

O DESEMPENHO AMBIENTAL DE VIAS ARBORIZADAS NA CIDADE DE TERESINA POR MEIO DE DADOS SENSORIAIS, MICROCLIMÁTICOS E SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS COM O AUXÍLIO DO *ENVI-MET*.

Caio Frederico e Silva (1); Marta Adriana Bustos Romero (2)

(1) Arquiteto, Mestre, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da UnB, caiosilva@unb.br; (2) Arquiteta, Doutora, Professora do Programa de Pós-Graduação e Arquitetura e Urbanismo da UnB, romero@unb.br. Endereço: Universidade de Brasília, Laboratório de Sustentabilidade Aplicada à Arquitetura e ao Urbanismo, Caixa postal 04431, Brasília, DF, Tel.: (61) 3307-2818

RESUMO

Este trabalho trata do desempenho ambiental da arborização urbana inserida na via pública. São destacadas, como objeto de estudo, avenidas da cidade de Teresina – Piauí, caracterizada por possuir clima tropical subúmido. Tem, como principal objetivo, a função de contribuir com diretrizes gerais de desenho urbano bioclimático para a produção de um espaço mais confortável climaticamente. Para isso, discute-se o microclima gerado nas vias públicas, a partir da conformação da arborização e das calçadas deste espaço urbano, relacionando-se os diversos fatores que determinam este microclima urbano, tais como a topografia, o revestimento do solo, a vegetação, a presença de barreiras, pois estes alteram, sobretudo, a incidência dos raios solares e de ventilação. O estudo foca nas ruas, nas quais se percebe que a quantidade de superfície impermeável e a quantidade de superfície sombreada são determinantes para a criação de microclimas diferenciados. Este trabalho apresenta os resultados sensoriais e climáticos e as análises dos resultados, incluindo aqueles obtidos através das simulações computacionais realizadas no software *ENVI-met*, especializado em simulações climáticas de áreas urbanas. Como conclusão, a pesquisa demonstra que o espaço público das vias possui seu microclima diferenciado de acordo com a quantidade e conformação de arborização que possui; além disso, são apresentadas como alternativas algumas diretrizes gerais de desenho urbano bioclimático, visando a um melhor conforto térmico para o espaço público das vias urbanas.

Palavras-chave: Arborização; Materiais Urbanos; Microclima.

ABSTRACT

This paper deals with the environmental performance of urban arborization in the thoroughfare. Avenues of Teresina-Piauí, characterized as a sub-humid tropical city, are highlighted as the object of study. As its main goal, the study contributes general guidelines for bioclimatic urban design, aiming to produce a climatically more comfortable space. For this purpose, it discusses the microclimate created on thoroughfares by the configuration of stocks and sidewalks in urban spaces, and links up the various factors determining the urban microclimate, such as topography, surface soil, vegetation, the existence of barriers etc., as long as these factors are specially responsible for changing the incidence of sunlight and ventilation. This paper focuses on streets, where it is possible to perceive that the amount of impervious surface and shaded area is determinative to the creation of different microclimates. This work presents the sensorial and climatic results and analysis of results, including those obtained through computer simulations carried out with *ENVI-met*, a software specialized in climate simulations of urban areas. As a conclusion, the research indicates thoroughfares in public spaces are places where microclimate properties are determined by the quantity and shape of urban vegetation; besides, some alternatives are presented as general guidelines for bioclimatic urban design, aimed at providing better thermal comfort in the public space of thoroughfares.

Keywords: Arborization; Urban Material; Microclimate.

1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização modifica substancialmente os ecossistemas naturais, aumentando a temperatura, reduzindo a umidade, além de alterar a composição química da atmosfera, o que acarreta a criação de microclimas. Estes, por sua vez, apresentam condições de habitabilidade e sustentabilidade nem sempre satisfatórias e apontam a vegetação como um dos fatores que podem ser usados para reverter ou minimizar estas conseqüências.

Assim, grandes problemas urbanos se dão pelo contínuo tratamento desconexo entre a configuração, o clima e a vegetação urbanos. Tratando-se da qualidade arquitetônica do espaço público, esses três elementos, aqui representados pelas vias (símbolo da configuração urbana), microclima (contexto climático para a escala da rua) e arborização (principal estratégia bioclimática de vegetação urbana), são considerados, ao mesmo tempo, contexto e determinantes da configuração. No entanto, entende-se que devem ser inter-relacionados para que se obtenham adequadas proporções de vegetação urbana dentro da configuração do tecido urbano, num contexto climático específico, a fim de ser efetivada sua contribuição para a melhoria do conforto ambiental.

Toda a configuração urbana e, principalmente, sua conformação por materiais urbanos, contribuem na formação dos microclimas diferenciados no contexto da cidade. No meio urbanizado, por exemplo, quanto maior o índice de concreto, asfalto e pavimentação (materiais com maiores coeficientes de absorção e emissão de energia térmica), e menor a cobertura vegetal, maiores são os ganhos de calor da massa edificada e maior é, também, a emissividade desta para o espaço urbano, o que contribui para temperaturas mais elevadas, incremento de ilha de calor e, conseqüentemente, temperaturas mais elevadas no espaço urbano causando um maior desconforto para o usuário dos espaços urbanos.

