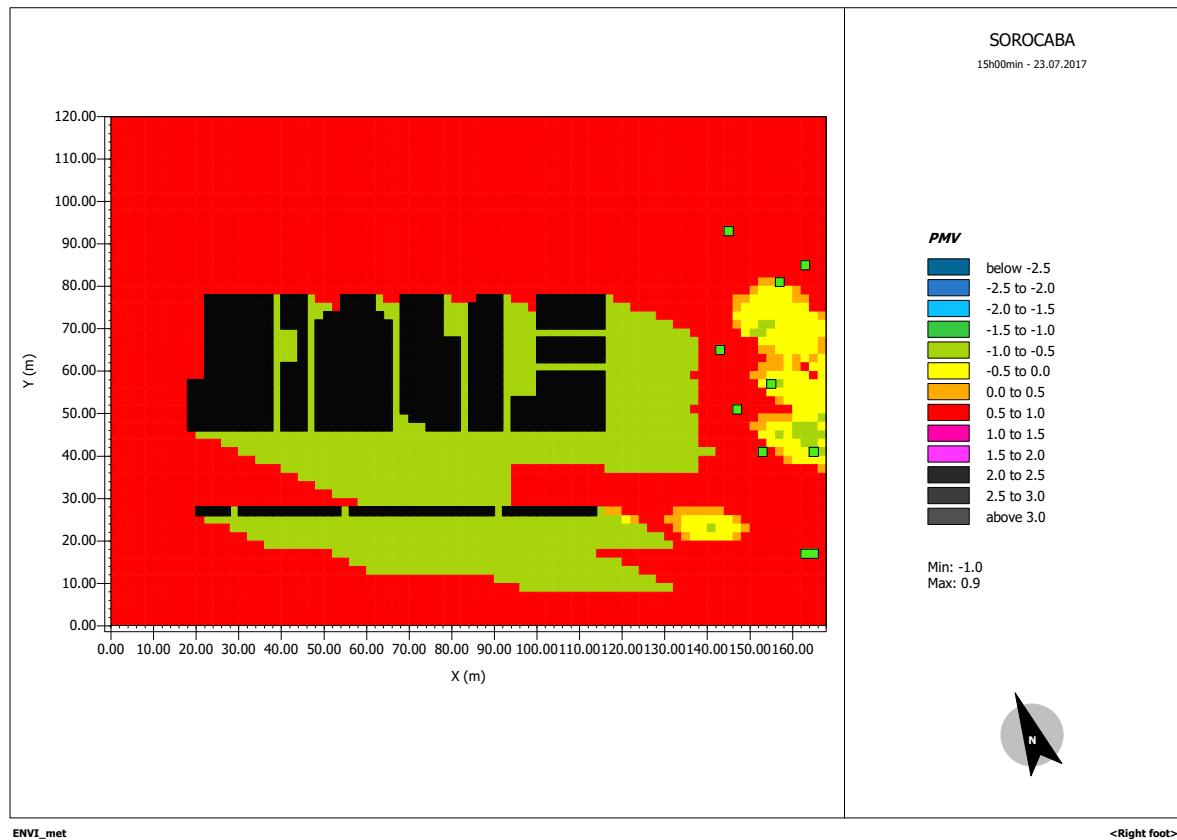
Figura 38: Simulação do índice de PPD para as 09h00min.



Na análise de PMV obtida às 15h00min (Figura 39) variou entre 0,5 e 1,0 na maior parte da simulação, contudo é possível observar que a rua os locais próximos as construções ainda apresentam variação com característica de desconforto para frio com PMV de -1,0 e -0,5. Conforme ressalta Brandão e Lucena (1999, p. 67) em relação ao conforto térmico de algumas praças do Rio de Janeiro/RJ como a “Mauá, Cruz Vermelha e Tiradentes”, a insuficiência arbórea em espaços abertos dessa natureza favorece situações de extremo desconforto humano por alcançar índices de TE fora do limite tolerado.

