

EFEITO DA VEGETAÇÃO NA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA URBANA EM DIFERENTES CLIMAS: ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE CAMPINAS E MENDONZA

Claudia C. Pezzuto (1); Noelia L. Alchapar (2); Lucila C. Labaki (3); Erica N. Correa (4)

(1)* Prof^a Dr^a, docente permanente do Programa de Pós-graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, claudiapezzuto@puc-campinas.edu.br

(2)** Dra, Becaria Posdoctoral do CONICET, nalchapar@mendoza-conicet.gov.ar

(3)*** Prof^a Dr^a, Departamento de Arquitetura e Construção, FEAU, lucila@fec.unicamp.br

(4)** Dra, Investigadora Adjunta do CONICET. ecorrea@mendoza-conicet.gov.ar

* Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Rodovia Dom Pedro, km 136 Parque das Universidades, CEP 13086-900 – Campinas - SP, Tel: (19) 3343-7239

**Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda –INCIHUSA-CCT Mendoza-CONICET. Av. Ruiz Leal S/N. Parque Gral. San Martin. C.C.131 C.P. 5500 – Mendoza, Argentina. Tel. 0261-5244322.

*** Universidade Estadual de Campinas Avenida Albert Einstein, 951, Cidade Universitária Caixa-Postal 6021 Campinas - SP - Brasil CEP 13083-852

RESUMO

A eficácia da climatologia urbana aplicada na prática do planejamento depende da autocompreensão da cidade. No âmbito internacional, diversas estratégias para mitigar o efeito da ilha de calor urbana e melhorar as condições de habitabilidade tem sido propostas e estudadas. Neste trabalho será avaliado o efeito da vegetação e da densidade construída em dois diferentes climas, tropical de altitude, Campinas – Brasil e quente seco, Mendoza – Argentina, com a finalidade de determinar a potencialidade de reduzir as temperaturas urbanas. Foram propostos oito cenários de estudos mediante o modelo numérico microclimático ENVI-met. Os resultados evidenciam que o maior impacto benéfico de incrementar a vegetação são registrados nos cenários de baixa densidade e durante a ocorrência da temperatura do ar máxima. Para estas características particulares do clima tropical de altitude, a cidade mais susceptível a modificação da vegetação é a cidade de Campinas, que registra diferenças de temperatura do ar máxima de 4°C, enquanto em Mendoza as diferenças térmicas alcançam 1°C. A densidade construída aumenta as temperaturas urbanas durante o período de resfriamento em ambos os climas, ou seja, contribui para a formação da ilha de calor urbana.

Palavras-chave: ENVI-met; clima urbano; vegetação.

ABSTRACT

The effectiveness of urban climatology applied to the practice of planning depends on the self-understanding of the city. Internationally, various strategies to mitigate the effect of urban heat island and improve thermal habitability of outdoor spaces have been proposed and studied. This work evaluated the effect of vegetation and building density in two different climates, tropical of altitude-Campinas Brazil, and warm dry in Mendoza, Argentina to determine their potential to reduce urban temperatures. Eight scenarios were simulated by the numerical model ENVI-met micro climate with this purpose. The results show that the greatest beneficial impact of vegetating occurs in low density scenarios during the maximum temperatures. Because of the particular characteristics of tropical altitude climate, the city more susceptible to changes in the vegetation is Campinas, which registers maximum differences of 4 °C in its air temperature, while in Mendoza the thermal differences reach 1 °C. Therefore we concluded that densifying increases the urban temperatures during the cooling period in both climates and this contributes to the formation of the ICU.

Keywords : ENVI-met ; Urban climate; Vegetation.

1. INTRODUÇÃO

Muitas metodologias são adotadas para estudar as variações no clima urbano (MIRZAEI e HAGHIGHAT, 2010; WMO, 2006.). Os dados necessários para esses estudos podem ser obtidos a partir de estações meteorológicas, de ponto fixo de coleta de dados, medições através de transecto móvel, através do sensoriamento remoto, também, pode ser inferida a partir de modelos matemáticos e simulação computacional. Entretanto, estudos indicam que a climatologia urbana aplicada na prática do planejamento ainda está na fase inicial. Porém, em um estágio promissor e sua eficiência depende da compreensão do tecido urbano das cidades em sua forma natural, ou seja, sua autocompreensão, a fim da cidade se tornar coadjuvante do seu próprio clima (HEBBERT e JANKOVIC, 2013, HEBBERT, 2014).

Muitas pesquisas apontam que as temperaturas do ar alcançam valores máximos no centro das áreas urbanas: em espaços com grandes áreas construídas, adensamento populacional e alta taxa de impermeabilização do solo. Estas alterações acarretam o aumento da temperatura urbana nos grandes centros em comparação com o meio rural circundante ou áreas suburbanas. Este efeito é conhecido como ilha de calor urbana (OKE, 1987). A ilha de calor urbana tem significativo impacto do consumo de energia das edificações e na qualidade do ar externo (MIRZAEI e HAGHIGHAT, 2010).

A simulação computacional tem sido uma ferramenta amplamente utilizada para análise e suporte a avaliação das questões térmicas do ambiente urbano e a eficiência energética das edificações. Dentre os softwares existentes para esse fim, destaca-se aqui o ENVI-met. Trata-se de um modelo tri-dimensional de clima urbano que simula as interações entre as superfícies urbanas, vegetação e atmosfera. Destacam-se estudos que avaliam a relação entre altura dos edifícios e largura das vias (Ali-Toudert e Mayer, 2006), efeitos do aquecimento global sobre o estresse térmico (Huttner, Bruse e Dostal, 2008), conforto térmico do pedestre (Nakata et al., 2010), o efeito da distribuição de áreas verdes nos aspectos climáticos (Shinzato, 2009), a geometria da via e a influência na temperatura ambiente (Kruger et al., 2011), o impacto do desenho urbano e o material de superfície sobre o conforto térmico (Fröhlich e Matzarakis, 2012), o comportamento térmico em diferentes tipos de superfícies (Yang et al., 2013), o efeito da vegetação sobre a dispersão de partículas (Wania et al., 2012) o efeito do resfriamento através de incremento de vegetação e telhados frios (Middel et al., 2015).

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo investigar através da simulação computacional do programa ENVI-met o efeito da vegetação e da densidade construída em dois diferentes climas, tropical de altitude e quente seco, Campinas-Brasil e Mendoza-Argentina, respectivamente.

3. METODOLOGIA

Esta pesquisa foi conduzida a partir do projeto de Cooperação Internacional Argentina-Brasil (CONICET – FAPESP). A metodologia deste trabalho contemplou três etapas: na primeira foi feito o monitoramento das condições microclimáticas nos dois recortes urbanos de estudo: Campinas-Brasil e Mendoza-Argentina. A segunda parte foi feita a digitalização das duas áreas no programa ENVI-met e o ajuste da curva de simulação. E na terceira parte foram propostos cenários de estudos nas duas áreas. As variáveis analisadas nos cenários contemplaram a vegetação e a densidade construída.

3.1 Áreas de Estudos

O município de Campinas (S 22°53'20" , O 47°04'40") localiza-se a sudeste do Brasil, altitude média de 680 metros, área de aproximadamente 794.571 Km² e população total estimada de aproximadamente 1.154.617 habitantes (PMC, 2015; IBGE, 2015). O clima da cidade é tropical de altitude (classificação de Köppen Cwa, KOTTEK, 2006), com verão quente e úmido e inverno ameno e seco, 1424,5 mm de precipitação anual, umidade relativa do ar anual de 60%, radiação global média anual 134,50 W/m² (ano 2013), velocidade de vento anual (ano 2013) 2,7 m/s (h=10m), direção predominante sudeste. A temperatura do ar média anual 22,40 °C, média máxima 28,0 °C, média mínima 16,8 °C (CEPAGRI, 2014).

A cidade de Mendoza (S 32°54'48", O 68°50'46"), Argentina, localiza-se no centro oeste da Argentina: altitude média de 750 m, área aproximada de 368 Km² e 1.086.066 habitantes. O clima da cidade é árido desértico seco e quente (classificação de Köppen BWh, KOTTEK, 2006), 218 mm de precipitação anual, umidade relativa do ar anual de 56%, radiação global média anual de 212.95 W/m², velocidade do vento anual de 1,7 m/s (h=10m), direção predominante sudeste. A temperatura do ar média anual é de 16,50°C, com média máxima de 24,50 °C e média mínima de 9,60 °C (Aeroporto de Mendoza).

Os recortes urbanos das duas áreas contemplaram uma área de 210 m x 210 m. Os dois recortes escolhidos representam regiões de baixa densidade e proximidade com o centro urbano.

O recorte de estudo da cidade de Campinas está localizado em uma área central da cidade, em uma região de ocupação horizontal de baixa densidade consolidada de uso misto (residencial e comercial). Os edifícios apresentam altura aproximada média de 4 metros, com altura máxima de 7 metros. A área apresenta aproximadamente 20 % de vegetação urbana no cânion urbano. O traçado urbano apresenta uma malha ortogonal com vias urbanas asfaltadas e calçadas com aproximadamente 50% pedra calcária amarela e avermelhada e 50% de concreto. Os telhados são inclinados e com predominância de telhas avermelhadas, pequena porcentagem de chapas metálicas e lajes. No plano vertical das fachadas encontram-se materiais de pedras e pintura com tonalidades variadas. A relação altura e largura da via principal (H / W) é de 0,18 e das vias secundárias entre 0,29 e 0,34.

A área de estudo de Mendonza é uma zona de uso misto (residencial e comercial) e baixa densidade (altura máxima das edificações 9 metros). A área apresenta aproximadamente 60 % de vegetação urbana no cânion urbano a relação altura e largura da via principal (H/W) é de 0,3 e das vias secundárias 0,4. Os materiais das superfícies horizontais são compostos de pavimento asfáltico e calçadas de pedras calcárias (31% amarelas, 21% amarelas, 8 % cinzas e 11 % pretas). Os telhados são compostos de 80 % de planos de laje maciça de concreto e 20% de planos inclinados de chapas metálicas ou telhas cerâmicas.

3.2 Monitoramento

Para a calibração dos dados simulados e medidos foram coletadas as variáveis de temperatura e umidade relativa do ar. As coletas destas variáveis foram realizadas através de estações fixas em pontos centrais em cada área de estudo. As medições foram realizadas em altura aproximada de 2 a 4 metros. Na cidade de Campinas o equipamento de medição (TESTO 174 H) foi instalado no interior da quadra em área externa em local que recebe o mínimo de interferência de barreiras físicas e materiais construtivos com altura aproximada de 3 metros. Na cidade de Mendonza foi utilizada uma estação fixa HOBO (H08-003-02), localizada na calçada, altura aproximada de 2,5 m.

Os monitoramentos em ambas as áreas, Mendonza e Campinas, foram realizados na estação de verão, em dias estáveis sem ocorrência de precipitações. Na cidade de Campinas a coleta de dados ocorreu no dia 21 de fevereiro de 2013 (temperatura do ar máxima 33,0°C; temperatura do ar mínima 20,5°C; temperatura do ar média 26,0°C; radiação global média de fevereiro 355.00 W/m²; umidade relativa do ar 67%). Os dados da cidade de Mendonza foram coletados no dia 14 de janeiro de 2010 (temperatura do ar média de 36,0°C, temperatura do ar mínima de 21,0°C, temperatura do ar média 27°C, radiação solar global de janeiro 302.08W/m², umidade relativa do ar 42%).

3.3. Simulação Computacional no ENVI-met

As simulações computacionais foram realizadas no programa ENVI-met V3.1 (Beta). Assim as áreas de estudos contemplaram um recorte urbano de 210 x 210 m. As simulações nas duas áreas de estudo foram realizadas com 70x70x30 (X. Y. Z) grids, com uma resolução de grid 3 x 3 x 3m (figura 1).

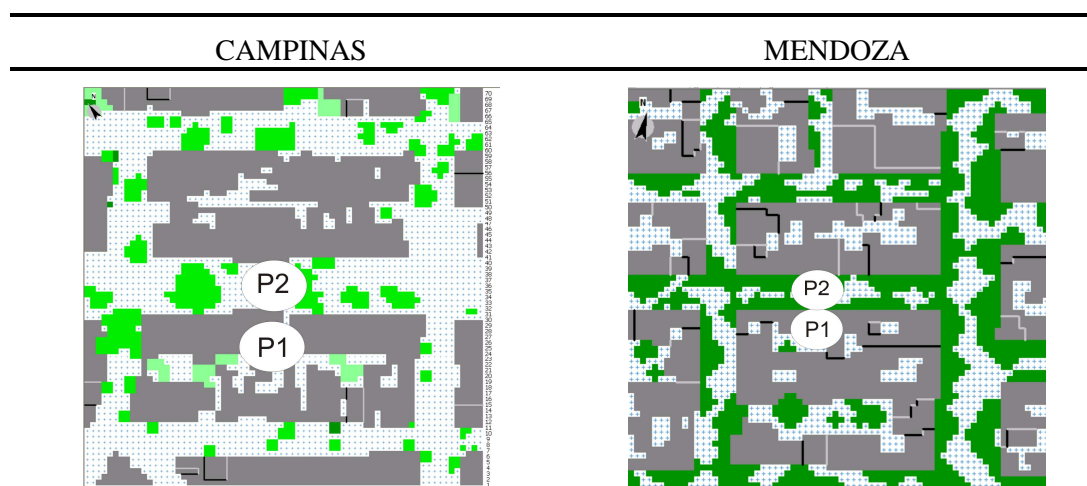


Figura 1 - Área de estudo de Campinas, Brasil e Mendonza, Argentina. Ponto de coleta, P1 e Ponto de análise P2

No arquivo de configuração dos dados meteorológicos as variáveis velocidade e direção do vento na altura de 10 metros foram coletados a partir de estações meteorológicas urbanas de referências. Na cidade de Campinas os dados coletados foram do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), distante aproximadamente 2,5 km, noroeste da área de estudo. Os dados da cidade de Mendonza foram coletados do Observatório do Parque San Martín, distante aproximadamente 4,0 Km da área de estudo, noroeste da área de estudo.

Os dados de umidade específica do ar foram obtidos a partir da coleta de radiossondagem do aeroporto do Campo de Marte na cidade de Campinas (Estação n. 83779 Aeroporto Campo de Marte) e do Observatório de Mendoza (Estação n. 87418. Observatório de Mendonza), a partir da Universidade de Wyoming.

Para a especificação da vegetação foi utilizado o banco de dados default do ENVI-met a partir do reconhecimento e caracterização local. Para as propriedades térmicas dos edifícios em Campinas foram adotados os valores médios da normatização local (ABNT, 2005) e em Mendonza foi utilizado os valores médios registrados no canal vial de referência. O albedo adotado para as paredes foi 0,2 e telhados 0,3 em ambas as cidades (Sailor e Fan, 2002).

3.4. Calibração no ENVI-met

A partir dos dados coletados e simulados foi possível verificar o ajuste do modelo. A partir dos dados de temperatura do ar, coletado e simulado, verificou-se um bom ajuste da curva de interação nas duas cidades, conforme mostrado na tabela 01.

Tabela 1 – Temperaturas do ar mínimas, máximas, amplitude e média do ponto de coleta (P1) e Ponto Simulado (P2), para a cidade de Campinas e Mendoza.

T (°C)	Campinas		Simulado	Mendonza	
	Ponto Coletado (P1)	Ponto (P2)		Ponto Coletado (P1)	Ponto Simulado (P2)
Min	20,5	20,5		21,0	22,0
Max	33,3	32,0		36,0	35,0
Amplitude	13,0	12,0		15,0	13,0
Média	26,0	25,0		27,0	28,0

3.5. Cenários de estudo

Com o objetivo verificar o efeito da vegetação e densidade construída na mitigação do efeito da ilha de calor urbana foram simulados diferentes cenários de estudo. Os cenários foram digitalizados contemplando a mesma área e uma única resolução. O critério utilizado para a variação da vegetação foi a porcentagem desta no cânion urbano: 20% de vegetação no cânion corresponde à situação atual da cidade de Campinas e 60% de vegetação no cânion corresponde à situação atual da cidade de Mendonza. A variável densidade foi analisada em dois cenários: baixa densidade e alta densidade. A baixa densidade corresponde à situação das duas áreas de estudo. Para o cenário de alta densidade foi considerada a relação altura e largura da via (H/W) de 1,5 (WMO, 2006). As seguintes variáveis foram digitalizadas em diferentes cenários.

- *Largura do Canyon- (relação altura e largura da via -H/W):*
 - Baixa Densidade: o canyon da via é a geometria atual: H/W Campinas: 0,18 a 0,34; H/W Mendonza: 0,3 a 0,4.
 - Alta densidade: o canyon da via é igual a 1,5 para ambas as cidades.
- *Vegetação:*
 - 20% de vegetação no canyon: A porcentagem de 20% de vegetação no canyon corresponde à situação atual da cidade de Campinas.
 - 60% de vegetação no canyon: A porcentagem de 60% de vegetação no canyon corresponde à situação atual da cidade de Mendonza.

Assim, foram avaliados quatro cenários para ambas as cidades:

- **Cenário Baixa 20:** Baixa densidade e 20 % de vegetação.
- **Cenário Baixa 60:** Baixa densidade 60 % de vegetação.
- **Cenário Alta 20:** Alta densidade 20 % de vegetação.
- **Cenário Alta 60:** Alta densidade 60 % de vegetação.

4. ANÁLISES DOS RESULTADOS

4.1 Análises de temperatura do ar segundo os cenários de estudos

A partir dos objetivos propostos do trabalho foi avaliado o efeito da vegetação em duas diferentes configurações de densidade (baixa e alta) para as duas cidades: Campinas (clima tropical de altitude) e Mendonza (clima quente seco). O universo das análises está distribuído em 4 cenários para cada cidade, totalizando 8 simulações computacionais.

Os resultados no modelo do ENVI-met foram avaliados individualmente para as duas cidades: Campinas e Mendonza.

4.1.1 Campinas

Na cidade de Campinas ressalta-se que o cenário atual contempla 20 % de vegetação no cânion urbano (Baixa 20). Durante o período de aquecimento a estratégia de aumentar a porcentagem de vegetação apresentou melhor eficiência nos cenários de baixa densidade. Neste período o cenário Baixa 60 registrou uma temperatura do ar máxima de 28,0°C, enquanto o cenário atual (Baixa 20) alcança 32,0°C, ou seja, um decréscimo de 4,0°C. Ao analisar o benefício de incrementar a vegetação na alta densidade (cenário Alta 60 x Alta 20) observa-se uma diminuição de 2,0 °C na temperatura do ar máxima. Ou seja, a estratégia de arborização para Campinas oferece grandes possibilidades de melhorias nas condições térmicas microclimáticas.

Durante o período de resfriamento, aumentar a vegetação para 60%, em configurações de alta e baixa densidade, acarreta um decréscimo da temperatura do ar em 1,1°C aproximadamente. Neste período o cenário de Baixa 60 continua apresentando a maior eficiência (decréscimo de 1,1°C) comparado com o cenário Alta 60 (decréscimo de 0,8°C). A figura 2 demonstra estes resultados.

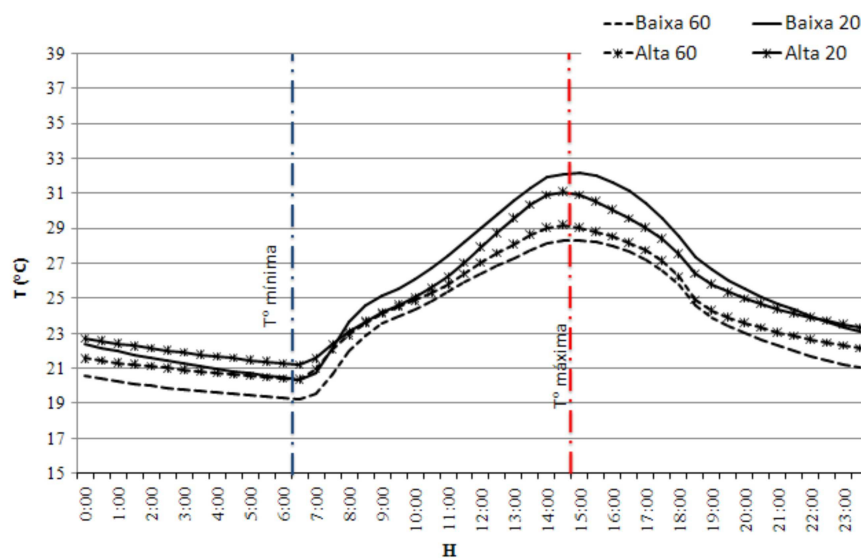


Figura 2 - Curvas de temperatura do ar (°C) segundo os cenários de estudo para a cidade de Campinas

4.1.2 Mendonza

No contexto da cidade de Mendonza o cenário atual contempla 60% de vegetação no cânion urbano (Baixa 60). Neste aspecto, durante o período de aquecimento o custo da redução da vegetação no cenário atual (Baixa 60) foi aumentar a temperatura do ar. Esta situação torna-se ainda mais crítica nos contextos de baixa densidade (Baixa 20 x Baixa 60), onde foram registradas diferenças máximas de 1,9° C de temperatura do ar. A configuração que apresenta maior porcentagem de vegetação e alta densidade (cenário Alta 60) alcança um comportamento térmico mais eficiente em ordem de reduzir as temperaturas do ar urbanas máximas para 34,9°C, comparado com 33,7 °C do cenário de Alta 20, diferença de aproximadamente 1,2 °C.

Durante o período de resfriamento, alterar a porcentagem de vegetação não acarreta um impacto significativo, diferença aproximada de 0,6 °C na temperatura do ar. Entretanto, a configuração de baixa densidade e 60% de vegetação (Baixa 60) é a mais eficaz durante este período (temperatura do ar mínima=22,2 °C). Ressalta-se que na cidade de Mendonza o fenômeno ilha de calor urbana ocorre durante o

período de resfriamento, infere-se a partir dos resultados que incrementar a densidade construída contribui para intensificar este efeito devido a alta concentração de massa construída e a inércia térmica dos edifícios (figura 3).

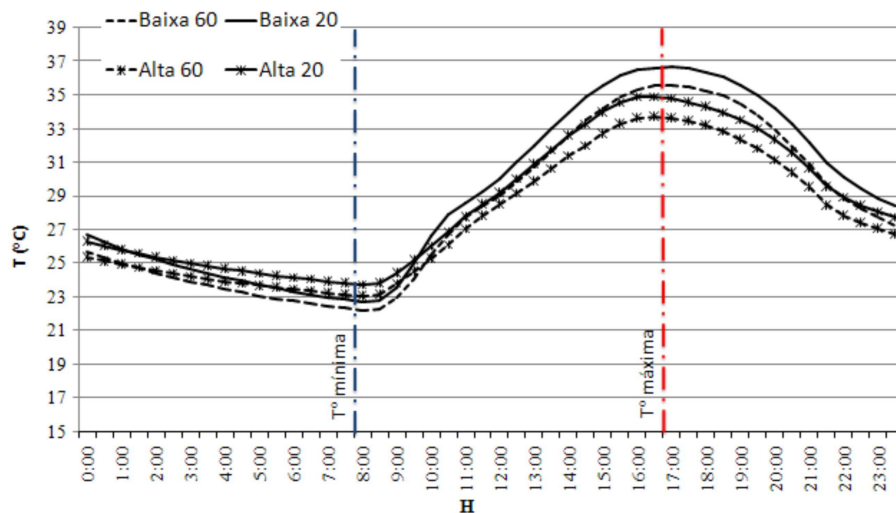


Figura 3 - Curvas de temperatura do ar (°C) segundo os cenários de estudo para a cidade de Mendoza

4.2 Mapas de distribuição térmica

A figura 4 mostra distribuição térmica baseada nas análises de temperatura do ar máxima em todos os cenários de estudo, em relação à porcentagem de vegetação e densidade construída. Estas foram construídas no programa Leonardo 3.75, o qual é uma interface do programa ENVI-met que permite a visualização gráfica dos arquivos binários obtidos na simulação. Os mapas termais correspondem ao período de maior aquecimento, às 14:30h na cidade de Campinas e às 17:00h na cidade de Mendoza, a uma altura aproximada de 2,5 m aproximadamente. A distribuição da vegetação está representada pela cor verde e o intervalo de temperatura do ar foi representado em uma gama de cores que se estende desde o azul até a cor vinho.

Ao considerar o cenário de Baixa 20, correspondente ao cenário atual da área simulada de Campinas, baixa densidade e 20 % de vegetação, e o cenário de Baixa 60 correspondente a situação atual de Mendoza, baixa densidade e 60% de vegetação, os resultados da análise comparativa evidenciam que Mendoza apresenta temperaturas do ar mais elevadas em todos os cenários. Embora a situação atual de Mendoza apresentar uma maior porcentagem de vegetação comparada com Campinas, Mendoza alcança uma temperatura do ar média de 28 °C, enquanto Campinas registra 25 °C. Mendoza é 4 °C mais quente do que Campinas, durante o aquecimento. Assim o aumento da vegetação em 60% representa tendência benéfica em termo de habitabilidade em ambas as cidades, no entanto, a magnitude difere notavelmente, registrando maior impacto na cidade de Campinas (figura 4).

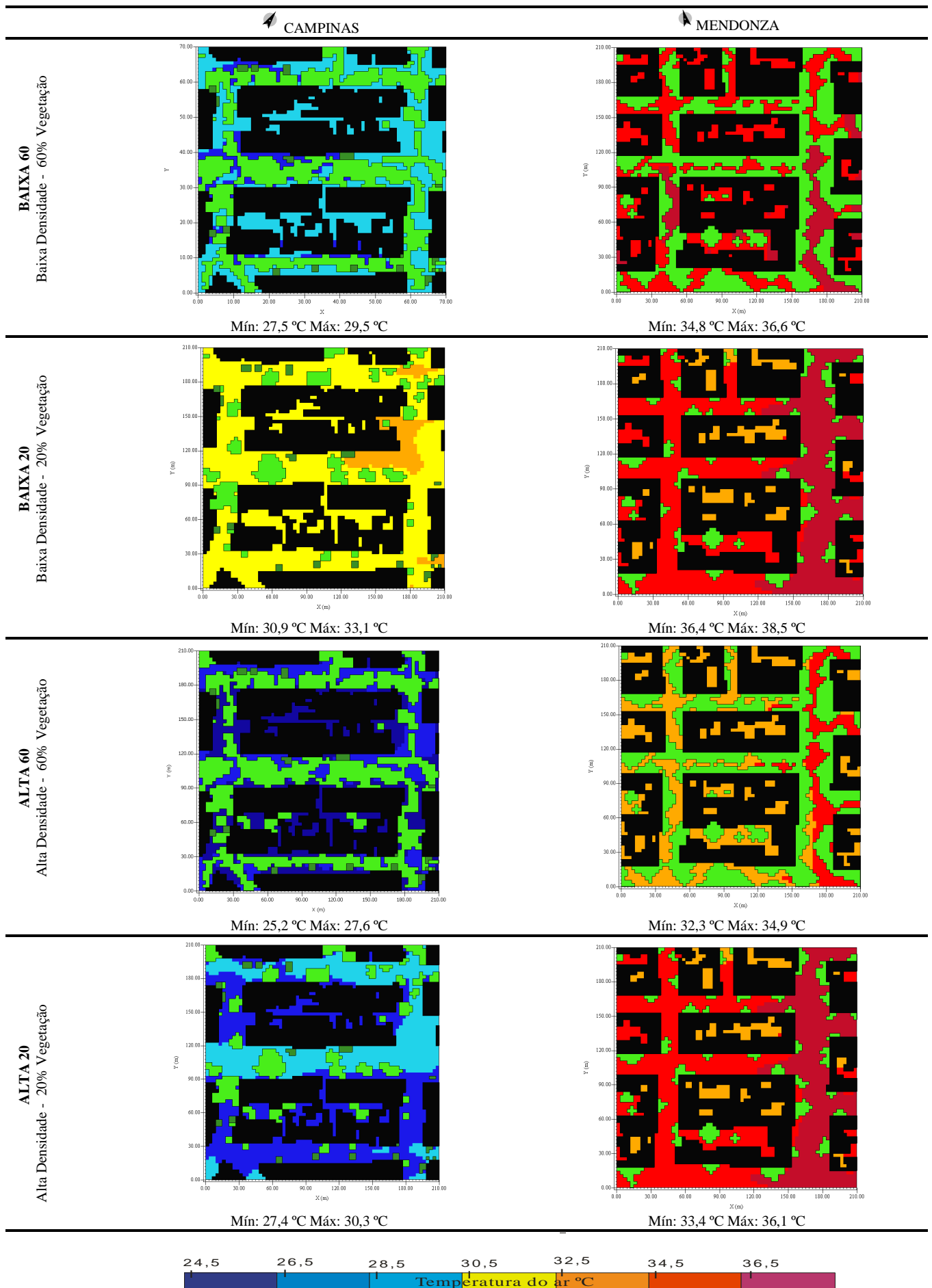


Figura 4 - Mapa de distribuição térmica de temperatura do ar (°C) gerados pela ferramenta Leonardo 3.75 interface do programa ENVI-met. Cenários de baixa e alta densidade. Altura de corte aproximadamente 2,5 m.

4.3 Análises da velocidade do vento segundo os cenários

A refrigeração passiva em áreas urbanas está diretamente influenciada pela disponibilidade de vento dentro de um cânion urbano, por esta razão foram analisados os perfis do vento durante o período de resfriamento para os diferentes cenários da cidade de Campinas e Mendonza, respectivamente. A figura 5 representa graficamente a variação da velocidade do vento com a altura das edificações e arborização durante o resfriamento da cidade para os cenários de baixa e alta densidade, com 60 e 20% de vegetação.

4.3.1 Campinas

Ao nível do pedestre infere-se a partir das análises que a velocidade do vento está influenciada pela densidade construída e pela porcentagem de vegetação. Verifica-se que a velocidade do vento aumenta nos cenários de alta densidade, aproximadamente 1,5m/s no cenário de Baixa 20 comparado com Alta 20, e aproximadamente 1,1m/s ao comparar o cenário de Baixa 60 e Alta 60. Ao incrementar a vegetação a velocidade do ar reduz aproximadamente 0,4m/s ao comparar os cenários de baixa densidade (Baixa 20 x Baixa 60), e aproximadamente 0,7 nos cenários de alta densidade (Alta 20 x Alta 60)

A velocidade do vento começa a intensificar no limite da altura da vegetação (aprox. 10 m.) Em alta densidade essa mudança no perfil da velocidade é intensificada quando é superado o limite da altura das edificações 44 metros, alcançando uma velocidade máxima de 4 m/s aos 68 metros. Em baixa densidade a altura da camada limite é aproximadamente 25 metros de altura com uma velocidade aproximada de 2,5 m/s.