Observa-se, então, que a via é o principal contexto onde se estabelecem inúmeras relações e interferências ambientais, como a arborização e a criação de microclimas específicos. Para isso, torna-se necessária a conceituação deste elemento fundamental no tecido urbano, a via, que, para Stanford (1981), constitui o espaço de acesso público e um subsistema organizativo da cidade. De modo amplo, a configuração urbana é resultado das relações estabelecidas pelo homem entre a morfologia da massa edificada e a morfologia dos espaços exteriores, e entre estas e o solo. Oliveira (1985) esclarece que características tais como rugosidade, porosidade, tamanho, (dimensões horizontal e vertical), ocupação do solo e orientação são as características da forma urbana que mais influem nas condições de conforto térmico e qualidade do ar.

Neste contexto, Lamberts et al (1997) enfatiza a importância de se projetar o espaço externo, levando em conta todas as funções que ali se realizarão, o simples fato de haver posicionamento dos volumes edificados no espaço já é responsável por originar microclimas diferentes.

Outro componente necessário para esse estudo se refere ao clima que, segundo os trabalhos de Romero (2000), se traduzem em: topo, meso e microclima, bioclimatismo, princípios de desenho adaptado ao clima e microclima urbano, além dos fatores climáticos locais entendidos como a vegetação, topografia e o revestimento do solo.

Oliveira (1985) explica que, hoje, modificações no clima são vistas como situadas em um contexto maior, variando quanto às dimensões do espaço geográfico/atmosférico e quanto ao dinamismo das atividades desenvolvidas pelo homem nas cidades. Silva (1999) complementa, abordando que “o clima urbano é resultante da ação do homem sobre a organização do espaço urbano, ocasionando mudança na rugosidade, porosidade e permeabilidade do solo, alterando a cobertura vegetal e o relevo (supressões e/ou inserções ambientais)”.

No processo de urbanização, os materiais de construção utilizados possuem propriedades físicas distintas do solo natural, apresentando menor valor de albedo (coeficiente de refletância), maior capacidade calorífica e valor elevado de condutividade térmica. Tais características resultam na modificação do balanço da radiação, influenciando, sobretudo, no aumento da temperatura e na

redução da umidade do ar, o que prejudica a qualidade bioclimática desses espaços. (Tabela 1).

Tabela 1 - Albedo de algumas superfícies

<i>Tipo de superfície</i>	<i>Albedo</i>	<i>Tipo de superfície</i>	<i>Albedo</i>
Solo negro e seco	14	Gramados	15-30
Solo negro e úmido	8	Concreto seco	17-27
Solo nu	7-20	Asfalto	5-10
Areia	15-25		

Adaptado de Mendonça e Monteiro (2003).

Prova disso é o fato de que as maiores temperaturas no centro urbano ocorrem onde existe maior incidência de concreto, cimento e pavimentação asfáltica, compondo densas áreas. As propriedades físicas dos materiais constituintes da massa edificada, da vegetação e das superfícies, pavimentadas ou não, dentro da estrutura urbana - que influem na quantidade de energia térmica acumulada e irradiada para a sua atmosfera, contribuindo para aumentar as temperaturas urbanas - são expressas, principalmente, pelo albedo.

Dessa forma, vê-se que os efeitos positivos da vegetação passam a ser cada vez mais desejados no contexto urbano, pois, com o crescimento das cidades, os ambientes anteriormente naturais, ricos de vegetação, passam a ser compostos de materiais estritamente urbanos, reduzindo a presença da árvore neste cenário, em substituição ao asfalto e ao concreto, na maioria das vezes.

Neste sentido, é premente a necessidade de quantificar os ganhos e perdas climáticos com a vegetação no espaço urbano, para que as cidades não sigam repetindo erros na produção do espaço urbano desconfortável climaticamente, e para que se possa potencializar a inserção da vegetação na cidade, conforme cita Franco (1997) em sua proposta de desenho ambiental urbano.

Chegando mais próximo ao nível da edificação, têm-se as escalas meso e microclimáticas. Lamberts et al (1997) aborda que alguns tipos de mesoclima podem ser identificados facilmente, como, por exemplo: o litoral, o campo, as florestas, os vales, as cidades e as regiões montanhosas. É aqui que variáveis como a vegetação, a topografia, o tipo de solo e a presença de obstáculos naturais ou artificiais influenciam as condições locais de clima. De forma semelhante, mas bem mais perto da edificação, tem-se o microclima. Este pode ser concebido e alterado pelo arquiteto. Lamberts et al (1997) explica que o estudo das variáveis desta escala é fundamental para o lançamento do projeto, pois uma série de particularidades climáticas do local pode induzir a soluções arquitetônicas mais adequadas ao bem-estar das pessoas e à eficiência energética.

