



INTERAÇÕES ENTRE VEGETAÇÃO E DESENHO URBANO: APLICAÇÃO DE METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO BIOCLIMA TÉRMICO EM CIDADES TROPICAIS

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

Para desenvolver diretrizes urbanas para adaptar o clima urbano, é necessário avaliar alterações climáticas causadas pela vegetação e desenho urbano. Este trabalho apresenta uma metodologia para desenvolvimento das estratégias urbanísticas que visam à melhoria do conforto térmico no ambiente construído. A metodologia consiste em 5 etapas: (a) quantificação do conforto térmico baseado em dados históricos e suas possíveis modificações climáticas; (b) avaliação da influencia de obstáculos urbanos através de análises de modelos tridimensionais de cânions urbanos; (c) avaliação da escala de influencia de árvores (d) Simulação da inserção de árvores em cânions urbanos; (e) Desenvolvimento de diretrizes de desenho urbano para adaptação das mudanças no clima urbano. Os resultados mostraram que a promoção de sombra e aumento da velocidade do vento são os fatores que mais influenciam na mitigação do estresse por calor nas cidades. As análises da relação entre altura e largura (H/W) dos edifícios, bem como a orientação da rua apontaram as com razão 1 e orientação entre 90° e 120° devem ter as calçadas sombreadas por árvores. As árvores como a *Casealpinia pluviosa* F. apresentaram as melhores contribuições microclimáticas, tanto pela capacidade de sombreamento como pela promoção de conforto térmico. Os resultados da simulação dessa mesma espécie apresentaram grandes contribuições para a melhoria do microclima térmico dentro do cânion, portanto recomenda-se o manejo de árvores com as mesmas características dessa espécie nas cidades. A definição de recomendações de desenho urbano baseado em análises de dados históricos e medições in loco são importantes para um ambiente construído sustentável.

Palavras-chave: temperatura fisiologicamente equivalente (PET), desenho urbano, vegetação e clima

ABSTRACT

To develop urban guidelines for adapting urban climate, it is necessary to evaluate climate change caused by vegetation and urban design. This paper presents a methodology to develop urban strategies to improving thermal comfort in the built environment. The methodology consists in five steps: (a) Quantification of thermal comfort based on historical data and their possible climatic changes, (b) evaluation of urban obstacles influence through analysis of three-dimensional models of urban canyons, (c) assessment of the scale of tree's influence (d) simulation of the insertion of trees in urban canyons, (e) development of urban design guidelines to adapt to urban climate changes. The results showed that the promotion of shade and increased wind speed are the factors that most influence the mitigation of heat stress in cities. The height and width ratio (H / W) of buildings as well as the orientation of the street can be shaded by trees. Trees as *Casealpinia pluviosa* F. showed the best contributions microclimate, both by shading horsepower as the promotion of thermal comfort. The simulation's results showed the contributions of trees to improve thermal microclimate inside the canyon. It is recommended that the management of trees with the same characteristics of this species in the cities. The definition of urban design recommendations based on analysis of historical data and in situ measurements are important for a sustainable built environment.

Keywords: physiologically equivalent temperature (PET), urban design, vegetation and climate

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento acelerado das cidades brasileiras que é principalmente motivado por aspectos sociais, econômicos e culturais, promove modificações no traçado da cidade (MITICA-NETO, 2008). As alterações no desenho urbano que não consideram os aspectos ambientais geram não só o aumento do estresse térmico e redução do bem estar em ambientes externos, mas também o aumento dos gastos energéticos para o controle térmico em ambientes internos. Para reduzir os impactos das mudanças climáticas nas cidades, é necessário avaliar custo-benefício das estratégias de mitigação, adaptação e sustentabilidade. No entanto, há uma necessidade de estabelecer uma metodologia e ferramentas de comparação das modificações climáticas causadas pelas modificações no desenho urbano.

Devido ao processo de verticalização das edificações, aumento da densidade de construção e modificação dos usos em certas áreas da cidade, há a necessidade de aplicação e/ou construção de vias para dar vazão dos carros. Porém para a realização dessas modificações no desenho urbano, as áreas verdes e a arborização urbana são reduzidas. Essas alterações no solo urbano promovem modificações climáticas causadas principalmente pelo aumento de áreas pavimentadas e redução das áreas verde (LOMBARDO, 1985; SANTAMOURIS, 2001). Em Campinas, Pezzuto (2007) constatou que a altura das edificações contribui para o aparecimento de ilhas de calor e redução do conforto térmico. Da mesma forma, Dacanal e Labaki (2011) observaram que a arborização urbana e as áreas verdes contribuem para o arrefecimento das temperaturas na altura do pedestre, além de promover o conforto térmico. As árvores trazem uma série de benefícios para a cidade na qual a produção de sombra é uma característica estreitamente relacionada com o conforto ambiental e é um dos objetivos frequentemente enfocados em congresso de arborização urbana (MILANO, 1994 e CAVALHEIRO, 1994).

Visto que a promoção de sombra e vento em cidades tropicais é capaz de reduzir as temperaturas do ar e proporcionar conforto térmico nas calçadas e ruas (OKE, 1982; AKBARI, 2002; AKBARI e TAHA, 1992, ABREU, 2008; 2012; NICOLOPOULOU et al., 2001; GULYÁS et al., 2006; STREILING e MATZARAKIS, 2003; SPANGENBERG et al., 2008), o manejo das áreas verdes na estrutura das cidades pode controlar a absorção da radiação de onda longa e curta no solo (ASSIS; FROTA, 1999). Entretanto, é importante que o desenho urbano combine o manejo de árvores com a orientação das ruas e a relação entre altura e largura (H/W) dos edifícios para a construção de uma paisagem urbana vinculada aos conceitos de conforto térmico, psicológico e fisiológico aos indivíduos (LIN et al., 2010, MILLS, 2008, ABREU 2012). O desenvolvimento de diretrizes para desenho urbano baseados em análises de bioclimatologia e nas estratégias de manejo arbóreo pode ser o fator chave para a adaptação do ambiente construído às mudanças climáticas urbanas, ao mesmo tempo em que aumenta a sustentabilidade e qualidade de vida.

2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo apresentar uma metodologia para desenvolvimento das estratégias de desenho urbano que visam à melhoria do conforto térmico baseado nos conceitos de bioclimatologia urbana.

Este estudo tem como princípio que interação da vegetação com o desenho urbano é capaz de promover o conforto térmico no ambiente construído.

3. A INTERAÇÃO DO CLIMA URBANO COM O DESENHO URBANO

O clima urbano apresenta uma série de impactos nas cidades e sua população. Para os seres humanos, essas consequências podem ser sentidas em ambientes internos e externos. O ambiente térmico de ambientes internos pode ser controlado por mecanismos ativos ou passivos de acordo com as necessidades do usuário. O foco dessa pesquisa é o ambiente externo, mas é importante salientar que os ambientes internos e externos são conectados pelo envelope do edifício. Da mesma forma que os edifícios modificam as características do às condições de saúde e bem estar no ambiente externo, similarmente a qualidade do ambiente interno depende do ambiente externo. Dentre os impactos do ambiente urbano que mais afetam os seres humanos, destacam-se os impactos térmicos.

Os humanos possuem um sistema termorregulador que depende das trocas energéticas com o ambiente. Para avaliar essas trocas é necessário considerar não só as condições do ambiente (radiação, velocidade do vento, temperatura do ar e umidade), mas também as atividades, características específicas dos indivíduos e sensações de bem-estar dos indivíduos (FANGER, 1970, HÖPPE, 1999). O índice de conforto térmico PET (Temperatura Psicologicamente Equivalente), apropriado para ambientes externos, é capaz de calcular o conforto térmico a partir de variáveis ambientais (radiação solar, temperatura do ar, umidade e velocidade do vento) e humanas (atividade, vestimenta, idade, peso).

Pesquisas realizadas em ambientes externos são capazes de relacionar as medições de campo com o bem-estar das pessoas em relação ao ambiente térmico. (MATZARAKIS, 2001; ALI-TOUDERT, 2007; SPANGENBERG et al. 2008, LIN et al, 2010; DACANAL e LABAKI 2011). A resposta térmica do ambiente construído está estreitamente relacionada com a produção do espaço, ou seja, a combinação de elementos arquitetônicos e paisagísticos tais como relação H/W (altura e largura) dos edifícios, orientação das ruas, implantação dos edifícios, tipo de materiais utilizados na pavimentação e envelope dos edifícios, vegetação, entre outros, com os fatores climáticos locais.

Assim também, estudos baseadas em dados históricos obtidos a partir de estações meteorológicas pré-existente possibilitam a descrição do panorama climático de uma cidade, bem como a realização de previsões de modificações climáticas devido as alterações nas configurações urbanas. As análises que utilizaram essa metodologia foram capazes não só de confirmar os resultados de pesquisa de campo (KRÜGER, 2009, KETTERER e MATAZRAKIS, 2012; HERRMMAN e MATZARAKIS, 2012), bem como desenvolver diretrizes de desenho urbano.

É fato que as análises sobre os fenômenos climáticos urbanos são necessárias para desenvolver ferramentas práticas a partir dos conhecimentos do clima local e sua utilização no planejamento urbano (MILLS et al., 2010). Em geral os parâmetros utilizados para estudar os fenômenos climáticos urbanos são: (a) o tamanho da cidade (OKE, 1973) ou densidade construída (Duarte e Serra, 2004); (b) interferência da velocidade dos ventos regionais nos obstáculos urbanos; (c) a relação H/W (altura/largura) e fator de visão de céu nos cânions urbanos (TAHA et al., 1988); (d) o balanço de energia (OKE, 1982). Porém, essas variáveis que são muito familiares aos climatologistas e pouco aplicáveis no urbanismo.

Segundo Mills et al. (2010), o projeto e planejamento urbano deve incluir informações climáticas aplicáveis em diferentes escalas climáticas. Se o objetivo for conforto em ambientes externos, a escala de impacto será o grupo de edifícios e suas limitações dependem do edifício, agrupamento de edifícios e legislação local. Neste caso, o edifício promove mudanças climáticas locais devido ao tipo de materiais utilizados nas superfícies e às dimensões dos edifícios capazes de modificar a ventilação natural e o sombreamento de áreas. Já o agrupamento de edifícios depende da implantação e da produção da paisagem urbana compostas pela vegetação, materiais aplicados na pavimentação e na dimensão e orientação da rua. Por último, a legislação de uso e ocupação do solo que orienta as construções no solo urbano devido às regras de densidades de construção, altura das edificações, tipo de usos e áreas verde.

Ao desenvolver diretrizes de desenho urbano baseado em análises a partir de dados históricos e medições locais, é possível criar estratégias de adaptação do clima de uma cidade em desenvolvimento como Campinas e assim promover a eficiência energética e sustentabilidade do ambiente construído. A definição do layout da rua, dimensões e implantação dos edifícios e paisagismo (escolha da vegetação adequada e estratégias de plantio) são importantes para garantir o conforto térmico principalmente em ambientes externos. No entanto, um edifício pode ser projetado para ser sustentável, mas deve considerar os impactos microclimáticos gerados por ele na escala do desenho urbano.

4. METODOLOGIA

A abordagem dessa metodologia é focada na generalização e consiste em cinco etapas (Fig.1): (a) Quantificação do conforto térmico baseado em dados meteorológicos históricos e suas possíveis modificações climáticas; (b) Avaliação da influencia de obstáculos urbanos através de análises de modelos tridimensionais de cânions urbanos baseado em dados meteorológicos históricos; (c) Avaliação da escala de influencia da vegetação a partir da coleta de dados de campo; (d) Simulação da inserção de árvores em cânions urbanos baseados em dados meteorológicos históricos e coletados *in situ*; (e) Desenvolvimento de diretrizes de desenho urbano para adaptação das mudanças no clima urbano.

Para quantificar o conforto térmico para a cidade de Campinas foi utilizado o modelo RayMan (MATZARAKIS et al., 2007; 2010) a partir dos seguintes dados de entrada: dados meteorológicos (temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar) do período de sete anos, 2003 a 2010 obtidos pela estação urbana do Instituto Agrônomo de Campinas; e também dados meteorológicos medidos no local no período de 2007 a 2010 de acordo com a metodologia de Abreu (2008, 2012) que objetiva avaliar o transecto de influencia da vegetação no microclima urbana. O software RayMan Pro permite a simulação de cânions urbanos com e sem árvore a partir da construção de modelos tridimensionais, metodologia descrita em Abreu (2012).

Este estudo foi realizado em Campinas (22°48'57"s, 47°03'33"w; 640 m). O clima da cidade 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.

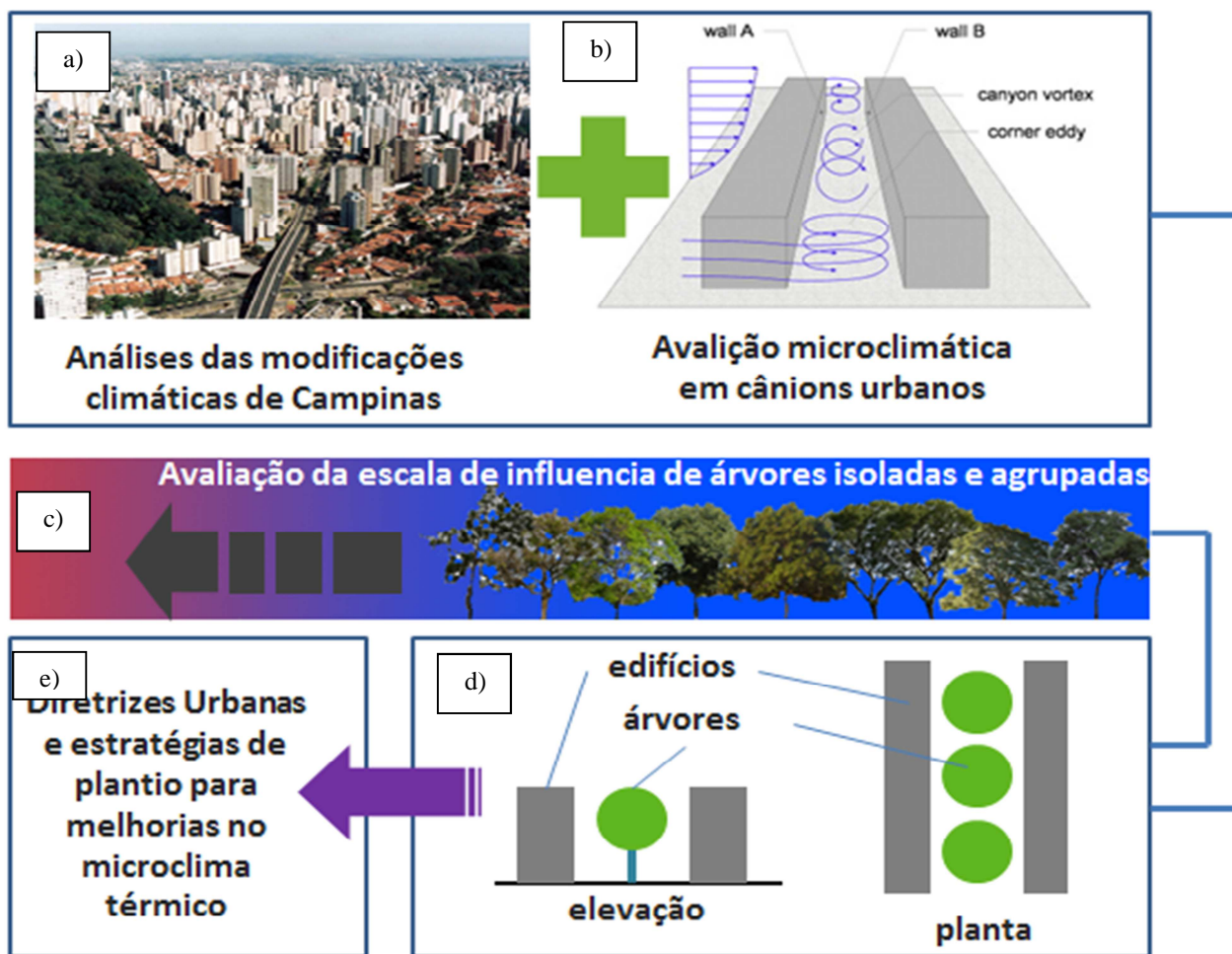


Figura 1 - Fluxograma da metodologia aplicada

5. RESULTADOS DE CADA ETAPA

5.1. Quantificação do conforto térmico baseado em dados históricos e suas possíveis modificações climáticas;

Nessa etapa foi analisado o clima de Campinas baseado em dados históricos no período de 2003 a 2010 e suas principais modificações climáticas devido a variação da velocidade do vento em 1 m/s e simulação de sombra, tabela 01. Os resultados da análise de PET para o período mostraram que cerca de 17% das temperaturas apresentam estresse por calor, ou seja, as temperatura são acima de 35°. Se no ambiente urbano houver a redução da velocidade do vento em 1 m/s, haverá um aumento do estresse por calor em 2%. Se aumentar a velocidade do vento em 1 m/s ou promover a sombra, haverá uma redução do estresse por calor em 5.3% e 10.4% respectivamente.

Tabela 1 – Conforto térmico em termos de PET para Campinas e a simulação das possíveis modificações climáticas

	PET>25	PET>30	PET>35	PET>40
v-1 m/s	49.3%	29.0%	19.1%	10.2%
v+1 m/s	40.6%	21.9%	11.4%	3.1%
$T_{mrt} = T_{ar}$	75.7%	34.1%	6.3%	0.1%
PET	44.4%	26.8%	16.7%	7.8%

5.2. Avaliação da influencia de obstáculos urbanos através de análises de modelos tridimensionais de cânions urbanos;

Nesta etapa, foi realizada a simulação de cânions urbanos baseado na relação entre altura e largura (H/W) de

edifícios existentes em Campinas e em diferentes orientações. Os resultados mostraram que o sombreamento das fachadas por edifícios é capaz de reduzir o estresse por calor. Assim foram definidas as seguintes diretrizes urbanas: para H/W menores que 1, deve-se promover o plantio de árvores e áreas verdes para sombrear fachadas e calçadas; para H/W entre 1 e 2, deve-se plantar árvores para sombrear as áreas públicas em ruas com orientações entre 90° e 120°; para H/W maior que 2, deve-se evitar a orientação norte-sul.

5.3. Avaliação da escala de influência da vegetação;

A escala de influência de diferentes espécies arbóreas foi avaliada segundo a metodologia de Abreu 2008. Nesta pesquisa foram analisadas 12 espécies: espécies Ipê Amarelo - *Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand., Jacarandá mimoso - *Jacaranda mimosaeifolia* D. Don., Jambolão - *Syzygium cumini* L., Mangueira - *Mangifera indica* L., Pinheiro - *Pinus palustris* L.- e Pinheiro - *Pinus coulteri* L., Mirindiba Bagre - *Lafoensia glyptocarpa* L., Sibipiruna - *Caesalpinia pluviosa* F., Espatódia - *Spathodea campanulata* P.Beauv., Tipuana - *Tipuana tipu* F., Flamboyant - *Delonix indica* F.- e também, Chuva de Ouro - *Senna siamea* L.. A figura 2 apresenta os resultados de algumas árvores isoladas no verão.

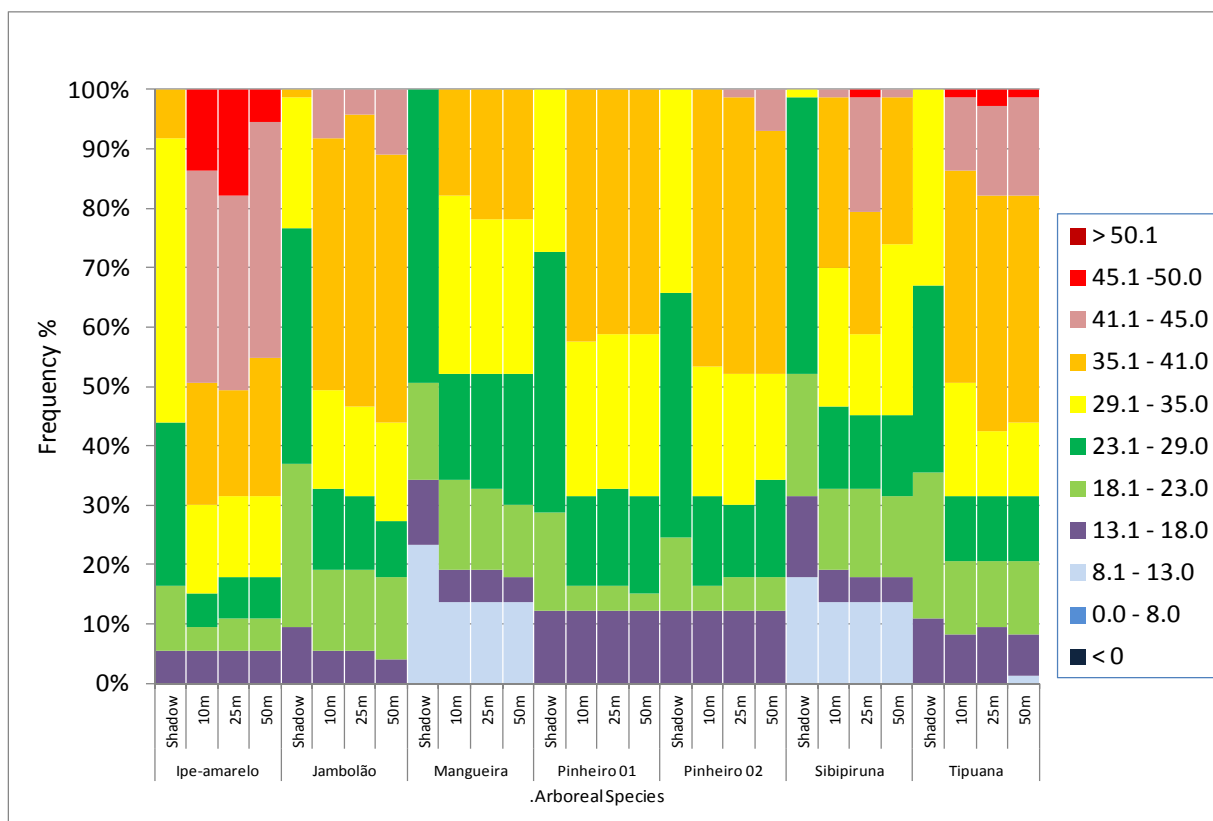


Figura 2 – Frequências de PET para diferentes espécies arbóreas para o Verão (ABREU, 2012)

Os resultados mostraram que as espécies com tronco plagiotrópicos e folhas pequenas tem mais capacidade de promover o conforto térmico no microclima, ou seja, manter uma temperatura entre 23 e 29 graus, pois além de promover sombra permitem que o vento penetre por dentro das copas das árvores.

5.4. Simulação da inserção de árvores em cânions urbanos;

A partir dos resultados da etapa anterior, foram selecionadas 3 espécies para serem simuladas em cânions urbanos: *Caesalpinia pluviosa*, *Tipuana tipu* e *Lafoensia glyptocarpa*. Os resultados mostraram que as árvores plantadas alinhadas contribuíram para melhorias do microclima urbano em diferentes H/W. A partir dos resultados foram criadas diretrizes urbanas, tabela 02.

Tabela 2 – Diretrizes urbanas para mitigação estresse por calor em diferentes H/W

H/W	DIRETRIZES URBANAS
< 0.5	Manejo de árvores da espécie <i>Caesalpinia pluviosa</i> e <i>Tipuana tipu</i> em todas as orientações
0.5 to 1.0	Manejo de árvores da espécie <i>Caesalpinia pluviosa</i> e <i>Tipuana tipu</i> em todas as orientações e a espécie <i>Lafoensia glyptocarpa</i> na direção norte-sul

1.0 to 1.5	Manejo de árvores da espécie <i>Casealpinia pluviosa</i> e <i>Tipuana tipu</i> em todas as orientações e a espécie <i>Lafoensia glyptocarpa</i> na direção norte-sul
1.5 to 2.0	Manejo de árvores em todas as direções
>2.0	Edifícios promovem sombra em todas as direções. Árvores são recomendáveis para conforto visual e psicológico

5.5. Recomendações para adaptação do Bioclima Térmico na cidade de Campinas

Os princípios para diretrizes de desenho urbano baseados na quantificação da contribuição dos benefícios da vegetação no ambiente construído podem ser descritos a seguir:

- Reconhecer o clima local: classificar suas condições e as modificações do clima urbano, refletir sobre as possibilidades de mitigação do clima local e aplicar os princípios de desenho urbano bioclimático para adaptação do clima urbano em novos empreendimentos.
- Diversificar o ambiente construído: incorporar à diversidade de densidades de construção onde a relação altura e largura (H/W) deve ser usada para o controle do microclima.
- Considerar as características do ambiente construído local: observar o estilo da arquitetura e urbanismo contemporâneos e o uso dos materiais na construção dos espaços urbanos.
- Considerar a orientação: o projeto deve respeitar a orientação solar adequada, proporcionando sombra e permitindo a penetração da luz e ventilação natural, ao mesmo tempo em que integra o ambiente construído com a natureza (fig. 3);
- Usar a vegetação nativa para sombreamento de áreas públicas e privadas: é essencial para garantir o equilíbrio entre o crescimento urbano e cobertura de árvores, especialmente para criar um espaço psicologicamente tranquilo e desejável. A seguir apresenta-se algumas sugestões para implementação:

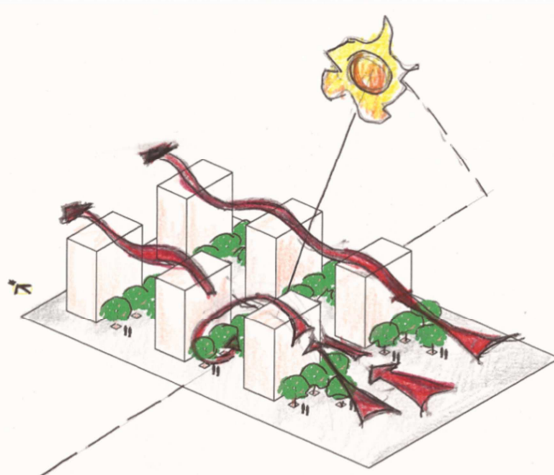


Figura 3 - Orientação Solar e simulação da vegetação natural

- Desenvolver o paisagismo de forma que o verde seja integrado à paisagem urban. Sugere-se o plantio de uma árvore por lote.
- Promover o manejo da vegetação no bairro, considerando as condições de água no solo urbano, para a melhor adaptação das espécies arbóreas. Por exemplo, espécies como Jambolão (*Syzygium cumini* L.), Mangueira (*Mangifera indica* L.) preferem solos com maior presença de água, ao passo que o Ipê Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* Mart. ex DC. Stand.) é resistente a grandes períodos de seca.
- Plantar árvores nativas em toda a cidade e, ao mesmo tempo, preservar as árvores pré-existentes;
- Promover a biodiversidade das espécies arbóreas (Fig. 4);
- Minimizar a perda da vegetação, monitorando a saúde das árvores; quando necessário, substituir as árvores existentes;



Figura 4 - Biodiversidade das espécies

- Incorporar no projeto de ruas e avenidas o plantio de árvores que proporcionem sombreamento das calçadas e estacionamento de carros. Segue três sugestões de plantio de árvores em ruas típicas de Campinas, SP:

=> *Rua estreita* (leito carroçavel mínimo de 7,5 m e calçada mínima de 2,0 m):

- Construção de um canteiro 2,00 m x 2,00 m dentro do leito carroçável para as árvores sombrearem as calçadas e o estacionamento dos carros, Fig. 5.

- Sugere-se o plantio de árvores de porte médio, tais como Ipê Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.), Jacarandá mimoso (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.) e Mirindiba Bagre (*Lafoensia glyptocarpa* L.).

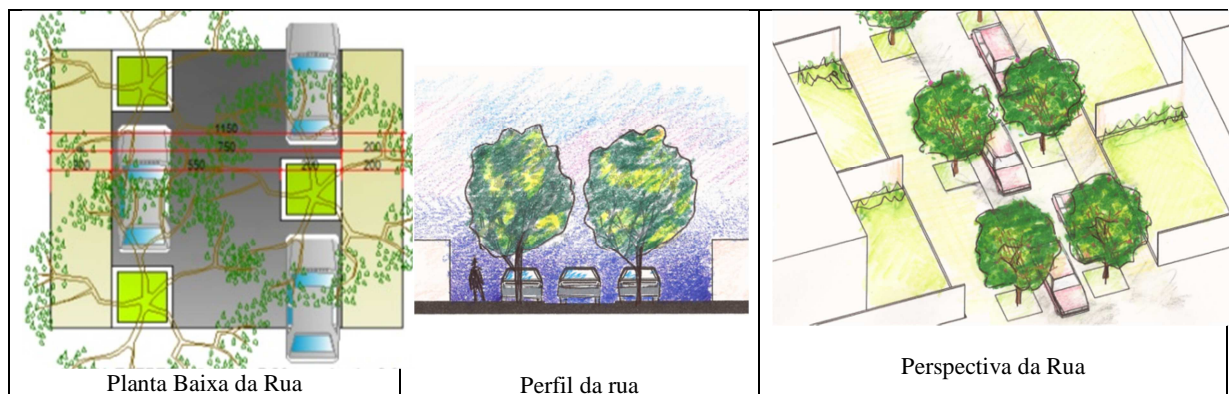


Figura 5 - Sugestão de implantação de árvores em rua estreita

=> *Rua Comum* (leito carroçável mínimo de 9 m e calçada mínima de 3,0 m):

- Construção de um canteiro 2,00 x 2,00m dentro em cima da calçada. Caso a rua comporte estabelecimentos comerciais, ou locais onde haja um grande fluxo de pedestre, sugere-se a colocação de uma grade, ampliando o caminho de pedestres, Fig 6.
- Sugere-se o plantio de árvores, tais como Ipê Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.), Jacarandá mimoso (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.) e Mirindiba Bagre (*Lafoensia glyptocarpa* L.), Jambolão (*Syzygium cumini* L.), Sibipiruna (*Caesalpinia pluviosa* F.), Espatódea (*Spathodea campanulata* P.Beauv.).

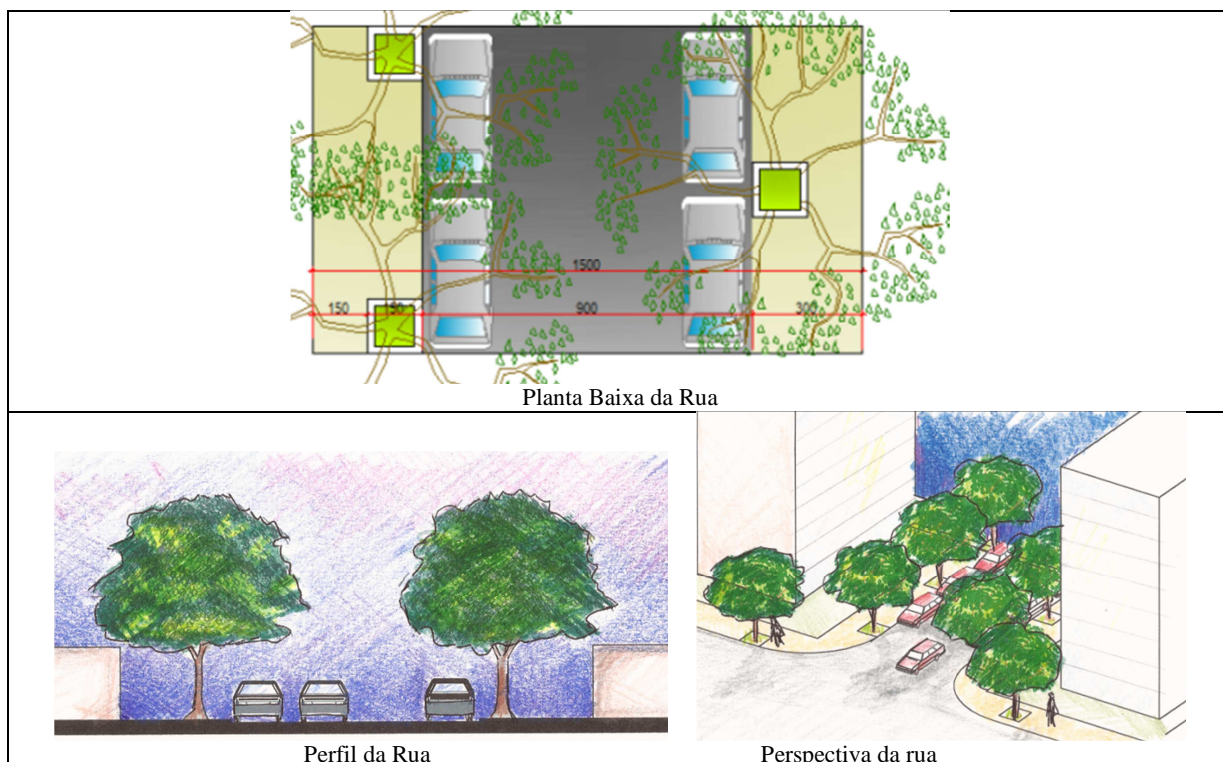


Figura 6 - Sugestão de implantação de árvores em rua comum

=> *Avenida com Canteiro Central* (Leito carroçável mínimo de 19 m, Canteiro central mínimo de 2,00m, e calçada mínima de 2,00 m):

- Construção de um canteiro 2,00 x 2,00m dentro do leito carroçável para as árvores sombrearem as calçadas e o estacionamento dos carros, Fig. 7.
- Sugere-se o plantio de árvores de porte médio, tais como nas calçadas e no canteiro central, espécies de porte grande, tais como Sibipiruna (*Caesalpinia pluviosa* F.), Tipuana (*Tipuana tipu* F.).

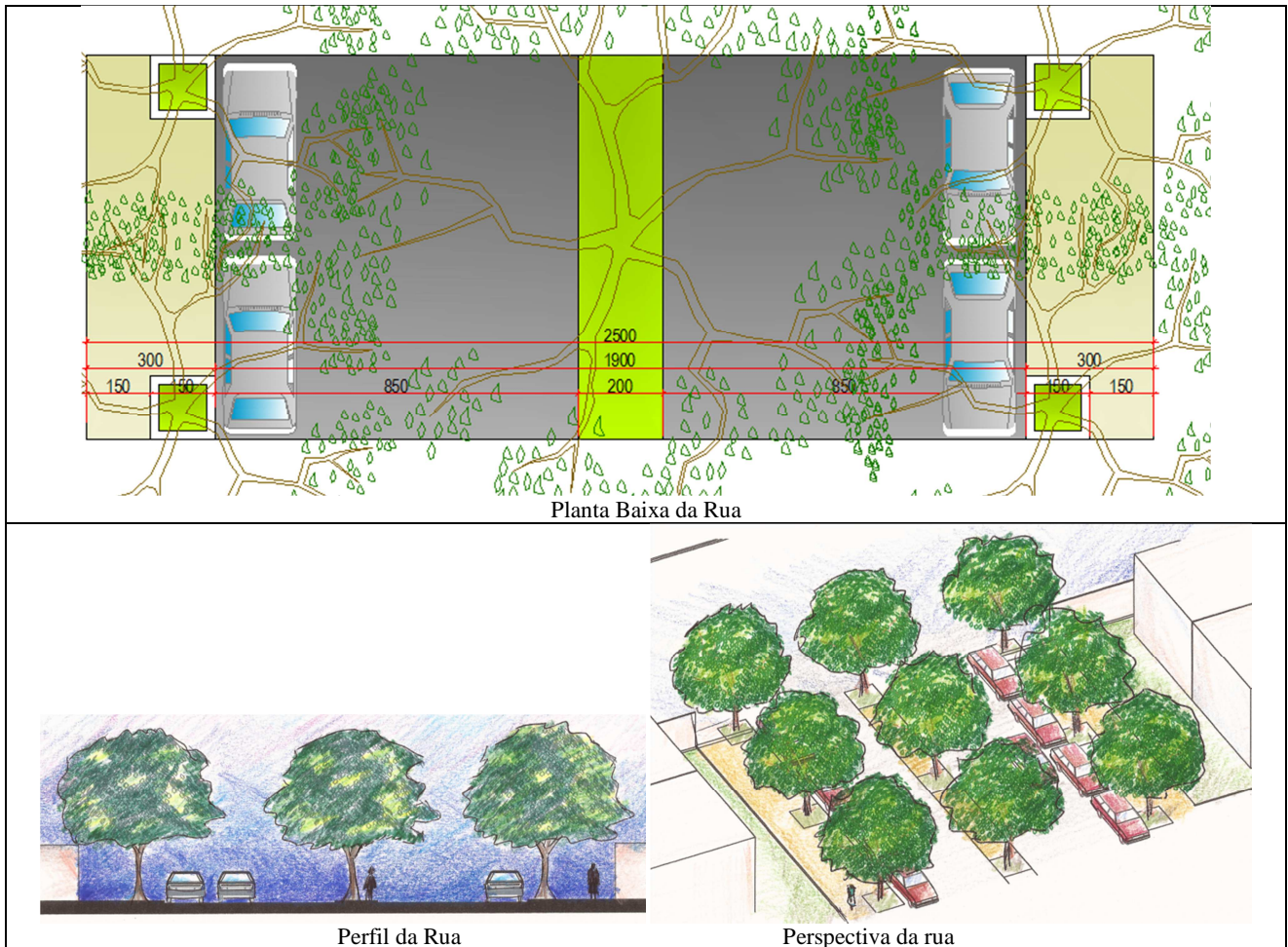


Figura 7 - Sugestão de implantação de árvores em avenidas

- Desenvolver o manejo de espécies de grande porte, como Tipuana (*Tipuana tipu* F.) e Sibipiruna (*Caesalpinia pluviosa* F.), em espaços públicos, como praças e canteiros centrais, e privados, como quintais e áreas entre edifícios (Fig 8.);



