



INFORMAÇÕES CLIMATICAS PARA MELHORIA DO CLIMA URBANO: CASO DE SANTOS E CAMPINAS, SÃO PAULO

Loyde Vieira de Abreu-Harbich (1,2); Lucila Chebel Labaki (2); Andreas Matzarakis (3).

- (1) PhD, Professora de Arquitetura e Urbanismo, loydeabreu@unisantos.br, Universidade Católica de Santos, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Av. Conselheiro Nébias, 300, Boqueirão, Santos-SP,
- (2) PhD, Professora do Departamento de Arquitetura e Construção, lucila@fec.unicamp.br, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo,
- (3) PhD, Professor do Meteorologisches Institut, e-mail:andreas.matzarakis@meteo.uni-freiburg.de Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Meteorologisches Institut

RESUMO

Estudos sobre o clima urbano podem trazer dados necessários para melhoria das condições de conforto térmico para seres humanos em cidades tropicais. Este artigo quantificar o bioclima térmico baseado nas frequências da Temperatura do ar (T_{ar}) e Temperatura Fisiologicamente Equivalente (PET) em um período de dez anos (2002 a 2012) e avalia a influencia de fatores de desenho urbano em duas cidades: Santos (no litoral) e Campinas (no continente). Os dados históricos meteorológicos: temperatura do ar, umidade relativa, vento e radiação solar do período de estudos foram utilizados para calcular PET a partir do software Rayman Pro. Foram simuladas situações de sombra e variações da velocidade do vento para quantificar as modificações no bioclima térmico. Os resultados mostraram que não somente a radiação solar, mas também a velocidade do vento podem influenciar grandemente nas condições de conforto térmico e no estresse por calor em diferentes climas. O manejo da arborização assim como as áreas verdes é recomendado para sombrear as fachadas e as calçadas nas duas cidades. A promoção do vento pode melhorar o conforto térmico tanto em ambientes externos como internos, principalmente em Santos. A avaliação do conforto térmico em ambientes externos juntamente com o desenvolvimento de desenho urbano é um importante passo para adquirir sustentabilidade nos espaços urbanos. Este estudo sugere futuras análises microclimáticas para a investigação da influencia da vegetação e diferentes configurações urbanas.

Palavras-chave: bioclima térmico, temperatura fisiologicamente eficiente (PET), RayMan, Clima tropical.

ABSTRACT

Urban climate studies can provide results and information necessary to improve thermal comfort conditions for people in tropical cities. This paper quantifies the thermal bioclimate using air temperature (T_a) and Physiologically Equivalent Temperature (PET) changes over a ten-years period (2002 to 2012) and assess the influence of urban design factors in two cities Santos (at the coast) and Campinas (in the continent). The long term meteorological data: air temperature, relative humidity, wind speed and solar radiation for study period were used to calculate PET with use of RayMan Pro model. The simulations of shade and wind speed variations were performed to quantify changes in thermal bioclimate due to modifications in urban morphology. The results show not only that solar radiation and wind speed influence strong thermal comfort and heat stress as well in different climates. Furthermore, forestry management and green areas are recommended to promote shade on pedestrian ways and façades and it can control thermal bioclimate in both cities. As well as, the wind can improve thermal comfort outside and inside of building, especially in Santos. The assessment of outdoor thermal comfort join to urban design guidelines is an important step to achieve sustainability of urban spaces. This study suggests microclimate analyses to investigate the influence of vegetation and different configuration.

Keywords: thermal bioclimate; physiologically equivalent temperature; rayman; tropical climate, Brazil

1. INTRODUÇÃO

A sustentabilidade progressiva em ambientes internos e externos e está intimamente ligada à qualidade de vida nas cidades tropicais. O aumento do consumo de energia para resfriamento dos ambientes internos está estreitamente relacionado com as consequências das modificações no clima urbano (OKE, 1984; JAUREGUI, 1997; AKBARI e TAHA, 1992; TAHA et al. 1988; MCPHERSON e SACAMANO, 1992; MCPHERSON et al., 1989; MATZARAKIS, 2001, SANTAMOURIS, 2001). A motivação para o desenvolvimento de um ambiente interno termicamente desejável tem implicações que vão além das exigências do desenho urbano. Portanto os projetos de edifícios também devem ser adaptados às mudanças climáticas. Para restabelecer condições de conforto térmico em ambientes interno e externos, é importante definir os padrões de estruturas e organização do ambiente urbano de acordo com as condições climáticas existentes de uma região (GIVONI, 1989; GIVONI, 1991; ALCOFORADO e MATZARAKIS, 2010).

Vários estudos sobre bioclima térmico em áreas urbanas mostraram que ruas urbanas consistem em um importante elemento de estudos onde existe um compartilhamento ativo dos materiais que envolvem um edifício das modificações microclimáticas (OKE et al. 1999; ASSIS e FROTA, 1999; ALI-TOUDERT e MAYER 2007; EMMANUEL et al., 2008). Devido à morfologia urbana, o comportamento do vento e os padrões de radiação solar que são afetados. Esses dois parâmetros ambientais que têm a maior variabilidade no desenho urbano, também apresentam grandes impactos sobre os seres humanos (HERRMANN e MATZARAKIS, 2012; LIN et al., 2010.). Tanto a promoção de sombreamento como vento nas ruas podem desempenhar um papel importante nas cidades, modificando substancialmente o clima urbano e conseqüentemente, o bioclima térmico (ALI-TOUDERT e MAYER, 2007; LINDBERG e GRIMMOND, 2011; EMMANUEL et al. 2007; EMMANUEL, 2005).