Em cidades de clima tropical subúmido, a arborização urbana assume grande relevância bioclimática. Dessa forma, estudos que quantifiquem e qualifiquem a contribuição da vegetação no espaço público da cidade têm amplo significado social, cultural e científico. Assim sendo, este estudo volta-se para a quantificação dos ganhos em conforto com o uso da arborização no sistema viário público (caixas viárias, canteiros centrais e calçadas laterais) e sua direta repercussão no espaço edificado. Para isso, as pesquisas focam em análises objetivas sobre a qualidade ambiental das cidades, o que representa importante subsídio norteador de futuras intervenções nos espaços públicos. E, ainda, serve de fundamentação teórica para nortear planos urbanos que objetivem, como ação prioritária, a arborização urbana adaptada à infra-estrutura - sistema viário - e às condições bioclimáticas de cada lugar.

Neste sentido, propõe-se o presente trabalho, derivados dos estudos de Silva (2009), que analisa a contribuição da vegetação no conforto térmico de vias urbanas e aplica o *software ENVI-met* de modelagem tridimensional microclimática, em caráter pioneiro nos estudos desenvolvidos na Universidade de Brasília. Bruse (2008) cita que este programa é baseado em diversos projetos de investigação científica e está, portanto, sob constante desenvolvimento. Sua proposta baseia-se no prognóstico das leis fundamentais da dinâmica de fluidos e da termodinâmica. O modelo inclui a simulação de: enchente ao redor e entre edifícios troca de processos de calor e vapor na superfície do solo e nas paredes turbulência troca de vegetação e parâmetros de vegetação; bioclimatologia; dispersão de partículas. A aplicação do *ENVI-met* se dá nas áreas da climatologia urbana, arquitetura, design de prédios ou planejamento ambiental, entre outras correlatas.

2. OBJETIVO

O presente trabalho apresenta como objetivo geral a análise do desempenho ambiental de vias públicas da cidade de Teresina. Para isso, pretende-se analisar microclimaticamente o espaço das vias por três meios: sensorial, coletas de dados climáticos e por simulações computacionais. Além disso, pretende apresentar uma metodologia de estudos com o *software* de simulação ENVI-met.

3. MÉTODO

De modo a esclarecer os procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa, é esquematizado um pequeno roteiro no qual são seguidos alguns passos de análise organizados em três momentos e classificados para efeito didático: 1º - Apresentação da cidade estudo de caso e definição das vias; 2º - Caracterização sensorial e microclimática dos pontos estudados; 3º - Simulações e análises dos resultados.

3.1 – Apresentação da cidade estudo de caso e definição das vias

Inicialmente, foi traçada uma pequena caracterização do espaço ambiental urbano da cidade, e, em seguida, um detalhamento acerca do sistema viário de Teresina. No momento em que são apresentadas as áreas de estudo, são definidos parâmetros de análise a partir de desenhos esquemáticos, fotografias e programas gráficos, que classificam as vias estudadas a partir dos fatores climáticos locais: vegetação, superfície do solo e topografia. Para este artigo, foram selecionadas as duas vias que representam situações distintas de arborização urbana, o que reflete em características extremas em relação ao conforto ambiental: Avenida Frei Serafim (ponto 1) e Avenida João XXIII (ponto 2) (Figura 1).

A partir da imagem de satélite e do projeto executivo e implantado das vias, auxiliado por ferramenta gráfica e AutoCAD foram extraídas as proporções dos materiais que compõem a caixa viária. Dessa forma, nos trechos escolhidos (área de 1.000 m²), a via que representa o ponto 1 possui 30% de arborização contra apenas 3% da via que representa o ponto 2 (Figuras 2 e 3).



Figura 1 – Avenidas Frei Serafim (ponto 1) e João XXIII (ponto 2).

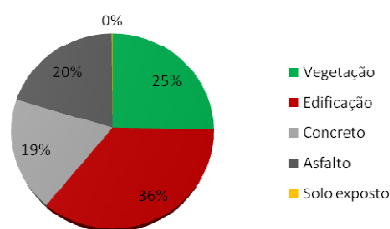


Figura 2 – Distribuição dos materiais urbanos (ponto 1)

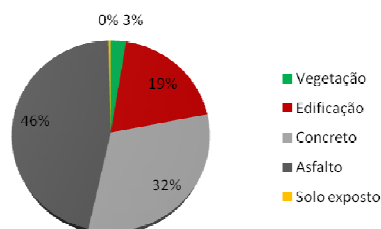


Figura 3 – Distribuição dos materiais urbanos (ponto 2)

3.2 - Caracterização sensorial e microclimática dos pontos estudados

Para a caracterização climática da cidade de Teresina, é utilizada literatura especializada e consulta aos dados da estação climatológica INMET - Instituto Nacional de Meteorologia /Área de Irrigação EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias/Meio Norte além de dados históricos (30 anos) da estação convencional do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. (INMET, 2007, 2008; Lima e Assunção, 2002).

Para a coleta de dados na microescala, segue-se com a realização de medições de temperatura, umidade do ar e velocidade dos ventos, em locais definidos, nos horários definidos pela Organização Meteorológica Mundial, às 9 h, 15 h e 21 h, em dois dias consecutivos, considerando os dois períodos característicos: seco e chuvoso, utilizando-se de equipamentos portáteis da Instrutherm, tais como termohigrômetro (Figura 4A), termômetro infravermelho (Figura 4B), anemômetro (Figura 4C) e biruta (desenvolvida no Laboratório de Sustentabilidade Aplicada à Arquitetura e ao Urbanismo, Figura 4D). A partir dos dados coletados, prossegue-se com a comparação entre os dados obtidos nas estações meteorológicas e aqueles dados obtidos nas vias em estudo.

