# INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA E ARBORIZAÇÃO NO ESTRESSE TÉRMICO DE PEDESTRES EM CENÁRIOS DE CÂNIONS URBANOS DE UMUARAMA – PR[1]

LIMA, D.C.R., Universidade Estadual de Maringá: dianalima.arq@gmail.com; LIMA, P.R., Universidade Federal de Santa Catarina: pollyannalima@outlook.com; CARAM, R.M., Universidade de São Paulo: rcaram@sc.usp.br

**ABSTRACT**

*The quality of urban spaces depends on the adaptation of urban designs to their climatic context. In Brazil, the master plan is the instrument of municipal governments responsible for regulating urban design. The city of Umuarama in the state of Paraná recently approved a new Master Plan and is developing an Urban Tree Plan. The objective of this research is to verify the influence of urban geometry and tree plan on the thermal stress of pedestrians in urban canyon scenarios in Umuarama, based on microclimate models generated with Envi-MET software. The Physiological Equivalent Temperature (PET) index was used to evaluate the thermal stress. The results showed that the PET tends to be lower in deeper urban canyons with greater green space coverage. Furthermore, this study demonstrated the benefits of computational simulation in the development of municipal plans for the production of climate-oriented urban designs.*

***Keywords**: Urban canyons. Thermal comfort in open spaces. Microclimatic modeling.*

## 1 INTRODUÇÃO

A evolução da forma urbana adequada ao seu contexto climático é determinante para a qualidade ambiental dos espaços abertos. No entanto, em diversas cidades brasileiras o crescimento urbano acelerado ocorre quase sem nenhum controle ou planejamento. As regulamentações urbanas voltadas ao planejamento da cidade deveriam assegurar que os usuários dos espaços urbanos, principalmente os pedestres, estivessem bem servidos de espaços abertos de qualidade.

No Brasil, o Plano Diretor é o instrumento dos governos municipais direcionado à definição do padrão de desenvolvimento da ocupação urbana do seu território e, consequentemente, regulador do desenho urbano (VILLAÇA, 1999). A cidade de Umuarama, no noroeste do Paraná, assistiu recentemente a um intenso processo de expansão urbana e teve em 2016 seu novo plano diretor aprovado. O novo Plano Diretor de Umuarama (PDU) (2016) propôs a ampliação da área da cidade onde é permitida a verticalização. Além disso, está em fase de desenvolvimento na cidade o Plano Municipal de Arborização Urbana (PMA), que prevê a manutenção das espécies existentes, preenchimentos das áreas "sem sombra" e regras para a arborização da cidade.

[1] LIMA, D.C.R.; LIMA, P.R.; CARAM, R.M. Influência da geometria e arborização no estresse térmico de pedestres em cenários de cânions urbanos de Umuarama – PR. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

O local de estudo dessa pesquisa é o cânion urbano, a menor unidade de análise dos microclimas urbanos (NAKAMURA; OKE, 1988). Diferentes configurações do cânion influenciam no conforto térmico em seu interior (NAKAMURA e OKE, 1988; SHISHERGAR, 2013; ANDREOU, 2014; ERELL et al. 2014; COUTTS et al., 2015). O objetivo é verificar a influência da geometria urbana e da arborização no estrese térmico de pedestres em cenários de cânions urbanos de Umuarama, Paraná, face ao proposto pelos planos, através de modelagem microclimática, utilizando o programa ENVI-met. O EnviMET tem sido usado em pesquisas recentes para a simulação de cenários de microclima em cânions urbanos (ROSSI; KRÜGUER; NIKOLOPOULOU, 2011; SILVA, 2013; MINELLA, 2014; TALEGHANI et al., 2015).