A redução da evaporação causada pela falta de vegetação e o aumento de superfícies impermeabilizadas devido à presença de edifícios e pavimentação em áreas urbanas são modificações típicas no desenho urbano que promovem a formação de ilhas de calor (LOMBARDO, 1985; OKE, 1973, 1982; DUARTE e SERRA, 2003; SOBRAL, 2005; GIUTA et al., 2010; EMMANUEL e KRÜGER, 2012). Controlar a radiação por vegetação pode construir uma possibilidade de regulação e adaptação às alterações do microclima urbano (GREEN, 1993; AKBARI, 2002; ABREU e LABAKI, 2010; MATZARAKIS e ENDLER, 2010, DUARTE et al., 2008). Durante o dia, a modificação dos fluxos de ondas curtas e longas de radiação através de vegetação, em combinação com a velocidade do vento pode causar uma redução de stress de calor (MATZARAKIS e ENDLER, 2010). Durante a noite, a emissão de radiação de onda longa é mais baixa e assim bioclima térmico pode ser mais pronunciado em um espaço aberto e vegetado do que nas cidades (MATZARAKIS, 2001). A absorção de radiação e armazenamento de calor por estruturas urbanas podem ser fatores que têm efeitos negativos sobre bioclima térmico especialmente durante a noite (ALCOFORADO e MATZARAKIS, 2010; ABREU et al., 2013).

2. OBJETIVO

Este artigo quantifica o clima urbano e suas condições de bioclima de Santos (litoral) e Campinas (interior) e seus os efeitos da modificação da morfologia urbana em termos de sombreamento e modificações na velocidade do vento. O trabalho também analisa as condições térmicas bioclima não só com base na temperatura do ar, mas também em termos de Temperatura Fisiologicamente Equivalente (PET). Os resultados podem ser úteis para o planejamento urbano e arquitetônico no nível do design urbano em climas tropicais.

3. METODOLOGIA

3.1. Área de Estudo

A região em que se encontram as duas cidades, Campinas e Santos, é influenciada pelas variações climáticas na região causadas pela dinâmica da circulação de massas de ar na região. As massas - tropical atlântica (mais comum), tropical continental, equatorial continental, equatorial atlântica e polar atlântica - podem modificar o clima regional (MONTEIRO, 1973; NUNES, 1997).

Campinas (22°48'57"s, 47°03'33"w; 640 m) é uma das maiores cidade do Brasil, com cerca de 1,1 milhões de habitantes e alta densidade populacional: 1 3 mil / km em algumas áreas (BRASIL, 2010). O clima de Campinas é classificado como subtropical segundo Köppen-Greiger (Cwa; KOTTEK et al., 2006), com poucas chuvas no inverno e verões chuvosos e temperaturas quentes. A temperatura média anual do ar é de 22,3 ° C e precipitação anual 1.411 milímetros. A chuva é predominante de novembro a março, com

períodos secos de 30-60 dias em julho e agosto. O período de verão é considerado pelos meses de novembro a abril, com temperaturas médias máximas entre 28,5 ° C e 30,5 ° C e mínima de 11,3 ° C e 13,8 ° C. O mês mais quente é fevereiro, com temperatura média do ar 24,9 ° C, média máxima de 30,0 ° C e mínima 19,9 ° C. A período de inverno é considerado pelos meses junho, julho e agosto, com temperaturas máximas entre 24,8 ° C e 29,1 ° C e mínimas entre 11,3 ° C e 13,8 ° C. O mês mais frio é julho, com temperatura média 18,5 ° C, média máxima de 24,8 ° C e mínima 11,3 ° C. A direção do vento predominante é de sudeste, com velocidade média anual de 1,4 m / s. Insolação anual é de 2.373 horas, e a radiação solar diária média é de 4,9 kWh / m².

Santos (23° 56' 15"s, 46° 19' 30"w, 2m) é um município portuário da Baixada Santista que abriga o maior porto da América Latina. Santos possui um clima tropical litorâneo úmido segundo Köppen-Greiger (Af; KOTTEK et al., 2006), com verões quentes e chuvosos (270 mm Janeiro) e os invernos com temperaturas mais amenas e menor incidência de chuvas (70 mm em agosto). A precipitação média anual é de 3.207 mm. O período de verão é considerado entre os meses de outubro a abril e o inverno, de maio até setembro. No verão, a média das temperaturas mínimas na cidade é de 23 ° C e a das máximas, de 30 ° C, porém nesta estação é comum ter tardes com temperaturas entre 35 e 40 ° C. Já no inverno, a média das mínimas é de 17 ° C e a das máximas, de 24 ° C, porém com a influência de massas polares as temperaturas podem chegar abaixo de 10 ° C. A direção do vento predominante é de sudeste, com velocidade média anual de 1,5 m / s.

3.2 Dados Meteorológicos

Os dados utilizados nesta pesquisa foram obtidos a partir de estações meteorológicas urbanas situadas em Campinas, estação meteorológica do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Fazenda Santa Elisa (22° 54' s; 47° 05' w; 669 m); e em Santos, estação meteorológica da Base Aérea de Santos (23° 55' s, 46° 18' w; 2 m). Foram utilizados dados meteorológicos horários: temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e radiação solar para um período de 10 anos (2002 a 2012).

3.3 Métodos e análises

O balanço de energia do corpo humano no ambiente externo (HÖPPE, 1993) quando aplicado à biometeorologia é capaz de descrever e quantificar os efeitos do ambiente térmico para o ser humano (MAYER 1993; VDI, 1998).