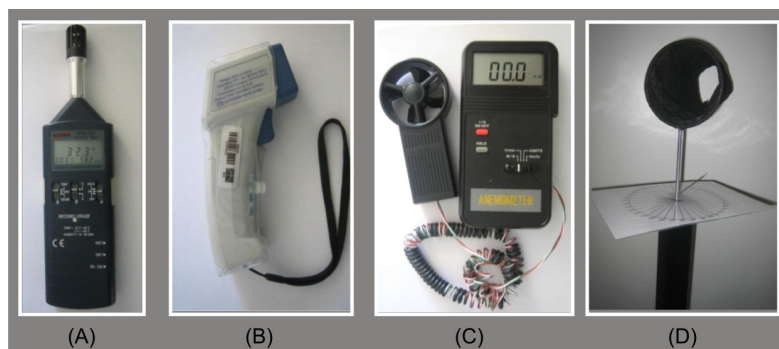


Figura 4 – Instrumentos portáteis de coletas de dados microclimáticos

É feita, também, a representação dos dados sensoriais da percepção de conforto térmico nas avenidas estudadas. Depois disso, é traçado o perfil microclimático dos diferentes pontos estudados, a partir dos dados meteorológicos coletados, em contraponto aos dados meteorológicos históricos da cidade de Teresina (INMET, 2008).

3.3 - Simulações e análises dos resultados

De modo a validar a situação microclimática de cada área de estudo, simulações computacionais foram desenvolvidas em *software* especializado em análise ambiental e bioclimática, o *ENVI-Met*¹, cuja modelagem é baseada nas leis fundamentais da dinâmica de fluidos e da termodinâmica, além deste, é utilizado o *software* Leonardo 3.75, como aporte para a representação dos resultados obtidos. Para isso, baseia-se nas metodologias de Duarte et al (2007), o qual utiliza simulações paramétricas explorando as diferentes formas de distribuição verde no espaço e seu impacto em diferentes configurações urbanas, a fim de verificar as reduções da

¹ O *software* ENVI-met e o seu aplicativo Leonardo 3.75 foram elaborados por Michael Bruse, pesquisador do Departamento de Geografia da Universidade de Bochum – Alemanha. As versões disponíveis são a 3.0, desde 2004, e 3.1, inaugurada em março de 2008, sendo esta última a versão utilizada nas simulações desta dissertação.

temperatura e o aumento da umidade do ar.

Para a finalidade deste trabalho, foram realizadas simulações com diferenciados ordenamentos, quantidades e tipos de vegetação nos pontos estudados, como também com diversos materiais de revestimento de solo, em diferentes proporções e índices de permeabilidade. Para isso, será seguida a metodologia de Duarte et al (2007), em que usa simulações paramétricas explorando as diferentes formas de distribuição verde no espaço e seu impacto em diferentes configurações urbanas, a fim de verificar as reduções da temperatura e o aumento da umidade do ar, como também a de Silveira (2005) que estuda o desempenho da ventilação no espaço livre.

O mês de março é escolhido para as simulações, tendo em vista que é esse mês que é considerado para a coleta de dados *in loco*, por representar a época úmida, e, logo, por representar a época com que as imagens aéreas são coletadas, e, por seqüência, são utilizadas na representação dos dados para a entrada no programa de simulação.

Os horários em que são gerados os mapas de simulação são os mesmos horários em que são feitas as coletas de dados *in loco*, ou seja, 9 h, 15 h e 21 h.

Cria-se um arquivo com configurações básicas para a cidade de Teresina. Para os dados não obtidos da estação climatológica de referencia da cidade, são utilizados dados oficiais disponibilizados nos aeroportos do mundo interiro, utiliza-se como referência dados do aeroporto de Natal – RN², uma vez que aquela cidade situa-se em latitude muito próxima à cidade de Teresina, e, dentre as disponíveis, era também a cidade mais próxima geograficamente.

A seguir, é representado o procedimento metodológico de transformação dos dados reais, partindo de imagem de satélite tirada no primeiro semestre do ano, para dados digitais, convertidos, inicialmente, em *pixels* no programa *AutoCAD*, em seguida, convertidos em arquivos Bitmap para a inserção na interface do programa *ENVI-met*. Torna-se importante salientar que cada área representada é de 10.000 m² (100 m x 100 m), e, para melhor desempenho da simulação, são convertidas em tramas de 40 *pixels* x 40 *pixels*, logo, são construídas grades com dimensão de 2,5 m x 2,5 m. (Figura 5).

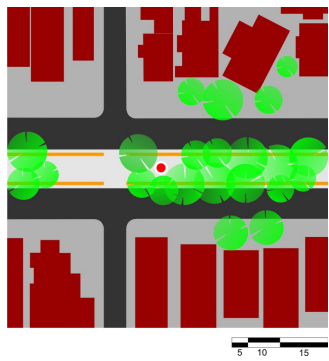
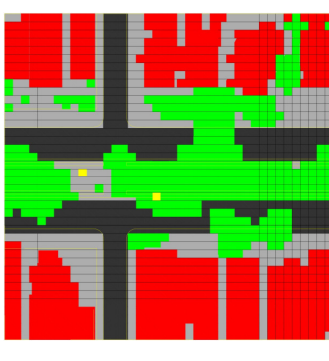
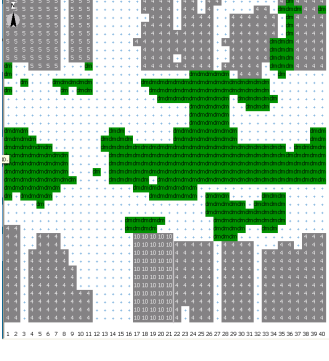
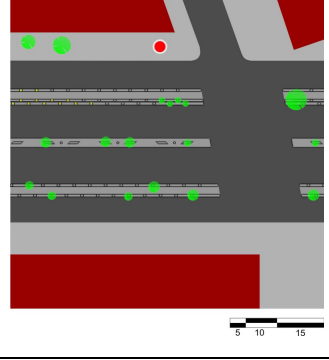
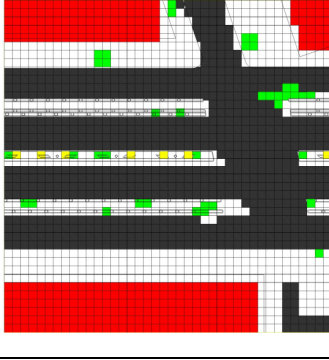
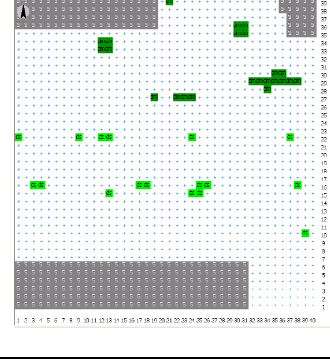
Ponto	Representação Gráfica do Local	Transformação em Pixel 2,5x2,5m	Inserção de dados no ENVI-met
1			
2			

Figura 5 - Entrada de dados no ENVI-met da área 2 – vegetação e edificação e revestimento do Solo

² Natal – RN tem clima quente úmido que é equivalente ao clima do mês de março na cidade de Teresina - PI. Dessa forma, as simulações foram geradas para o mês de março.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Dados Sensoriais

Dados sensoriais também são registrados pelos pesquisadores, que, antes de coletarem os dados climáticos, registram as sensações de conforto térmico do ambiente das vias estudadas. Os dados são apresentados e mostram que, no período seco, a Avenida João XXIII (ponto 3) apresenta sensações de conforto que variam entre desagradável (quente) no horário da tarde e pouco agradável nos horários da manhã e noite. As sensações de conforto térmico nas demais avenidas (Santos Dumont e Frei Serafim) variam entre agradável e muito agradável. (Tabela 2).

Tabela 2 – Dados sensoriais registrados nos meses de outubro/2007 e março/2008

Hora	Pontos	Avenidas	Mês	Desagradável (quente)	Pouco agradável	Agradável	Muito agradável	Desagradável (frio)
9h	2	Frei Serafim	Outubro					
9h	3	João XXIII	Outubro					
15h	2	Frei Serafim	Outubro					
15h	3	João XXIII	Outubro					
21h	2	Frei Serafim	Outubro					
21h	3	João XXIII	Outubro					
9h	2	Frei Serafim	Março					
9h	3	João XXIII	Março					
15h	2	Frei Serafim	Março					
15h	3	João XXIII	Março					
21h	2	Frei Serafim	Março					
21h	3	João XXIII	Março					

Assim, vê-se que a coleta desses dados meteorológicos representa a realidade da situação pontual da micro-escala das avenidas estudadas, servindo de comparação entre as avenidas pesquisadas, nos dois semestres anuais.

As datas das medições em campo são 8 e 9 de outubro de 2007 e 21 e 22 de março de 2008. Percebe-se que cada semestre típico é coletado em um ano diferente: outubro, tipicamente seco, é estudado em 2007, e o mês de março, tipicamente úmido, é estudado em 2008. Essa definição justifica-se pelo cronograma proposto para este trabalho. Assim, a apresentação dos gráficos segue a lógica cronológica, ou seja, primeiro são apresentados valores da época seca (outubro de 2007); em seguida, os valores da época úmida (março de 2008).

Os dados sensoriais registrados se mostram legítimos uma vez que representam com fidelidade a realidade do conforto das vias estudadas, podendo assim, corroborar com os resultados apresentados no quadro microclimático elaborado a partir dos dados coletados *in loco*. Destaca-se que a umidade relativa do ar é menos expressiva nas três áreas do que no INMET.