## 2 METODOLOGIA

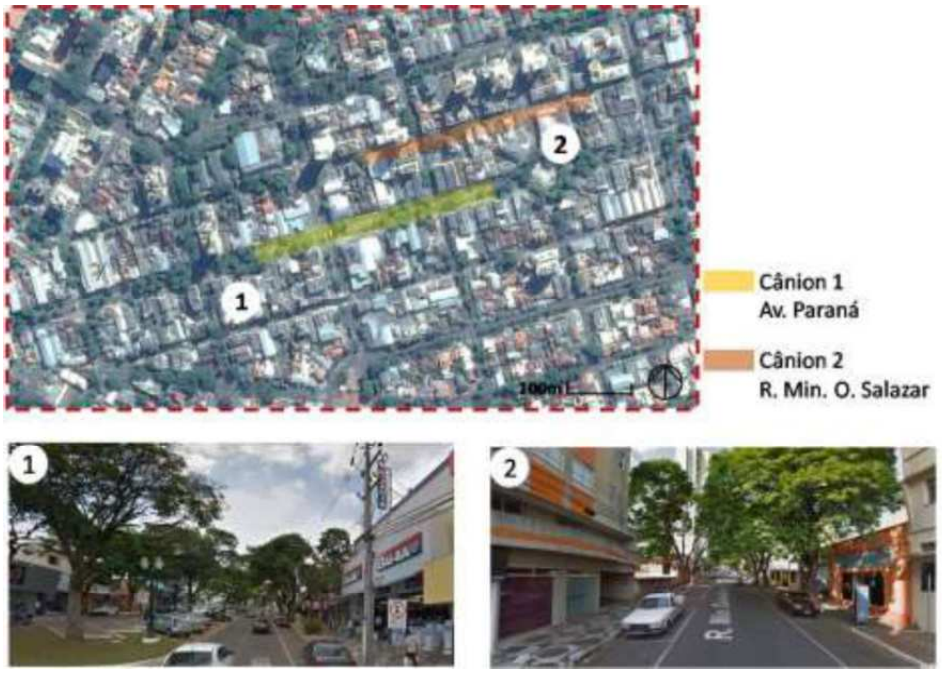
### 2.1 Caracterização da área de estudo

Inicialmente foram selecionados dois cânions urbanos existentes no centro da cidade, área de maior concentração de pedestres e onde o novo plano diretor possibilita maior verticalização (figura 1). Os dois cânions selecionados possuem orientação leste-oeste e predomínio de edificações de dois pavimentos; o cânion 1 possui relação H/W de 0,17 e o cânion 2, relação H/W de 0,37.

A partir dos cânions urbanos existentes foram propostos cenários de cânions urbanos que envolvem alterações na geometria urbana e arborização perante o proposto pelos novos planos municipais. Quanto à geometria urbana, considerou-se edifícios com dois pavimentos (próxima do existente), edifícios com 12 pavimentos (máximo permitido pelo plano diretor) e gabarito intermediário de 7 pavimentos. A configuração adotada para cada edificação nos cenários foi feita respeitando o disposto pela lei de uso e ocupação do solo a partir de um lote padrão existente na área de estudo.

Quanto à arborização, foram previstos cenários sem arborização, com arborização intermediária (no canteiro central ou calçada sul), e arborização consolidada conforme o plano de arborização (dois lados da calçada e no canteiro central, quando houver). A espécie utilizada foi a sibipiruna *(Caesalpinia pluviosa),* espécie predominante no centro da cidade. A arborização foi quantificada através do índice de cobertura verde(CV) (CAVALHEIRO et al., 1999).

Figura 1 – Localização dos cânions urbanos existentes




Fonte: os autores

A figura 2 mostra o esquema para construção dos cenários e os códigos utilizados. Para cada cânion urbano de origem resultaram 9 configurações.

Figura 2 – Esquema da construção dos cenários de cânions urbanos




Fonte: os autores

## 2.2 Levantamento de dados

Nessa etapa foi realizado o levantamento das características físicas da área, necessárias para a modelagem dos cenários, e das variáveis climáticas para a validação do modelo microclimático. O monitoramento das variáveis microclimáticas foi realizado em um ponto no cânion urbano 1 em situação de inverno (23/08/2016) e de verão (27/02/2017), às 6h, 9h, 12h, 15h, 18h, 21h

e 00h, conforme disponibilidade de equipamentos e condições do tempo. As variáveis microclimáticas medidas foram a temperatura do ar (Ta), a umidade relativa do ar (UR), a temperatura de globo (Tg) e a velocidade do ar (v); os sensores foram posicionados a 1,10 m do solo.

## 2.3 Simulação microclimática com ferramenta computacional

Para a simulação do microclima urbano foi utilizada a ferramenta computacional ENVI-met 4. Esse programa executa simulações do microclima urbano através das interações entre superfícies urbanas, vegetação e atmosfera (BRUSE; FLEER, 1998).

Inicialmente, a simulação do modelo semelhante ao cânion urbano 1 existente permitiu a validação do modelo através da correspondência das medidas observadas no local e simuladas. A temperatura do ar foi adotada como variável climática de referência para a comparação das medidas (MINELLA, 2014). A aplicação do teste índice de concordância de Willmott para as medidas simuladas e observadas da temperatura do ar apresentou valor próximo de 1 (0,976) o que indica que as medidas são concordantes.

O modelo foi desenhado com células de 2,5 x 2,5m e 3,0 m para a altura (z). Os cenários modelados com origem em C1 possuem dimensões de 310x175x90 metros (x;y;z) e com origem em C2 de 312x155x90 metros. A espécie arbórea sibipiruna foi configurada conforme Rosseti (2013).

As simulações foram feitas para situação de inverno (21/06/16) e verão (21/12/16). Para a validação do programa, a simulação foi realizada para os mesmos dias dos monitoramentos no local. As variáveis microclimáticas foram registradas às 9h, 12h, 15h, 18h, 21h e 00h.

Para a configuração climática de inicialização foram utilizados os dados fornecidos pela estação automática do Sistema Meteorológico do Paraná – SIMEPAR localizada em Umuarama; os valores de umidade específica do ar a 2.500 m (em g/kg) foram obtidos no site da Universidade de Wyoming (2017) para o Aeroporto de Londrina, Paraná. O quadro 1 resume os dados de entrada no modelo.

Quadro 1 – Dados de entrada no modelo

| **Dado de entrada** | **Inverno** | **Verão** | **Inverno-validação** | **Verão-validação** |
|---|---|---|---|---|
| Data de início | 21/06/2016 | 21/12/2016 | 23/08/2016 | 27/02/2017 |
| Início da simulação | 00:00:00 | 00:00:00 | 00:00:00 | 00:00:00 |
| Velocidade do ar a 10 m de altura (m/s) | 2,87 | 2,56 | 2,95 | 2,82 |
| Direção do vento (graus) | 90 | 90 | 90 | 90 |
| Temperatura do ar inicial (°C) | 16,34 | 24,90 | 15,7 | 25,4 |
| Umidade específica a 2500m (g/kg) | 4,25 | 9,49 | 6,89 | 8,65 |
| Umidade Relativa do ar (%) | 67 | 71 | 63 | 72 |

Fonte: os autores

Os dados de saída (temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade

do vento e temperatura radiante média) foram extraídos de um ponto receptor, localizado no interior do cânion, a uma altura de 1,50 metro para posterior cálculo do índice Temperatura Fisiológica Equivalente (PET).

## 2.4 Aplicação do índice de conforto térmico PET

O cálculo do nível de estresse térmico do pedestre pelo índice PET foi feito através da ferramenta computacional RayMan Pro 2.3 (MATZARAKIS; RUTZ; MAYER; 2010) com os dados extraídos das simulações microclimáticas de cada cenário pelo ENVI-met. Para o cálculo do PET, utilizou-se como variáveis pessoais as de um homem padrão conforme a norma ISO 8996 (2004): indivíduo de 30 anos de idade, pesando 70 kg e com 1,75 m de altura. A escala PET utilizada foi a escala calibrada por Monteiro (2008) para a cidade de São Paulo por se tratar da cidade com características climáticas que mais assemelham à área de estudo com escala PET calibrada. Para análise dos dados, foram usadas técnicas de superfície de resposta com o auxílio do ambiente estatístico R (2015).