A partir dos dados meteorológicos horários de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação global, pode se calcular a Temperatura Fisiologicamente Equivalente (PET). O PET é um índice de conforto térmico expresso através de temperatura obtida a partir da quantificação das trocas de calor do ser humano com o ambiente. As principais vantagens do PET são: índice universal pois é independente da roupa e atividade metabólica, possibilita a utilização de dados meteorológicos e a construção de um panorama da real sensação do clima sobre os seres humanos; pode ser medido em graus facilitando a comparação; e não confia em medidas subjetivas; e ainda é muito útil tanto em climas quentes como frios. Para compara os resultados de índices como o Voto Médio Estimado (PMV) com o PET, Matzarakis e Mayer (1996) desenvolveram uma divisão em classes de sensações térmicas para os seres humanos e estresse por calor baseando em um gasto metabólico de 80 w e resistência térmica da roupa em 0.9 clo. Outras pesquisas fizeram ajustes dessa escala de sensações térmicas em diferentes regiões tropicais (LIN et al, 2010; MONTEIRO e ALUCCI, 2010), tabela 01.

O PET pode ser calculado pelo modelo RayMan (MATZARAKIS et al., 2007; 2010) que é capaz de transferir a radiação global das áreas livres para as estruturas urbanas. Com auxílio do software RayMan Pro, foi calculado tanto o PET para a cidade de Campinas e Santos para um período de 10 anos (2002 a 2012). Visto que a diferente configuração do desenho urbano de uma cidade modifica principalmente o regime natural dos ventos e as condições de sombra, os seguintes cenários futuros foram simulados:

- Redução da velocidade do vento em 1.0 m/s;
- Aumento da velocidade do vento em 1.0 m/s;
- Temperatura Média Radiante (T_{mrt}) igual à Temperatura do ar (T_{ar}), representando a situação de sombra.

Para simular a variação do vento os dados de entrada no software RayMan foram temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento (mais ou menos 1.0 m/s) no período estudado para as duas cidades. Para simular a sombra, os dados de entrada no software RayMan foram RayMan foram temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar e T_{mrt} no qual é igual Temperatura do ar (T_{ar}). Salienta-se que neste estudo não foi necessário o cálculo da T_{mrt} .

Tabela 1 – Sensações térmicas de PET para Europa, Taiwan e São Paulo

Sensação Térmica	PMV (FANGER, 1972)	PET para Europa (° C PET) (MATZARAKIS e MAYER, 1996)	PET para Taiwan (° C PET) (LIN et al, 2010)	PET para São Paulo (° C PET) (MONTEIRO e ALUCCI, 2010)
Muito Frio	- 3,5	<4	<14	
Frio	- 2,5	4-8	14-18	< 4
Fresco	- 1,5	8-13	18-22	4-12
Leve Frescor	- 0,5	13-18	22-26	12-18
Confortável	0	18-23	26-30	18-26
Leve Calor	0,5	23-29	30-34	26-31
Calor	1,5	29-35	34-38	31-43
Quente	2,5	35-41	38-42	>43
Muito Quente	3,5	>41	>42	

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para quantificar o panorama climático de Campinas e Santos, os resultados da temperatura do ar (T_a) e Temperatura Fisiologicamente Equivalente (PET) foram separados por mês e são apresentados pelas figuras 1 e 2, respectivamente. Os diagramas de frequências incluem os intervalos de temperaturas baseados na classificação das sensações térmicas para condições de frio, conforto e calor. Os valores abaixo de 13° C representam frio, entre 13° C e 29° C, conforto, e maiores que 29° C, calor. O estresse por calor são todas as temperaturas acima de 35° C.

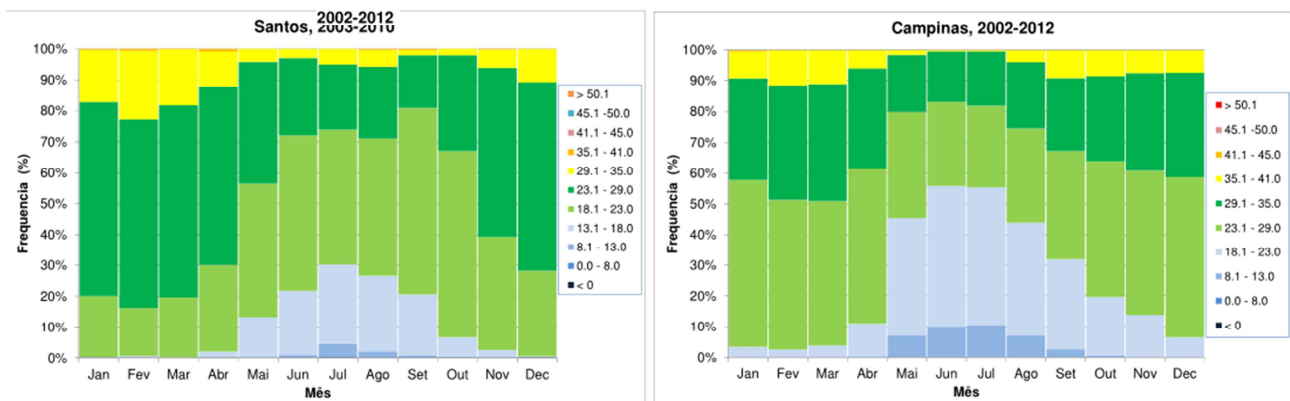


Figura 1 – Frequências de temperatura do ar em Santos e Campinas para o período de 2002 a 2012