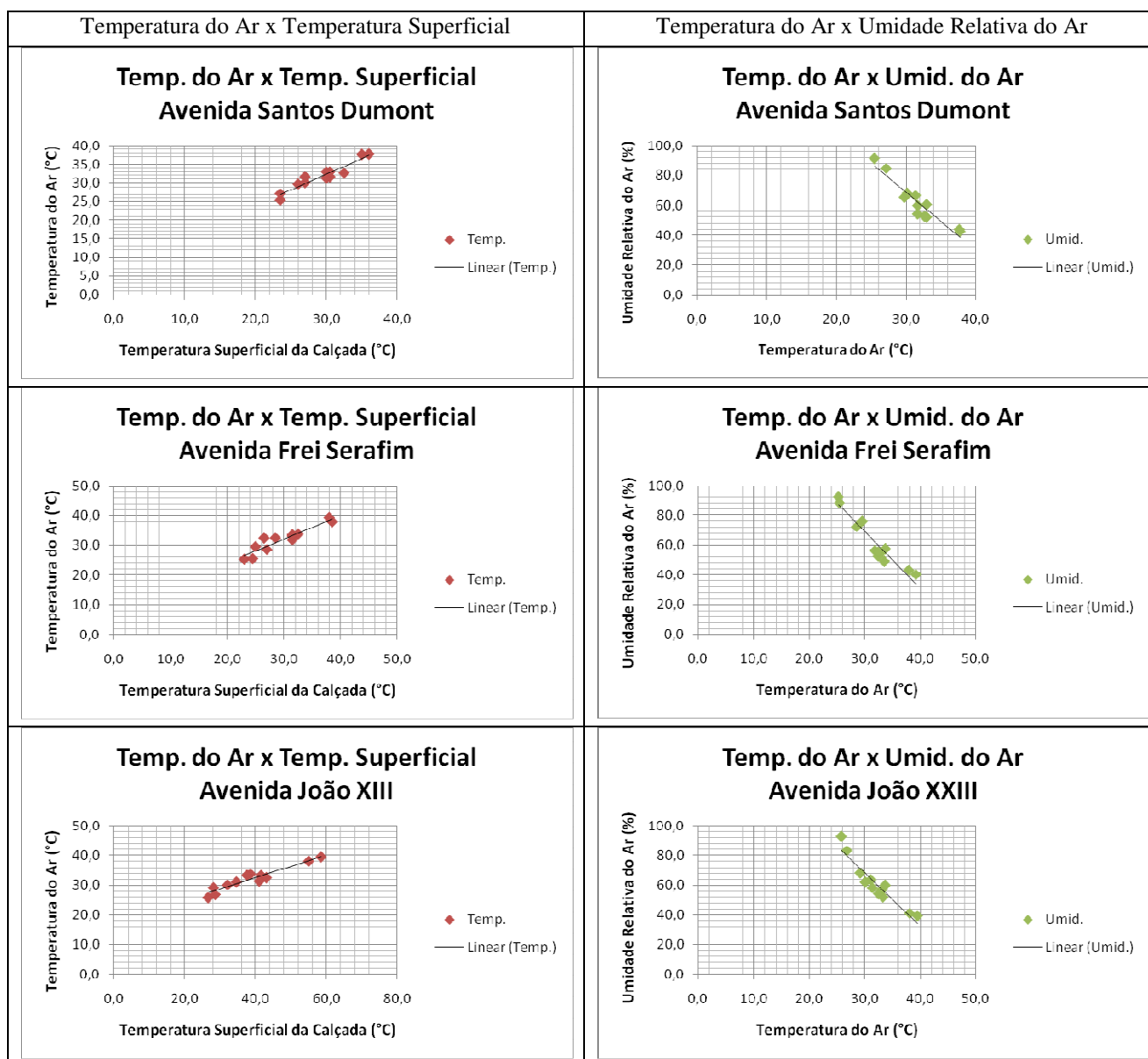
4.2 Dados climáticos

São apresentados dados microclimáticos que consideraram os períodos seco e chuvoso, utilizando-se de equipamentos portáteis, como termohigrômetro, termômetro infravermelho, anemômetro e biruta.

Ao se comparar a temperatura com a umidade, espera-se um resultado inversamente proporcional, ou seja, quanto mais quente, menos úmido, e, se menos quente, mais úmido. Esta afirmativa é confirmada pelos dados coletados em campo. A relação de proporção inversa está claramente demonstrada no quadro 1.

A relação entre os parâmetros temperatura do ar e velocidade do vento não é clara. Percebe-se que a ventilação apresenta valores irregulares, que variam de 0,0 m/s a 2,0 m/s, sem nenhuma relação aparente com a redução de temperatura entre o período seco e o período úmido, neste caso, os gráficos não estão apresentados neste trabalho.

Quadro 1 – Dados climáticos coletados *in loco*



4.3 Simulações no ENVI-met

A segunda etapa da pesquisa se deteve a simulações computacionais realizadas por meio do programa *ENVI-met*.

4.3.1 Simulação das Áreas 1 e 2

A Avenida Frei Serafim, é aqui representada pela área 1. Nessa área, para o período da manhã (9 h), a variação registrada é de 1,59 °C, entre o local mais quente e o menos quente. A variação torna-se considerável quando se atenta para o tamanho reduzido da área, de apenas 100 m x 100 m.

A imagem gerada pela simulação desta área representa, assim como na área 1, uma grande parte de área livre de edificação em tons frios (75 %), que, segundo a representação da simulação, é referente aos valores mais baixos de temperatura e os tons quentes (25 %) da área livre de edificação são referentes aos valores elevados de temperatura do ar.