## 3 RESULTADOS

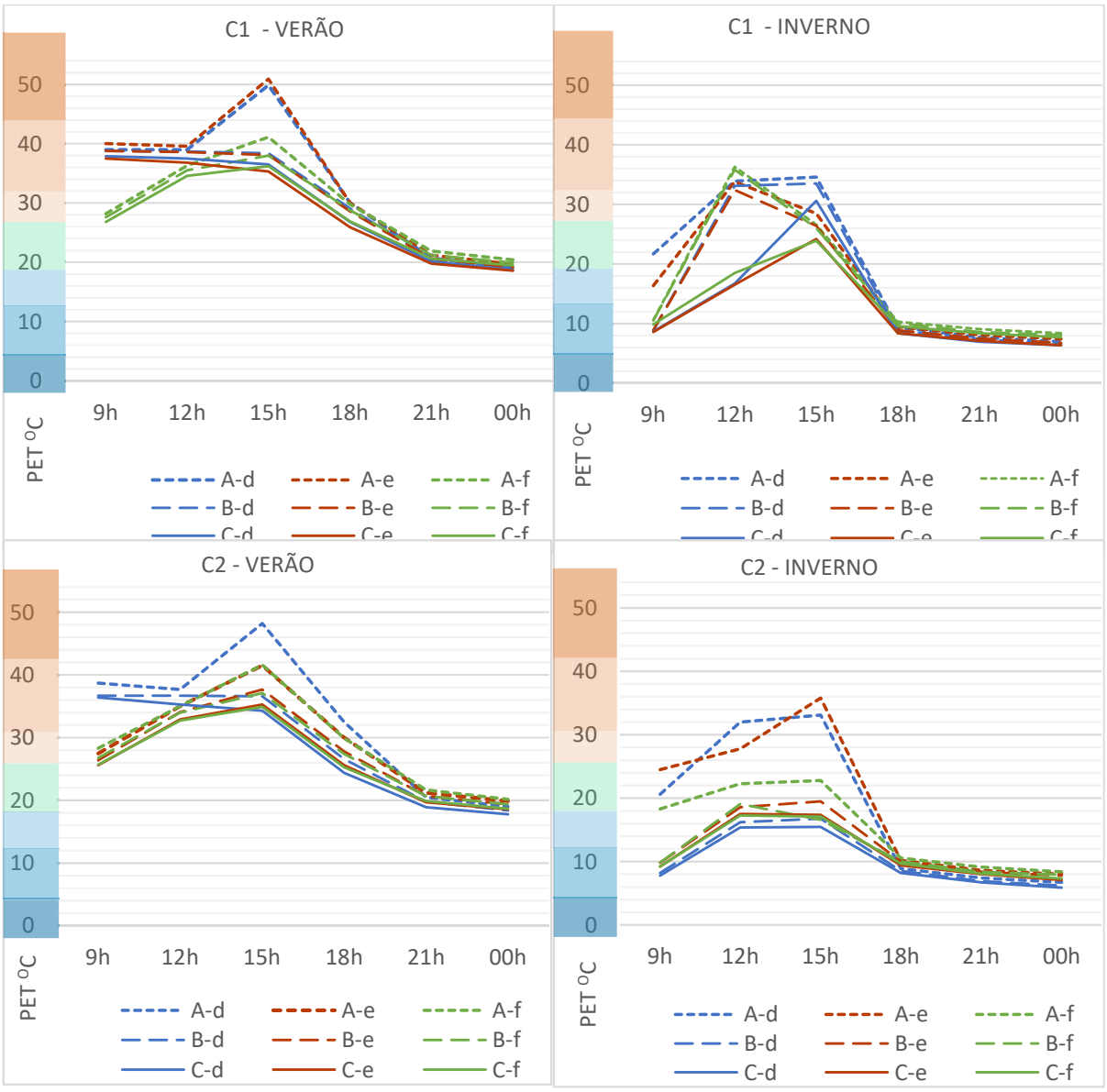
O quadro 2 mostra a legenda com a escala PET utilizada. A figura 3 mostra a variação do PET por horários de estudo nos cenários com origem em C1 e C2 em situação de verão e inverno.

Quadro 2 – Legenda da escala PET utilizada

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| < 4 | estresse forte ao frio | 18-26 | sem estresse térmico | > 26 | estresse leve ao calor |
| < 12 | estresse moderado ao frio | | | > 31 | estresse moderado ao calor |
| < 18 | estresse leve ao frio | | | > 43 | estresse forte ao calor |

Fonte: os autores, com base em Monteiro (2008)

Figura 3 – Variação do PET nos cenários com origem em C1 e C2, para situação de inverno e verão




Fonte: os autores

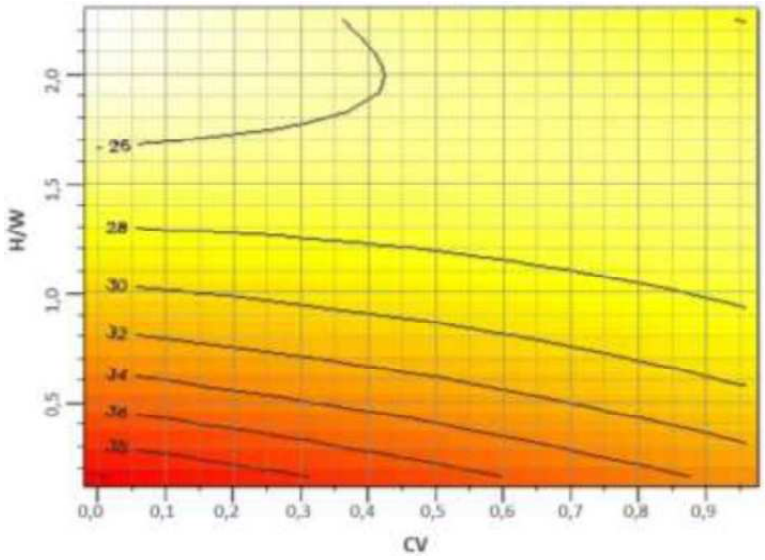
Os resultados obtidos mostram que a geometria do cânion e a presença de arborização nos cenários de cânions urbanos exercem influência significativa nas variáveis microclimáticas e consequentemente no nível de estresse térmico do pedestre. Essa influência está associada principalmente às alterações na temperatura radiante média (trm) e velocidade do ar (V). As maiores médias do PET foram observadas nos cenários de cânions com menor relação H/W e com ausência de arborização; as menores médias do PET foram observadas nos cenários de cânions mais profundos.

As diferenças mais significativas do PET foram observadas no período diurno, especialmente às 12h e 15h, afetadas essencialmente pela Trm, tanto em função de H/W quanto de CV. No período noturno, observou-se menor influência de H/W no PET, porém houve influência de CV no PET; nesse período as variações estão associadas a redução de V pelo aumento de CV.

Os resultados mostraram que a maior incidência de estresse térmico para o

pedestre nos diversos cenários ocorreu às 12h e 15h ao calor; mesmo para situação de inverno foi verificado estresse térmico ao calor. Para melhor identificar a influência de H/W e CV no PET nesses horários mais críticos foram utilizadas técnicas de superfície de resposta e os resultados expressos através de um gráfico de contorno. A superfície de resposta foi construída com base nos resultados do modelo de regressão ajustado, que modela a média do PET, considerando dados para situação de verão e para situação de inverno, as 12h e 15h. A figura 3**Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta o gráfico de superfície de resposta do PET, de acordo com a variação conjunta de CV e H/W.

Figura 3 – gráfico de superfície de resposta para a variável PET de acordo com H/W e CV para os 12h e 15h




Fonte: os autores

Observa-se no gráfico que valores altos de H/W tendem a diminuir o PET. Para valores mais baixos de H/W até próximo de 1,3, o PET é menor quando CV é mais alto, porém para valores mais altos de H/W não há variação significativa do PET médio de acordo com CV. Nos cenários de cânions mais profundos, os edifícios proporcionaram sombreamento na via e a presença de arborização atuou principalmente na redução da velocidade do ar. Assim, os menores valores do índice de conforto térmico são observados para o H/W em torno de 2,0 com CV de 0,2 e 0,3.

## 5 CONCLUSÕES

A pesquisa mostrou que a configuração dos cânions urbanos quanto a sua geometria e cobertura verde influi diretamente no conforto térmico dos pedestres. O uso de simulação computacional pode auxiliar a elaboração dos planos municipais para a produção de um desenho urbano climaticamente orientado. Por meio dos resultados, tem-se que as propostas dos planos em andamento no município são compatíveis com o conforto térmico para o pedestre desde que elaborados em conjunto. A formação de um microclima mais ameno contribui para a habitabilidade e vitalidade urbanas,

incentivando atividades ao ar livre e, principalmente, encorajando os moradores da cidade a diminuir o uso de veículos motorizados.

## REFERÊNCIAS

ANDREOU, E. The effect of urban layout, street geometry and orientation on shading conditions in urban canyons in the Mediterranean. **Renewable Energy**, v. 64, p. 587-596, 2014.

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

CAVALHEIRO, F. et al. Proposição de Terminologia para o Verde Urbano. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (SBAU).** Rio de Janeiro, Ano VII, n. 3, 1999.
COUTTS, A.M. et al. Temperature and human thermal comfort effects of street trees across three constrasting street canyon environments. **Theor Appl Climatol**, 2015. DOI 10.1007/s00704-015-1409-y.

ERELL, E.; PEARLMUTTER, D.; WILLIAMSON, T. **Urban microclimate: designing the spaces between buildings**. Earthscan/James &James Science Publishers, London, 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 8996:** ergonomics of the thermal environment: determination of metabolic rate. Geneva, 2004.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the Rayman model. **Int. J. Biometeorol.**, n.54, p.131–139, 2010.

MINELLA, F.C.O. **Desenho urbano climaticamente orientado: a influência da vegetação no ambiente externo.** Tese (Doutorado em Tecnologia), Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal de Paraná, Curitiba, 2014.

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

NAKAMURA, Y.; OKE, T. R. Wind, temperature and stability conditions in an eastwest oriented urban canyon. **Atmos Environ.**, v. 22, n. 12, p. 2691–2700, 1988.

PLANO DIRETOR DE UMUARAMA. Atualização e revisão 2016. Disponível em: <http://www.umuarama.pr.gov.br >. Acesso em: mar. 2016.

R Development Core Team. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria, 2015. Disponível em: <http://www.R project.org>.

ROSSETI, K.A.C. **Efeitos do uso de telhados vegetados em ilhas de calor urbanas com simulação pelo software ENVI-met.** 2013. 253f. Tese. (Doutorado em Física Ambiental),

Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

ROSSI, F.A.; KRÜGUER, E.; NIKOLOPOULOU, M. A influência da configuração urbana no microclima e na sensação térmica em ruas de pedestre de Curitiba, Paraná. In: XI Encontro Nacional e VII Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC/ELACAC, 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: ANTAC, 2011.

SHISHEGAR, N. Street design and urban microclimate: analyzing the effects of street geometry and orientation on airflow and solar access in urban canyons. **Journal of Clean Energy Technologies**, v.1, n. 1, p. 52-56, 2013.

SILVA, C.F. **O contexto térmico das cavidades urbanas: contexto climático do Distrito Federal.** Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

TALEGHANI, M. et al. Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherland. **Building and Environment**, v. 83, p.65-78, 2015.

UNIVERSITY OF WYOMING. Department of Atmospheric Science. Disponível em: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding. html>. Acesso em: mar. 2017.

VILLAÇA, F. Dilemas do Plano Diretor. In: CEPAM. O município no século XXI: cenários e perspectivas. São Paulo: Fundação Prefeito Faria Lima – Cepam, 1999. p. 237 – 247.