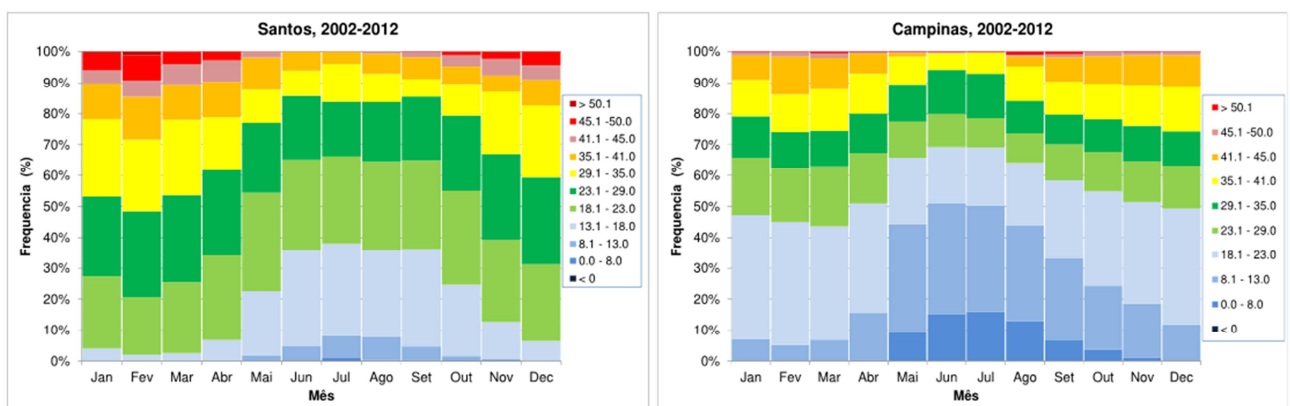


Figura 2 – Frequências de Temperatura Fisiologicamente Equivalente (PET) em Santos e Campinas para o período de 2002 a 2012

Comparando os resultados de temperatura do ar nas duas cidades em análise durante o período estudado, observou-se que Campinas possui mais horas confortável (entre 18 e 23 ° C) do

que Santos no verão. Porém no inverno, Santos apresenta temperaturas mais confortáveis que Campinas, fig. 1.

Em relação aos resultados de PET, verificou-se que Santos possui cerca de 20% das horas confortáveis ao longo do ano, enquanto em Campinas essa porcentagem fica entre 10 e 15%. Considerando que as temperaturas acima de 29 ° desconfortáveis por calor, observou-se que cerca de 50% das temperaturas entre os meses de Janeiro a Março foram consideradas desconfortáveis por calor, sendo que 20% dessas temperaturas foram consideradas “estresse por calor” em Santos. Durante os meses de agosto a abril, observou-se que cerca de 20% das temperaturas foram consideradas desconfortáveis por calor, sendo que 10% dessas temperaturas podem ser consideradas “estresse por calor”. No período de verão não foram observadas desconforto por frio em Santos. No mesmo período, observou-se que cerca de 10% das temperaturas podem ser consideradas desconfortáveis por frio em Campinas.

No período de inverno, cerca de 20 % das temperaturas são consideradas desconfortáveis por calor em Santos, onde 10% dessas temperaturas são consideradas estresse por calor. Em Campinas, foi observado que cerca de 10% das temperaturas são desconfortáveis por calor nesse mesmo período. Menos de 10% das temperaturas em Santos e cerca de 50 % em Campinas podem ser consideradas desconfortáveis por frio no inverno.

As figuras 3 e 4 apresentam os resultados das simulações de aumento e redução da velocidade do vento em 1m/s, sombra ($T_a=T_{mrt}$) para a cidade de Santos e Campinas durante o ano de 2010, respectivamente. Também foram inseridos os dados de temperatura do ar e PET para auxiliar na comparação dos resultados. Salienta-se que o ano de 2010 foi considerado o ano mais quente entre os anos de 2002 e 2012. Para essa análise comparativa foram selecionados os dados horários entre 9:00 e 22:00.

Observando as figuras 3 e 4, verificou-se que nas duas cidades o aumento da velocidade do vento e o sombreamento são capazes de mitigar o estresse por calor e conseqüentemente promover mais conforto térmico no ambiente construído. Já a redução da velocidade do vento, aumenta o PET nas duas cidades. Os efeitos de desconforto térmico por calor devido à redução da velocidade do vento são mais evidentes na cidade de Santos. Já em Campinas, o efeito da redução dos ventos é mais percebido no período de verão, justamente quando há temperaturas mais elevadas.

As simulações realizadas neste estudo mostraram que o bioclima térmico pode ser modificado pela da radiação solar e velocidade do vento devido às alterações na configuração das cidades. Observou-se que tanto o aumento da velocidade do vento como a promoção de sombra foi capaz de reduzir o desconforto térmico por calor e também o estresse por calor nas duas cidades. Comparando a temperatura do ar com o PET, observou-se que os resultados de temperatura do ar apresentam um indicativo térmico, enquanto o PET revela informações sobre as condições térmicas. Enquanto os resultados de temperatura do ar mostraram que o inverno nas duas cidades é mais confortável do que o verão, os resultados de PET apontaram que durante todo o ano cerca de 20 % das temperaturas em Santos e 10% em Campinas são confortáveis. Porém, os resultados de PET apontaram estresse por calor durante todo o ano, principalmente no período de verão com cerca de 40% em Santos e 20% em Campinas.

Alguns estudos aplicaram apenas a temperatura do ar como indicador de conforto térmico em cidades tropicais (SOBRAL, 2005; PEZZUTO, 2007), porém este estudo sugere que existem diferenças significantes entre a temperatura do ar e PET. Mesmo que o verão na região de Campinas seja mais chuvoso e nublado, isso não é suficiente para torná-lo térmica confortável. O calculo do conforto térmico envolve no mínimo quatro variáveis térmicas, temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do vento e radiação, e duas variáveis humanas, metabolismo e vestimenta. Isto pode ser explicado pelo balanço de energia do corpo humano (HÖPPE, 1993), uma vez que é usada para deduzir os índices térmicos e descrever os efeitos do ambiente térmico em seres humanos (MAYER, 1993; VDI, 1998). A variação da temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e radiação solar podem modificar os resultados e deve ser considerado.

No entanto, torna-se evidente que a radiação solar contribui para o aumento do PET durante o ano, principalmente no verão da cidade de Santos. Vários estudos (VDI, 1998; MATZARAKIS et

al., 2007; 2010; SHASHUA-BAR et al., 2007), indicaram que as ondas de calor, ou seja, condições muito quentes são influenciadas mais pela radiação solar e pelas condições de vento. Este estudo confirmou os resultados observados por Lin et al. (2010) e Abreu (2012).