A área 1, embora não represente a área com uma maior arborização, é a que apresenta o valor mais baixo de temperatura dentre as três áreas simuladas que é de 23,21°C. Este resultado demonstra que a orientação da Avenida Frei Serafim (área 1), favorável à ventilação, garante a esta área os mais baixos valores de temperatura, uma vez que esta simulação levou em consideração a

época úmida da cidade de Teresina, em que a ventilação contribui para a redução de temperatura (Figura 3).

A Avenida João XXIII, representada pela área 2. Nesta área, para o período da manhã (9 h), a variação registrada é de 1,41 °C entre o local mais quente (25,7 °C) e o menos quente (24,29 °C).

Nessa área, é visível grande parte da área livre de edificação em tons quentes, cerca de 88 %, que, segundo a legenda, representam os maiores valores de temperatura. As manchas em magenta representam exatamente as faixas de asfalto da via, local em que a temperatura é extrema. Já as poucas áreas em tons frios, representam aproximadamente, 12 % da área livre de edificação (Figura 6).

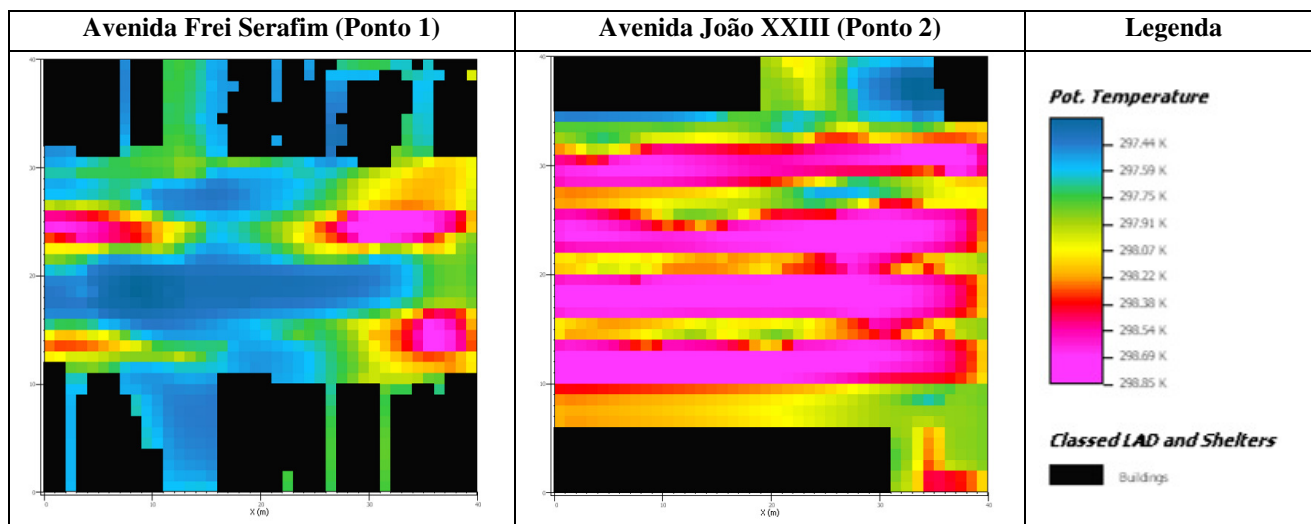


Figura 6 – Simulação das Áreas 1 e 2 – 9 h

Os resultados apresentados nesta pesquisa e as análises efetuadas sobre os dados obtidos e sobre as simulações computacionais realizadas se mostram eficientes, pois permitem que sejam organizadas correlações entre valores de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade dos ventos e temperatura superficial das calçadas, evidenciando diferenças a partir de comparações entre as avenidas estudadas.

No caso da formação da ilha de calor, no horário noturno, quando o acúmulo de calor recebido durante o dia é devolvido para a atmosfera, um local densamente arborizado (área 1) apresenta-se como um cenário negativo para as trocas térmicas, conforme é demonstrado nas simulações no o horário noturno.

Prova disso, destaca-se o caso da arborização da Avenida Frei Serafim (área 1) que não possui fechamento da copa das árvores. Esse fato garante uma melhor circulação dos ventos, fazendo esta área acumular uma menor quantidade de calor.

Os parâmetros de análise mostram-se satisfatórios para a análise do objeto de estudo traçado. Os desenhos esquemáticos, as fotografias e os programas gráficos utilizados são importantes ferramentas para o entendimento das áreas de estudo.

Na caracterização climática da cidade de Teresina, e, mais especificamente, das áreas de estudo, ficou clara a correlação direta dos dados coletados em campo com o clima típico da cidade, que reforça a presença marcante de dois períodos bem diferenciados e, portanto, exige soluções diferenciadas para ambas as épocas.

Uma das principais contribuições desse trabalho se deu com as simulações computacionais desenvolvidas, pois é nessa etapa em que se analisam os resultados como também são demonstrados todos os gráficos gerados e diagramas esquemáticos acerca do desempenho da arborização nas diferentes realidades das vias públicas da cidade.