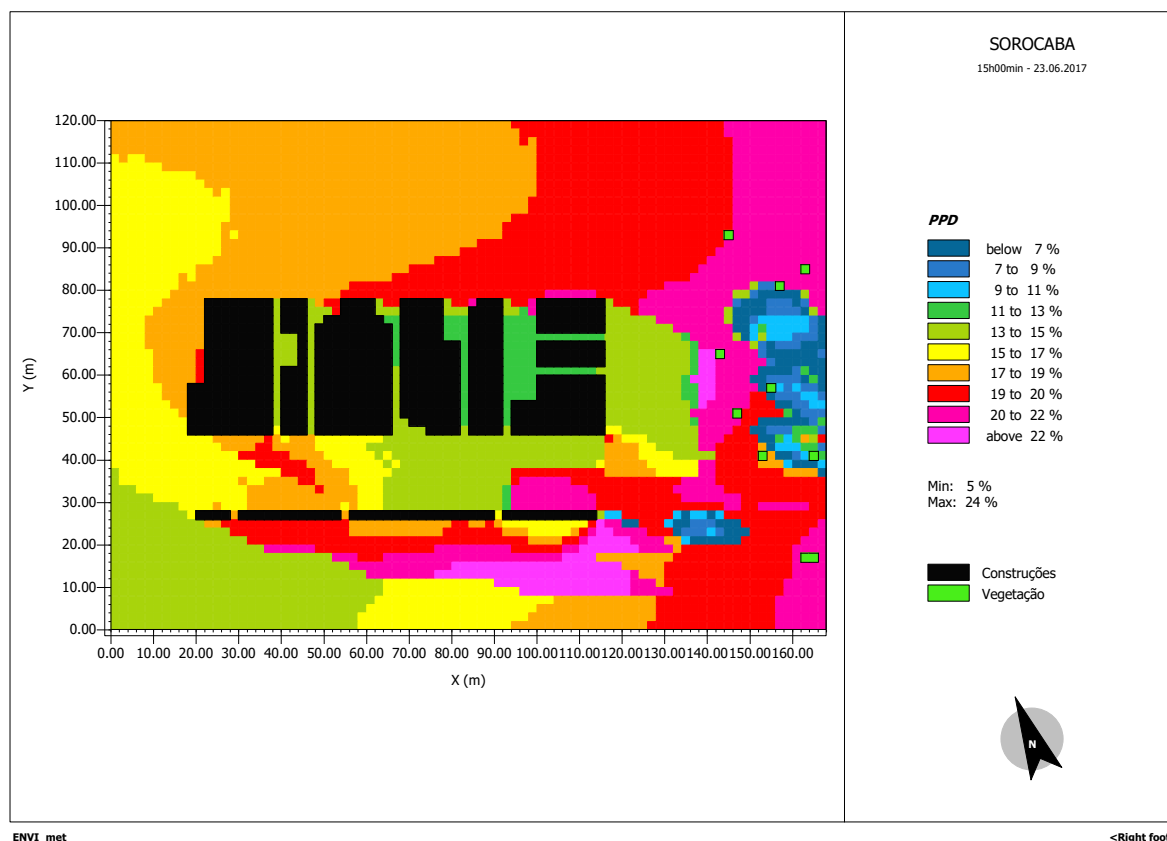
Entretanto, nota-se a presença de algumas ilhas próximas as vegetações, apresentando conforto térmico variando de -0,5 e 05. Lima et al. (2009), em pesquisa similar realizada em Maringá, concluíram que grande parte dos entrevistados sentiu neutralidade térmica próxima às áreas com maior densidade de vegetação.

Figura 39: Simulação do índice de PMV para as 15h00min.



Sobre a porcentagem de pessoas insatisfeitas o PPD do período da tarde (Figura 40) foi o que apresentou as menores porcentagens comparado aos outros horários e até mesmo ao período de verão. Na maior parte da simulação o PPD varia entre 15,0 % e 22,0 % o que não se encontra dentro da zona de conforto, contudo próximo a área com presença arbórea o PPD varia entre 5,0 % e 9,0 %, o que segundo a ISO 7730 corresponde diretamente ao máximo de 10/5 de pessoas insatisfeitas, salientando um índice de PPD a 10,0 %, sendo considerado termicamente confortável.

Figura 40: Simulação do índice de PPD para as 15h00min.



Com relação aos índices de PMV e PPD os horários que apresentaram conforto térmico com valores variando de -0,5 e 0,5 (Gráfico 5) foram entre 11h00min e 12h00min e posteriormente entre 14h00min e 16h00min, contudo observou-se que a maior parte de neutralidade térmica ocorre próximo a áreas com vegetação, o que se deve ao fato do atraso no aquecimento, refletindo diretamente no PMV. Já na área densamente urbanizada ocorre somente em dois horários, às 11h00min e às 12h00min, no período da tarde. Sendo assim somente a área com vegetação apresentou conforto.