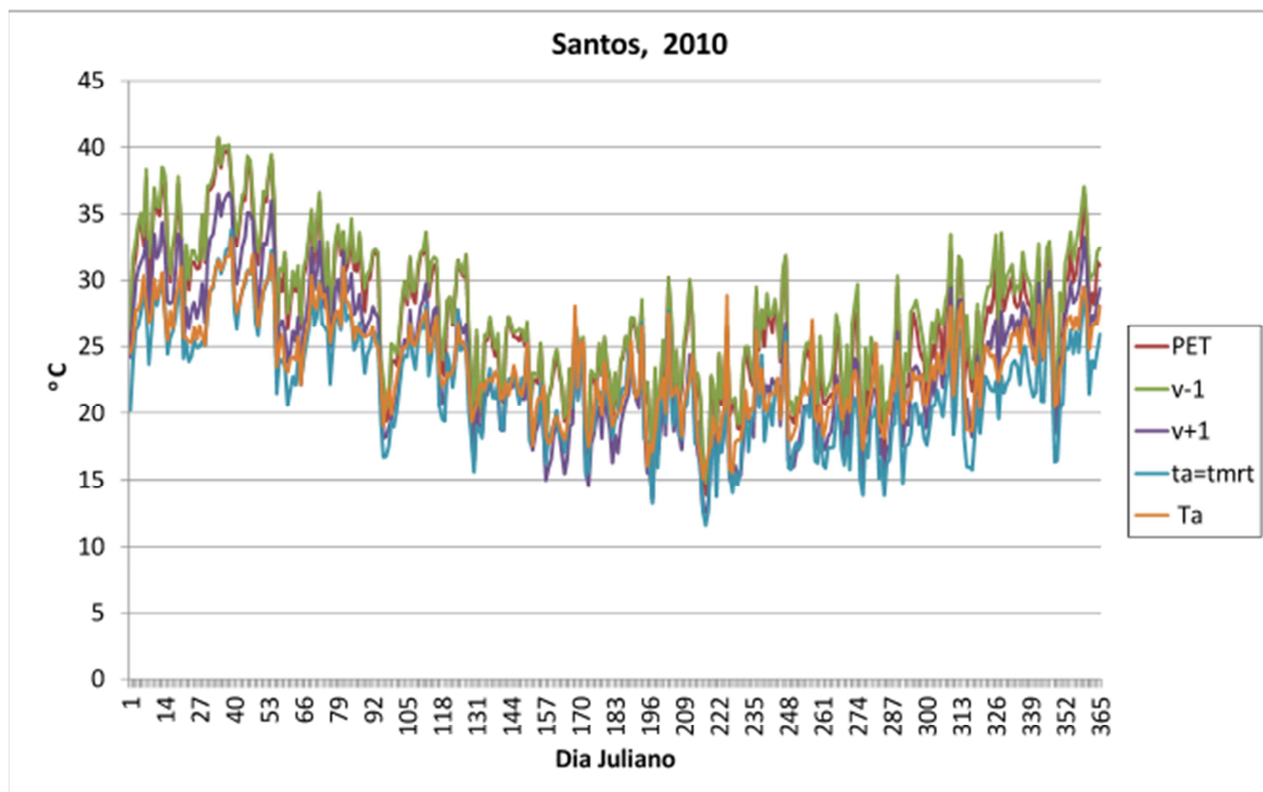


Figura 3 - Comparação dos resultados de Temperatura do ar, PET e as simulações do PET com aumento de vento em 1m/s, redução de vento em 1m/s e sombra (ta=tmrt) para Santos no ano de 2010.