4.3.2 Mendonza

A variação do perfil é afetada principalmente pela altura dos edifícios, ou seja, a edificação desacelera a velocidade do vento. No entanto, ao nível do pedestre na cidade de Mendonza a velocidade do vento não está influenciada diretamente pelas variáveis da porcentagem da vegetação e densidade construída. A velocidade do vento começa a aumentar no limite da camada, altura aproximada de 4,5m em baixa densidade e 25 metros em alta densidade. Essa mudança no perfil do vento é mais gradual em baixa densidade do que em alta, onde o incremento é intensificado quando a altura das edificações é excedida.

Em alta densidade são registradas velocidades inferiores a 1 m/s a uma altura de 25 metros, enquanto na baixa densidade o ponto limite ocorre na altura de 5 metros, ponto onde ocorre um incremento na velocidade, alcançando o máximo de 4 m/s sobre as copas das árvores. Em alta densidade na altura da camada limite, aproximadamente 60 metros, a velocidade atinge 6m/s (figura 3b)

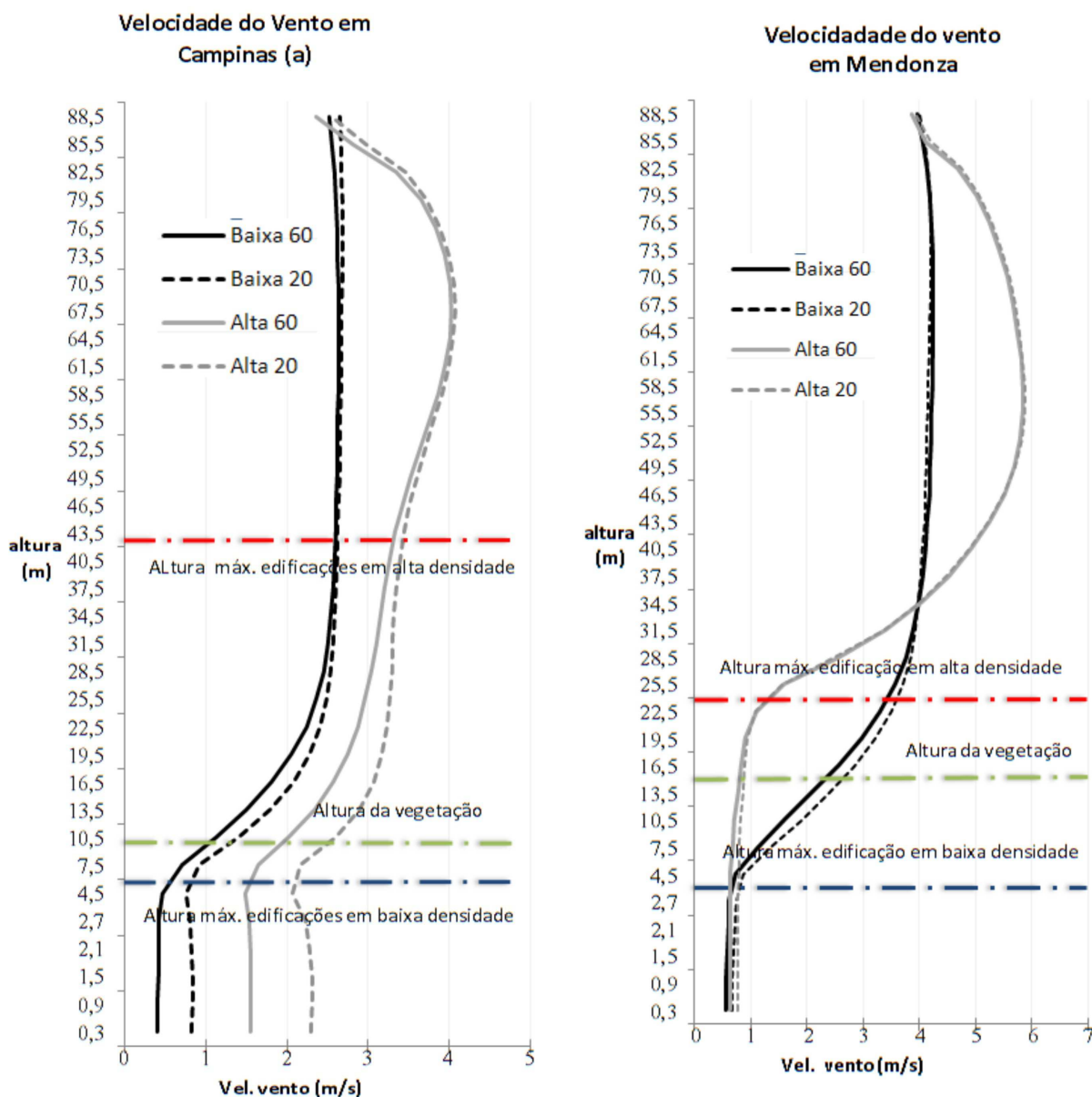


Figura 5 - Perfil do vento (m/s) durante o período de resfriamento, segundo a altura das edificações nos cenários de estudos de Campinas (a) e Mendonza (b)