Para o PPD (Gráfico 6) ocorre o contrário, sendo no urbano denso nos horários das 10h00min às 11h00min a porcentagem de insatisfeitos não superando o valor de 10,0 % e no período da tarde na área com urbanização permeável entre 12h00min e 16h00min.

Gráfico 5: Variação do índice de PMV realizada pelo modelo.

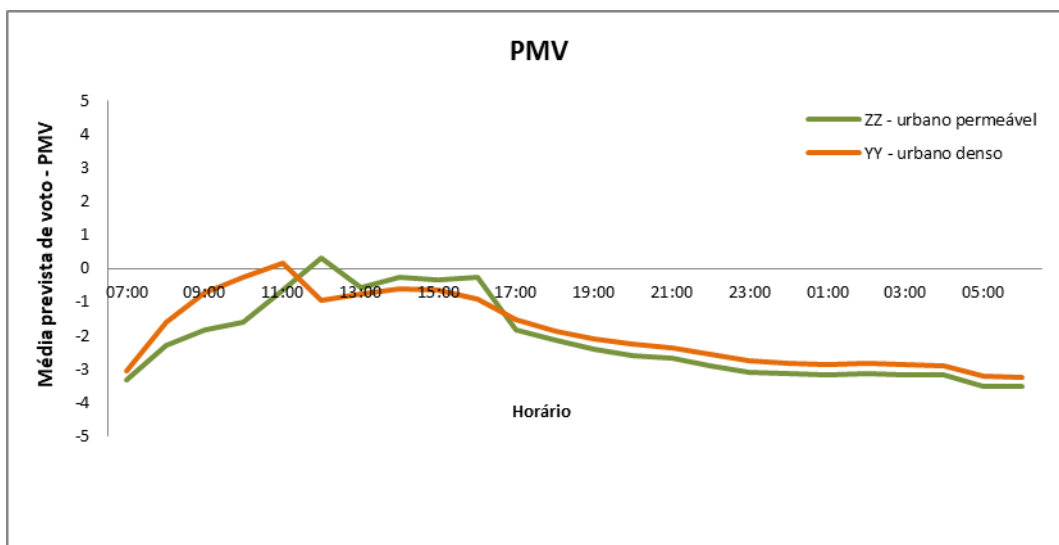
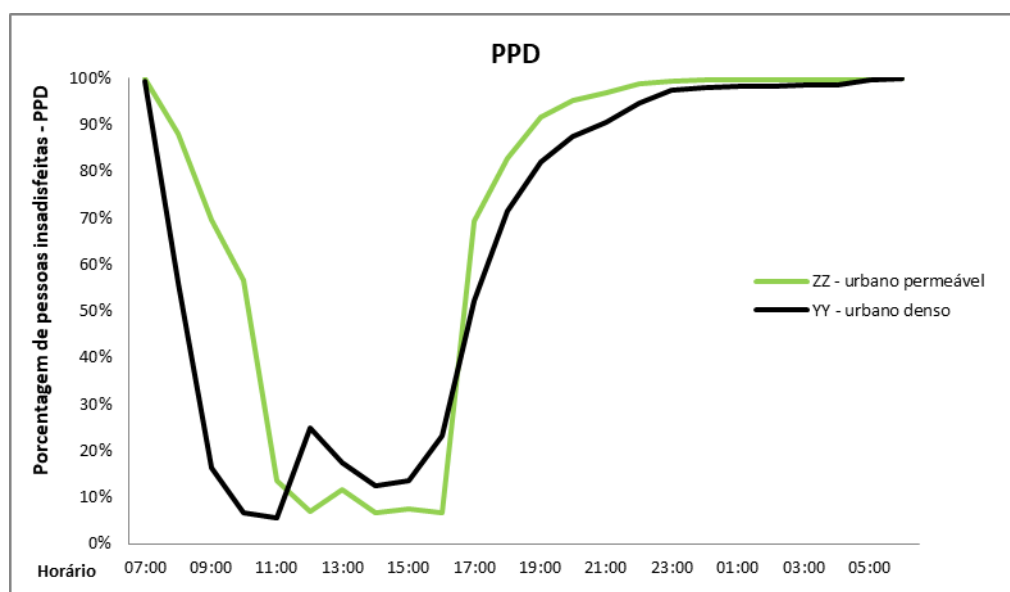