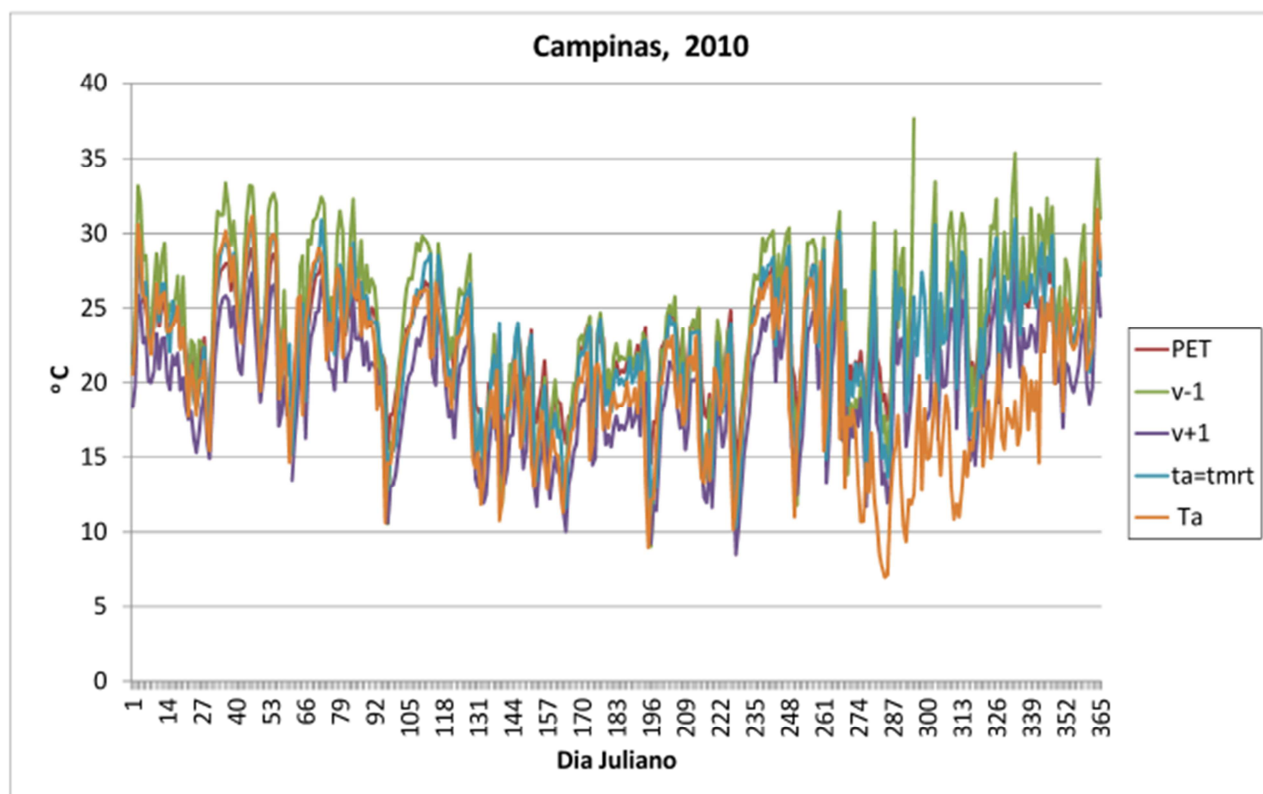


Figura 4 - Comparação dos resultados de Temperatura do ar, PET e as simulações do PET com aumento de vento em 1m/s, redução de vento em 1m/s e sombra (ta=tmrt) para Campinas no ano de 2010.

A simulação da variação da velocidade do vento e condições de sombra para Campinas e Santos mostrou que promoção de sombra pode melhorar o conforto térmico do que o vento. Além disso, estudos mostraram que pessoas em regiões tropicais preferem ficar na sombra durante as horas de dias quentes (EMMANUEL, 2005; LIN et al., 2010). Ou contrário, as pessoas se sentem mais satisfeitas com ambiente térmico à medida que aumenta a temperatura do ar em espaços públicos de climas temperados (ELIASSON et al., 2007; NICOLOPOULOU et al., 2001; THORSSON et al., 2007). Ao contrário, os estudos realizados em cidades de clima quente e úmido indicam que durante a estação fria, o número de pessoas que visitam espaços públicos aumenta (LIN, 2009).

O manejo de arborização viária e promoção de áreas verdes nas calçadas e fachadas podem modificar o microclima em cidades tropicais como Santos e Campinas. Em Santos, as áreas situadas em alguns bairros e as vias marginais aos canais já são arborizadas, porém algumas espécies arbóreas tendem a modificar a penetração do vento na malha urbana. No caso das áreas menos favorecidas dessa cidade, verifica-se a ausência de calçadas e avenidas sombreadas por árvores. Em Campinas, muitos bairros são arborizados, porém algumas configurações urbanas tais como as favelas ou bairros de alto-construção, a vegetação arbórea não é predominante. A expansão das ruas, a construção de edifícios em áreas urbanas fragmentadas da cidade de Campinas podem reduzir as áreas verdes e, assim, reduzir o conforto térmico (LABAKI e KOWALTOWSKI, 1998; DACANAL e LABAKI, 2011)

Estes resultados sugerem que o planejamento urbano e arquitetônico em climas tropicais, como Santos (litoral) e Campinas (continente) devem ser desenvolvidos considerando bioclima térmico. Muitas cidades brasileiras possuem uma configuração urbana em forma de malha com quadras longas, edifícios que ocupam todo o limite do lote e suas malha viária estreita. Tal traçado da cidade não considera a direção dos ventos dominantes da região e nem um local adequado para o plantio de árvores (LABAKI e KOWALTOWSKI, 1998). A implantação de edifícios com largura específica e altura elevada pode modificar o clima urbano, principalmente os fluxos de radiação e a velocidade e direção do vento (HERRMANN e MATZARAKIS, 2012; ABREU et al., 2013). A correta aplicação de diretrizes de desenho urbano pode permitir a permeabilidade do ar no interior das cidades e praças, bem como criar espaços para que a vegetação possa sombrear o caminho dos pedestres e os edifícios. Além disso, deve-se ter um cuidado com os materiais utilizados em fachadas, nos telhados dos edifícios e no pavimento de solo urbano para que estes não influenciem muito no ganho de calor (OKE, 1984; MATZARAKIS, 2001; EMMANUEL, 2005).

5. CONCLUSÃO

As simulações e cálculos baseados no índice térmico PET realizado neste estudo mostraram que o sombreamento e o aumento da velocidade do vento podem melhorar substancialmente a bioclima térmico em cidades tropicais. O plantio de árvores é uma estratégia prática importante para sombreamento das cidades, pois através da copa das árvores a radiação solar pode ser interceptada e conseqüentemente, trazer conforto térmico em ambientes abertos. Para promover o aumento da velocidade do vento, é necessários estudos sobre cânions urbanos para avaliar as condições bioclimáticas específicas térmicas devido à altura, largura dos edifícios e orientação da rua. O regime de ventos no local também deve ser considerado.

Com relação à aplicação da pesquisa ao desenho urbano e arquitetônico, os resultados sugerem que a caracterização bioclima térmico em cidades tropicais podem ser usados para avaliação de cenários futuros, bem como desenvolver possibilidades de adaptação do clima em espaços urbanos ao mesmo tempo em que torna o clima urbano mais confortável. O planejamento urbano de cidades tropicais deve considerar não só os dados meteorológicos como temperatura do ar, mas também o cálculo do PET (MILLS, 1998; MILLS et al., 2010). A partir dessas análises é possível definir diretrizes urbanas que visem à melhoria do microclima em cidades, bem como construir possibilidades de combate ao aquecimento global nas cidades.