Figura 8 - Inserção da vegetação entre edifícios

- Assegurar que as árvores permitam a permeabilidade do vento no ambiente construído;
- Manter uma proporção entre a altura dos edifícios e a vegetação, de forma que as árvores complementem o ambiente construído;
- Incluir áreas com vegetação sempre que possível;
- Desenvolver paredes verdes e jardins nos terraços dos prédios em áreas com alta densidade. As superfícies vegetadas ajudam a controlar as trocas térmicas.

- Promover sombra por vegetação ou outras edificações para superfícies como fachadas e piso;
- Desenvolver cobertura arbórea contínua, sempre que possível, nos percursos de pedestres. Árvores grandes como Tipuana (*Tipuana tipu* F.) e Sibipiruna (*Caesalpinia pluviosa* F.) podem ser dispostas em linhas de forma a proporcionar uma sombra mais homogênea;
- Melhorar a circulação do vento, através do uso da paisagem, para resfriamento do ambiente construído.
- Proporcionar equilíbrio entre as superfícies que absorvem calor, como os materiais utilizados na pavimentação, e áreas ajardinadas, onde a cobertura arbórea pode ser usada para sombrear as áreas pavimentadas.

(f) Incorporar a vegetação nos corredores de transporte, como ruas, avenidas, calçadas e ciclovias.

(g) Desenvolver áreas ao ar livre para refeições, prática de esportes, recreação, entretenimento, onde os acessos dos pedetres ao transporte público ou particular sejam percursos sombreados.

6. CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que a promoção de sombra e aumento da velocidade do vento são os fatores que mais influenciam na mitigação do estresse por calor nas cidades. As análises da relação entre altura e largura (H/W) dos edifícios, bem como a orientação da rua apontaram as com razão 1 e orientação entre 90° e 120° devem ter as calçadas sombreadas por árvores. As árvores como a *Caesalpinia pluviosa* F. apresentaram as melhores contribuições microclimáticas, tanto pela capacidade de sombreamento como pela promoção de conforto térmico. Os resultados da simulação dessa mesma espécie apresentaram grandes contribuições para a melhoria do microclima térmico dentro do cânion, portanto recomenda-se o manejo de árvores com as mesmas características dessa espécie nas cidades. A definição de recomendações de desenho urbano baseado em análises de dados históricos e medições in loco são importantes para um ambiente construído sustentável.

Este estudo sugere algumas investigações futuras tais como: análise do Bioclima Térmico para outras cidades brasileira em zoneamentos climáticos diferentes ao de Campinas; ensaios de cânions urbanos com árvores em túnel de vento; calibração de índices térmicos como PET para Campinas, com base em pesquisas de campo e entrevistas; Simulação de diferentes configurações urbanas para Campinas a partir de softwares como Envi-Met, RayMan e SkyHelios, estudo em campo de cânions urbanos típicos da cidade de Campinas com e sem arborização, bem como definição de zonas climáticas; avaliação de outras espécies arbóreas não analisadas nessa pesquisa.

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.
- 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.
- 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 Luis, 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, 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.
- FANGER, P. O.; **Thermal Comfort**. New York: McGraw Hill. 1972
- 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. Biometeorological**. v. 43, pp. 71–75. 1999.
- 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.
- 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.
- LOMBARDO, M. A., 1985. *Heat Island in Metropolis: Case of Sao Paulo*. Sao Paulo: Hucited.
- MATZARAKIS, A.; Die thermische Komponente des Stadtklimas. **Ber. Meteorol. Inst. Univ. Freiburg Nr. 6**, 2001
- 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.
- 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.
- MITICA-NETO, H. (2008) *Urban growth in Campinas: changes in the urban fabric around Dom Pedro I highway*. Thesis, Faculdade Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.
- NIKOLOPOULOU, 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. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, 7(8), 769–779.
- OKE T (1982). The energetic basis of urban heat island. *Journal of the Royal Meteorological Society*, 108 (455), pp. 1-24.
- OKE, T. R., JA, E., GRIMMOND, C. S. B. (1999). The energy balance of central Mexico City during the dry season. *Atmospheric Environment*, 33, 3919–3930.
- 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.
- SPANGENBERG, J.; SHINZATO, P.; JOHANSSON, E.; DUARTE, D.; Simulation of The Influence of Vegetation on Microclimate and Thermal Comfort in The City of Sao Paulo. **Rev. SBAU**, v.3 (2), p. 1-19. 2008.
- STREILING, S.; MATZARAKIS, A.; Influence of single and small clusters of trees on the bioclimate of a city: a case study. **Journal of Arboriculture**, v. 29, p. 309–316. 2003
- TAHA, H., AKBARI, H., Rosenfeld, A., Huang, J., 1988. Residential cooling loads and the urban heat island – the effects of albedo. *Build. Environ.* 23, 271–283.

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.