5. CONCLUSÕES

O benefício de incrementar a vegetação pode ser verificado tanto no período de aquecimento, quanto no resfriamento urbano e apresenta maior impacto durante a temperatura do ar máxima. Nos cenários de baixa densidade, período de aquecimento, o incremento da vegetação 20-60%, diminui a temperatura do ar em Campinas em 4°C e Mendonza aproximadamente 1,9°C. Enquanto que em alta densidade Campinas apresenta uma redução de 2°C e Mendonza 1,2°C. Este fato pode estar associado com a fisiologia das espécies em cada cidade. Em zonas mais úmidas (Campinas) a área foliar é caracterizada por ser mais densa, comparado com as zonas mais secas (Mendonza).

Nas análises no perfil dos ventos observa-se que nos cenários de Campinas as variações de velocidade estão determinadas pela porcentagem de vegetação e densidade construída na escala do pedestre. No entanto, em Mendonza estão fortemente influenciadas pela altura das edificações.

A estratégia de aumento de vegetação aplicado a todos os cenários oferece potencial para a melhoria das condições de habitabilidade térmica dos espaços urbanos. Ao analisar a eficiência das estratégias de acordo com as características de cada clima, os resultados demonstraram que o aumento de vegetação no cânion urbano apresenta as mesmas tendências de mitigação, sem considerar as magnitudes dos benefícios

em termos de diminuição térmica, sendo maior para o caso do clima tropical de altitude (Campinas) comparado com o clima quente seco (Mendoza).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15220-3**. Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.
- ALI-TOUDERT, F.; MAYER H. . Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. **Building and Environment**, 41 (2), 94–108,2006.
- CEPAGRI. **Clima dos Municípios Paulistas – Campinas**. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura.. http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_109.html. Acesso em: 19 março 2014, 2015.
- FRÖHLICH, D.; MATZARAKIS, A. . Modeling of changes in thermal bioclimate: examples based on urban spaces in Freiburg, Germany. **Theoretical and Applied Climatology**, 11 (3-4), 547-558, 2012.
- HEBBERT, M. Climatology for city planning in historical perspective. **Urban Climate**, 10 (2), 204–215, 2014.
- HEBBERT, M.; JANKOVIC, V. Cities and climate change: The precedents and why they matter. **Urban Studies**, 50 (7), 1332–1347, 2013.
- HUTTNER, S.; BRUSE, M.; DOSTAL, P. Using ENVI-met to simulate the impact of global warming on the microclimate in central European cities. In: 5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology, **Proceedings...** Freiburg, 18, 307-312, 2008.
- IBGE. **Banco de dados Cidades: Informações sobre Municípios Brasileiros**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>. Acesso em: 19 março 2014, 2015.
- Kottek M., Grieser J., Beck C., Rudolf B., Rubel F. World map of the Koppen–Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, V 15(3), 259–263, 2006.
- KRÜGER, E.L.; MINELLA, F. O.; RASIA, F. Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. **Building and Environment**, 46 (3), 621-634, 2011.
- MIDDEL A.; CHHETRI N., QUAY R. (2015). Urban forestry and cool roofs: Assessment of heat mitigation strategies in Phoenix residential neighborhoods. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14 (1), 178–186,.
- MIRZAEI, P. A.; HAGHIGHAT F.. (2010). Approaches to study Urban Heat Island - Abilities and limitations. **Building and Environment**, 45, 2010.
- NAKATA, C. M.; SOUZA, L. C. L.; FARIA, J. R. G. Simulação do conforto térmico do pedestre no ambiente urbano. **Ação Ergonômica**, 5 (2), 2010.
- OKE, T. R. **Boundary Layer climates**. 2 ed. London, Methuen & Ltda. A. Halsted Press Book, 372 pp 1987.
- PMC. **Perfil Municipal de Campinas. Dados Geográficos**. Prefeitura Municipal de Campinas. Disponível em: <http://www.campinas.sp.gov.br/governo/seplama/dados-do-municipio/cidade/>. Acesso em: 19 março 2014, 2015.
- SAILOR, D. J.; FAN H. Modeling the diurnal variability of effective albedo for cities. **Atmospheric Environment**, 36 (4), 2002.
- SHINZATO, P. O impacto da vegetação nos microclimas urbanos. Dissertação (Mestrado), FAUUSP, 173p, 2009.
- WANIA, A.; BRUSE M.; BLOND N.; WEBER, C. Analysing the influence of different street vegetation on traffic-induced particle dispersion using microscale simulations. **Journal of Environmental Management**, 94 (1), 91-101, 2012.
- WMO. 2006. **Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites**. Instruments and Observing Methods Report No. 81.WMO/TD-No.1250.
- YANG, X.; ZHAO, L.; BRUSE, M.; MENG, Q. Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces. **Building and Environment**, 60, 93-104, 2013.

AGRADECIMENTOS

As autoras gostariam de agradecer à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, à Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica –ANPCYT e ao Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas -CONICET pelo apoio financeiro deste projeto.