A gestão estratégica de cidades precisam desenvolver diretrizes urbanas e fazer intervenções inteligentes na cidade existente. As mudanças no espaço urbano (ruas, praças e quintais) podem restabelecer não só continuidade das cidades, mas fazer um bioclima térmico urbano mais agradável. O manejo da arborização urbana é recomendado para melhorar o microclima através do sombreamento do caminho dos pedestres e controlar a radiação de onda longa e curta em diferentes tipos de pavimentação (CAVALHEIRO, 1994; ABREU, 2008; 20012, DUARTE et al. 2008). Essa estratégia pode modificar da imagem da cidade, com baixo custo e grandes benefícios. Este estudo sugere trabalhos futuros sobre cânions urbanos. Além disso, os resultados produzidos aqui podem ser comparados com outros estudos em outras regiões climáticas semelhantes e construir uma informação substancial sobre o clima urbano e bioclima térmico em cidades tropicais. Os métodos apresentados e os resultados podem ser aplicados para arquitetura e planejamento urbano a fim de tornar as cidades mais confortáveis e conseqüentemente, mais sustentáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, L. V. Estudo do raio de influência da vegetação no microclima por diferentes espécies arbóreas. **Campinas, 2008, 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.**
- ABREU, L. V. **Contribuições das árvores para o bioclima térmico no desenho urbano em cidades tropicais: o caso de Campinas, SP.** Campinas, 2012, 135 f. Tese (Doutorado em Arquitetura Tecnologia e Cidade) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.
- ABREU-HARBICH, L.V. ; LABAKI, L. C. ; MATZARAKIS, A. . Thermal bioclimate in idealized urban street canyons in Campinas, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 113, p. 1434-4483, 2013.
- AKBARI, H., Shade trees reduce building energy use and CO2 emissions from power plants. **Environmental Pollution**, p. S119-S126. 2002.
- AKBARI, H.; TAHA, H.; The impact of trees and white surfaces on residential heating and cooling energy use in four Canadian cities. **Energy, the International Journal**, Oxford, v. 17, n. 2, p. 141-149, 1992.
- ALCOFORADO, M. J.; MATZARAKIS, A., Urban climate and planning in different climatic zones. **Geographicalia**, v. 57, p. 5-39, 2010.
- ALI-TOUDERT, F.; MAYER, H.; Effects of asymmetry, galleries, overhanging façades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. **Solar Energy**. v. 81 (6), p. 742-754. 2007.
- ASSIS, E. A.; FROTA, A. B.; Urban bioclimatic design strategies for a tropical city. **Atmospheric Environment**, v. 33(24), p. 4135-4142. 1999.
- CAVALHEIRO, F.; Arborização urbana: planejamento, implantação e condução. *In: II CONGRESSO BRASILEIROS DE ARBORIZAÇÃO URBANA*, 1994, São Luís, Maceió. **Anais...** Brasil, 1994. p. 200-207.
- DACANAL, C., LABAKI L. C. (2011) Microclimate in Urban Forest Fragments. *In: Bodart M, Evrard A (ed) Plea 2011: Architecture & Sustainable Development. Vol. 1. Univ. de Louvain, Louvain-la-Neuve*, pp.195-200.
- DUARTE, Denise ; SPANGENBERG, J. ; JOHANSSON, E. ; SHINZATO, P. . 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.
- DUARTE, D. H. S.; SERRA, G. G. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlações e proposta de um indicador. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 7-20, abr./jun. 2003.
- ELIASSON, I., KNEZ, I.; WESTERBERG, U.; THORSSON, S.; LINDBERG, F; Climate and behaviour in a Nordic city. **Landscape and Urban Planning**. v. 82, p. 72-84, 2007.
- EMMANUEL, M. R., Na urban approach to climate-sensitive design: Strategies for Tropics. Spon Press, 2005.
- EMMANUEL, R., ROSENLUND, H.; JOHANSSON, E., Urban shading - a design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka. **International Journal of Climatology**, v. 27(14), p. 1995-2004. 2007
- EMMANUEL, K.; SUNDARARAJAN, R.; WILLIAMS, J.; Hurricanes and global warming, results from downscaling IPCC AR4 simulations. **Bulletin of American Meteorological Society**. v. 89, p. 347-367, 2008.
- EMMANUEL, R. ; KRÜGER, E.L. . Urban heat island and its impact on climate change resilience in a shrinking city: The case of Glasgow, UK. **Building and Environment**, v. 53, p. 137-149, 2012.
- FANGER, P. O.; **Thermal Comfort**. New York: McGraw Hill. 1972.
- GIUNTA, M. B. ; TENTE, C.M. ; NAKATA, C. M. ; SOUZA, L. C. L. . Fator de visão do céu e intensidades de ilhas de calor na escala do pedestre. **Ambiente Construído** (Online), v. 10, p. 155-167, 2010.
- GREEN, S.; Radiation Balance, transpiration and photosynthesis of an isolated tree. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 64, p. 201-222, 1993.
- GULYÁS, A.; UNGER, J. ; MATZARAKIS, A.; Assessment of the microclimatic and thermal comfort conditions in a complex urban environment: modeling and measurements. **Building and Environment**, v. 41, p. 1713-1722, 2006.
- HERRMANN, J.; MATZARAKIS, A.; Mean radiant temperature in idealized urban canyons-examples from Freiburg, Germany. **Internat J Biometeorol**. v. 56 (1), p. 199-203, 2012.
- HÖPPE, P. The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. **Int. J. Biometeorical**. v. 43, pp. 71-75. 1999.
- JAUREGUI, E.; Climates of tropical and subtropical cities. Climates and Societies – a Climatological Perspective. **The Geojournal Library**, p. 361-373, 1997.