Assim, vê-se que o programa *ENVI-met*, principal ferramenta utilizada nesta pesquisa, mostra-se adequado para a simulação de áreas urbanas. As limitações encontradas tornam-se irrelevantes na medida que o estudo representado por este trabalho tem caráter pioneiro no

desenvolvimento de simulações de desempenho ambiental térmico em estudos desenvolvidos pela Universidade de Brasília.

5. CONCLUSÕES

Conclui-se que a contribuição da vegetação é efetiva para o conforto ambiental do espaço público, o que repercute diretamente na qualidade ambiental do espaço construído, uma vez que são registradas diferenças de temperatura, entre áreas pouco arborizadas e áreas densamente arborizadas, de até 5 °C nas medições *in loco* e de até 3,11 °C nas simulações computacionais.

Observa-se então, a partir das simulações realizadas, que é no horário da tarde que se dão as diferenças mais extremas. Essas diferenças podem ser observadas tanto entre pontos da mesma área, apresentando valor médio de 2,25 °C sendo, em alguns casos, superiores a 3 °C.

Verifica-se ainda que o comportamento do revestimento do solo da via, em relação à temperatura e à umidade do ar, é diferente nos dois semestres, em função não só do clima da região, que se alterna entre quente e seco e quente e úmido, mas, também, devido às características de cada material que reveste a área analisada. Observa-se que a via densamente arborizada (Avenida Frei Serafim – ponto 1) mantém temperatura amena e boa umidade relativa do ar, mesmo na época quente e seca, comprovando o poder da arborização na manutenção da umidade, enquanto a via pouco arborizada tem umidade baixa e temperaturas extremas, repercutindo diretamente no conforto térmico do usuário. Atesta-se que essa constatação se dá sensorialmente, por meio das medições *in loco* e com os resultados da simulação computacional, o que demonstra coerência entre os resultados da pesquisa.

Os materiais urbanos existentes nas avenidas como asfalto, cimento, e quantidade restrita de vegetação uniformizam as características ambientais, mantendo o espaço urbano com características ambientais quase que inalteradas. Vê-se que os resultados mostram que os espaços não são planejados visando a uma compatibilidade entre o edificado, as infra-estruturas urbanas e a vegetação, que, enquanto um fator climático local, tem papel fundamental de amenizadora do clima urbano e é uma das responsáveis pela criação de microclimas mais confortáveis.

6. REFERÊNCIAS

- BORGES, Marcus. **Influência da vegetação no conforto térmico em ambientes urbanos**. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- BRUSE, M. **ENVI-met. 3.1 On-line Manual**. Disponível em: <http://www.envi-met.com>. acesso em: 20/12/2008. 2008.
- DUARTE, Denise Helena Silva; SERRA, Geraldo Gomes. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlações e proposta de indicador**. In: Ambiente Construído. V.3, n.2, p7-20, abr. / jun. Porto Alegre, 2003.
- DUARTE, D. H. S; SPANGENBERG, J. ; JOHANSSON, E. ; SHINZATO, Paula. Simulation of the influence of Vegetation on Microclimate and Thermal Comfort in The city of São Paulo. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 3, p. 1-19, 2008.
- FRANCO, Maria A R. **Desenho Ambiental**. Annablume Editora. São Paulo, 1997.
- GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. Elsevier Publishing Company Limited: Amsterdam – London – New York, 1969.
- INMET. **Relatórios de Dados Meteorológicos**. Estação EMBRAPA Meio Norte. Área de Irrigação de Cajueiros. Teresina – PI, 2008.
- LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano e PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. Ed. PW. São Paulo, 1997
- LIMA, M.G de. e ASSUNÇÃO, H. F. da. **Estimativa da temperatura do ar no Piauí**. UFPI, Teresina, 2002.
- MENDONÇA, Francisco; MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo (orgs). **Clima urbano**. Editora Contexto. São Paulo, 2003.
- OLIVEIRA, Paulo Marcos Paiva de. **Cidade apropriada ao clima: a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano**. Dissertação de Mestrado. Editora UnB. Brasília, 1985
- ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. São Paulo, ProEditores, 2000.
- SILVA, Caio Frederico e. **Caminhos Bioclimáticos: Desempenho Ambiental de Vias públicas da cidade de Teresina – PI**. Dissertação de Mestrado. Brasília, 2009. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília.
- SILVA, Francisco de Assis Gonçalves da. **O vento como ferramenta no desenho do ambiente construído: Uma aplicação ao nordeste do Brasil**. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo – FAU-USP, São Paulo, 1999.
- SILVEIRA, Ana Lúcia Ribeiro Camilo da. **Parâmetros Bioclimáticos para Avaliação de Empreendimentos Habitacionais Multifamiliares da Região Tropical Sub-úmida do Brasil**". Tese de Doutorado. FAU – UnB, Brasília, 2007.
- STANFORD, Anderson. **Calles. Problemas de estrutura y diseño**. *On Streets* (título original). Editora Gustavo Gili. Barcelona, 1981.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ pela bolsa de estudos concedida para as pesquisas de mestrado e ao apoio da Universidade de Brasília, da Universidade Federal do Piauí e do Instituto Camillo Filho.