Gráfico 6: Variação do índice de PPD realizada pelo modelo.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

É importante destacar o sucesso do programa na parte de construção e realização das simulações, uma vez que ele consegue mostrar bem a realidade dos dados, concluindo todas as análises e cálculos estatísticos. Vale ponderar que o local da área de estudo é uma região densamente urbanizada, com a presença de muitos edifícios, lojas, um elevado grau de impermeabilização e uma alta circulação diária de pessoas. É possível notar que as análises das variáveis meteorológicas mostram bem a realidade do microclima do município de Sorocaba, destacando os impactos e as mudanças do clima local. Verificou-se como a morfologia urbana das ruas, calçadas, casas e prédios interferem diretamente no microclima das cidades, uma vez que os resultados da temperatura do ar e da umidade relativa deixam visíveis as concentrações de focos de calor e de umidade frente às construções.

O modelo foi utilizado para representar e calcular os índices de PMV e PPD, analisando a questão urbana nas variáveis meteorológicas. Os estudos mostraram que as situações para o verão e o inverno, são muito diferentes, ficando claro isso por meio das análises das variáveis meteorológicas. Nas análises de temperatura às máximas ocorreram entre 14h00min e 15h00min, já no inverno o horário foi entre 15h00min e 17h00min.

Para umidade relativa do ar o período de inverno apresentou os maiores valores, chegando a atingir 87,0 % de máxima, já para o verão a máxima chegou a 53,0 % em alguns pontos no período da manhã e a mínima foi de 16,0 % no período da tarde. No estudo dos ventos para estação do verão a velocidade se apresentou baixa, variando de 0,1 m/s a 1,5 m/s, já para o inverno notou-se um aumento chegando a 2,3 m/s em algumas áreas. Em ambas as estações as simulações mostraram a interferência das construções na direção e velocidade do vento.

Na análise dos índices de conforto térmico o período de verão não apresentou nenhuma área com neutralidade térmica, os valores de PMV apresentaram-se em toda área com índice de 3,0, com um PPD para parte da manhã de 95,0 %, atingindo no período da tarde uma porcentagem de 100,0 % de pessoas insatisfeitas, tendendo para o desconforto causado pelo calor. Para as simulações de inverno os índices encontrados de PMV variaram de -2,5 e -2,0 nas áreas onde se tem a presença de sombras e vegetação na parte da manhã, com um

PPD atingindo 87,0 %, de desconforto para sensação de frio. Notou-se que no período das 15h00min o PMV varia entre 0,5 e 1,0, na maior parte das áreas, mais que existe a presença de pequenas ilhas de conforto na área onde se tem vegetação, apresentando índice de PMV entre -0,5 e 0,5, e PPD entre 5,0 % e 9,0 % valores esses que segundo a ISO 7730 é considerado situação de conforto térmico. Somente no período de inverno e na área com vegetação (urbano permeável) encontra-se valores dentro dos limites de conforto de PMV e PPD, já no período de verão nenhuma área apresentou conforto térmico, nem mesmo nos locais onde se tinha presença de árvores e sombras dos edifícios, sobre o PPD apresentou as maiores porcentagens de pessoas insatisfeitas enquanto o inverno apresentou as menores.

Os principais problemas encontrados nos resultados foram a falta de planejamento, de áreas verdes, a formação de ilhas de calor e de frescor, a alta densidade de áreas impermeabilizadas, a formação de cânions urbanos e corredores de ventos que se formam em meio aos edifícios da cidade devido sua alta rugosidade. A rugosidade urbana é consequência da razão entre a altura (H) e o distanciamento (W) dos elementos construídos e pode ser relacionada ao fator de visão do céu (FVC) de uma área. Serve de parâmetro para avaliar as alterações na velocidade e fluxos dos ventos, incidência de radiação solar, formação de ilhas de calor, consequentemente do conforto térmico do pedestre.

Os estudos mostraram como as construções interferem na direção e velocidade do vento, na quantidade de radiação que chega e no aquecimento e resfriamento da superfície, interferindo assim diretamente no clima urbano. A estrutura organizacional das cidades deve ser bem planejada e confortável, pois quanto melhor planejado, maior será o número de usuários no local, o que também significa uma melhoria de qualidade de vida e infraestruturas que atendem ao seu propósito.

Pelo trabalho foi possível perceber como a presença da vegetação faz diferença, sendo de extrema importância a presença das mesmas em áreas urbanas. Deste modo algumas medidas como a arborização de vias públicas, praças, vazios urbanos destinados à área verde, encostas e fundos de vale podem contribuir significativamente na amenização do clima urbano, sobretudo para a melhoria da qualidade de vida humana.

A partir das análises realizada o programa Envi-met mostrou-se uma ferramenta adequada para gerar simulação de temperatura, TMR, umidade relativa, velocidade e direção do vento e índices de conforto térmico como o PMV e o PDD em áreas urbanas. Vale destacar a importância do recurso existente no programa, a ferramenta LEONARDO, que é crucial para visualização dos dados simulados no perfil horizontal e vertical. Tendo em vista essa análise dos dados meteorológicos, nota-se a importância do *software* de simulação para o estudo do clima urbano e do conforto térmico, buscando uma melhor qualidade de vida para população, além de maneiras para minimizar o desconforto térmico.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. **A Depressão Periférica Paulista: um setor das áreas de circundesnudação pós-cretácica da Bacia do Paraná.** São Paulo: Inst. Geogr. USP, Geomorfologia 15, 26p. 1969.
- 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.** Meteorological Institute, University of Freiburg, Werderring 10, D-79085 Freiburg, Germany Received 25 October 2004; revised 5 November 2004; accepted 4 January 2005. Available online 11 March 2005.
- ALI-TOUDERT, Fazia; MAYER, Helmut. 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**, v. 41, n. 2, p. 94–108, 2006.
- ALMEIDA JR, N. - **Estudo de Clima Urbano: Uma Proposta Metodológica.** 2005. Dissertação. (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso. 94 f. Cuiabá, MT.
- AMORIM, M. C. C. T., SANT'ANNA NETO, J. L., DUBREUIL, V. **Estrutura térmica identificada por transectos móveis e canal termal do Landsat 7 em cidade tropical.** Revista de Geografia Norte Grande (Chile), v.43, p.65 – 80, 2009.
- ANDRADE, H. **O Clima Urbano – natureza, escalas de análises e aplicabilidade.** Revista Finisterra, n. 80, p.67-91, 2005.
- ASSIS, E. S. **A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexões sobre uma trajetória.** In: Encontro Nacional e IV Encontro Latino Americano sobre conforto no ambiente construído, Maceió. Anais... Maceió: ANTAC, p. 92-101, 2005.
- ASSIS, E. S. **Aplicações da climatologia urbana no planejamento da cidade: revisão dos estudos brasileiros.** Revista rua. Salvador, n. 9, p. 20–25, 2006.
- ASSIS, Eleonora Sad de. **Impacto da forma urbana na mudança climática: Método para previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano.** São Paulo, 2000. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo Universidade de São Paulo.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: desempenho térmico de edificações: parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.** Rio de Janeiro, 2005.
- BALDINI, M.D.A. & TAVARES, A.C. **Conforto térmico em salas de aula e influência no aproveitamento escolar.** In:Revista Geografia10(19): 163-172. IGCE - Rio Claro. 1985.

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L.C.L.; TORRES, S. C. **Clima e cidade: uma abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. EDUFAL: Maceió, 164 p., 2007.

BARBOSA, R.V.R. **Áreas verdes e qualidade térmica em ambientes urbanos: estudo em microclimas de Maceió (AL)**. (Dissertação, Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

BASSANEZI, R. C. **Ensino-aprendizagem com Modelagem Matemática**. São Paulo: Contexto 2002.

BIEMBENGUT, M. S.; HEIN, N. **Modelagem Matemática no Ensino**. Edição 5ª., 3ª reimpressão. São Paulo – SP: Contexto 2013.

BRANCO, Lorena M. B. C. **Microclimas urbanos no plano piloto de Brasília: o caso da superquadra 108 Sul**. 2009. 141 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

BRANDÃO, A. M. P. M. e LUCENA, A. J. L. **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. Anais... v.1. UFMG, Belo Horizonte, 1999.

BRANDÃO, R. S. **As interações espaciais urbanas e o clima: incorporação das análises térmicas e energéticas no planejamento urbano**. Tese (doutorado – área de concentração: Tecnologia da Arquitetura) – FAU-USP. São Paulo, 2009.

BRANDÃO, Rafael. **As interações espaciais urbanas e o clima**. São Paulo, 2009. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo — Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

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**, 2007. p.699-706.

BRUSE, M. **ENVI-met 3.1**: Online Manual. Disponível em: <http://www.envimet.com/>.

CARFAN, A. C.; GALVANI, E.; NERY, J. T. **Análise de Conforto Térmico no Município de Ourinhos, Utilizando o Modelo ENVI-met**. In: Anais...Congresso Latinoamericano e Ibérico de Meteorologia, XIII. Buenos Aires, 2009. Buenos Aires: UBA, 2009. v. 01. p. 01-10.]

CARFAN, A.C. **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, 2011.

CHOU, S. C.et al. **Evaluation of the Etasimulationsnested in three global climate models**. American Journal of Climate Change, Delaware, EUA, v.3, n. 5, p. 438-454, 2014.

Climates: Studies in Fez and Colombo. Suecia: GrahnsTryckeri AB, 2006.

DACANAL, C.; LABAKI, L. C.; SILVA, T. M. L. **Vamos passear na floresta! O conforto térmico em fragmentos florestais urbanos.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 115 - 132, 2010.

DIMOUDI, A.; NIKOLOPOULOU, M. **Vegetation in the urban environment: microclimatic an alysis and benefits.** Energy and Buildings, v. 35, n.1, pp. 69–76, 2003.

DUARTE, D; GONÇALVES, J; MONTEIRO, L. **Desenho urbano e conforto térmico: avaliação dos espaços abertos da Barra Funda, em São Paulo, por meio de levantamentos de campo e simulação preditiva.** In: IX Encontro Nacional e V Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Ouro Preto, 2007. Anais São Paulo: ANTAC/UFMG, 2007 (CD-ROM).

DUARTE, L.F. **Comportamento microclimático urbano: um estudo de caso de um recorte urbano em João Pessoa – PB.** (Dissertação, Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

ECHENIQUE M. **La estructura del espacio urbano.** Barcelona: G. Gili, p. 235-248,

ECHENIQUE, M. **Modelos: una discusión.**In: MARTIN, L. MARCH L.;

EMMANUEL, M. Rohinton. **AnUrban Approach toClimate-Sensitive Design. Strategies for thetropics.** New York: Spon Press, 2005.

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

Ermatita, Hartati, S., Wardoyo, R. e Harjoko, A., (2011). ELECTRE methods in solvinggroupdecisionsupport system bioinformaticson gene mutationdetectionsimulation. **InternationalJournalof Computer Science &Information Technology**, Vol. 3, No. 1, pp. 40-52.

Fahmy, M.; Sharples, S. 2009, ‘**On the development of an urban passive thermal comfort system in Cairo, Egypt**’. Buildingand Environment. Volume 44, Issue 9, September, p 1907-1916.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental Engineering.** New York: McGraw-Hill, 1972.

FREITAS, M. K. & LOMBARDO, M. A. **O Uso de Imagem Termal Gerada pelos Satélites da Série LANDSAT e NOAA para Estudo de Ilha de Calor: estudo de caso de São Paulo.** Geografia, v. 32, n. 3, p. 645-656, Rio Claro, 2007.

GARCÍA, F.F. **Manual de climatologia aplicada.** Madrid: Editorial Sintesis, 1999.

GARCIA, F.F; ÁLVAREZ, D.R. **Olas de calor e influencia urbana em Madrid y su área metropolitana.** Estudios Geográficos, 2008.

GEIGER, R. **Manual de microclimatologia: o clima da camada de ar junto ao solo**. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1961.

GOOGLE EARTH. [Imagem da área de estudo de caso], 2017.

GROAT, L.; WANG, D. *Architectural research methods*. New York: John Wiley & Sons, 2002.

GUSTAVSON, K.R. et alli. election and modeling of sustainable development indicators: a case study of the Frazer River Basin, British Columbia. **ECOLOGICAL ECONOMICS**, v.28, n.1, Jan. 1999.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 10 agosto, 2016.

Instituto Nacional de Meteorologia- INMET. **Normais Climatológicas - Brasil- de 1961 a 1990**. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária- Departamento Nacional de Meteorologia, 1992.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 7730**: ergonomics of the thermal environment: analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Geneva, 2005.

JENDRITZKY G.; HAVENITH G.; WEIHS P.; BATCHVAROVA E. Towards a Universal Thermal Climate Index UTCI for assessing the thermal environment of the human being, **Final Report COST Action 730**, 2009.

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

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

JOHANSSON, E. Influence of Urban Geometry on Outdoor Thermal Comfort in a Hot Dry Climate: a study in Fez, Morocco. **Building and Environment**, v. 41, p. 1326-1338, 2006.

JOHANSSON, E. **Urban Design and Outdoor Thermal Comfort in Warm**.

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

KARLSSON, M.; BRENTTEL, J e ANDREKSON, P. A., **Long-Term Measurement of PMD and Polarization Drift in Installed Fibers**, *Journal of Light wave Technology*, vol. 18, n°:7, p. 941-951, July 2000.

LANDSBERG, H. E. **The climate of towns**. In: THOMAS, W. E., et al., *Man's role in changing the face of earth*, 1956. p. 584-606.

LANDSBERG, H. E. **The urban climate**. New York: Academic Press, 1981.

LEAL SANTOS, Rosângela; ANDRADE, Henrique Oliveira de. **Avaliação quantitativa do conforto térmico de uma cidade em área de transição climática: Feira de Santana-Bahia**, Brasil. Rev. geogr. Norte Gd., Santiago, n. 40, set. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071834022008000200005&lng=es&nrm=iso>. Acesso em: fevereiro 2013.

LIMA, D. C. R.; NUNES, L. A.; SOARES, P. F. **Avaliação da influência da vegetação no conforto térmico em espaços livres**. In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA, 2009, Maringá. Anais... Maringá: [s.n.], 2009. Não paginado.

LINDBERG F, Grimmond CSB (2010) **Continuous sky view factor from high resolution urban digital elevation models**. Clim Res 42(3):177–18

LINDBERG, F.; THORSSON, S.; RAYNER, D.; LAU, K. **The impact of urban planning strategies on heat stress in a climate-change perspective**. Sustainable Cities and Society, Amsterdam: v. 25, p. 1-12, 2016.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de Calor nas Metrópoles – O Exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 244p, 1985.

MACIEL, C. R. **Condições microclimáticas de espaços abertos: simulação de estratégias por meio do software Envi-met**. Tese (Doutorado em Física Ambiental) Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, 93 f, 2014.

MADUREIRA, Carlos M. N., (1992) – **A metodologia sistêmica, Geo-sistemas**, Nº.1, pp. 21-35.

MARIN, F. R.; ASSAD, E. D.; BARBARISI, B. F.; PILAU, F. G.; PACHECO, L. R. F.; ZULLO JUNIOR, J.; PINTO, H. S. **Efeito das mudanças climáticas sobre a aptidão climática para cana de açúcar no estado de São Paulo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracajú. Anais... Aracajú, 2007.

MARTINI, A. Estudo fenológico em árvores de rua. In: BIONDI, D.; LIMA NETO, E. M. de (Org.). **Pesquisas em arborização de ruas**. Curitiba, 2011. p. 29 – 48

MASCARÓ, L.; MASCARÓ, J. J. **Vegetação urbana**. 3. ed. Porto Alegre: +4 Editora, 2010. 20

MASCARÓ, Lucia. **Ambiência Urbana**. Porto Alegre: Masquatro, 2005.

MASIERO, E.; SOUZA, L. C. L. de. **Variação de umidade absoluta e temperatura do ar intraurbano nos arredores de um corpo d'água**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 25-39, jul./set. 2013. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

MENDONÇA, F. **O Estudo do Clima Urbano no Brasil: Evolução, tendências e desafios.** In: MONTEIRO, C. A. F. & MENDONÇA, F. (Org.) **Clima Urbano.** São Paulo: Editora Contexto, 2003.

MONTEIRO, C. A. F. & MENDONÇA, F. (Org.) **Clima Urbano.** São Paulo: Editora Contexto, 2003.

MONTEIRO, C. A. F. **Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura.** Geosul, ano V, n.9. Editora UFSC, 1990.

MONTEIRO, C. A. F. **Some aspects of the urban climate of tropical South America: the Brazilian contribution.** In: Technical conference on urban climatology and its applications with special regard to tropical areas, Cidade do México. Proceedings. Geneva, WMO No. 652, p. 166-197, 1986.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano.** (Tese, livre- docência em Geografia). Faculdade de Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1976.

MONTEIRO, L. M. **Modelos preditivos de conforto térmico: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos.** 378p. Tese (Doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

NAKATA, C. **Comportamento do pedestre e ambiente térmico urbano.** Dissertação (Mestrado). Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista, 2010.

NIKOLOPOULOU, M.; STEEMERS, K. Thermal Comfort and Psychological Adaptation as a Guide for Designing Urban Spaces. **Energy and Building**, v. 35, n. 1, p. 95-101, 2003.

NOBREGA, R. S.; VITAL, L. A. B. **Influência da Urbanização sobre o Microclima de Recife e Formação de Ilha de Calor.** Revista Brasileira de Geografia Física N-03 p.151-156. 2010.

OKE, T. R. **Boundary layer climates.** London: Methuen, 1978.

OKE, T. R. **City size and the urban heat island.** Atmospheric Environment. London, Pergamon, v.7, p. 769-779, 1973.

OKE, T. R. **Initial Guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites.** World Meteorological Organization, Geneva, 2004.

OKE, T. R. **The distinction between canopy and urban layer urban island.** Atmosphere v-14, p.268-277, 1976.

OKE, T. R; SPRONKEN-SMITH, R. A; LOWRY, W. P. **Advection and the surface energy balance across an irrigated urban park.** International Journal of Climatology, 1033-1047, 2000.

OKE, T.R. **The energetic base of urban heat island.** Quartely Journal of the Royal Meteorological Society. London, Elsevier Science, v.108, p.1-24, 1982.

OKE, T.R. **Towards a prescription of the greater use of climatic principles in settlement planning.** Energy and Buildings. London, Elsevier Science, 7, p.1-10, 1984.

OLIVER, M.; WESBSTER, R. e GERRAD, J., (1989) – **Geostatistics in physicalgeography.** Part I: Theory, Trans. Inst. Br. Geogr., 14, pp. 256-269

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal.** São Paulo: Agronômica Ceres 1981. 440p.

ROMERO, M. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano.** São Paulo: ProEditores, 2001.

RUAS, A. C. **Avaliação de Conforto Térmico: contribuição à aplicação prática das Normas Internacionais.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, 1999. Disponível em: http://www.fundacentro.gov.br/ARQUIVOS/PUBLICACAO//Avaliacao_de_Conforto_Termico.pdf

SANT'ANNA NETO, J. L. **Clima e a organização do espaço.** Boletim de Geografia, Maringá, v. 16, n. 1, p. 119- 131, 1998.

SANT'ANNA NETO, J. L. **Os Climas das cidades brasileiras.** org.- Presidente Prudente: [s.n] 2002.

SANTOS, I. G. **Influência da geometria urbana e da inércia térmica na alteração do clima urbano: uma abordagem preditiva.** In: VII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 05 a 07 de novembro de 2003, Curitiba-PR. Anais do VII ENCAC; 2003.

SANTOS, J; TAVARES, R; AMORIM, J. H; MIRANDA, A. I. **Estudo do efeito da vegetação na dispersão de poluentes em zonas urbanas.** Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro. 8ª Conferência Nacional de Ambiente. Lisboa, Portugal. 2004. Disponível em:<<http://www2.dao.ua.pt/gemac/resources/8aCNA>>. Acesso em: 12 fev.2017.

SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **Informações dos municípios paulistas – Sorocaba.** 2014. Disponível em: <<http://www.imp.seade.gov.br/frontend/#/peril>> Acesso em 10 set. 2016.

SILVA, Francisco A. Gonçalves da. **O vento como ferramenta no desenho do ambiente construído. Uma aplicação do nordeste do Brasil.** 1999. Tese (Doutorado em Arquitetura) — Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

SOUZA, L.C.L. – **Departamento térmico de coberturas leves: Aplicação do modelo NBSLD.** São Carlos. 87 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1990.

TONIETTO, J & MANDELLI, F. – **Uvas americanas e híbridas para processamento em clima temperado.** Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 22 de setembro, 2016.

TUMINI, I.; GARCÍA, E. H.; RADA, S. B. **Urban microclimate and thermal comfort modelling: strategies for urban renovation.** International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development. v. 7, n. 1, p. 22-37, 2016.

VILELA, J. **Variáveis do clima urbano: análise da situação atual e prognósticos para a região do bairro Belvedere III**, Belo Horizonte, MG. 213f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

XAVIER, A. A.P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis.** Florianópolis: [s.n], 1996. (Dissertação).

ANEXOS

ANEXO A - Foto do local onde foi instalada a estação meteorológica.



Fonte: Street View, 2017.

ANEXO B - Foto da estação meteorológica instalada.



Fonte: Souza, 2016.