- KETTERER, C., MATZARAKIS, A., 2012. **Development and application of assessment methods for thermal bioclimate conditions in Stuttgart**. Proceedings of the 8th International Conference on Urban Climates and the 10th Symposium of the Urban Environment, No. 312, 1-4. Herrmman e Matzarakis, 2012.
- KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F.; World Map of the Koppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol Zeitschrift* 15 (3): 259-26, 2006.
- KRÜGER, E. L. ; SUGA, M. . Thermal and daylighting evaluation of the effect of varying aspect ratios in urban canyons in Curitiba, Brazil. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, v. 1, p. 033108, 2009.
- LABAKI, L.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; Bioclimatic and vernacular design in urban settlements of Brazil. *Building and Environment*, v. 33(1), p. 63-77, 1998.
- LIN, T.; Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions. *Building and Environment*, v. 44 (10), pp. 2017-2026. 2009.
- LIN, T.P.; MATZARAKIS, A.; HWANG, R.L.; Shading effect on long-term outdoor thermal comfort, *Building and Environment*. **Building and Environment**, v. 45(213-221), 2010.
- LINDBERG, F.; GRIMMOND, C. S. B.; Nature of vegetation and building morphology characteristics across a city: Influence on shadow patterns and mean radiant temperatures in London. *Urban Ecosystems*, v. 14 (4), p. 617-634, 2011.
- LOMBARDO, M. A., 1985. *Heat Island in Metropolis: Case of Sao Paulo*. Sao Paulo: Hucited.
- MAYER, H.; Urban bioclimatology. *Experientia*. 49: 957-963. 1993
- MATZARAKIS, A.; Die thermische Komponente des Stadtklimas. **Ber. Meteorol. Inst. Univ. Freiburg Nr. 6**, 2001.
- MATZARAKIS, A., MAYER, H.; Another kind of environmental stress: thermal stress. **WHO-Newsletter**, v. 18, p. 7-10. 1996.
- MATZARAKIS, A.; ENDLER, C.; Climate change and thermal bioclimate in cities: impacts and options for adaptation in Freiburg, Germany. **Int J Biometeorol**, v. 54 (4), p. 479-83, 2010.
- MATZARAKIS A., RUTZ F., MAYER H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments--application of the RayMan model. **Int J Biometeorol** 51 (4): 323-334, 2007.
- MATZARAKIS, A., RUTZ F., MAYER H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. *Int J Biometeorol* 54 (2): 131-139 , 2010.
- MCPHERSON, E.G.; SACAMANO, P. L.; Energy Savings with trees in Southern California. Technical Report US Department of Agriculture. *Forest service, Pacific Southwest Research Station, Western Center for Urban Forest Research, Davis*. 1992.
- MCPHERSON, E.G.; SIMPSON, J.R.; LIVINGSTON, M.; Effects of three landscape treatments on residential energy and water use in Tucson, Arizona. *Energy and Buildings* 13:127-138, 1989.
- MILANO, M. S.; Métodos de Amostragem para avaliação de Arborização de Ruas In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, V ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, São Luiz. **Anais...** Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, 1994.
- MILLS, G. (2008). Urban climatology and its relevance to urban design. PLEA2008.
- MILLS, G., CLEUGH, H., EMMANUEL, R., ENDLICHER, W., ERELL, E., MCGRANAHAN, G., NG, E., ET AL. (2010). Climate Information for Improved Planning and Management of Mega Cities (Needs Perspective). **Procedia Environmental Sciences**, 1, 228–246.
- MONTEIRO, C. F., 1976. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo.
- MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P., 2010. Proposal of an outdoor thermal comfort index for subtropical urban areas. In: *Passive & Low Energy Cooling for the Built Environment conference*, 3, 2010, Rhodes Island, Greece. **Proceedings...** Rhodes Island: PALENC 2010.
- NICOLOPOULOU, M.; BAKER, N.; STEEMERS, K.; Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. **Solar Energy**. v. 70, p. 227-35, 2001.
- OKE, T. R.. City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, 7(8), 769–779. 1973.
- OKE T. The energetic basis of urban heat island. *Journal of the Royal Meteorological Society*, 108 (455), pp. 1-24. 1982.
- OKE, T. R.; Methods in urban climatology. **Applied Climatology**, Volume 14, pp. 19-29. 1984
- OKE, T. R., JA, E., GRIMMOND, C. S. B. The energy balance of central Mexico City during the dry season. *Atmospheric Environment*, 33, 3919–3930. 1999.
- PEZZUTO, C. C. **Avaliação do ambiente térmico nos espaços urbanos abertos. Estudo de caso em Campinas, SP**. 2007. 182 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- SANTAMOURIS, M.; **Energy and climate in the urban built**. □ Londres: James & James, 2001. 402 p.
- SHASHUA-BAR, L.; POTCHTER, O.; BITAN, A.; BOLTANSKY, D.; YAAKOV, Y.; Microclimate modelling of street tree species effects within the varied urban morphology in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel. **International Journal of Climatology**. v. 57, p. 44-57.2010
- SOBRAL, H. R.; Heat Island in São Paulo, Brazil: Effects on Health. **Critical Public Health**, v. 15, p. 147-156, 2005.
- TAHA, H., AKBARI, H., Rosenfeld, A., Huang, J., Residential cooling loads and the urban heat island – the effects of albedo. *Build. Environ.* 23, 271–283. 1988.
- THORSSON, S.; LINDBERG, F. Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. **International Journal of Climatology**. v. 1993, p. 1983-1993, 2007.
- VDI; VDI 3787, Part I: Environmental Meteorology, Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for the urban and regional planning at regional level. **Part I: Climate**. Beuth, Berlin, p 29, 1998.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP, DAAD e CAPES pelo apoio financeiro e bolsa de doutorado no Brasil e na Alemanha para o desenvolvimento desta pesquisa e também aos técnicos Obadias P. da Silva e Daniel Celente, do Laboratório de Conforto Ambiental e Física da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP.