

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE
TECNOLOGIAS**

**MESTRADO EM SISTEMAS DE INFRAESTRUTURA
URBANA**

LÍGIA PARREIRA MUNIZ GÄAL

**IMPACTO DA GEOMETRIA URBANA E DA
LEGISLAÇÃO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO
MICROCLIMA DE CÂNIONS URBANOS**

CAMPINAS
2017

LÍGIA PARREIRA MUNIZ GÄAL

**IMPACTO DA GEOMETRIA URBANA E DA
LEGISLAÇÃO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO
NO MICROCLIMA DE CÂNIONS URBANOS**

Dissertação apresentada como exigência para a obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Claudia Cotrim Pezzuto

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas e
Informação - SBI - PUC-Campinas

t711.4
M966i

Muniz-Gäal, Lígia Parreira.

Impacto da geometria urbana e da legislação de uso e ocupação do solo no microclima de cânions urbanos / Lígia Parreira Muniz Gäal. – Campinas: PUC-Campinas, 2017.
130p.

Orientadora: Claudia Cotrim Pezzuto.
Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pós-graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana.
Inclui bibliografia.

1. Planejamento urbano. 2. Microclimatologia. 3. Direito urbanístico. 4. Solo e clima – Campinas (SP). I. Pezzuto, Claudia Cotrim. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias. Pós-Graduação em Urbanismo. III. Título.

22. ed. CDD – t711.4

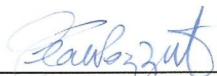
LÍGIA PARREIRA MUNIZ GÄAL

**IMPACTO DA GEOMETRIA URBANA E DA
LEGISLAÇÃO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO
MICROCLIMA DE CÂNIONS URBANOS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana.
Área de Concentração: Sistemas de Infraestrutura Urbana.

Orientador (a): Prof. (a). Dr. (a). Claudia Cotrim Pezzuto.

Dissertação defendida e aprovada em 07 de fevereiro de 2017 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



Profa. Dra. Cláudia Cotrim Pezzuto
Orientadora da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. Marcius Fabius Henriques de Carvalho
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Profa. Dra. Adriana Petito de Almeida Silva Castro
Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP

Aos meus pais, Cleonice e Francisco, luz de Deus em
minha vida.

Ao meu irmão, Daniel, meu grande amigo.

Ao meu esposo, Gabriel, parceiro e inspiração.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me conduzir a esta conquista e colocar as pessoas certas em meu auxílio.

Aos meus pais e ao meu irmão, grandes incentivadores do meu trabalho, por todo apoio, compreensão, carinho e amor em cada momento da jornada.

À Prof.^a Dr.^a Claudia Cotrim Pezzuto, por ser mais que uma orientadora, ser amiga e mãe, e por enxergar em mim além do que consigo ver, sem nunca desistir.

Ao Prof. Dr. Alexandre de Assis Mota (*in memoriam*) e à Prof.^a Dr.^a Lia Toledo Moreira Mota, pelo incentivo e confiança.

Ao Prof. Dr. Marcius Fabius Henriques de Carvalho, pelo auxílio nas análises de dados.

A todos os meus familiares, que compartilham das minhas vitórias. Em especial à minha madrinha Amanda, pelas correções dos textos em inglês e pelo amor de irmã.

Aos técnicos do Laboratório de Conforto Ambiental, Fabiano e Moisés, pelos préstimos e competência.

Aos colegas de turma, pelos momentos de troca de conhecimento e descontração.

A todos os professores do curso, pela contribuição na evolução deste trabalho.

Aos proprietários dos imóveis que permitiram a instalação dos equipamentos de medição.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Aos membros da banca examinadora, pelas contribuições e conselhos.

Ao meu esposo Gabriel, por me ouvir sempre, discutir os dados comigo, nunca me desamparar e ser minha inspiração.

A todos aqueles que de alguma maneira estiveram presentes e contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho e da minha formação como mestre.

RESUMO

MUNIZ-GÄAL, Lígia Parreira. *Impacto da geometria urbana e da legislação de uso e ocupação do solo no microclima de cânions urbanos*. 2017. 130 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2017.

A formação das cidades tem configurado os chamados cânions urbanos, definidos pela interface composta pela via e as edificações que se estendem em suas laterais. O uso e ocupação do solo são agentes modificadores do clima e, no entanto, este último tem sido pouco levado em consideração no planejamento urbano dos municípios. Entretanto, aspectos como a relação altura e largura do cânion, o fator de visão do céu, o albedo dos materiais de superfície e a presença de vegetação no cânion têm sido amplamente estudados em associação com o comportamento climático local. Neste contexto, entender a influência desses parâmetros no microclima de cânions urbanos é de fundamental importância para se atingir a sustentabilidade entre ocupação urbana e conforto térmico. Em vista disso, o objetivo deste trabalho é analisar a interferência da legislação de uso e ocupação do solo e da geometria urbana no microclima de um cânion urbano da cidade de Campinas/ SP. Para isso foi utilizada uma metodologia que envolve o monitoramento climático do recorte de estudo selecionado no bairro Cambuí, a caracterização urbana e climática de três pontos com diferentes configurações de uso e ocupação do solo e a escolha do cânion de interesse para simulação de cenários que envolvem dois aspectos principais: a legislação urbanística local e a geometria do cânion (relação altura largura – H/W e relação comprimento altura – L/H). As simulações foram realizadas com o modelo de simulação microclimática ENVI-met 4.0 *preview*. Nos cenários respeitando a legislação o desconforto para o calor foi observado em apenas 25% do dia no período de inverno; já no período de verão a sensação de conforto foi obtida em apenas 25% do dia, sendo observado desconforto para o calor no restante do dia. Nos cenários variando a geometria urbana verificou-se que, para cenários de mesma relação H/W, o valor do PET (*Physiological Equivalent Temperature*) não sofreu alteração significativa. Já quando se fixou a relação L/H e variou-se a relação H/W, ficou claro que cânions mais profundos levaram a picos de PET mais baixos. O cenário A, por exemplo, de menor relação H/W (0,5) e menor relação L/H (3), apresentou pico de PET 7,3°C mais alto que o cenário I, de maior relação H/W (2,0) e maior relação L/H (7). Os resultados mostraram que existe forte correlação entre a relação H/W e o conforto térmico dos cânions urbanos: quanto mais profundo, menores os valores de pico do índice PET. Além disso, verificou-se que cânions orientados na direção predominante dos ventos alcançaram valores de PET mais baixos. Por fim, foi evidenciado que o sombreamento da superfície e a intensidade da velocidade do vento são fundamentais na determinação do conforto térmico em cânions urbanos.

Palavras-chave: geometria urbana, legislação urbanística, cânions urbanos, microclima, ENVI-met.

ABSTRACT

MUNIZ-GÄAL, Lígia Parreira. *Impact of urban geometry and land use and occupation legislation on the urban street canyon microclimate*. 2017. 130 f. Dissertation (Master's degree in Urban Infrastructure Systems) – Postgraduate Program in Urban Infrastructure Systems, Pontifical Catholic University of Campinas, Campinas, 2017.

The formation of cities has shaped the urban street canyons, defined by the street and the buildings that extend along its sides. The land use and occupation are agents that modify the climate, however this is rarely considered in the urban planning of cities. Aspects like height and width ratio, sky view factor, albedo of the surface materials and the presence of vegetation in the canyon have been widely studied in association with the local climatic behavior. Understanding the influence of these parameters on the microclimate of urban street canyons is indispensable to achieve sustainability between urban occupation and thermal comfort. Therefore, the objective of this thesis is to investigate the interference of land use and occupation legislation and urban geometry in the microclimate of an urban street canyon in Campinas/ SP. The methodology used involves the climatic monitoring of the study area in Cambuí (neighborhood), the urban and climatic characterization of three points with different land use and occupation configurations and the selection of the canyon used for simulation scenarios. These scenarios involve two main aspects: the local urban legislation and the canyon geometry (height width ratio - H/W and length height ratio - L/H). The simulations were performed using the microclimatic simulation model ENVI-met 4.0 preview. Scenarios in agreement with the local legislation showed that, in winter, only 25% of day perceived discomfort to heat. In the other hand, in the summer period, a comfortable feeling was perceived in only 25% of the day, providing discomfort to the heat for the rest of the day. In the scenarios varying the urban geometry it was verified that, for scenarios with the same H/W ratio, the PET (Physiological Equivalent Temperature) value did not suffer significant alteration. However, when the L/H ratio was fixed and the H/W ratio varied, we noted that deeper canyons led to lower PET peaks. The scenario A, for example, with a lower H/W ratio (0.5) and lower L/H (3) ratio, showed PET peak 7.3°C higher than the scenario I with a higher H/W ratio (2.0) and higher L/H ratio (7). The results showed that there is a strong correlation between the H/W ratio and the thermal comfort of the urban street canyons: deeper canyons yield lower PET values. Moreover, it was verified that the climatic conditions of the canyon are independent of their length (L/H ratio) and that canyons oriented in the prevailing wind direction (SE) reached lower PET values. Finally, it was evidenced that shading and wind speed are fundamental in determining comfort in urban street canyons.

Keywords: urban geometry, legislation, urban street canyon, microclimate, ENVI-met.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mudança de temperatura observada entre 1901 e 2012.	20
Figura 2. Esquemas das escalas climáticas e camadas verticais.	24
Figura 3. Localização do bairro Cambuí dentro do município de Campinas.	40
Figura 4. Vista panorâmica do bairro Cambuí.	41
Figura 5. Divisão das zonas no bairro Cambuí, Campinas/ SP.	42
Figura 6. Fluxograma de atividades.	45
Figura 7. Localização dos pontos de coleta de dados e da estação de referência do IAC.	47
Figura 8. Proteção contra intempéries e incidência da radiação solar direta (a) e exemplo de instalação do sensor no local (b).	48
Figura 9. Proteção de sensor. Marca HOBO, modelo RS1, contra intempéries e incidência de radiação solar direta. a) Imagem de um modelo real; b) vista interna da posição do sensor dentro dos pratos; c) ilustração da fixação em haste.	49
Figura 10. Modelagem da área de estudo (P1 - receptor).	55
Figura 11. Curva de temperatura do ar medida e simulada.	61
Figura 12. Regressão linear para validação da temperatura do ar.	61
Figura 13. Curva de umidade relativa do ar medida e simulada.	61
Figura 14. Regressão linear para validação da umidade relativa do ar.	61
Figura 15. Curva de temperatura do ar medida e simulada.	62
Figura 16. Regressão linear para validação da temperatura do ar.	62
Figura 17. Curva de umidade relativa do ar medida e simulada.	62
Figura 18. Regressão linear para validação da umidade relativa do ar.	62
Figura 19. Módulo de repetição para formação dos cenários.	66
Figura 20. Geometria do cânion urbano.	66
Figura 21. Variação da temperatura do ar durante o período de medição – ponto 1.	74
Figura 22. Variação da temperatura do ar durante o período de medição – ponto 2.	74
Figura 23. Variação da temperatura do ar durante o período de medição – ponto 3.	74
Figura 24. Média horária da temperatura do ar nos três pontos de medição e na estação do IAC.	75
Figura 25. Diferença térmica em cada ponto.	76
Figura 26. Aquecimento e resfriamento em cada ponto.	77

Figura 27. Diferença térmica em relação à estação IAC.....	77
Figura 28. Variação da temperatura do ar no IAC.	78
Figura 29. Variação da temperatura do ar no ponto 1.	78
Figura 30. Variação da temperatura do ar no ponto 2.	78
Figura 31. Variação da temperatura do ar no ponto 3.	78
Figura 32. Variação da umidade relativa durante o período de medição – ponto 1.79	
Figura 33. Variação da umidade relativa durante o período de medição – ponto 2.79	
Figura 34. Variação da umidade relativa durante o período de medição – ponto 3.80	
Figura 35. Média horária da umidade relativa do ar nos três pontos de medição e no IAC.....	80
Figura 36. Variação da umidade relativa do ar no IAC.	82
Figura 37. Variação da umidade relativa do ar no ponto 1.....	82
Figura 38. Variação da umidade relativa do ar no ponto 2.....	82
Figura 39. Variação da umidade relativa do ar no ponto 3.....	82
Figura 40. Variação da temperatura do ar durante o período de medição – ponto 1.	83
Figura 41. Variação da temperatura do ar durante o período de medição – ponto 2.	84
Figura 42. Variação da temperatura do ar durante o período de medição – ponto 3.	84
Figura 43. Média horária da temperatura do ar nos três pontos de medição e na estação do IAC.....	85
Figura 44. Diferença térmica horária em cada ponto.	86
Figura 45. Aquecimento e resfriamento em cada ponto.	86
Figura 46. Diferença térmica em relação à estação IAC.....	87
Figura 47. Variação da temperatura do ar no IAC.	88
Figura 48. Variação da temperatura do ar no ponto 1.	88
Figura 49. Variação da temperatura do ar no ponto 2.	88
Figura 50. Variação da temperatura do ar no ponto 3.	88
Figura 51. Variação da umidade relativa do ar durante o período de medição – ponto 1.....	89
Figura 52. Variação da umidade relativa do ar durante o período de medição – ponto 2.....	89
Figura 53. Variação da umidade relativa do ar durante o período de medição – ponto 3.....	89
Figura 54. Média horária da umidade relativa do ar nos três pontos de medição e no IAC.....	90

Figura 55. Variação da umidade relativa do ar no IAC.	92
Figura 56. Variação da umidade relativa do ar no ponto 1.....	92
Figura 57. Variação da umidade relativa do ar no ponto 2.....	92
Figura 58. Variação da umidade relativa do ar no ponto 3.....	92
Figura 59. Velocidade do vento a 1,5 metros - cenários 1 a 4 (verão e inverno)	99
Figura 60. Variação do índice PET durante o dia – cenário 1.....	101
Figura 61. Variação do índice PET durante o dia – cenário 2.....	102
Figura 62. Variação do índice PET durante o dia – cenário 3.....	102
Figura 63. Variação do índice PET durante o dia – cenário 4.....	103
Figura 64. Variação do índice PET durante o dia – orientação N-S.....	104
Figura 65. Variação do índice PET durante o dia – orientação NO-SE.....	104
Figura 66. Variação do índice PET durante o dia – orientação L-O.....	105
Figura 67. Variação do índice PET durante o dia – orientação NE-SO.....	105
Figura 68. Velocidade do vento média em cada cenário.	112
Figura 69. Variação do PET durante o dia. Cenários A (H/W=0,5), D (H/W=1,0) e G (H/W=2,0) - com espaçamento - e A1 (H/W=0,5), D1 (H/W=1,0) e G1 (H/W=2,0) – sem espaçamento. Relação L/H = 3.....	114
Figura 70. Variação do PET durante o dia. Cenários B (H/W=0,5), E (H/W=1,0) e H (H/W=2,0) - com espaçamento - e B1 (H/W=0,5), E1 (H/W=1,0) e H1 (H/W=2,0) – sem espaçamento. Relação L/H = 5.....	114
Figura 71. Variação do PET durante o dia. Cenários C (H/W=0,5), F (H/W=1,0) e I (H/W=2,0) - com espaçamento - e C1 (H/W=0,5), F1 (H/W=1,0) e I1 (H/W=2,0) – sem espaçamento. Relação L/H = 7.	115
Figura 72. Variação do PET durante o dia. Cenários A (L/H=3), B (L/H=5) e C (L/H=7) - com espaçamento - e A1 (L/H=3), B1 (L/H=5) e C1 (L/H=7) – sem espaçamento. Relação H/W=0,5.....	116
Figura 73. Variação do PET durante o dia. Cenários A (L/H=3), B (L/H=5) e C (L/H=7) - com espaçamento - e A1 (L/H=3), B1 (L/H=5) e C1 (L/H=7) – sem espaçamento. Relação H/W=1,0.....	116
Figura 74. Variação do PET durante o dia. Cenários A (L/H=3), B (L/H=5) e C (L/H=7) - com espaçamento - e A1 (L/H=3), B1 (L/H=5) e C1 (L/H=7) – sem espaçamento. Relação H/W=2,0.....	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Normal climatológica de Campinas (1988 a 2008).....	39
Tabela 2. Média das variáveis climatológicas para o ano de 2015 e 2016.	39
Tabela 3. Refletância do material utilizado no banco de dados do ENVI-met.....	53
Tabela 4. Parâmetros de entrada da simulação.	56
Tabela 5. Comparação dos valores médios, máximos e mínimos e da amplitude térmica para as variáveis temperatura e umidade relativa do ar e radiação solar direta.	59
Tabela 6. Indicadores de desempenho do modelo ENVI-met para o período de inverno.	60
Tabela 7. Indicadores de desempenho do modelo ENVI-met para o período de verão.	61
Tabela 8. Cenários de combinação geométrica do cânion.	66
Tabela 9. Caracterização dos pontos de análise urbana: foto aérea do recorte, caracterização das áreas, descrição do entorno, porcentagem de área vegetada (%AV), porcentagem de área construída (%AC) e porcentagem de área pavimentada (%AP).....	71
Tabela 10. Caracterização dos pontos de análise climática: foto aérea do recorte; foto olho de peixe e fator de visão do céu (FVC); perfil do cânion e relação altura e largura (H/W); e descrição do cânion.	72
Tabela 11. Comparação das variáveis térmicas observadas - inverno	75
Tabela 12. Comparação das variáveis térmicas observadas – verão.	84
Tabela 13. Temperatura do ar máxima, média e mínima e amplitude térmica nos quatro cenários e nas quatro orientações – inverno.	95
Tabela 14. Média dos valores de pico da temperatura do ar (Ta), umidade relativa (UR), velocidade do vento (Vv), temperatura radiante média (Tmrt) e do PET – inverno.	96
Tabela 15. Temperatura do ar máxima, média e mínima e amplitude térmica nos quatro cenários e nas quatro orientações - verão.....	97
Tabela 16. Média dos valores de pico da temperatura do ar (Ta), umidade relativa (UR), velocidade do vento (Vv), temperatura radiante média (Tmrt) e do PET – verão.	97
Tabela 17. Valores de temperatura do ar (Ta) em cada cenário.....	110
Tabela 18. Valores de pico da temperatura superficial (Ts) em cada cenário.....	111
Tabela 19. Valores de pico do PET em cada cenário.	113

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Estrutura de organização do território e escalas climáticas.....	24
Quadro 2. Calibração do índice PET proposta para São Paulo.	33
Quadro 3. Descrição do equipamento utilizado nas medições.	48
Quadro 4. Caracterização dos pontos de análise climática: foto aérea do recorte de análise; foto olho de peixe e fator de visão do céu (FVC); perfil do cânion e razão altura e largura (H/W); e descrição da área.....	50
Quadro 5. Caracterização da área de estudo (área real) para calibração do ENVI-met.	52
Quadro 6. Características da vegetação aplicada (padrão do modelo).....	53
Quadro 7. Esquemas dos elementos construtivos no banco de dados.....	54
Quadro 8. Configurações de quadra adotadas para os cenários.	64
Quadro 9. Cenários atendendo à legislação urbanística local (receptor – ponto vermelho).	65
Quadro 10. Orientações de via adotadas nos cenários.	65
Quadro 11. Cenários do tipo cânion raso com espaçamento entre edificações.....	67
Quadro 12. Cenários do tipo cânion regular com espaçamento entre edificações.....	67
Quadro 13. Cenários do tipo cânion profundo com espaçamento entre edificações....	68
Quadro 14. Detalhamento dos cenários respeitando a legislação (contínua).....	94
Quadro 15. Variação espacial da velocidade do vento nos cenários – 1,5 metros. ...	100
Quadro 16. Detalhamento dos cenários variando a geometria do cânion – Conjunto 1 (com espaçamento entre edificações).	108
Quadro 17. Detalhamento dos cenários variando a geometria do cânion – Conjunto 2 (sem espaçamento entre edificações).	109

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. Objetivo geral	18
1.2. Objetivos específicos.....	18
1.3. Estrutura da dissertação.....	18
2. REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1. Mudanças climáticas	20
2.2. Planejamento urbano e clima	21
2.2.1. Escalas climáticas.....	22
2.2.2. Estudos de clima urbano e qualidade ambiental urbana	25
2.3. Ilha de calor urbana	25
2.4. Microclima no cânion urbano	26
2.5. Fatores que influenciam o microclima urbano.....	27
2.6. Clima urbano e conforto térmico	31
2.7. Simulação computacional e análise do clima urbano.....	34
3. ÁREA DE ESTUDO.....	38
3.1. Características climáticas	38
3.2. O bairro Cambuí	39
3.2.1. Aspectos da Legislação	41
4. METODOLOGIA	45
4.1. Eleição dos pontos para levantamento de dados climáticos e coleta de medidas fixas	47
4.2. Simulação computacional.....	51
4.2.1. Modelagem da área de estudo.....	52
4.2.2. Edição do banco de dados.....	53
4.2.3. Dados de entrada.....	55
4.3. Calibração do modelo.....	56
4.3.1. Métodos de análise estatística	57
4.3.2. Validação do modelo.....	59
4.4. Cenários de estudo.....	63
4.4.1. Cenários respeitando a legislação urbanística local	63
4.4.2. Cenários variando a geometria do cânion: relações altura e largura (H/W) e comprimento altura (L/H).....	65
4.5. Cálculo do índice PET (<i>Physiological Equivalent Temperature</i>).....	69

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	70
5.1. Caracterização urbana	70
5.2. Avaliação climática	73
5.2.1. Período de inverno.....	73
5.2.1.1. Temperatura do ar.....	73
5.2.1.2. Umidade relativa do ar.....	79
5.2.1.2.1. Escolha do dia típico de inverno para simulação	81
5.2.2. Período de verão.....	83
5.2.2.1. Temperatura do ar.....	83
5.2.2.2. Umidade relativa do ar.....	89
5.2.2.2.1. Escolha do dia típico de verão para simulação.....	91
5.3. Análise dos cenários.....	93
5.3.1. Análise da legislação vigente	93
5.3.2. Análise dos cenários variando a geometria do cânion: relações altura largura (H/W) e comprimento altura (L/H)	107
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	118
REFERÊNCIAS.....	121

1. INTRODUÇÃO

O clima tem sido pouco considerado no momento da concepção de projetos urbanísticos, o que causa muitos problemas atuais relacionados ao conforto térmico e consumo energético.

O uso e ocupação do solo, os materiais utilizados na construção das edificações, assim como toda e qualquer modificação exercida sobre a natureza, têm como consequência a geração de impactos que, em sua maioria, são prejudiciais tanto à natureza, quanto ao ser humano (OKE, 1987). A sustentabilidade encontra-se justamente em executar modificações no território de maneira a minimizar estes impactos.

O crescimento populacional é um dos indutores de todo esse ciclo de modificações. Com mais pessoas precisando de lar, trabalho, serviços e suprimentos, maior porção do território necessita ser ocupada a fim de proporcionar moradia, emprego, alimentação e providências dos mais diversos setores. Ou seja, aumenta a ocupação do solo, a impermeabilização do mesmo, o desmatamento, a poluição (WMO, 2009).

A tendência que se observa é de adensamento dos centros urbanos que, por serem dotados de infraestrutura, atraem o crescimento imobiliário, levando à verticalização das construções. A elevação das edificações gera sombreamentos, reduz o acesso solar (que poderia ser utilizado inclusive para geração de energia renovável), aumenta a absorção de ondas longas (devido à retenção desta radiação entre as edificações (OKE, 1981)), e provoca ainda modificações no comportamento do vento (podendo potencializa-lo entre os corredores formados ou mesmo reduzir sua velocidade) devido aos obstáculos em que se configuram as construções (KLEEREKOPER; VAN ESCH; SALCEDO, 2012). Todas essas perturbações são favorecidas pela geometria dos cânions urbanos, afetando suas condições térmicas, e se tornam mais evidentes com o adensamento e verticalização das áreas onde ocorre.

A legislação atual já prevê alguns parâmetros construtivos que limitam e regulam a ocupação do solo e até estipulam taxa mínima de permeabilidade em alguns casos. No entanto, esses parâmetros pouco se baseiam em estudos climáticos e projeções de seus impactos no microclima local, levando muitas vezes a proposições que não auxiliam na preservação das condições climáticas,

regulando somente a ocupação ordenada do solo.

Somadas aos fatores construtivos, relacionados com a geometria do cânion urbano, as propriedades térmicas dos materiais de superfície também mostram importância relevante no microclima formado nas cidades. Dependendo do tipo de material utilizado, tem-se maior ou menor absorção da radiação oriunda dos raios solares, a qual, em alguns casos, pode ficar aprisionada no ambiente urbano dadas as interreflexões que ocorrem nas superfícies de edifícios próximos, fazendo com que a temperatura aumente ainda mais nestes locais (YANG; WANG; KALOUSH, 2015).

O aumento das temperaturas nos centros urbanos causa desconforto térmico e leva o residente a buscar o condicionamento artificial do clima, elevando a demanda de energia elétrica, provocando danos ambientais pelos gases liberados por este tipo de equipamento e acarretando novas mudanças no clima do planeta. De acordo com Chappin e Van der Lei (2014), mudanças climáticas afetam diretamente os sistemas de infraestrutura, tanto técnicos quanto sociais, seja comprometendo sua funcionalidade, seja pela alteração de seu comportamento.

Estudos mostraram que o uso de materiais frios ou de telhados e paredes vegetadas pode ajudar a reduzir a temperatura nos centros urbanos (SHASHUA-BAR; TSIROS; HOFFMAN, 2010, SKELHORN; LINDLEY; LEVERMORE, 2014, EMMANUEL; LOCONSOLE, 2015). Pesquisas também têm sido desenvolvidas no sentido de verificar a melhor relação entre altura dos edifícios e largura das vias urbanas de forma que o sombreamento gerado pelas construções seja eficiente na regulação da temperatura a nível do pedestre, mas que não prejudique a insolação das edificações, que é um fator importante não somente para a saúde humana, mas também para dar oportunidade às iniciativas de ampliação da geração distribuída de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos (STRØMANN-ANDERSEN; SATTRUP, 2011).

Uma vez correlacionados os fatores urbanísticos com o clima de cada local, diretrizes podem ser elaboradas de maneira a orientar os profissionais da área a respeitar determinados gabaritos construtivos, como limitantes de ocupação do solo e altura das edificações, bem como orientar o uso de materiais construtivos que causem menor impacto. O intuito não é limitar a criatividade dos profissionais, mas sim dar a eles fundamentação científica sobre como aplicar suas técnicas de maneira consoante com o clima (GOLANY, 1996).

A difusão deste tipo de conhecimento e o investimento em sua aplicação em larga escala têm grande potencial de melhoramento climático para qualquer região. Obviamente, muitos estudos ainda precisam ser feitos para investigar o comportamento das variáveis climáticas mediante usos do solo diversos. Sendo assim este trabalho se justifica pela contribuição para o entendimento do comportamento do microclima de um cânion urbano mediante variações de uso e ocupação do solo e da geometria urbana.

1.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar como a legislação de uso e ocupação do solo e a geometria urbana interferem no microclima e nas condições de conforto térmico de um cânion urbano da cidade de Campinas/ SP.

1.2. Objetivos específicos

Como objetivos específicos tem-se:

- avaliar o microclima local através de medições de variáveis climáticas como temperatura e umidade relativa do ar buscando correlacioná-las com os aspectos do adensamento urbano, como área construída, relação altura e largura e relação comprimento e altura de cânions urbanos;
- elaborar cenários levando em consideração dois aspectos estruturantes: cenários que respeitem a legislação urbanística local e cenários idealizados variando a geometria do cânion – relação altura largura (H/W) e relação comprimento altura (L/H);
- simular os cenários propostos, buscando prever o comportamento do clima no cânion urbano mediante novas configurações urbanas;
- proceder a avaliação do conforto térmico proporcionado pelos cenários mediante obtenção do índice PET (*Physiological Equivalent Temperature*).

1.3. Estrutura da dissertação

A dissertação está estruturada em seis capítulos, sendo o primeiro esta

introdução. O capítulo 2 engloba toda a revisão bibliográfica utilizada como fundamentadora dos conceitos abordados no estudo, apresentando o estado atual do conhecimento relacionado ao objetivo do trabalho e embasando as discussões a serem apresentadas sobre os resultados. Sendo assim, no segundo capítulo são abordados os tópicos de mudanças climáticas, planejamento urbano e clima, ilhas de calor, o microclima no cânion urbano, fatores que influenciam o microclima urbano, clima urbano e conforto térmico e uma abordagem sobre simulação computacional e análise do clima urbano. No capítulo 3 é feita a apresentação da área de estudo e de seu clima, bem como são apresentados os aspectos da legislação de uso e ocupação do solo que regulam o local objeto deste estudo. No capítulo 4, como metodologia de trabalho, é apresentada a caracterização urbana da área de estudo, a metodologia de coleta de dados climáticos reais, o procedimento de simulação e os cenários de estudo. No capítulo 5, os resultados obtidos da caracterização urbana e das simulações dos cenários são apresentados e discutidos. No capítulo 6 são apresentadas as considerações finais decorrentes desta pesquisa.

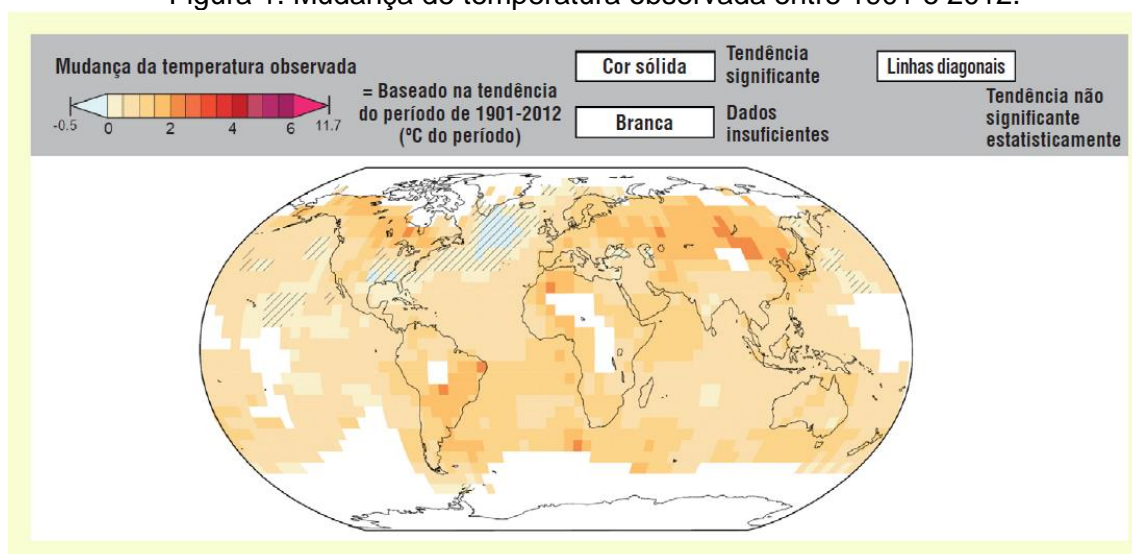
2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Mudanças climáticas

A temperatura média do planeta vem aumentando nos últimos 120 anos, como mostram as análises sistêmicas realizadas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2015). A temperatura média da superfície do planeta apresentou aumento da ordem de 0,6 a 0,7°C, sendo a maior parte deste aquecimento nos últimos 50 anos (OLIVEIRA; NOBRE, 2008).

O quinto relatório de avaliação do IPCC publicado em 2015 apresenta o panorama mundial da mudança de temperatura observada entre 1901 e 2012 (Figura 1). Verifica-se que o Brasil apresentou mudanças de temperatura da ordem de 2°C a 3°C (IPCC, 2015).

Figura 1. Mudança de temperatura observada entre 1901 e 2012.



Fonte: IPCC (2015).

A partir do século XIX, devido à Revolução Industrial, o aumento progressivo do consumo de combustíveis fósseis, a intensificação no uso dos recursos naturais, os processos produtivos e agrícolas, o gerenciamento de resíduos, muitas vezes inadequado, as alterações no uso da terra, bem como o desmatamento, aumentaram a concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera (SÃO PAULO, 2011).

O aquecimento global observado no último século pode ser explicado não por variabilidade natural do clima, mas sim pelas emissões antropogênicas de

gases de efeito estufa, como dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrogênio e aerossóis, por meio da poluição, das queimadas, do desmatamento e da formação de ilhas de calor (OLIVEIRA; NOBRE, 2008).

Em 1992, ocorreu a ECO-92, encontro mundial para decisão de estratégias de desenvolvimento sustentável, pelo qual ficou acordada a missão coletiva de diminuição das emissões de gás carbônico na atmosfera. Apesar disso, em 2010, o estudo realizado por Nobre (2012) mostrou um aumento progressivo, sendo que neste intervalo de 18 anos, as emissões de origem fóssil aumentaram 43%.

Os impactos das mudanças climáticas já estão sendo sentidos, haja vista os longos períodos de estiagem, a maior frequência das inundações, o aumento do número de tempestades fortes e as ondas de calor. Estes eventos e os efeitos gerais das mudanças climáticas exigem adaptação das pessoas, indústrias, economia, agricultura e o custo da minimização destes efeitos é o desenvolvimento. Países de baixa renda precisam de uma expansão mais expressiva em termos de desenvolvimento, a qual produzirá mais gases de efeito estufa no futuro e ainda mais mudanças climáticas. O desafio é tornar o desenvolvimento resiliente à mudança climática ao mesmo tempo em que se busca um crescimento sem gerar uma mudança climática perigosa (BANCO MUNDIAL, 2010).

2.2. Planejamento urbano e clima

Durante o processo de urbanização e criação das cidades, o homem tem provocado modificações no meio ambiente, principalmente em relação à distribuição dos recursos naturais. Esta urbanização criou novos espaços e ambientes e deu novos usos ao solo, e assim novas formas de interação foram se desenvolvendo. O crescimento da população urbana tem ocorrido de forma acelerada e, devido ao fato de os centros urbanos ocuparem grande parte do território do planeta, as modificações ocorridas neles geram interferências que influenciam não somente o local onde acontecem, mas que também afetam a dinâmica do clima do planeta (SOUZA; MASSAMBANI, 2004).

O Brasil, desde o final da Revolução Industrial, passou por um intenso e rápido processo de urbanização. Esse processo resultou em modificações na natureza, dada a forma descontrolada como aconteceu, tendo em vista a formação

das metrópoles. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 1970, aproximadamente 56% da população brasileira residia em áreas urbanas; em 1991 esse percentual passou para 76%, atingindo 80% em 2000 e chegou a 84% no levantamento realizado em 2010 (IBGE, 2016), o que evidencia que o processo de expansão demográfica da região urbana brasileira ainda não estagnou (GOMES, 2007, LIMA; ZANELLA, 2011).

O estudo do ambiente urbano oferece contribuições significativas e relevantes no que se refere à problemática da questão ambiental desses locais. As condições climáticas destas áreas, entendidas como clima urbano, são derivadas da alteração da paisagem natural e da sua substituição por um ambiente construído, o qual é objeto de intensas atividades humanas (MENDONÇA, 2003, LIMA; ZANELLA, 2011).

Diante deste cenário não devemos mais pensar as cidades somente por meio de questões urbanas, e sim discuti-las através de questões urbano ambientais, dentre as quais o clima é um elemento fundamental (LIMA; ZANELLA, 2011). Os resultados obtidos de estudos climatológicos nas mais diversas regiões do país podem auxiliar no planejamento ambiental e urbano ao englobar soluções que contemplem índices adequados de uso e ocupação do solo e a preservação ou reconstituição de áreas verdes e demais recursos naturais (GOMES, 2007). Estudiosos já encontraram diversos instrumentos e correlações entre a ocupação do solo e o clima (DUARTE; SERRA, 2003, MOURA SANTOS *et al.*, 2013, VASCONCELOS, 2014), demonstrando que o planejamento está cada vez mais associado à qualidade de vida, à ecologia, ao controle de poluição e à eficiência energética. O desafio é, portanto, transformar os dados de clima urbano em critérios de ocupação e índices urbanísticos e disponibiliza-los para projetos dos espaços públicos, a fim de amenizar os efeitos das mudanças climáticas e permitir a incorporação deste conhecimento sobre o ambiente pelas legislações municipais, estaduais ou mesmo federais (GOMES, 2007).

2.2.1. Escalas climáticas

Analisar o clima de uma região necessita a abordagem de escalas adequadas para que o resultado seja preciso e confiável, dadas as limitações e interferências que os instrumentos de medição e coleta de dados podem sofrer.

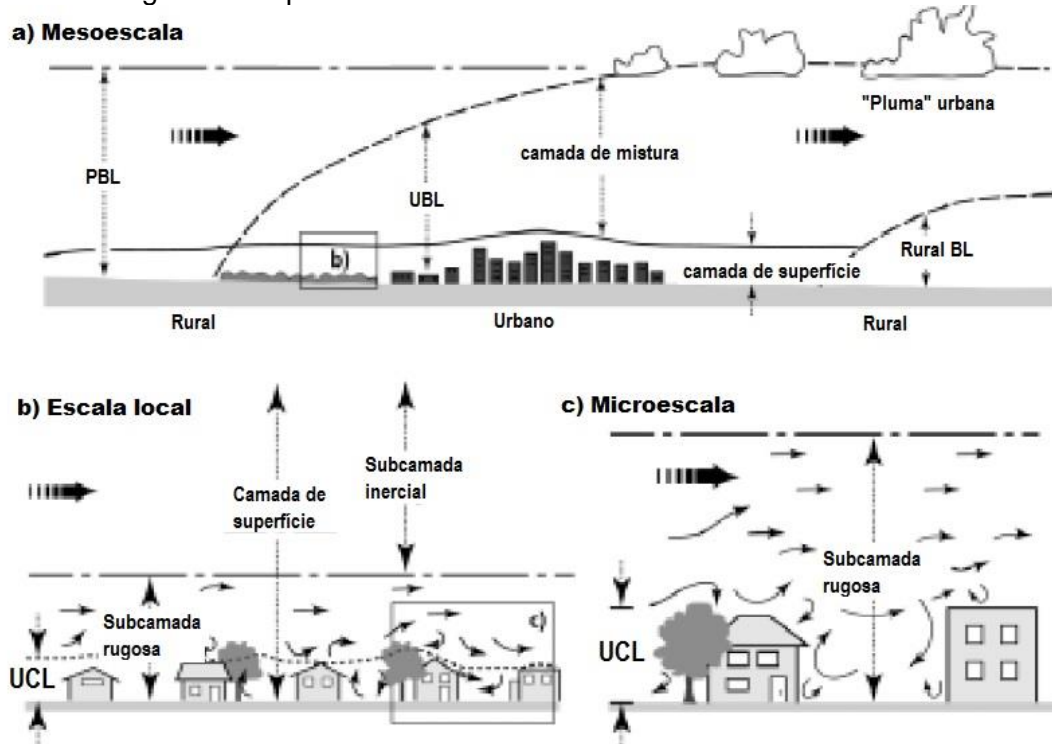
Estudiosos propuseram alguns modelos de escala que se adequam às necessidades enfrentadas atualmente no campo da climatologia das cidades.

Quando se trata de uma abordagem horizontal da escala climática, tem-se pelo menos três tipos: a microescala, a escala local e a mesoescala. A microescala é aquela em que cada superfície e objeto tem seu próprio microclima. As temperaturas de superfície e do ar podem variar em vários graus em distâncias muito curtas, e o fluxo de ar pode ser muito perturbado por até mesmo pequenos objetos. Escalas típicas de microclimas urbanos se relacionam com as dimensões dos edifícios, árvores individuais, estradas, ruas, pátios, jardins etc., desde menos de um metro até centenas de metros (WMO, 2009). A escala local é aquela em que as estações climáticas normais são projetadas para monitorar. Inclui características da paisagem tais como topografia, mas exclui os efeitos de microescala. Nas áreas urbanas, isso se traduz no clima de bairros com tipologias semelhantes de desenvolvimento urbano (WMO, 2009). Já a mesoescala é aquela que abrange toda uma cidade, a qual necessita de mais de uma estação meteorológica para ter uma cobertura completa dos dados climáticos a serem coletados (WMO, 2009).

Em se tratando de escala vertical, Oke (2006) propõe a divisão da camada limite planetária (*Planetary Boundary Layer* - PBL), definida como a faixa contida entre a superfície terrestre e a altura a partir da qual o deslocamento das massas de ar é livre da ação do atrito com a superfície terrestre, em duas outras: a camada urbana ao nível das coberturas (*Urban Canopy Layer* - UCL) e a camada limite urbana (*Urban Boundary Layer* - UBL) (Figura 2). A camada urbana ao nível das coberturas se eleva do nível do solo até o nível das coberturas e árvores e apresenta interação entre atmosfera e elementos urbanos (microescala); já a camada limite urbana abrange desde a camada adjacente a superfície do solo até o nível onde a influência do atrito é nula, numa interação entre a atmosfera e o conjunto da cidade (mesoescala) (VILELA, 2007, KRÜGER, 2008).

Monteiro e Mendonça (2003) também defendem que a definição da escala e abrangência do clima urbano é uma questão básica para se estabelecer os métodos e técnicas no estudo do clima urbano e enfatiza a escala horizontal relacionando as unidades climáticas com os graus de urbanização (Quadro 1). No caso desta pesquisa, que envolve cânions urbanos, esta se enquadra na microescala, dentro da camada urbana ao nível das coberturas (UCL – *Urban Canopy Layer*).

Figura 2. Esquemas das escalas climáticas e camadas verticais.



Fonte: adaptado de Oke (2006).

Quadro 1. Estrutura de organização do território e escalas climáticas.

Unidades de Superfície	Escala cartográfica de tratamento	Espaços climáticos	Espaços urbanos	Estratégias de abordagem		
				Meios de observação	Fatores de organização	Caracterização geral comparativa
milhões de Km	1:45.000.000 1:10.000.000	ZONAL	-	Satélites Nefanálise	Latitude Centros de ação atmosférica	Redes de transectos
milhões de Km	1:5.000.000 1:2.000.000	REGIONAL	-	Cartas sinóticas Sondagens aerológicas	Sistemas meteorológicos (circulação secundária)	Mapeamento sistemático
centenas de Km	1:1.000.000 1:5.000.000	SUB-REGIONAL (FACES)	Megalópole Grande área metropolitana	Rede meteorológica de superfície	Fatores geográficos	Análise espacial
dezenas de Km	1:250.000 1:100.000	LOCAL	Área metropolitana Metrópole	Posto meteorológico Rede complementar	Integração geológica Ação antrópica	Especiais
centenas de metros	1:50.000 1:25.000	MESOCLIMA	Cidade grande, bairro ou subúrbio de metrópole	Registros móveis (Episódios)	Urbanismo	
dezenas de metros	1:10.000 1:5.000	TOPOCLIMA	Pequena cidade Facês de bairro/subúrbio de cidade	Detalhe	Arquitetura	
metros	1:2.000	MICROCLIMA	Grande habitação/habitação/Setor de Habitação	Baterias de instrumentos especiais	Habitação	

Fonte: adaptado de Monteiro e Mendonça (2003).

2.2.2. Estudos de clima urbano e qualidade ambiental urbana

Estudos têm sido desenvolvidos no sentido de correlacionar o clima com a qualidade do ambiente urbano e diversos deles já demonstram claras diferenças de desempenho térmico entre superfícies naturais e construídas (GOMES, 2007, LIMA; MOTA, 2011, COSTA *et al.*, 2013).

Sá *et al.* (2016) estudaram cenários de qualidade do ar mediante proposições de emissões antropogênicas de poluentes atmosféricos na escala global e urbana e obtiveram como resultado uma perspectiva de aumento nas concentrações de gases NO₂, matéria particulada e CO₂. Segundo os autores esta alteração implica em aumento da temperatura e diminuição da umidade do ar, demonstrando a necessidade de intervenção do governo na implementação de medidas de gestão da qualidade do ar que impactem no clima.

Nessa mesma linha, Sun *et al.* (2016) avaliaram a correlação entre o nível de poluição atmosférica de oito cidades chinesas com o tipo de uso e ocupação do solo. Os resultados mostraram que, devido a fatores naturais ou atividades humanas, tais como a expansão urbana ou desmatamento, a resposta da poluição particulada para com o uso do solo mostra óbvias diferenças em áreas distintas, tendo sido encontradas maiores correlações entre a poluição particulada e o uso do solo nas áreas interiores do país e menores em áreas litorâneas.

O estudo desenvolvido por Burton, Bambrick e Friel (2015) na Austrália, evidencia que os planejadores estão cientes das alterações climáticas e da sua compreensão limitada sobre os potenciais impactos que elas terão sobre a saúde humana e que, por conta disso, os impactos não estão sendo planejados. O estudo mostrou ainda que os planejadores enfrentam conflitos durante as decisões de planejamento e acabam por atribuir à saúde uma prioridade mais baixa em relação às outras áreas, como o aproveitamento do solo e a mobilidade urbana. Os autores concluíram ainda que a incorporação da saúde e mudanças climáticas no planejamento urbano é fundamental para a adaptação do ser humano e deve existir como uma estratégia articulada para melhorar a vida das populações urbanas.

2.3. Ilha de calor urbana

As ilhas de calor urbanas são um fenômeno caracterizado pela elevação

da temperatura da superfície nas áreas urbanas quando comparada com a temperatura da vizinhança (OKE, 1987). Este fenômeno está intimamente ligado à alta densidade de edificações (que absorvem a radiação solar incidente) ao uso de materiais de interface com o ambiente externo que possuem alta absorvância solar, à baixa porcentagem de vegetação e evaporação do solo, (devido à alta impermeabilização das áreas urbanas, baixa taxa de resfriamento da estrutura urbana e ao excesso de armazenamento de energia solar nas edificações) e à criação de “corredores” entre edificações (cânions urbanos), além da produção antropogênica de calor pelo transporte e indústria. (SANTAMOURIS; SYNNEFA; KARLESSI, 2011, LIMA; ZANELLA, 2011, GIVONI, 1992).

O aumento do consumo de energia pelas edificações é uma das consequências do fenômeno da ilha de calor, que ocasiona a perda de condições de conforto do ambiente construído e dos espaços urbanos abertos. Alguns autores chegam a apontar este como quesito primordial para a sustentabilidade urbana (LIMA; ZANELLA, 2011, MIRZAEI; HAGHIGHAT, 2010).

Dada esta problemática, pesquisas têm sido desenvolvidas no sentido de encontrar estratégias viáveis ambiental e economicamente para a mitigação dos efeitos das ilhas de calor urbanas. As estratégias mais estudadas têm sido o aumento da área vegetada e a elevação do albedo das superfícies urbanas. O aumento da área vegetada ajuda no equilíbrio da temperatura por meio da evapotranspiração e do sombreamento (SHASHUA-BAR; TSIROS; HOFFMAN, 2010, SKELHORN; LINDLEY; LEVERMORE, 2014, EMMANUEL; LOCONSOLE, 2015). A elevação do albedo das superfícies urbanas reduz a quantidade de radiação solar absorvida pelos elementos da edificação e conseqüentemente a temperatura interna dos ambientes (SYNNEFA; SANTAMOURIS; LIVADA, 2006, SYNNEFA; SANTAMOURIS; APOSTOLAKIS, 2007, SANTAMOURIS; SYNNEFA; KARLESSI, 2011, SANTAMOURIS, 2014, VIRK *et al.*, 2015).

2.4. Microclima no cânion urbano

Cânions urbanos são conhecidos na literatura como configurações geométricas de vias que se localizam entre edificações que se elevam em ambos os lados, se assemelhando a um cânion natural (NICHOLSON, 1975).

A avaliação do clima nos cânions urbanos torna-se essencial para a

melhoria do conforto ambiental nas cidades uma vez que acarretam a diminuição da visão do céu, devido a obstrução de parte da abóbada celeste pelas edificações, podendo contribuir para a formação de ilhas de calor (NASCIMENTO; JÚNIOR; BARBOSA, 2015).

O aumento da absorção de ondas longas devido à retenção entre edificações, a diminuição da perda de calor por turbulência (causada pela estagnação entre as edificações) e a diminuição da perda da radiação por ondas longas no espaço entre edificações (pela redução da área de céu visível) são favorecidas pela geometria dos cânions urbanos, afetando suas condições térmicas. Dentro do exposto, verifica-se que estas características se tornam mais evidentes com o adensamento e verticalização das áreas onde ocorre (OKE, 1981).

A geometria do cânion urbano é importante para a economia de até 30% da energia usada em edifícios comerciais e 19% em edifícios residenciais (STRØMANN-ANDERSEN; SATTRUP, 2011), e é pela sua grande importância que muitas pesquisas têm se voltado para este segmento.

2.5. Fatores que influenciam o microclima urbano

Os fatores que influenciam o microclima urbano são: as propriedades térmicas dos materiais de superfície (albedo e emissividade), o fator de visão do céu, a orientação do cânion, a relação entre a altura e a largura do cânion e a existência de vegetação. Cada um deles impacta seja na quantidade de radiação que chega no cânion, ou que é absorvida pela superfície, seja no comportamento dos ventos, no acesso solar, nas condições de precipitação ou na umidade do ar.

Os materiais possuem propriedades térmicas que são intrínsecas a eles. O albedo e a emissividade são duas dessas propriedades que tem grande relevância no comportamento do material frente à radiação solar. O albedo ou refletância é definido como a taxa de radiação que é refletida por uma dada superfície em relação ao total de radiação que incide sobre ela (DORNELLES, 2008). A emissividade de um material é a medida de sua capacidade de lançar para o entorno, sob forma de radiação infravermelha, a energia solar anteriormente absorvida por sua superfície (ALCHAPAR; CORREA; CANTÓN, 2012).

Materiais com alta refletância facilitam a redução da temperatura do ar e superficial durante o dia e quanto maior ela for, mais significativo será o impacto.

Entretanto, no período noturno, quando não há incidência de radiação direta sobre os materiais, a refletância não tem efeito direto, porém, quanto menor for o acúmulo de energia do material durante o dia, menor será sua liberação durante a noite, o que acabará ajudando a reduzir as temperaturas noturnas também (SYNNEFA *et al.*, 2008).

Um estudo de campo realizado em Atenas demonstrou que a utilização de pavimentos frios provocou uma redução na temperatura do ar de um parque local em 1,9°C (SANTAMOURIS *et al.*, 2012). Outro estudo, realizado no Brasil e na Argentina, também evidenciou redução de até 6,4°C na temperatura do ar a partir da combinação de pavimentos frios e vegetação (ALCHAPAR *et al.*, 2016).

Numerosos estudos têm abordado o impacto dos materiais frios sobre o consumo de energia em áreas urbanas. Já em 1995, o estudo desenvolvido por Rosenfeld *et al.* (1995) indicava redução de 40% na energia de arrefecimento sazonal em Sacramento e 40-50% e 35% de redução no consumo de energia e demanda de potência de pico para um edifício escolar. Nesse mesmo sentido, Synnefa, Saliari e Santamouris (2012) também investigaram o impacto do aumento em 0,69 no albedo de 410 m² de telhado de uma construção escolar em Atenas no seu consumo energético e chegaram a uma redução de 40% na carga necessária para resfriamento.

O fator de visão do céu (FVC) é definido como a porção de céu disponível que pode ser vista quando este é observado de um ponto qualquer (SOUZA *et al.*, 2010). Edifícios e vegetação são os obstáculos urbanos que definem a porção de céu que pode ser vista (CORREA *et al.*, 2012). O FVC é um parâmetro importante para caracterizar a geometria, a densidade e o equilíbrio térmico das áreas urbanas. Ele é um número adimensional que pode variar entre 0 e 1, e também tem importância significativa na geração e controle dos efeitos das ilhas de calor (SOUZA *et al.*, 2010).

O comportamento do FVC em relação à intensidade da ilha de calor poderia se justificar pelo fato de baixos FVC, que caracterizam cânions urbanos mais fechados, permitirem menor acesso solar durante o dia (no período de aquecimento), o que afeta tanto a temperatura do ar quanto a temperatura radiante média, que por sua vez determina o nível de conforto dos espaços urbanos abertos. Já no período noturno, os FVC baixos funcionam como uma armadilha para a radiação de onda longa, que fica aprisionada dentro do cânion, desacelerando o

resfriamento noturno da superfície urbana (GIVONI, 1998).

Correa *et al.* (2012) desenvolveram um estudo em Mendoza, Argentina, e demonstraram que a exposição solar durante o dia é crucial para o conforto térmico de ambientes abertos e que, por outro lado, a visão do céu no período noturno se faz necessária por uma questão de resfriamento radiativo. O estudo desenvolvido pelos autores concluiu que a radiação solar absorvida e a radiação reemitida são fortemente dependentes do FVC.

A orientação da via é um dos importantes parâmetros que determinam o acesso solar e a velocidade do vento nos cânions urbanos e é, portanto, significativa para a formação do microclima (KLEEREKOPER; VAN ESCH; SALCEDO, 2012).

Diversos autores abordam o problema que as edificações enfrentam em relação ao acesso solar em locais de alta verticalização e alta densidade construída. É notória também a indicação de que, para atenuar os efeitos da insolação excessiva percebida em cânions com orientação leste oeste, sejam utilizadas maiores relações H/W (cânions mais profundos), fazendo com que, desta maneira, os edifícios se sombreiem mutuamente durante o dia e proporcionem maior conforto térmico na escala do pedestre (JAMEI *et al.*, 2016).

Krüger, Pearlmutter e Rasia (2010) mostraram que o sombreamento mútuo nas paredes leste e oeste é a principal razão da redução da temperatura do ar durante o dia em cânions orientados a N-S. Shashua-Bar e Hoffman (2004) verificaram que na região costeira do Mediterrâneo de Israel ruas orientadas a N-S com presença de vegetação foram mais frias em $0,64^{\circ}\text{C}$ do que aqueles cânions orientados a L-O durante o horário mais quente do dia (15h). O estudo indicou que o efeito da orientação é mais perceptível em cânions de maior H/W.

Um dos parâmetros chave na determinação da geometria do cânion é a relação altura largura (H/W), definida como a razão entre a altura média (H) das paredes do cânion e sua largura (W) (OKE, 1988). O cânion é considerado uniforme quando tem uma relação H/W aproximadamente igual a 1. Se sua proporção for inferior a 0,5 é considerado baixo ou raso e é considerado profundo quando a relação H/W é igual ou superior a 2 (AHMAD; KHARE; CHAUDHRY, 2005).

Emmanuel e Johansson (2006) encontraram uma diferença de temperatura de 7°C quando do aumento da relação H/W (0,1; 0,3; 0,5; 0,8 e 1,2) no clima quente e úmido de Colombo, Sri Lanka. Johansson (2006) mostrou ainda

que cânions urbanos profundos em clima quente-seco, tal como em Fez, Marrocos, experimentam uma temperatura do ar diurna consideravelmente menor em comparação com cânions rasos, sendo essa diferença de 6°C para o verão e alcançando 10°C nos dias mais quentes.

O estudo de uma área urbana muito densa em Atenas, Grécia, comparou o efeito da relação H/W na temperatura do ar por meio de três cânions urbanos com diferentes proporções (H/W = 3; 2,1 e 1,7) e encontrou um aumento significativo nos valores da média (0,75°C), máxima (1,30°C) e mínima (0,29°C) taxas de resfriamento quando se reduz a relação altura largura do cânion (GIANNOPOULOU *et al.*, 2010). Bourbia e Boucheriba (2010) mediram a temperatura do ar e da superfície em sete locais com várias relações H/W (de 1 a 4,8) em Constantine, Argélia, e mostraram que cânions mais profundos apresentaram temperatura do ar e temperatura da superfície cerca de 7°C e 12°C mais baixas, respectivamente, evidenciando que o aumento da altura dos edifícios proporciona maior resfriamento da superfície quando sombreada.

Estudos indicam que a aplicação de vegetação em áreas urbanas altera os parâmetros do microclima, como temperatura do ar, umidade relativa, padrão de vento e precipitação (BYRNE; BRUNS; KIM, 2008). Portanto, fazer uso de vegetação na área urbana sempre é indicado como uma estratégia relevante de adaptação e uma abordagem significativa para mitigação do fenômeno de ilha de calor e redução das consequências negativas que relacionam a saúde com o aumento da temperatura do ar (GILL *et al.*, 2007).

Akbari (2002) afirma que o emprego de árvores nos centros urbanos pode trazer efeitos benéficos para o ambiente, como a redução da demanda por condicionamento de ar e também melhorando a qualidade do ar pela redução da poluição. Ainda segundo o autor, estratégias que aumentam a vegetação urbana e a refletância dos telhados e superfícies pavimentadas não só asseguram economias de custos para os proprietários individuais e consumidores comerciais, mas também reduzem o consumo de energia em toda a cidade.

Além de seu valor estético, árvores urbanas podem modificar o clima de uma cidade e melhorar o conforto térmico urbano em climas quentes. Individualmente, as árvores urbanas atuam no sombreamento e também como elementos de blindagem de vento que alteram as condições ambientais em torno dos edifícios individuais. Consideradas coletivamente, um aumento significativo no

número de árvores urbanas pode moderar a intensidade da ilha de calor através da alteração do equilíbrio térmico da cidade inteira (AKBARI, 2002).

Minella, Honjo e Krüger (2012) estudaram dois recortes urbanos da cidade de São Paulo com características urbanas semelhantes, porém com diferenças significativas de temperatura do ar e arborização. Durante a pesquisa ficou confirmada a diferença de até 10,2°C na temperatura superficial no horário das 10h00 entre as regiões de estudo e 4°C na temperatura do ar entre elas. Complementando as análises foram propostos cenários de simulação no programa ENVI-met aumentando em 1% e 2% a vegetação da região de maiores temperaturas, fazendo com que a curva de temperatura desta se aproximasse daquela da região mais arborizada. Os resultados mostraram que a arborização é uma estratégia viável não só do ponto de vista de redução das temperaturas, mas também exequível, e que quando combinada a outras estratégias, como modificações no albedo, pode-se potencializar os resultados.

2.6. Clima urbano e conforto térmico

De acordo com a ASHRAE 55 (2004) a definição de conforto térmico é a seguinte: “um estado ou condição de sentir satisfação com relação ao ambiente térmico em que a pessoa se encontra. Se o resultado das trocas de calor a que o corpo da pessoa se encontra submetido for nulo, e a temperatura da pele e suor estiverem dentro de alguns limites aceitáveis, pode-se considerar que ela se encontra em conforto.”.

Estabelecer uma relação térmica confortável com o ambiente é importante para o desempenho humano em suas tarefas cotidianas (aumentando seu rendimento) bem como para a sua saúde física como um todo, e também no que diz respeito à conservação de energia, uma vez que o condicionamento forçado de ambientes deixa de ser necessário.

As medições e pesquisas sobre o conforto térmico no ambiente urbano são muito mais complexas do que aquelas desenvolvidas em ambientes internos, pelo fato de algumas variáveis como a radiação solar incidente e a velocidade do vento não poderem ser controladas (BARTHOLOMEI, 2003). Por conta dessa dependência de diversas variáveis, índices de conforto foram desenvolvidos com a

finalidade de expressar a sensação térmica humana de forma conjugada com os fatores que nela influenciam.

Lois e Labaki (2001) apresentam seis índices comumente utilizados para avaliação do conforto térmico em espaços abertos: índice de stress térmico, de Givoni (1962); modelo de Morgan e Baskett (1974); modelo de Jendritzky e Nübler (1981); Temperatura Fisiológica Equivalente (PET) de Mayer e Höpfe (1987); Temperatura Neutra ao Exterior (TNE), de Humphreys (1975) e o Índice de Givoni e Noguchi (2000).

Neste trabalho será o utilizado o índice PET (*Physiological Equivalent Temperature*) por ele estar sendo amplamente empregado no estudo do conforto térmico de ambiente urbanos, como verifica-se nos trabalhos a seguir.

Abreu-Harbich, Labaki e Matzarakis (2014) avaliaram o conforto térmico proporcionado por cânions urbanos típicos da cidade de Campinas, com diferentes combinações de relação H/W (de 0,2 a 8,8) e rotação do cânion (a cada 15°). A análise do conforto térmico foi feita mediante o cálculo do índice PET, utilizando o programa RayMan e dados históricos do município. Os resultados mostraram que a velocidade do vento e o sombreamento são fatores determinantes do conforto térmico em cânions urbanos.

Abreu e Labaki (2010) compararam o índice PET a outros dois índices, o PMV (Voto médio estimado) e a Carta Bioclimática Tridimensional para clima Tropical de Altitude, na avaliação do conforto térmico proporcionado por diferentes espécies arbóreas. O parâmetro utilizado para comparar os índices foi a Unidade de Hora Confortável. Os resultados mostraram que independentemente do tipo de índice utilizado, o conforto térmico propiciado pela vegetação depende da sua arquitetura de copa.

Martinelli e Matzarakis (2017) empregaram o índice PET para desenvolver uma análise a longo prazo do efeito da relação altura largura (H/W) sobre o conforto térmico de uma tipologia construtiva para seis cidades italianas. Os resultados mostraram que o aumento da relação H/W tem um efeito estabilizador sobre o conforto térmico, sendo favorável tanto para o inverno quanto para o verão, porém mais visível para o verão em climas quentes.

O índice PET foi adaptado para calcular o conforto térmico de ambientes externos, levando em consideração as variáveis ambientais de temperatura e umidade do ar, velocidade do vento e temperatura radiante média e baseando-se

na equação de equilíbrio térmico humano em estado de uniformidade (MAYER; HÖPPE, 1987).

O modelo de cálculo leva em conta as condições abaixo a fim de simular um ambiente fictício com condições similares às internas, que são mais fáceis de avaliar (LOIS; LABAKI, 2001):

- temperatura radiante média é igual à do ar;
- velocidade do ar é fixa de 0,1 m/s;
- pressão de vapor do ar no ambiente é admitida como sendo 12 hPa;
- metabolismo de 80 W (sedentário leve) e vestimenta de 0,9 clo.

Desta forma, o PET é calculado como aquela temperatura do ar para a qual o balanço de energia para as condições supostas desse ambiente interno fictício está em equilíbrio com a mesma temperatura média da pele e mesma taxa de sudorese que as calculadas para as condições reais externas (LOIS; LABAKI, 2001). Na definição proposta pelos autores do índice PET (MAYER; HÖPPE, 1987), a sensação de conforto se dá para valores entre 18 e 23°C, sendo desconfortável para valores fora deste intervalo. Monteiro e Alucci (2010) calibraram o índice PET e verificaram sua aplicabilidade em espaços urbanos abertos na cidade de São Paulo, SP (Brasil), chegando aos limites apresentados no Quadro 2.

Quadro 2. Calibração do índice PET proposta para São Paulo.

(°C)	Sensação térmica	Pontuação
<4	Muito frio	-3
4-12	Frio	-2
12-18	Pouco frio	-1
18-26	Neutro	0
26-31	Pouco calor	1
31-43	Calor	2
>43	Muito calor	3

Fonte: Monteiro e Alucci (2010).

Hirashima, Assis e Nikolopoulou (2016) avaliaram o conforto térmico de duas praças da cidade de Belo Horizonte, Brasil, durante as estações de inverno e verão, por meio do índice PET e aplicação de questionários. As autoras fizeram a calibração do índice, que resultou na definição da faixa de aceitabilidade térmica de: "frio" para os valores de PET abaixo de 19°C; "neutro" para valores de PET entre 19°C e 27°C; "quente" para valores de PET superiores a 27°C; e as

temperaturas neutras foram 27,7°C no verão e 15,9°C no inverno, enquanto as temperaturas preferidas foram de 14,9°C no verão e de 20,9°C no inverno.

Labaki *et al.* (2012) estudaram o conforto térmico em espaços públicos de passagem, nas cidades de Campinas, Bauru e Presidente Prudente, no Brasil, utilizando uma comparação entre a sensação térmica real e o conforto calculado através do índice PET. As autoras encontraram limites de conforto térmico de 20 a 29°C para Campinas, 21 a 30°C para Bauru, e 14 a 24°C para Presidente Prudente. Já a sensação de neutralidade obtida pela pesquisa se localizou na faixa de 18 a 26°C.

2.7. Simulação computacional e análise do clima urbano

Modelos de simulação têm sido uma alternativa muito utilizada para estudar, prever e fazer recomendações sobre o clima urbano, além de dar diretrizes projetuais, como orientações para planos diretores e adequação urbanística (PERINI; MAGLIOCCO, 2014, YANG *et al.*, 2013).

Ao se optar pelo uso de um modelo de simulação computacional como ferramenta de pesquisa, deve-se verificar aquele que melhor atende às necessidades do trabalho a ser desenvolvido e que não possua limitantes que inviabilizem a extração de alguma informação desejada.

O programa ENVI-met é uma ferramenta desenvolvida para o estudo e previsão do microclima urbano que simula as interações superfície-solo-ar em cânions urbanos e prevê consequências climáticas oriundas de diferentes configurações urbanas (BRUSE; FLEER, 1998). É um modelo tridimensional que simula fluxo de ar, balanço de energia e radiação, parâmetros de vegetação, turbulência e dispersão de partículas em zonas urbanas (PENG; JIM, 2013). O programa executa simulações de microescala com uma resolução espacial típica de 0,5 a 10 metros, com intervalos de tempo de 10 segundos, considerando um balanço completo de radiação (radiação solar direta, refletida, difusa e de onda longa) (ACERO; HERRANZ-PASCUAL, 2015, GIRGIS; ELARIANE; RAZIK, 2015). O comportamento das variáveis climáticas durante ciclos diurnos é simulado por meio das leis da dinâmica dos fluidos e termodinâmica (BRUSE; FLEER, 1998).

O ENVI-met exige relativamente poucos e simples dados observacionais de entrada (temperatura do ar, umidade relativa, velocidade e direção do vento,

temperatura e umidade do solo, nebulosidade, partículas dispersas no ar, vegetação e radiação solar) e, apesar disso, é capaz de fornecer um grande número de variáveis de saída, incluindo parâmetros relevantes como temperatura radiante média (LIM, 2014), temperatura, fluxo de calor, umidade, fluxo do vento e outros dados pertinentes, tais como voto médio estimado (VME) (BRUSE; FLEER, 1998, CHOW; BRAZEL, 2012, ACERO; HERRANZ-PASCUAL, 2015, DJUKIC; VUKMIROVIC; STANKOVIC, 2015). Para iniciar a simulação é necessário inserir dados climáticos observacionais referentes aos módulos atmosfera, sistema de solo, vegetação e superfícies, bem como modelar a geometria urbana (base da investigação) e as condições de borda (BRUSE; FLEER, 1998).

O programa ENVI-met possui um modelo complexo e se assemelha ao ambiente real, sendo composto por cinco grupos de modelos: atmosférico, de superfície, de vegetação, de solo e biometeorológico (SZÚCS, 2013).

A primeira versão do modelo ENVI-met foi criada em 1996 em apenas uma dimensão. Desde aquela época a tecnologia da computação evoluiu muito, tendo o modelo acompanhado esses avanços com a implantação de novas versões. A mais utilizada entre elas foi até o momento a versão 3, que também passou por modificações e em 2012 foi atualizada para a versão 4, a qual contempla novos avanços.

A nova versão do ENVI-met 4.0 inclui modificações significativas em relação às versões anteriores. A principal mudança é a ferramenta *simple forcing*, que permite ao usuário impor variáveis climáticas ao longo da simulação para explicar variações temporais atmosféricas e, conseqüentemente, representar melhor a evolução das variáveis meteorológicas ao longo do dia. Esta nova função permite que os usuários empreguem os dados meteorológicos medidos para forçar o modelo durante a simulação, enquanto que apenas perfis climáticos relativamente simples podem ser usados nas versões anteriores do ENVI-met, tais como velocidade do vento constante e perfis idealizados para a temperatura do ar e radiação solar. Por exemplo, o novo modelo pode levar em conta a inércia térmica da parede e do telhado, o que não era considerado em suas versões anteriores do ENVI-met (YANG *et al.*, 2013, ACERO; HERRANZ-PASCUAL, 2015).

Um novo modelo de vegetação 3D também foi implementado no ENVI-met 4.0, que é diferente do modelo de vegetação 1D utilizado em versões anteriores. O modelo de vegetação 3D torna possível descrever diferentes árvores

com formas variadas e a distribuição espacial das folhas. No entanto, a atenuação da radiação difusa de vegetação não é ainda levada em conta (YANG *et al.*, 2013). Por último, o módulo de construção na versão 4 também leva em consideração a inércia térmica da parede e do telhado (ACERO; HERRANZ-PASCUAL, 2015).

No que se refere à geometria do modelo, a nova versão permite uma modelagem completa em 3D, facilitando a introdução mesmo de geometrias complexas, bem como a atribuição individual de materiais para paredes e telhado. Já com relação à modelagem do solo, a camada foi aumentada para 5 metros de profundidade e a regulação de temperatura dentro do solo, feita totalmente em 3D, permite agora simular fluxos de calor laterais.

O emprego de um programa de simulação deve ser validado de forma a garantir confiabilidade e precisão em relação à realidade, de maneira que os cenários possam de fato representar um comportamento futuro mediante as condições hipotéticas.

No programa ENVI-met a calibração é feita com base na comparação de uma curva de dados gerada pelo modelo com uma curva de medições reais, após serem inseridas características climáticas coletadas através de medidas observacionais. Testes estatísticos podem ser aplicados a fim de verificar se as curvas simuladas e observadas possuem uma correlação significativa (ELNABAWI; HAMZA; DUDEK, 2013, KRÜGER; MINELLA; RASIA, 2011, YANG *et al.*, 2013, PENG; JIM, 2013, HEDQUIST; BRAZEL, 2014). Em caso positivo o modelo está pronto para ser aplicado aos cenários de estudo. Salienta-se que esta técnica de calibração e validação do modelo tem sido geralmente empregada apenas para a curva de temperatura ambiente (YANG *et al.*, 2013), desconsiderando as demais variáveis de saída do programa, como a temperatura radiante média, a velocidade do vento e ainda a umidade do ar.

Conforme já exposto anteriormente, o programa ENVI-met apresenta grande potencialidade de avaliação de diversas variáveis relacionadas ao microclima urbano como o comportamento térmico de pátios externos não sombreados (GHAFFARIANHOSEINI; BERARDI; GHAFFARIANHOSEINI, 2015), a dispersão de partículas ultrafinas na atmosfera de cânions urbanos (NIKOLOVA *et al.*, 2011), os efeitos de superfícies frias (nos telhados e nos pavimentos), o incremento da área vegetada como estratégia de mitigação da ilha de calor (WANG; BERARDI; AKBARI, 2015, ALCHAPAR *et al.*, 2016) e o comportamento térmico de

diferentes tipos de superfície de piso (YANG *et al.*, 2013)

Algumas observações feitas por estudiosos do assunto revelam, entretanto, que apesar de o ENVI-met se tratar de um bom programa para simulações microclimáticas, existem algumas limitações em suas respostas, como as apresentadas a seguir.

Samaali *et al.* (2007) avaliaram o cálculo do fluxo de radiação no ENVI-met através de dois modelos validados, bem como realizaram medições em um campo de soja. Eles indicaram que o ENVI-met simulou razoavelmente a transferência de radiação de onda longa na camada do dossel da vegetação. No entanto, o estudo revelou que, para certos tipos de suposições impostas no modelo, como a não atenuação de ondas curtas difusas, pode haver modificação do comportamento das curvas de saída de variáveis.

Krüger, Minella e Rasia (2011) relataram também que, avaliando a velocidade do vento em um cânion urbano a 2,10 m acima do solo, o programa ENVI-met apresentou dados consistentes para dados de entrada de velocidade inferiores a 2,0 m/s, e que para valores superiores a este o modelo tende a superestimar os valores de saída da curva de velocidade do vento.

Ao comparar a temperatura do ar obtida de estações meteorológicas locais em uma cidade desértica com dados modelados pelo ENVI-met, Chow e Brazel (2012) e Ali-Toudert e Mayer (2006) concluíram que o modelo numérico em questão tende a subestimar a temperatura do ar durante o dia, mas superestimar a temperatura do ar noturno. Isso acontece por conta da perda do calor armazenado nas superfícies construídas (TALEGHANI *et al.*, 2014).

Segundo Acero e Herranz-Pascual (2015), a versão 4.0 do ENVI-met ainda apresenta limitações, já que somente as condições de contorno da temperatura do ar e umidade relativa são atualizadas ao longo da simulação diurna. Assim, a velocidade e direção do vento, bem como a nebulosidade permanecem constantes. Além disso, o modelo não pode simular nem precipitação nem temperaturas abaixo do ponto de congelamento.

Apesar dessas limitações, o programa ENVI-met é uma ferramenta promissora e com inúmeras potencialidades, e vem sendo largamente empregado no contexto de investigação climática relacionada ao ambiente urbano.

3. ÁREA DE ESTUDO

Este estudo desenvolveu-se no bairro Cambuí, localizado na cidade de Campinas, interior do Estado de São Paulo, a qual dista 100 km da capital e fica a uma altitude média de 680 metros em relação ao nível do mar, nas coordenadas geográficas S 22°53'20" e O 47°04'40". Detentora de uma área total de 796,4 km², da qual 49% encontra-se dentro do perímetro urbano, Campinas é a sede da importante Região Metropolitana de Campinas, que reúne hoje outros dezenove municípios (CAMPINAS, 2016a).

Campinas apresenta elevado grau de urbanização (98,28%), superando inclusive a sua região de governo (97,48%) e até mesmo o Estado (95,88%) (SEADE, 2010). Sua população já passou de um milhão de habitantes, estimando-se que vivam na cidade cerca de 1.164.098 habitantes (IGBE, 2015). Com participação significativa na economia e geração de empregos no Estado e sendo um dos principais polos de geração de tecnologia e inovação, dadas as grandes universidades nela instaladas, Campinas tem tido papel de destaque no que diz respeito aos rumos do Estado.

3.1. Características climáticas

O clima de Campinas é tropical de altitude, classificado como Cwa segundo o Köppen (CEPAGRI, 2016a). De acordo com a normal climatológica correspondente aos anos de 1988 a 2008 (Tabela 1), o município tem diminuição de chuvas no inverno e temperatura média anual de 22,4°C, tendo invernos secos e amenos e verões chuvosos com temperaturas moderadamente altas. O mês mais quente, fevereiro, possui temperatura média de 24,9°C, e o mais frio, julho, de 18,5°C. Outono e primavera são estações de transição. O índice pluviométrico médio é de aproximadamente 1424,5 milímetros anuais, concentrados entre outubro e março, sendo janeiro o mês de maior precipitação (280,3 mm). A umidade do ar é intermediária, com médias mensais entre 35% e 60%, sendo a média anual de 47% (CEPAGRI, 2016b).

A Tabela 2 apresenta os valores registrados de temperatura e precipitação para os anos de 2015 e 2016, período de desenvolvimento desta

pesquisa, revelando aumento significativo na temperatura mínima em relação à normal climatológica, principalmente nos meses mais quentes do ano de 2015.

Tabela 1. Normal climatológica de Campinas (1988 a 2008).

MÊS	Temperatura do ar (°C)					Precipitação (mm)			Umid. (%)	
	Média	Máxima média	Máxima absoluta	Mínima média	Mínima absoluta	Média	Máx. 24hs	(9hs)	(15hs)	
JAN	24,7	29,7	36,2	19,8	14,0	280,3	132,2	78	57	
FEV	24,9	30,0	35,6	19,9	14,2	215,9	104,8	78	54	
MAR	24,7	29,9	35,0	19,6	15,0	162,3	107,6	73	50	
ABR	23,05	28,5	34,1	17,6	7,0	58,6	68,0	72	47	
MAI	20	25,5	32,0	14,5	4,0	63,3	143,4	75	46	
JUN	18,8	24,8	31,0	12,9	0,0	35,4	35,5	75	43	
JUL	18,5	24,8	32,0	12,3	2,0	43,3	50,8	73	41	
AGO	20,5	27,2	34,4	13,8	5,0	22,9	34,2	67	36	
SET	21,8	27,8	37,6	15,8	5,6	59,5	48,0	68	43	
OUT	23,3	29,1	37,4	17,6	9,4	123,5	110,4	70	46	
NOV	23,8	29,3	36,8	18,3	10,9	155,6	88,0	72	49	
DEZ	24,3	29,6	36,0	19,1	11,6	203,9	126,5	75	54	
ANUAL	22,4	28,0	37,6	16,8	0,0	1424,5	143,4	73	47	

Fonte: adaptado de Cepagri (2016b).

Tabela 2. Média das variáveis climatológicas para o ano de 2015 e 2016.

MÊS	2015			2016				
	Temperatura do ar (°C)			Precip. (mm)	Temperatura do ar (°C)			Precip. (mm)
	Média	Máxima média	Mínima média	Média	Média	Máxima média	Mínima média	Média
JAN	26,6	30,7	24,1	203,7	24,8	29,7	19,9	274,3
FEV	24,7	27,2	19,6	268,9	25,9	31,4	20,4	219,9
MAR	23,5	25,7	21,4	279,2	24,5	29,7	19,3	256,5
ABR	22,9	25,3	19,7	29,2	24,8	31	18,5	7,1
MAI	20,1	24,3	16,7	82,9	19,7	24,9	14,4	78,7
JUN	19,2	22,9	16,6	16,2	17,4	22,9	11,9	203,3
JUL	18,9	22,9	13,7	31,7	19,2	26,2	12,3	1,8
AGO	20,9	23,6	15,8	32,3	20,6	27,3	13,9	58,4
SET	22,9	28,0	17,0	158,6	21,3	27,5	15,1	35,1
OUT	24,9	29,5	21,5	61,0	23,4	29,5	17,4	143,9
NOV	24,3	27,7	20,8	189	23,6	29,5	17,8	154,1
DEZ	25,0	27,8	20,7	15,5	24,4	30,0	18,8	296,9

Fonte: Ciiagro Online (2016).

3.2. O bairro Cambuí

O presente estudo foi desenvolvido especificamente em alguns pontos localizados no bairro Cambuí, devido às características de sua formação e

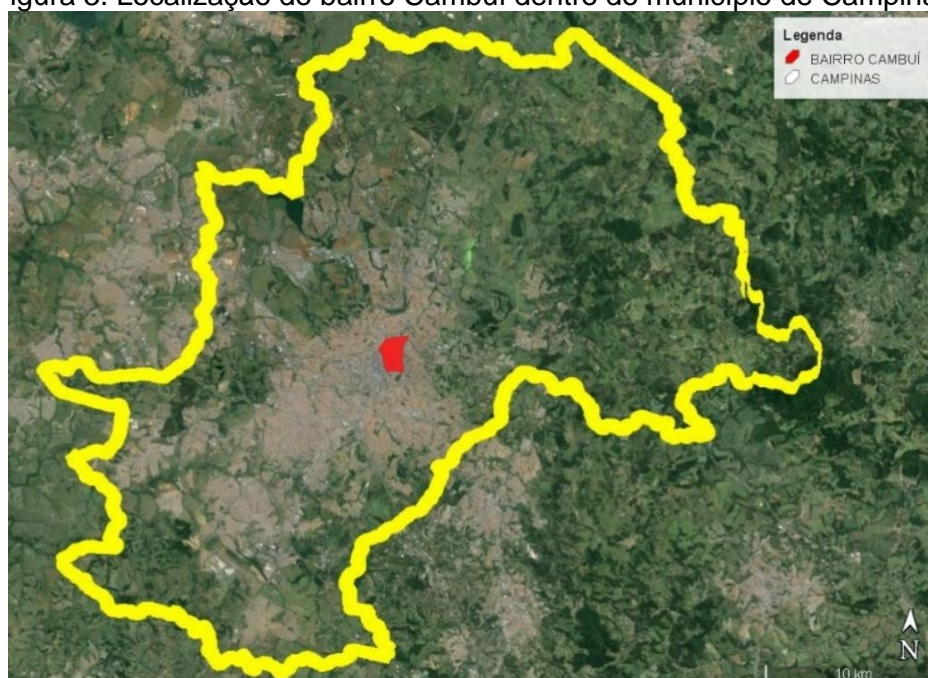
urbanização. O bairro Cambuí localiza-se na região central do município de Campinas e se formou juntamente com a cidade, desde que se tornou parada dos bandeirantes que caminhavam rumo a Goiás, em 1722. Campinas continuou se desenvolvendo, tendo sua economia baseada no açúcar e na sociedade escravocrata. Por volta de 1836, a economia do país se voltava para a primeira fase do ciclo do café e a instalação de ferrovias para escoamento da mercadoria, como a da companhia paulista (FEPASA) e Mogiana, as quais induziram o crescimento urbano em sua direção, ao mesmo tempo em que as elites se instalavam na região do Cambuí (CAMPINAS, 2014).

De acordo com os dados disponibilizados pela Secretaria de Planejamento de Campinas, a macrozona 4, na qual se insere o bairro Cambuí, até o ano de 1960 já disparava em relação às demais macrozonas, totalizando 9424 imóveis residenciais horizontais e 670 verticais, sendo que quase a totalidade dos loteamentos aprovados anteriormente ao ano de 1950 foi justamente nesta região onde localiza-se o bairro Cambuí (CAMPINAS, 2016b).

Com as novas tecnologias e ampliação do viário a cidade teve condições de se expandir, criando polos de indústria, comércio e desenvolvimento.

A Figura 3 e a Figura 4 ilustram a localização do bairro dentro do município e a sua paisagem urbana.

Figura 3. Localização do bairro Cambuí dentro do município de Campinas.



Fonte: adaptado de Google Earth (2016).

Figura 4. Vista panorâmica do bairro Cambuí.



Fonte: Editora Abril (2016), foto: Alexandre Battibugli.

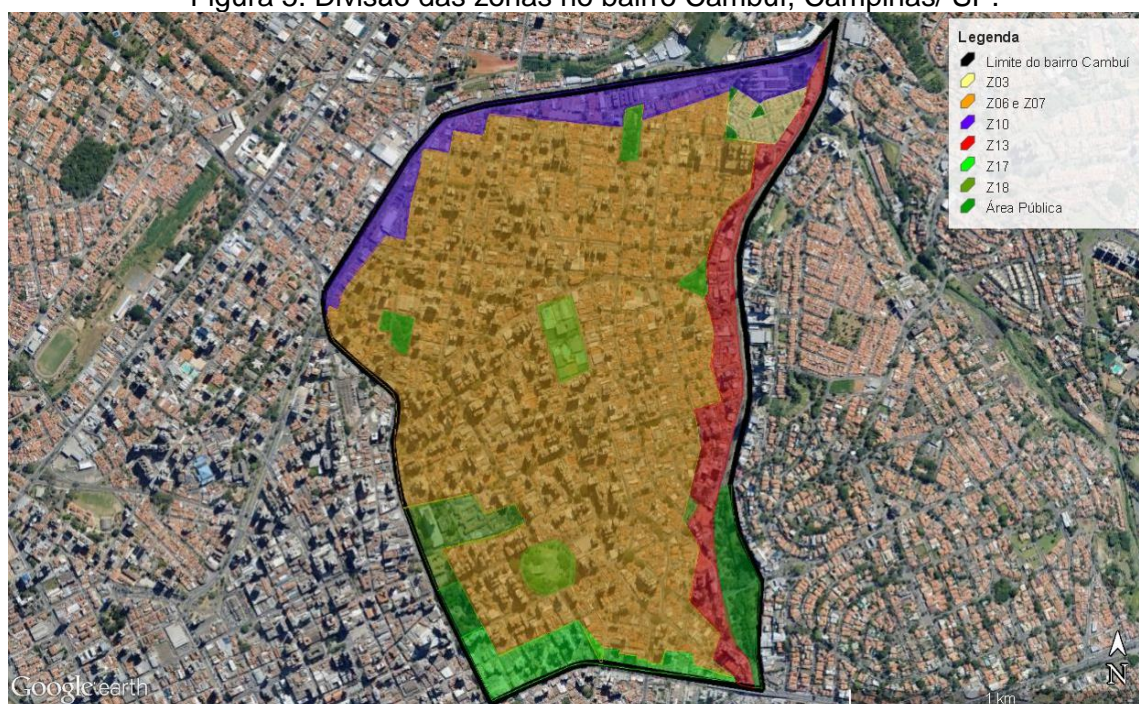
3.2.1. Aspectos da Legislação

De acordo com o Plano Diretor vigente no município de Campinas, Lei Complementar nº 15 de 27 de dezembro de 2006 (CAMPINAS, 2006), o município encontra-se dividido em 9 macrozonas e a região do bairro Cambuí, escolhida para estudo neste trabalho, localiza-se na macrozona 4. Esta macrozona, ainda de acordo com a mesma lei, é definida como “intensamente ocupada, onde se fazem necessárias a otimização e racionalização da infraestrutura existente, o equacionamento das áreas de sub-habitação e o incentivo à mescla de atividades e à consolidação de subcentros” (CAMPINAS, 2006, art. 21, inc. IV).

O bairro Cambuí encontra-se na unidade territorial básica (UTB) de número 31, a qual apresenta a terceira maior densidade populacional do município (9.353,34 hab./km²), ficando atrás apenas dos bairros Centro (10.472,15 hab./km²) e Bosque (12.589,13 hab./km²) (CAMPINAS, 2016c).

De acordo com a Lei de Uso e Ocupação do Solo de Campinas - Lei nº 6031 de 29 de dezembro de 1988 (CAMPINAS, 1988), o bairro Cambuí está dividido em 7 zonas (Figura 5),

Figura 5. Divisão das zonas no bairro Cambuí, Campinas/ SP.



Fonte: adaptado de Google Earth (2016).

As zonas existentes no bairro Cambuí são as seguintes: Z03, de uso predominantemente residencial e com permissão de serviços de baixa incomodidade; Z06 e Z07, também de uso predominantemente residencial e com permissão para comércios e serviços locais; Z10, destinada a comércios e serviços de pequeno e médio porte; Z13, destinada a comércios e serviços de qualquer porte; Z17, destinada a comércios e serviços locais; e Z18, que requer estudos específicos para implantação de empreendimentos, onde hoje se localiza o Centro de Convivência Cultural de Campinas Carlos Gomes e o Clube Regatas. A maior parte do bairro está enquadrada nas zonas 6 e 7.

A fim de estudar as possibilidades previstas na legislação de uso e ocupação do solo vigentes no bairro Cambuí e seu impacto no microclima local, este trabalho focou nas zonas 6 e 7, regiões predominantes no bairro, e as únicas que permitem o uso residencial verticalizado.

A Lei de Uso e Ocupação do Solo de Campinas - Lei nº 6031 de 29 de dezembro de 1988 (CAMPINAS, 1988) prevê para as zonas 6 e 7 os seguintes requisitos em comum:

- quanto ao uso na categoria habitacional serão permitidos os usos unifamiliares e multifamiliares;
- quanto à ocupação, para o uso habitacional serão permitidos os tipos:
 - H3: Edificações destinadas a uma única habitação por lote e

suas construções acessórias.

- HMV-1 e HMV-2: Habitações Multifamiliares Verticais - conjuntos de unidades habitacionais agrupadas verticalmente, em um ou mais blocos.

Assim, para esta pesquisa, foram estudados os parâmetros previstos para as habitações multifamiliares verticais do tipo HMV-2 e avaliados os seguintes itens da legislação: área e testada do lote, taxa de ocupação, altura da edificação e afastamento. O artigo 21 da Lei de Uso e Ocupação do Solo de Campinas - Lei nº 6031 de 29 de dezembro de 1988 (CAMPINAS, 1988, p.19) define os seguintes critérios para estas unidades:

I - TIPOS HMV-1, HMV-2 e HMV-3:

a) área e testada do lote, respectivamente, maior ou igual a 450,00m² (quatrocentos e cinquenta metros quadrados) e 15,00m (quinze metros);

b) taxa de ocupação menor ou igual a:

1- TIPO HMV-1: pavimento térreo (te) e pavimentos superiores torre (to) = 0,5 (cinco décimos);

2- TIPOS HMV-2 e HMV-3: to < 0,5.

c) coeficiente de aproveitamento menor ou igual a:

1- TIPO HMV-1: $C = 1 + 2,0 (0,5 - to)$;

2- TIPO HMV-2: $C = 2 + 1,5 (0,5 - to)$;

3- TIPO HMV-3: $C = 3 + 1,2 (0,5 - to)$;

d) altura da edificação menor ou igual a:

$H = L + R$, para o tipo HMV-1;

$H = L + 2R$, para os tipos HMV-2 e HMV-3,

onde:

H = altura máxima da edificação, L = largura da via pública de circulação,

R = recuo frontal,

respeitadas, ainda, as seguintes condições:

1- a altura da edificação será medida entre a soleira de entrada do pavimento térreo e o teto do último andar;

2- recuo será necessariamente maior ou igual ao recuo frontal mínimo;

3- havendo 02 (dois) ou mais blocos de edificação, no mesmo lote, a expressão da altura será obedecida para cada bloco isoladamente;

4- quando a edificação apresentar corpos com recuos e alturas diferentes entre si, a verificação da altura será feita para cada corpo isoladamente, sendo R o recuo correspondente a cada um;

5- quando a edificação apresentar pavimentos escalonados, a verificação da altura será feita, isoladamente, para cada pavimento ou grupos de pavimentos igualmente recuados;

6- quando as edificações estiverem localizadas em lotes de esquina, a

altura será verificada para a testada do lote;

7- quando as edificações estiverem localizadas em lotes de esquina, voltados para 03 (três) logradouros públicos, a altura será verificada apenas para a testada do lote, quando for considerado o alinhamento intermediário como testada, caso contrário, a altura será também verificada para o alinhamento oposto à testada;

8- quando as edificações estiverem localizadas em lotes de meio de quadra, voltados para 02 (duas) vias públicas, a altura será verificada para ambas as vias;

9- quando as edificações estiverem localizadas em lotes que ocupem a área total do quarteirão, a altura será verificada para as vias públicas correspondentes a 2 (dois) alinhamentos opostos entre si, sendo um deles o alinhamento considerado como testada do lote;

10- quando as edificações estiverem localizadas em lotes com frente para praças públicas, a largura (L) será considerada igual a 20,00m (vinte metros) ou igual à largura da via pública correspondente, se esta for maior do que 20,00m (vinte metros);

11- quando as edificações estiverem localizadas em lotes com frente para vias públicas com largura superior a 30,00m (trinta metros), a largura (L) será considerada igual a 30,00m (trinta metros);

12- quando as edificações estiverem localizadas em lotes com frente para vias públicas com largura inferior a 14,00m (quatorze metros), a largura (L) será considerada igual a 14,00m (quatorze metros).

g) afastamentos maiores ou iguais a:

1- 3,00m (três metros) em relação a todas as divisas laterais, com exceção dos subsolos;

2- 6,00m (seis metros) em relação à divisa de fundo, com exceção dos subsolos;

3- 4,00m (quatro metros) em relação às vias particulares frontais para os tipos HMV-1 e HMV-2, com exceção dos subsolos;

4- 2,00m (dois metros) em relação às vias particulares laterais para os tipos HMV-1 e HMV-2, com exceção dos subsolos;

5- 6,00m (seis metros) em relação às vias particulares frontais para o tipo HMV-3, com exceção dos subsolos;

6- 3,00m (três metros) em relação às vias particulares laterais para o tipo HMV-3, com exceção dos subsolos;

7- 3,00m (três metros), 4,00m (quatro metros) e 6,00m (seis metros), respectivamente, para os tipos HMV-1, HMV-2 e HMV-3, entre edificações agrupadas ou isoladas, com exceção dos subsolos.

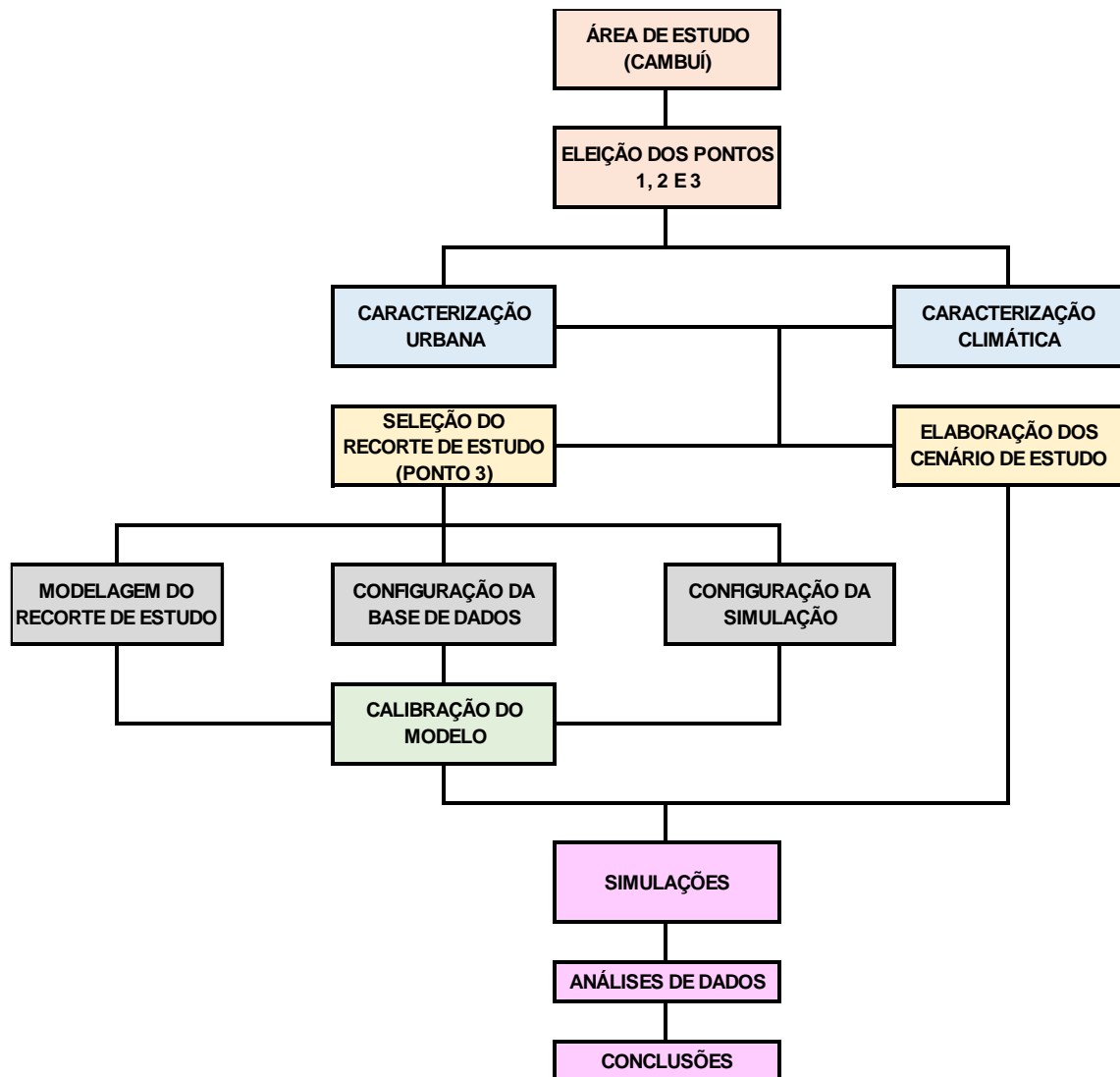
Dos critérios abordados tiveram maior destaque nesta pesquisa a taxa de ocupação ($t_o < 0,5$), o coeficiente de aproveitamento ($C = 2 + 1,5 (0,5 - t_o)$) e a altura máxima da edificação ($H = L + 2R$), que regulam a ocupação do solo para o uso HMV-2. Com relação aos recuos mínimos serão considerados 6 metros para frente e fundo e 4 metros para as laterais. Estas informações têm importância fundamental na elaboração dos cenários de estudo.

4. METODOLOGIA

Esta é uma pesquisa de natureza aplicada, objetivo exploratório e que requer um procedimento experimental e de estudo de caso; pode ser dividida em duas etapas: uma de abordagem qualitativa e outra quantitativa. A abordagem qualitativa, envolve a caracterização espacial urbana dos recortes de estudo. A abordagem quantitativa envolve a caracterização climática e as simulações computacionais do clima urbano da região.

O fluxograma apresentado na Figura 6 ilustra a sequência de etapas seguidas para atingir o objetivo do trabalho.

Figura 6. Fluxograma de atividades.



Fonte: a autora.

A metodologia deste estudo pode ser subdividida em duas fases: uma de monitoramento climático e urbano, que teve como finalidade selecionar um cânion urbano representativo do bairro Cambuí com perspectiva e possibilidade de adensamento urbano; e outra de simulação computacional, com o objetivo de, através de cenários hipotéticos de novas configurações urbanas para o cânion existente, avaliar a interferência da legislação e da geometria urbana nas suas características climáticas e de conforto térmico.

Tendo isso em vista, inicialmente foi feito um estudo urbano e climático do bairro Cambuí a fim de selecionar a região de investigação que seria utilizada na simulação dos cenários de estudo. Para tanto, foram selecionados três pontos representativos no bairro, tendo como critério o adensamento construído e buscando diferentes configurações de uso e ocupação do solo, com o objetivo de verificar se existe influência do adensamento construído nas variáveis climáticas monitoradas. Portanto, buscou-se pontos que apresentassem maior concentração de edifícios altos (P01), equilíbrio entre edifícios baixos e altos (P02) e maior concentração de edifícios baixos (P03).

Após a escolha dos pontos de análise foi feito o monitoramento climático de cada um por meio de medidas fixas de temperatura e umidade relativa do ar. Com base nos resultados das medições e na avaliação do contexto urbano local, o cânion urbano objeto das simulações foi selecionado (P03).

Neste ponto escolhido (P03) foi delimitado o recorte de estudo para análise através de simulação computacional no programa ENVI-met 4.0 *preview*, no qual foram aplicados dois conjuntos de cenários: um deles respeitando os parâmetros urbanísticos da legislação local vigente (com o objetivo de verificar a interferência dos parâmetros da legislação e da orientação do cânion sobre o microclima e as condições de conforto térmico deste) e o outro variando a relação altura e largura e a relação comprimento e altura do cânion (com o objetivo de verificar a influência dos parâmetros geométricos do cânion urbano sobre o microclima e as condições de conforto térmico), atingindo assim o objetivo geral proposto para este estudo.

Os itens a seguir detalham todas as etapas desenvolvidas nesta pesquisa, bem como os procedimentos e materiais empregados.

4.1. Eleição dos pontos para levantamento de dados climáticos e coleta de medidas fixas

Para o levantamento de dados climáticos foram escolhidos três pontos do bairro Cambuí, conforme apresentado na Figura 7. O ponto P01 é caracterizado como de alta densidade construída, com predominância de edifícios altos; o ponto P02 é caracterizado como de densidade construída equilibrada, com edifícios altos e de baixa altura; o ponto P03 é caracterizado como de baixa densidade construída, com predominância de edifícios de baixa altura. Na Figura 7 também é apresentada a estação meteorológica do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), utilizada como referência para os dados medidos.

Figura 7. Localização dos pontos de coleta de dados e da estação de referência do IAC.




Fonte: adaptado de Google Earth (2016).

O Quadro 4 apresenta informações sobre os cânions onde foram realizadas as medições climáticas, como fator de visão do céu, relação altura largura e uma breve descrição da área. Para caracterização urbana foram destacados recortes de raio 200 metros, tendo como origem o ponto de coleta de dados.

As medições microclimáticas de inverno foram realizadas no período de 18 de agosto a 23 de setembro de 2015 e as de verão de 4 de janeiro a 21 de março

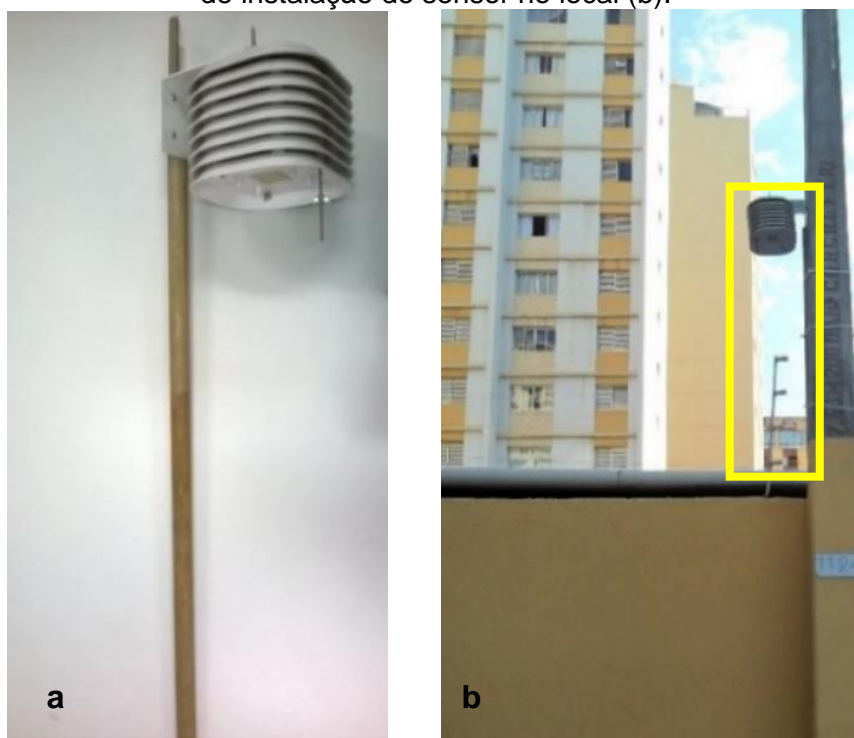
de 2016, e se destinaram à coleta de temperatura (T_a , em °C) e umidade relativa do ar (UR, em %). As estações de medição incluíram um sensor de temperatura do ar e umidade relativa do ar da marca TESTO, modelo 174H (Quadro 3), que foi colocado dentro de uma proteção contra intempéries e incidência da radiação solar direta. A estação foi posicionada distante de obstáculos à radiação e ventilação (Figura 8). Esta proteção contra intempéries (marca HOBBO, modelo RS1 (Figura 9)) é composta de oito pratos plásticos resistentes instalados afastados um do outro para que seja permeável ao vento; dentro dela existe um espaço para instalação do sensor que registra as medidas meteorológicas.

Quadro 3. Descrição do equipamento utilizado nas medições.

Instrumento	Parâmetro medido	Frequência de medição	Localização	Precisão
 Testo 174H	Temperatura do ar Umidade relativa do ar	A cada 20 minutos	Medida fixa	$\pm 0,5$ °C (-20 a +70 °C) ± 3 %rF (2 a +98 %rF)

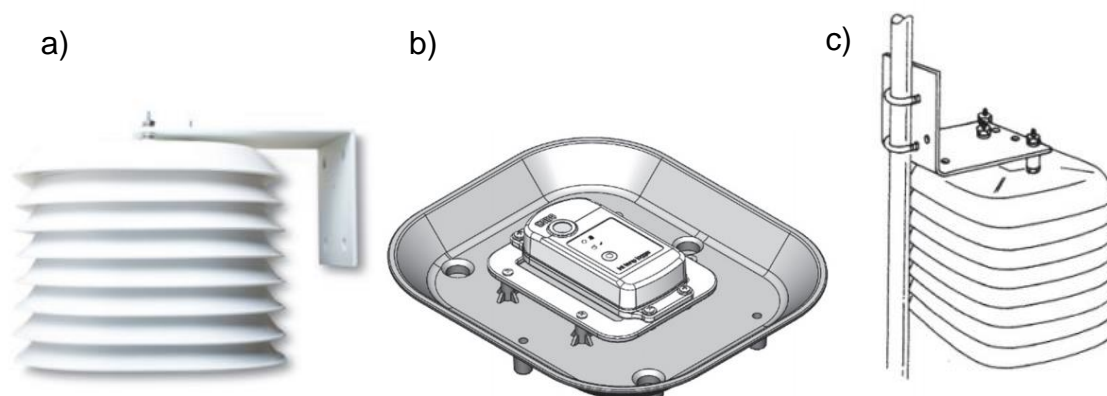
Fonte: a autora.

Figura 8. Proteção contra intempéries e incidência da radiação solar direta (a) e exemplo de instalação do sensor no local (b).



Fonte: a autora.

Figura 9. Proteção de sensor. Marca HOBO, modelo RS1, contra intempéries e incidência de radiação solar direta. a) Imagem de um modelo real; b) vista interna da posição do sensor dentro dos pratos; c) ilustração da fixação em haste.





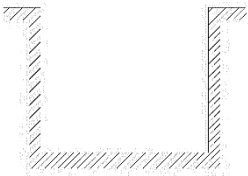


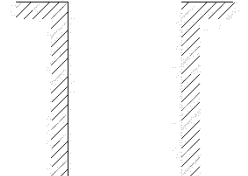

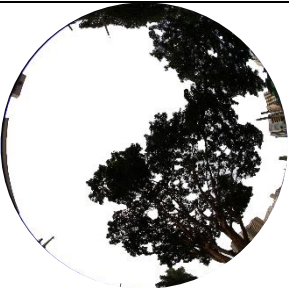

Fonte: Catálogo Sigma (2017).

As estações foram instaladas no interior do cânion urbano, no recuo frontal de um dos lados da quadra. Evitou-se a proximidade com obstáculos como muros e paredes, sendo que as estações foram fixadas sempre na entrada do lote. A altura de instalação variou de três a quatro metros, de acordo com as limitações de cada ponto, porém respeitando a camada limite urbana. Segundo Oke (2006), a diferença de comportamento das variáveis analisadas no intervalo de 3 a 5 metros é pouco significativa.

Em complemento à análise climática, realizou-se a caracterização da área de estudo, para a qual foram feitas medições de variáveis geométricas (como altura e largura do cânion urbano), a obtenção do fator de visão do céu (FVC) de cada um dos pontos de coleta de dados, por meio de fotos tiradas com câmera de lente “olho de peixe” e inserção destas no programa RayMan. O FVC indica o acesso solar à região, dadas as obstruções do céu no local, como árvores e edifícios.

As observações indicaram maior acesso solar para o ponto P03 que, apesar de possuir o cânion vegetado, tem baixa densidade construída (FVC = 0,324) e menor para o ponto P01, de maior densidade construída e presença de vegetação no cânion (FVC = 0,112).

Quadro 4. Caracterização dos pontos de análise climática: foto aérea do recorte de análise; foto olho de peixe e fator de visão do céu (FVC); perfil do cânion e razão altura e largura (H/W); e descrição da área.

Foto da área	Foto “olho de peixe”	Perfil cânion	Descrição da área
<p>Ponto 1</p>  <p>Rua Guilherme da Silva, 300</p>	 <p>FVC = 0,112</p>	 <p>H/W = 0,87</p>	<p>Alta densidade construída, com predominância de edifícios altos. O cânion de instalação do equipamento é vegetado e tem orientação SO-NE. As ruas são de pavimento asfáltico e com predominância de edifícios altos (36 m). Dista 1 km da estação meteorológica de referência,</p>
<p>Ponto 2</p>  <p>Rua Antônio Cesarino, 598</p>	 <p>FVC = 0,260</p>	 <p>H/W = 2,09</p>	<p>Média densidade construída, com equilíbrio entre edifícios altos e baixos. O cânion de instalação do equipamento é vegetado e tem orientação NO-SE. As ruas são de pavimento asfáltico e com predominância de edifícios altos e baixos (4 a 60 m). Dista 1,7 km da estação meteorológica de referência,</p>
<p>Ponto 3</p>  <p>Rua Dr. Emílio Ribas, 710</p>	 <p>FVC = 0,324</p>	 <p>H/W = 0,23</p>	<p>Baixa densidade construída, com predominância de edifícios baixos. O cânion de instalação do equipamento é vegetado e tem orientação NO-SE. As ruas são de pavimento asfáltico e com predominância de edifícios baixos (7 m). Dista 1,6 km da estação meteorológica de referência,</p>

Fonte: a autora.

4.2. Simulação computacional

Diante da análise climática e da interpolação das características urbanísticas levantadas para cada recorte de estudo, apresentadas no Capítulo 5, verificou-se que o ponto P03 apresenta menor densidade construída com predominância de edifícios de baixa altura (até sete metros) e ainda, possui baixa relação altura largura do cânion ($H/W = 0,23$) e o maior fator de visão do céu ($FVC = 0,324$) observado dentre os pontos selecionados. Este ponto P03 também se destacou dentre os demais pela possibilidade real de adensamento e verticalização, sendo ideal para o prosseguimento da investigação apresentada a seguir sobre o efeito do adensamento urbano nas questões climáticas e de conforto térmico urbano.

Após a escolha do ponto P03 foram definidos cenários de estudo com o objetivo de verificar a tendência de comportamento microclimático do cânion urbano mediante os seguintes aspectos:

- **legislação urbanística local:** verificando como a ocupação do solo (taxa de ocupação) e a altura das edificações (relação H/W) podem interferir neste microclima, respeitando os parâmetros urbanísticos presentes na legislação do município (taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento e altura máxima) e avaliando ainda a influência da orientação do cânion sobre as condições climáticas;
- **relação altura e largura (H/W) e relação comprimento e altura (L/H):** por meio de cenários hipotéticos, verificando a influência da relação altura e largura e da relação comprimento e altura no microclima do cânion urbano.

As simulações computacionais foram executadas no programa ENVI-met 4.0 *preview*. O programa ENVI-met é uma ferramenta desenvolvida para estudo e previsão do microclima urbano que simula as interações entre as superfícies urbanas, vegetação e atmosfera (BRUSE; FLEER, 1998).

Para que se tenha confiabilidade nas simulações realizadas pelo programa ENVI-met é necessário que seja feita uma calibração, ou seja, comparar


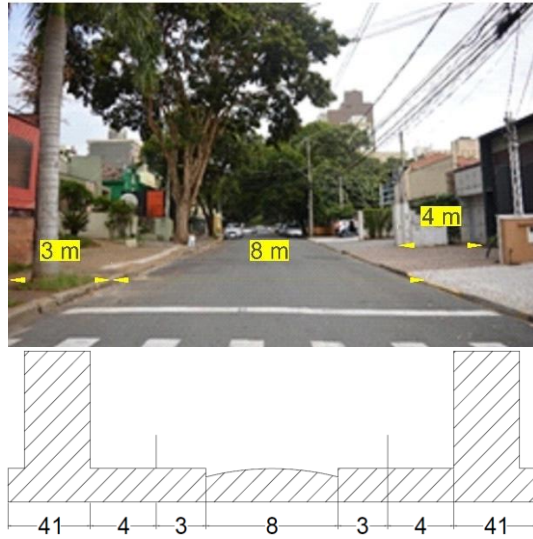
os dados simulados pelo programa com os dados medidos na área real. Sendo assim, com a finalidade apenas de calibrar o modelo de simulação, a área real foi modelada no programa e os dados resultantes da simulação comparados com os obtidos da coleta de dados reais.

Para melhorar o desempenho do modelo na reprodução do comportamento climático real foi necessário editar algumas configurações do banco de dados, que serão também apresentadas a seguir.

4.2.1. Modelagem da área de estudo

Optou-se por utilizar um recorte da área real que abrangesse o cânion em estudo (cânion do ponto P03) por completo e que fosse limitado pela metade das vias que seccionam o cânion e parte das quadras em ambos os lados, de forma que a geometria do recorte fosse quadrada (Quadro 5). Sendo assim, as dimensões do recorte foram 104 metros na direção x e 104 metros na direção y.

Quadro 5. Caracterização da área de estudo (área real) para calibração do ENVI-met.

			
Via urbana (m): 8,00 m	Recuo frontal (m): 4,00 m	Calçada (m): 3,00 m	
Largura da quadra (comp. lote + recuo frontal): 45 m		Comprimento da quadra: 90 m	
Densidade edificada: baixa	Orientação: NO-SE	Relação H/W: 0,23	
Média alturas dos edifícios: 5,00 m	Uso do solo: comercial	Perfil urbano: com vegetação	
Configuração edifício (tipo de alvenaria): alvenaria de bloco cerâmico			
Pavimentos veiculares: asfalto		Pavimentos de calçadas: pedra portuguesa e concreto	

Fonte: a autora.

Como as edificações existentes na área real são de baixa altura, (inferiores a sete metros) foi estipulado 40 metros como a altura total do modelo, a qual se mostrou suficiente, uma vez que, segundo Gusson (2014), a altura mínima necessária é duas vezes a altura do edifício mais alto. O método de geração do *grid* vertical foi o equidistante (*equidistant*). A fim de obter boa resolução nas simulações foram utilizados *grids* de 2 metros, obtendo-se desta maneira uma área com 52x52 *grids*. Para manter a estabilidade foram inseridos 6 *grids* de borda (*nesting grids*) ao redor do modelo (YANG *et al.*, 2013). A inclinação da área real em relação ao norte, para fins de calibração do modelo foi de 15°.

4.2.2. Edição do banco de dados

Para representação da vegetação foram utilizados os padrões existentes no modelo (Quadro 6) que mais se assemelhavam à vegetação comum no bairro Cambuí, conforme apresentado no levantamento feito por Aguirre Junior (2008).

Quadro 6. Características da vegetação aplicada (padrão do modelo).

Código ENVI-met	Descrição
Albizia Julibrissin	Árvore de 12 metros, diâmetro da copa de 11 metros
Privet	Árvore de 5 metros, diâmetro da copa de 5 metros
Palm Washingtonia	Árvore de 20 metros, diâmetro da copa de 3 metros
Grass	Gramma de 50 cm, densa

Fonte: a autora, com base nos dados do programa ENVI-met.

Os materiais utilizados para modelagem da área de estudo (Tabela 3), bem como dos cenários propostos, foram baseados nos materiais *default* do programa ENVI-met 4.0 *preview*, sendo alterados os valores de albedo das superfícies externas verticais e horizontais para 0,2 e 0,3, respectivamente, conforme proposto por Sailor e Fan (2002). Estas alterações foram efetuadas para que o modelo representasse mais fielmente as características de refletância existentes na área real.

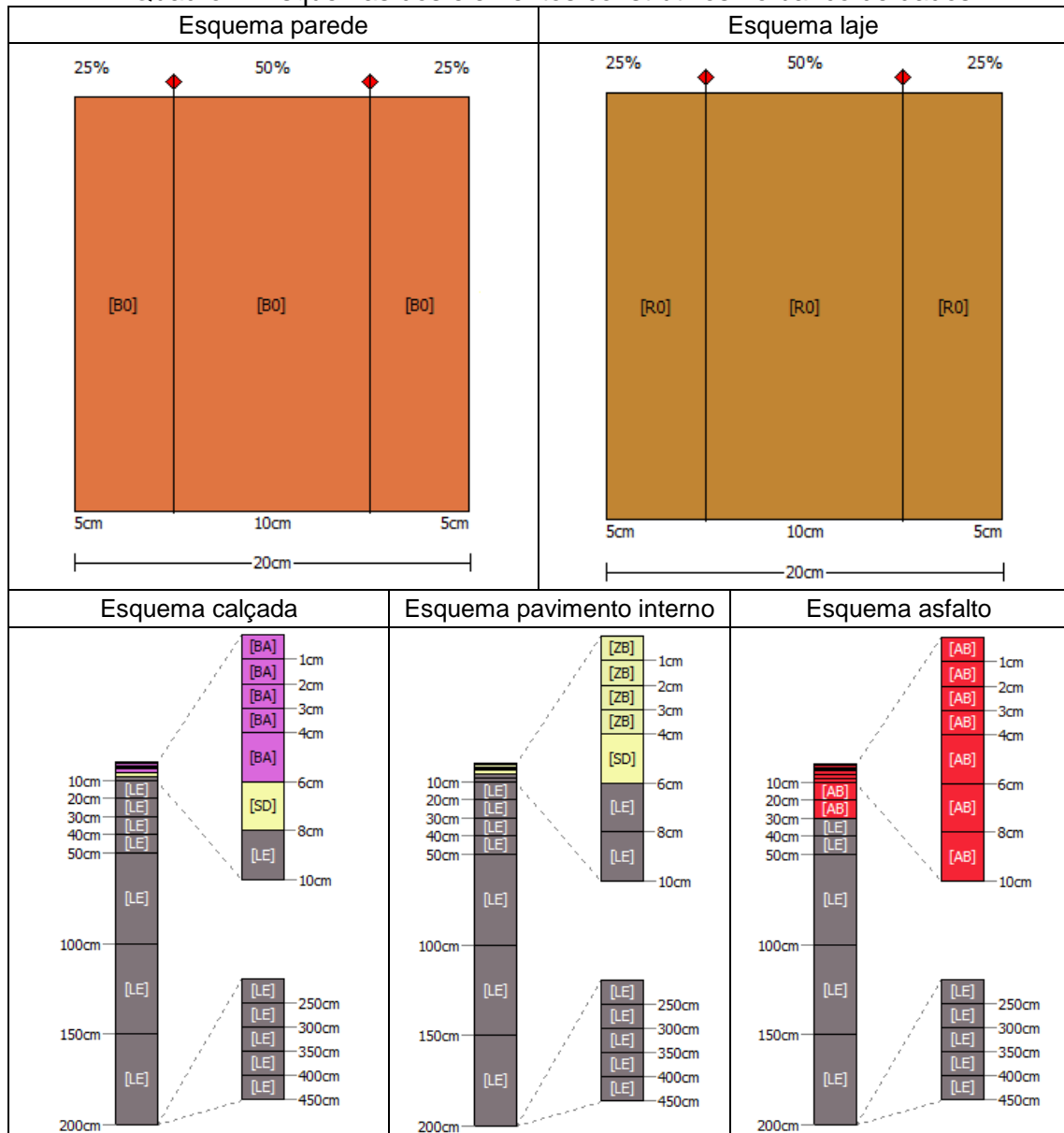
Tabela 3. Refletância do material utilizado no banco de dados do ENVI-met.

Nome no programa	Material	Default	Adotado
Basalt Brick Road	calçada	0,8	0,3
Concrete Pavement Dark	concreto	0,2	0,2
Asphalt Road	asfalto	0,2	0,2
Brick: aerated (B0)	parede	0,6	0,2
Roofing: terracota	laje	0,5	0,3

Fonte: a autora.

O Quadro 7, a seguir, mostra os elementos definidos para o banco de dados citados acima: calçada, concreto (pavimento interno), asfalto (via), tijolo e laje (edificação).

Quadro 7. Esquemas dos elementos construtivos no banco de dados.



Fonte: a autora, com base nos modelos do ENVI-met.

A refletância da parede e da laje foi adotada como 0,2 e 0,3, que são considerados os albedos médios das superfícies externas verticais e de telhado, segundo Sailor e Fan (2002).

Já a calçada, o pavimento interno e o asfalto, tiveram seus perfis mantidos conforme o modelo padrão do ENVI-met, sendo compostos de uma

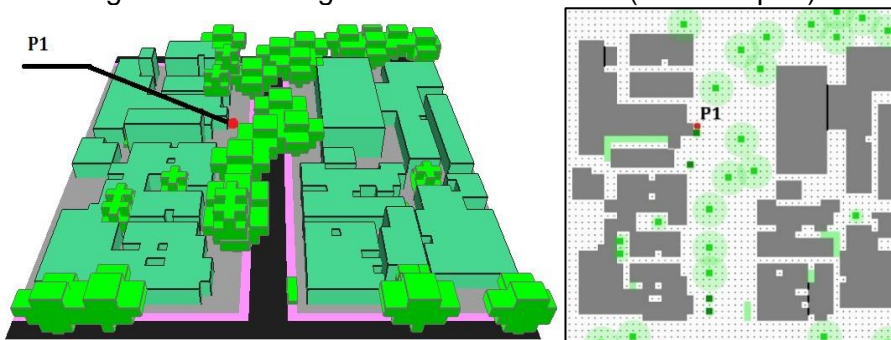
camada mais externa de basalto, concreto ou asfalto e uma camada de solo abaixo. No caso do asfalto e do concreto foram mantidos os albedos do padrão do modelo, e para a calçada o albedo foi alterado para 0,3, considerado albedo médio para superfícies horizontais segundo Sailor e Fan (2002).

As espessuras das camadas foram mantidas conforme o padrão do modelo, exceto para o tijolo e laje, que foram ambas ajustadas para 20 cm.

A partir da edição dos materiais foi feita a digitalização da área (Figura 10) inserindo-se os edifícios com suas respectivas alturas, os pavimentos, a vegetação e os receptores, que são os pontos para os quais o modelo irá gerar os dados de saída.

Para fins de calibração do modelo, o receptor (P1) foi posicionado exatamente no mesmo local onde foi instalada a estação de medição de dados climáticos reais.

Figura 10. Modelagem da área de estudo (P1 - receptor).



Fonte: a autora.

4.2.3. Dados de entrada

A calibração do modelo foi feita para os períodos de inverno e verão. O dia 21 de agosto de 2015 foi escolhido como parâmetro de inserção dos dados no modelo para o período de inverno. Este dia apresentou temperatura do ar máxima de 28,3°C, temperatura do ar média de 20,3°C e mínima de 15,7°C e umidade relativa do ar às 15 horas de 34,5%. Para o período de verão o dia escolhido foi 7 de janeiro de 2016. Este dia apresentou temperatura do ar máxima de 32,7°C, temperatura do ar média de 27,6°C e mínima de 21,7°C e umidade relativa do ar às 15 horas de 38,7%

No arquivo de configuração dos dados meteorológicos, apresentados na

Tabela 4, as variáveis velocidade e direção do vento na altura de 10 metros foram coletadas a partir da estação meteorológica urbana de referência localizada no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), distante aproximadamente 1,6 km a 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 (Estação nº 83779 Aeroporto Campo de Marte), através da Universidade de Wyoming.

A umidade do solo foi mantida padrão do modelo, assim como sua temperatura. O coeficiente de ajuste solar foi obtido por calibração, buscando-se proximidade à medição adquirida na estação de referência do IAC. Neste estudo foi empregada a ferramenta *simple forcing*, sendo então inseridos no programa os dados horários de temperatura do ar e umidade relativa do ar medidos no ponto P03. O tempo total de simulação foi de 76 horas, possibilitando a aquisição de três curvas completas de iteração, contudo, foi utilizada a terceira curva. A simulação foi configurada para ter início às 21h00, de modo que os primeiros dados simulados não tivessem influência do aporte de radiação solar no modelo. A mesma foi executada na versão 100x100x40 *grids*.

Tabela 4. Parâmetros de entrada da simulação.

Parâmetro	Inverno	Verão
Data da simulação	21/08/2015	07/01/2016
Hora de Início	21h00	21h00
Total de horas de simulação	76	76
Velocidade do vento a 10 metros (m/s)	4,2	2,4
Direção do vento (°)	135	135
Temperatura (K)	291,1	300,7
Umidade específica (a 2500 m – g/Kg))	5,69	9,19
Umidade relativa (a 2 m - %)	70,4	60,7
Coeficiente de ajuste solar	0,70	0,90
Umidade do solo (%)	0-20 cm	50
	20-50 cm	60
	50-200 cm	60
	Abaixo de 200 cm	60
Temperatura do solo (K)	0-20 cm	293
	20-50 cm	293
	50-200 cm	293
	Abaixo de 200 cm	293

Fonte: a autora.

4.3. Calibração do modelo

Para a calibração do modelo é necessário que sejam aplicados métodos de análise estatística, de maneira a verificar o grau de correlação das comparações

entre dados medidos e simulados. Portanto, a seguir são apresentados os métodos de análise estatística empregados neste estudo.

4.3.1. Métodos de análise estatística

As variáveis utilizadas para a validação do modelo foram: temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação solar direta. A metodologia utilizada para avaliar o grau de correlação entre as séries medidas (M) e previstas (P) pelo modelo ENVI-met foi a medida dos erros de predição, empregada nos estudos de Savi (2006), Willmott (1981) e Alves e Vecchia (2011). Para este trabalho foram adotadas cinco medidas para quantificar o erro na predição: o coeficiente de correlação (r), a raiz quadrada do erro médio (RMSE, RMSEs e RMSEu), o erro médio absoluto (MAE), o desvio das médias (MBE) e o coeficiente de determinação (R²). Essas medidas são descritas a seguir.

4.3.1.1. Coeficiente de correlação (r) – Alves e Vecchia (2011)

Este índice estatístico indica o grau de associação entre duas variáveis, (no caso deste trabalho, entre a série temporal medida (M) e a série temporal prevista (P) pelo modelo ENVI-met), com um número total de N observações. O coeficiente de correlação é dado pela Equação (1):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2][\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2]}} \quad (1)$$

Sendo que, o grau máximo de associação, $r = 1$, significa uma correlação perfeita positiva entre as duas séries temporais, $r = -1$, significa uma correlação negativa perfeita entre as duas séries e $r = 0$ que as séries não possuem associação uma com a outra.

4.3.1.2. Raiz quadrada do erro médio (RMSE) – Willmott (1981) e Savi (2006)

A raiz quadrada do erro médio está relacionada com a dispersão entre

os valores estimados (P) e observados na estação fixa (M), e é uma das mais comuns medições de erro, definida conforme a Equação (2):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_{i=N+1}^{N+p} (P_i - M_i)^2} \quad (2)$$

O RMSE pode ser decomposto em sistemático (RMSEs), definido conforme a Equação (3), e não sistemático (RMSEu), definido conforme a Equação (4), sendo que ambas as equações indicam possíveis erros no desenho do modelo. Nas equações a seguir, \hat{P}_i corresponde ao valor obtido da reta que correlaciona os dados preditos (P) e medidos (M).

$$RMSEs = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_{i=N+1}^{N+p} (\hat{P}_i - M_i)^2} \quad (3)$$

$$RMSEu = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_{i=N+1}^{N+p} (P_i - \hat{P}_i)^2} \quad (4)$$

4.3.1.3. Erro médio absoluto (MAE) – Savi (2006)

O erro médio absoluto (MAE) indica o quão próximos estão os dados preditos (P) dos dados medidos (M), e é dado pela Equação (5):

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |P_i - M_i| \quad (5)$$

4.3.1.4. Desvio das médias (MBE) – Alves e Vecchia (2011)

O desvio das médias (MBE) (*Mean Bias Error*) indica o desempenho de um modelo a longo prazo. Quanto menor seu valor absoluto melhor é sua performance. O MBE é dado pela Equação (6):

$$MBE = \left| \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - M_i)}{N} \right| \quad (6)$$

4.3.1.5. Coeficiente de determinação (R^2) – Alves e Vecchia (2011)

O coeficiente de determinação é definido como a relação que mede a proporção da variação total da variável dependente que é explicada pela variação da variável independente (Equação 7) (ALVES; VECCHIA, 2011).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{M})^2}{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2} \quad (7)$$

4.3.2. Validação do modelo

Para validação do modelo foi então realizada a comparação entre dados medidos e simulados para as variáveis de temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação solar direta. Os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram comparados entre o ponto monitorado no cânion urbano e o simulado no programa. Já a radiação solar direta foi comparada com os dados da estação meteorológica de referência do IAC, uma vez que a estação de medição do ponto não contava com equipamento para medição desta variável. Na Tabela 5 são apresentados os valores médios, máximos e mínimos e a amplitude, para cada uma das variáveis, obtidos nas duas situações, medido e simulado.

Tabela 5. Comparação dos valores médios, máximos e mínimos e da amplitude térmica para as variáveis temperatura e umidade relativa do ar e radiação solar direta.

Período	Variável	Temperatura (°C)		Umidade (%)		Radiação (W/m ²)	
		Medida	Simulada	Medida	Simulada	Medida	Simulada
Inverno	Mínima	15,7	15,8	34,1	34,6	-----	-----
	Média	20,3	20,2	60,8	60,1	179,5	245,7
	Máxima	28,3	27,6	78,0	76,7	698,5	692,5
	Amplitude	12,6	11,9	43,9	42,1	-----	-----
Verão	Mínima	21,7	21,9	35,7	34,7	-----	-----
	Média	27,6	28,0	55,1	53,8	228,9	360,8
	Máxima	32,7	34,0	74,1	73,2	859,0	870,2
	Amplitude	11,0	12,1	38,4	38,5	-----	-----

Fonte: a autora.

Nota-se que todas as variáveis tiveram boas aproximações entre simulação e medição. A seguir são apresentados os resultados estatísticos para os períodos de inverno e verão, apenas para as variáveis medidas no ponto 3, ou seja, temperatura e umidade relativa do ar.

4.3.2.1. Inverno

Na Tabela 6 são apresentados os índices estatísticos que comprovam a fidelidade dos resultados simulados.

Tabela 6. Indicadores de desempenho do modelo ENVI-met para o período de inverno.

Variável	R ²	r	RMSE	RMSEu	RMSEs	MAE	MBE
Temperatura do ar	0,9970	0,9985	0,29	0,41	0,22	0,24	0,04
Umidade relativa do ar	0,9971	0,9986	1,17	2,98	2,04	0,94	0,71

Fonte: a autora.

O índice R² indica a porção da variável simulada que pode ser explicada com a predita, e o coeficiente de correlação r mede o grau de correlação entre as variáveis e o sentido dela (ALVES; VECCHIA, 2011). Dessa forma, nota-se boa relação entre todas as variáveis analisadas estatisticamente, uma vez que todas atingiram valores superiores a 0,90 tanto para r quanto para R².

O RMSE é a medida da magnitude média dos erros estimados, e sua proximidade de zero indica melhor desempenho do modelo (ALVES; VECCHIA, 2011). Suas componentes RMSEu, erro não sistemático, e RMSEs, erro sistemático, indicam possíveis erros no desenho do modelo (WILLMOTT, 1981). De acordo com Stone (1993), pequenas quantidades de erros discrepantes podem causar um aumento significativo no RMSE.

Além disso, de acordo com Chow e Brazel (2012) e Guo, Murray e Lee (2002), baixos valores de RMSEs e a proximidade entre os valores de RMSEu e RMSE indicam boa performance do modelo. Sendo assim, boas performances foram observadas para as variáveis temperatura e umidade relativa do ar, que apresentaram os seguintes índices, respectivamente: RMSE igual a 0,29 e 1,17; RMSEs igual a 0,22 e 2,04 e RMSEu igual a 0,41 e 2,98. O desempenho superior do modelo na reprodução do comportamento da temperatura do ar em relação ao da umidade já foi evidenciado nos estudos de Rosseti (2013) e Maciel (2014).

Quanto aos índices MAE e MBE, estes indicam o quão próximos estão os dados simulados dos dados medidos e o desempenho do modelo, bem como sua tendência de superestimar ou subestimar as medidas (SAVI, 2006). Mais uma vez, os índices obtidos mostram bom desempenho do modelo para estimar os dados de temperatura (MAE = 0,23 e MBE = 0,04) e umidade (MAE = 0,94 e MBE

= 0,71), e que existe uma tendência do mesmo de superestimar os valores. A desvantagem observada para o índice MBE é que o valor superestimado de uma observação individual pode cancelar um valor subestimado (STONE, 1993).

A Figura 11 até a Figura 14 apresenta a comparação das curvas de cada variável de validação, bem como a regressão linear obtida. Verifica-se que os dados medidos e simulados possuem coerência, tendo a simulação atingido curvas bem próximas das curvas reais.

Figura 11. Curva de temperatura do ar medida e simulada.

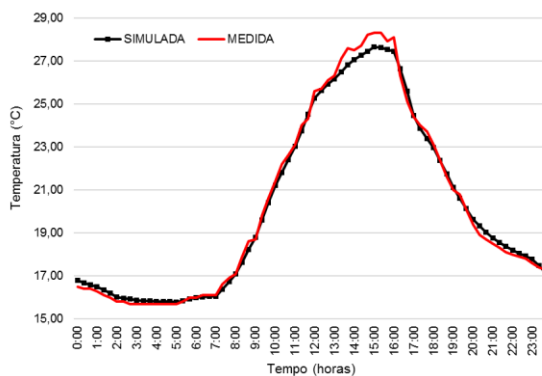


Figura 12. Regressão linear para validação da temperatura do ar.

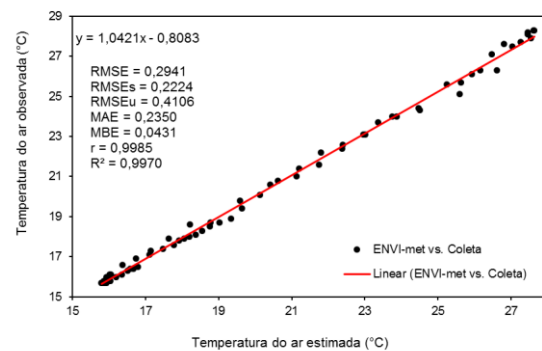


Figura 13. Curva de umidade relativa do ar medida e simulada.

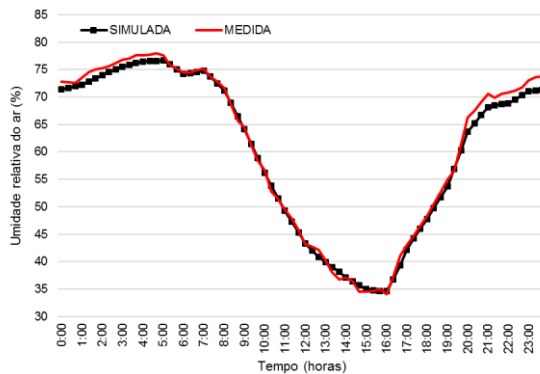
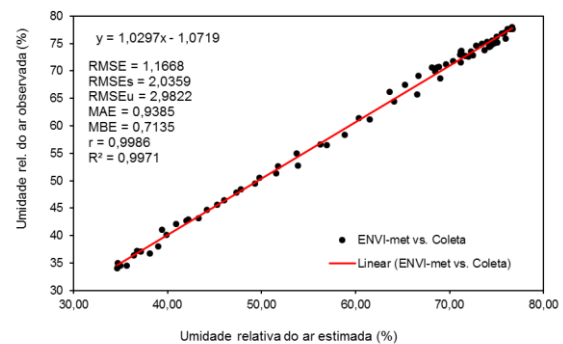


Figura 14. Regressão linear para validação da umidade relativa do ar.



4.3.2.2. Verão

Na Tabela 7 são apresentados os índices estatísticos para o verão.

Tabela 7. Indicadores de desempenho do modelo ENVI-met para o período de verão.

Variável	R ²	r	RMSE	RMSEu	RMSEs	MAE	MBE
Temperatura do ar	0,9884	0,9942	0,70	0,63	0,12	0,48	0,42
Umidade relativa do ar	0,9902	0,9951	1,87	3,27	1,77	1,50	1,29

Fonte: a autora.

Nota-se boa relação entre todas as variáveis analisadas estatisticamente, uma vez que todas atingiram valores superiores a 0,90 tanto para r quanto para R^2 .

Novamente, assim como para o inverno, no verão foram observadas boas performances para as variáveis temperatura e umidade relativa do ar, que apresentaram os seguintes índices, respectivamente: RMSE igual a 0,63 e 3,27; RMSEs igual a 0,12 e 1,77 e RMSEu igual a 0,63 e 3,27.

Mais uma vez, os índices obtidos mostram bom desempenho do modelo para estimar os dados de temperatura (MAE = 0,48 e MBE = 0,42) e umidade (MAE = 1,50 e MBE = 1,29), e que existe tendência do mesmo de superestimar os valores.

A Figura 15 até a Figura 18 apresenta a comparação das curvas de cada variável de validação, bem como a regressão linear obtida, em que é possível constatar o bom ajuste do modelo.

Figura 15. Curva de temperatura do ar medida e simulada.

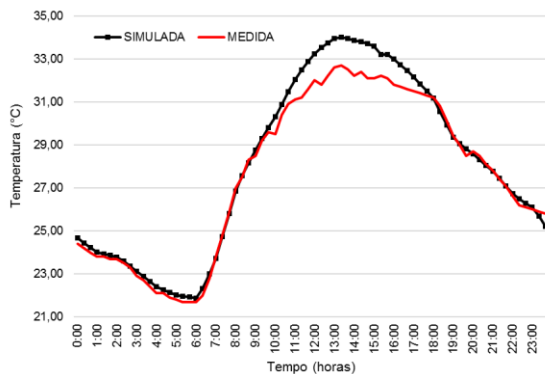


Figura 16. Regressão linear para validação da temperatura do ar.

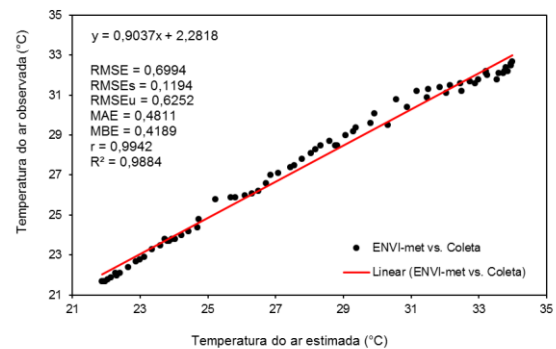


Figura 17. Curva de umidade relativa do ar medida e simulada.

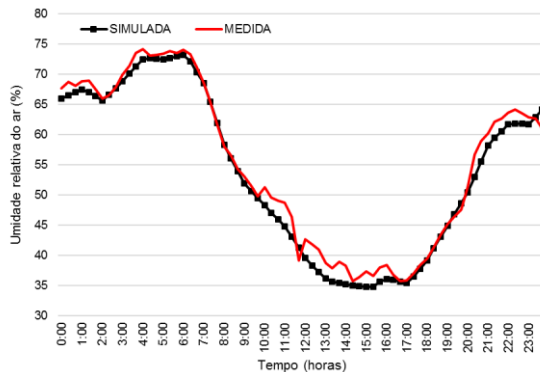
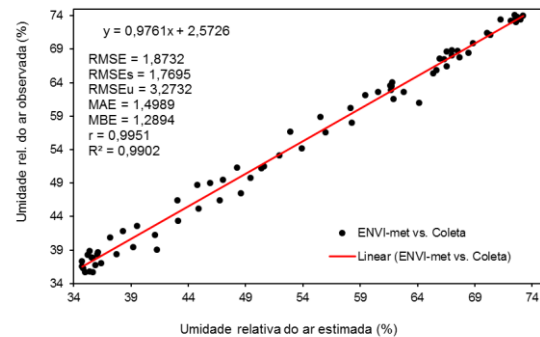


Figura 18. Regressão linear para validação da umidade relativa do ar.



Conclui-se, portanto, que para o período de inverno a calibração do modelo atingida foi mais próxima do medido *in loco*. Porém, apesar de mais

discrepante, a calibração de verão foi satisfatória, sendo cabível e coerente sua utilização no prosseguimento das simulações.

4.4. Cenários de estudo

Uma vez calibrado o modelo e constatada sua representatividade em reproduzir o comportamento climático da área real, novas propostas de ocupação do solo (cenários de estudo) foram feitas para aquele recorte (cânion do ponto P03). As propostas para os cenários de estudo se baseiam em dois aspectos: a legislação urbanística local e a geometria do cânion urbano - relação altura e largura (H/W) e relação comprimento altura (L/H). Para avaliação destes cenários, foi considerado um modelo sem vegetação, uma vez que o intuito é avaliar apenas os aspectos construtivos, sem interferência das trocas térmicas e evapotranspiração decorrentes da vegetação. A orientação da área em relação ao norte também será variada a fim de investigar sua influência sobre as condições de conforto. A elaboração de cada cenário é melhor detalhada a seguir.

4.4.1. Cenários respeitando a legislação urbanística local

Para a elaboração destes cenários foram levados em consideração os aspectos vigentes na Lei de Uso e Ocupação do Solo de Campinas (Lei nº 6031 de 29 de dezembro de 1988) para as edificações enquadradas na zona 6, na qual está localizado o ponto P03 e seu respectivo cânion. Nesta zona, para o uso do solo destinado à habitação multifamiliar vertical (HMFV-2), é permitida uma taxa de ocupação inferior a 0,50, a testada mínima é de 15 metros e o tamanho mínimo do lote é 450 m²; o coeficiente de aproveitamento é dado pela Equação (8) a seguir, e a altura máxima é estabelecida pela Equação (9). Os recuos mínimos são de 6 metros para frente e fundos e 4 metros para as laterais.

$$C = 2 + 1,5(0,5 - to) \tag{8}$$

Onde,

C = coeficiente de aproveitamento

to = taxa de ocupação do terreno

$$H = 2L + R \quad (9)$$

Onde,

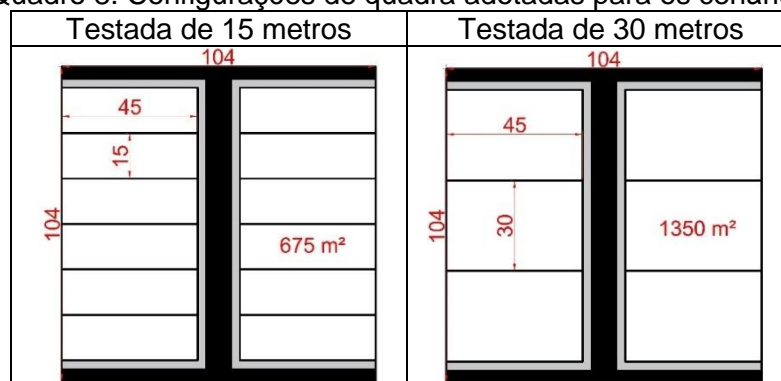
H = altura máxima da edificação

L = largura da via (que deve ser considerada de 14 metros quando o valor real for inferior a este, como é o caso)

R = recuo frontal

Levando estes parâmetros em consideração, foram elaboradas duas configurações de quadra (Quadro 8): uma com seis lotes de testada mínima (15 metros) e outra com três lotes de testada 30 metros, todos com profundidade de 45 metros, considerando que teriam metade da profundidade da quadra típica do bairro Cambuí, que é de 90 metros.

Quadro 8. Configurações de quadra adotadas para os cenários.



Fonte: a autora.

Verificou-se que a máxima relação altura e largura (H/W) que se consegue alcançar para este cânion, seguindo os parâmetros da legislação, é 1. Optou-se, portanto, por investigar o comportamento térmico da área de estudo mediante a fixação de duas variáveis:

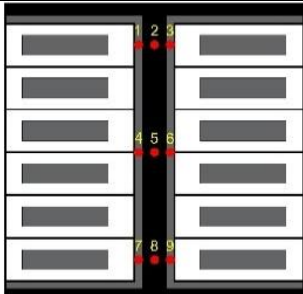
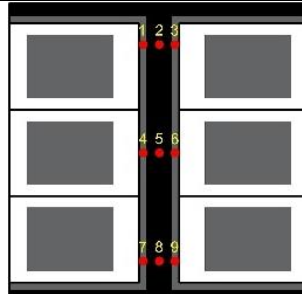
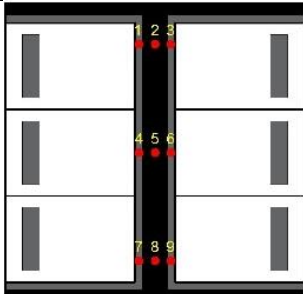
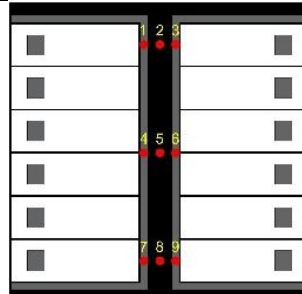
- a) cenários 1 e 3: considerando todos os recuos mínimos – máxima ocupação do lote;
- b) cenários 2 e 4: considerando a maior relação altura e largura, ou seja, 1, que resulta na maior altura do modelo.

Dessa forma, resultaram quatro tipos de cenários, conforme é

apresentado no Quadro 9. Cada um deles foi simulado nas orientações identificadas no Quadro 10. Em cada cânion foram dispostos 9 receptores, três em cada lado da calçada e três no centro da via.

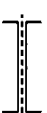


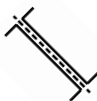
Os materiais de superfície utilizados nesta etapa foram os mesmos da calibração do modelo, assim como as dimensões da área modelada e a configuração dos *grids*.

Quadro 9. Cenários atendendo à legislação urbanística local (receptor – ponto vermelho).

Parâmetro	Lotes de 675 m ² (1)	Lotes de 1350 m ² (2)
Todos os recuos mínimos e taxa de ocupação máxima	 <p>Cenário 1</p>	 <p>Cenário 3</p>
Relação H/W igual a 1 e recuos laterais e de fundo mínimos	 <p>Cenário 2</p>	 <p>Cenário 4</p>

Fonte: a autora.

Quadro 10. Orientações de via adotadas nos cenários.

			
N-S	L-O	NE-SO	NO-SE

Fonte: a autora.

4.4.2. Cenários variando a geometria do cânion: relações altura e largura (H/W) e comprimento altura (L/H)

Tomando como base os estudos realizados por Vardoulakis *et al.* (2003), Ahmad, Khare e Chaudhry (2005), Afiq, Azwadi e Saqr (2012) e Shishegar (2013), verifica-se que o cânion urbano pode ser classificado da seguinte maneira:

- a) Segundo a relação H/W:
- $<0,5$: cânion raso (*shallow canyon*)
 - $=1,0$: cânion regular (*regular canyon*)
 - $>2,0$: cânion profundo (*deep canyon*)
- b) Segundo a relação L/H:
- $<3,0$: cânion curto (*short canyon*)
 - $=5,0$: cânion médio (*medium canyon*)
 - $>7,0$: cânion longo (*long canyon*)

Combinando os seis parâmetros geométricos acima, elaborou-se nove cenários (A a I), conforme descrito na Tabela 8.

Tabela 8. Cenários de combinação geométrica do cânion.

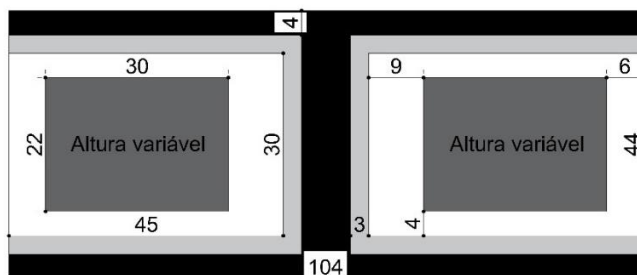
Parâmetro	Raso (H/W<0,5)	Regular (H/W=1,0)	Profundo (H/W>2,0)
Curto (L/H<3,0)	Raso/ Curto (A)	Raso/ Regular (B)	Raso/ Profundo (C)
Médio (L/H=5,0)	Médio/ Raso (D)	Médio/ Regular (E)	Médio/ Profundo (F)
Longo (L/H>7,0)	Longo/ Raso (G)	Longo/ Regular (H)	Longo/ Profundo (I)

Fonte: a autora.

Cada um dos nove cenários foi abordado de duas formas: mantendo os recuos entre edificações entre cada módulo e eliminando os recuos entre edificações de modo a formar uma edificação contínua durante a extensão do cânion.

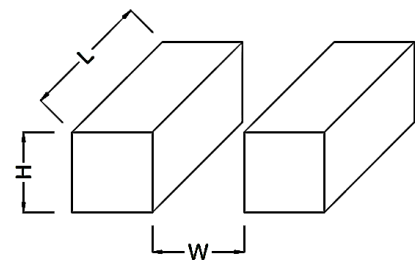
Para o desenvolvimento dos cenários, tomou-se como base para a formação dos cânions o módulo detalhado na Figura 19 e na Figura 20. Este módulo é composto por um lote de 30 metros de testada por 45 metros de comprimento, com calçada e pavimento com larguras de 3 e 4 metros, respectivamente. Dentro deste lote há uma edificação de 22 metros de largura por 30 metros de comprimento, com altura variável conforme os cenários, 4 metros de recuos laterais, 6 metros de recuo de fundo e 9 metros de recuo frontal, o que ainda respeita os recuos mínimos estabelecidos para o local calibrado.

Figura 19. Módulo de repetição para formação dos cenários.



Fonte: a autora.

Figura 20. Geometria do cânion urbano.

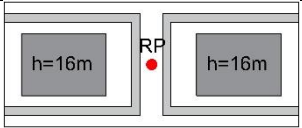
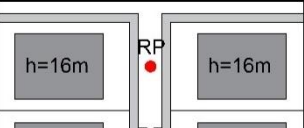
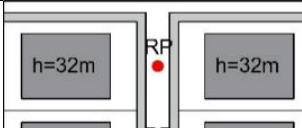

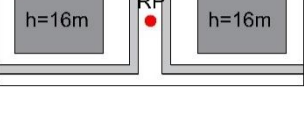
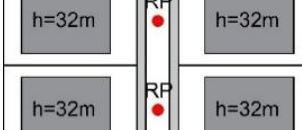
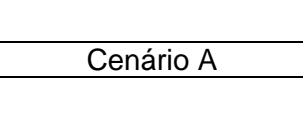
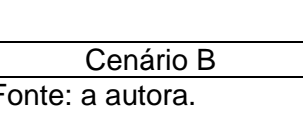
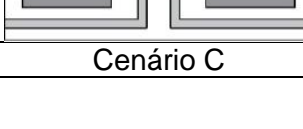


Fonte: a autora.

Os cenários A, B e C, ilustrados no Quadro 11, representam o tipo de

cânion raso, com relação H/W menor que 0,5, nas três relações L/H - 3 (curto), 5 (médio) e 7 (longo) – todos com espaçamento entre as edificações. Os pontos vermelhos no centro da via representam a localização dos receptores.

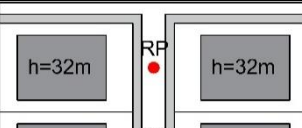
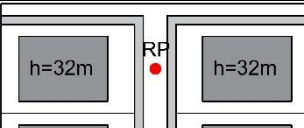
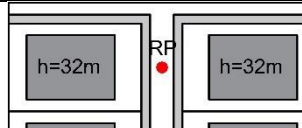
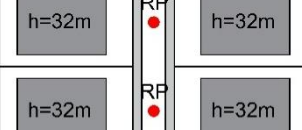
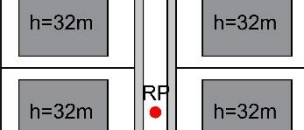
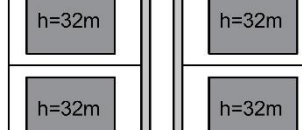
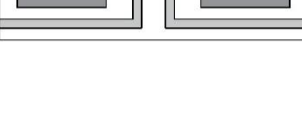
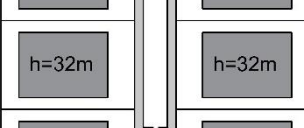
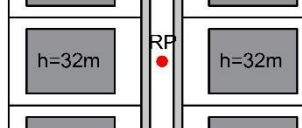
Quadro 11. Cenários do tipo cânion raso com espaçamento entre edificações.

Cenários	Curto ($L/H < 3,0$)	Médio ($L/H = 5,0$)	Longo ($L/H > 7,0$)
Raso ($H/W < 0,5$)			
			
			
	Cenário A	Cenário B	Cenário C

Fonte: a autora.

Os cenários D, E e F, ilustrados no Quadro 12, representam o tipo de cânion regular, com relação H/W igual a 1,0, nas três relações L/H - 3 (curto), 5 (médio) e 7 (longo) - todos com espaçamento entre as edificações. Os pontos vermelhos no centro da via representam a localização dos receptores.

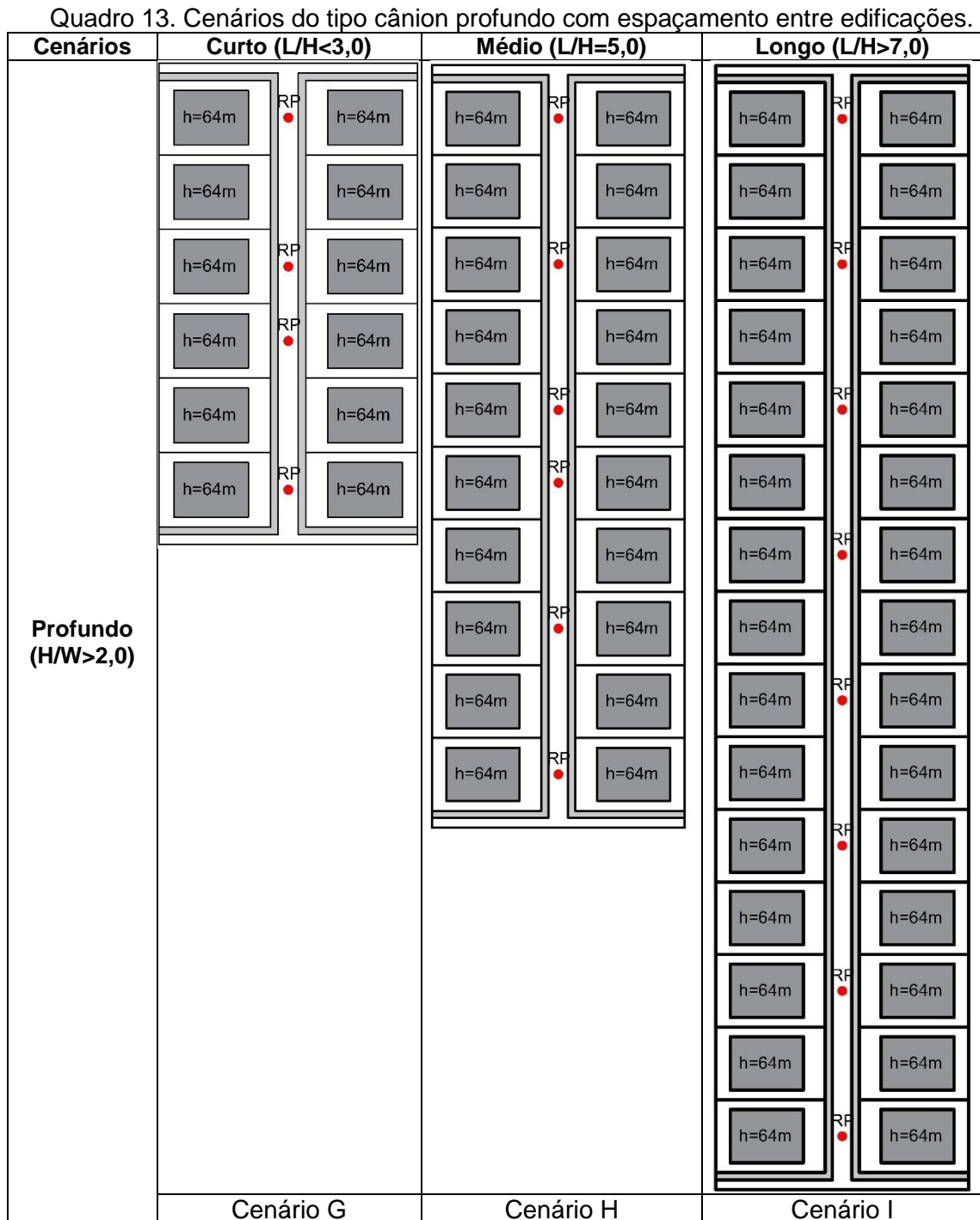
Quadro 12. Cenários do tipo cânion regular com espaçamento entre edificações.

Cenários	Curto ($L/H < 3,0$)	Médio ($L/H = 5,0$)	Longo ($L/H > 7,0$)
Regular ($H/W = 1,0$)			
			
			
	Cenário D	Cenário E	Cenário F

Fonte: a autora.

Os cenários G, H e I, ilustrados no Quadro 13, representam o tipo de

cânion profundo, com relação H/W igual a 2,0, nas três relações L/H - 3 (curto), 5 (médio) e 7 (longo) - todos com espaçamento entre as edificações. Os pontos vermelhos no centro da via representam a localização dos receptores.



Fonte: a autora.

Conforme dito anteriormente, todos os cenários apresentados acima também foram simulados na condição sem espaçamento entre edificações.

4.5. Cálculo do índice PET (*Physiological Equivalent Temperature*)

O índice PET utilizado como parâmetro para comparação entre os cenários foi obtido através do programa RayMan Pro 1.2, que foi desenvolvido pelo *Meteorological Institute of Freiburg* (MATZARAKIS; RUTZ; MAYER, 2010). Este programa utiliza como parâmetros de cálculo os seguintes dados pessoais: sexo masculino, idade de 35 anos, massa corporal de 75 kg, altura de 1,75 m, taxa metabólica de 80 W e isolamento térmico da vestimenta (I_{cl}) de 0,9 clo. Além disso, são inseridos parâmetros meteorológicos como temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do vento, umidade relativa do ar e localização geográfica. O índice gerado é expresso em °C.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão abordados os resultados obtidos da caracterização urbana e climática dos três pontos avaliados no bairro Cambuí, justificando assim a escolha do ponto P03 para a avaliação dos cenários de estudo (propostos na seção anterior) nos períodos de inverno e verão.

A comparação entre os cenários simulados buscou verificar uma tendência de comportamento da área e a relação entre os parâmetros urbanísticos avaliados com o microclima local, o comportamento térmico e a sensação de conforto proporcionada pela variação na geometria urbana.

5.1. Caracterização urbana






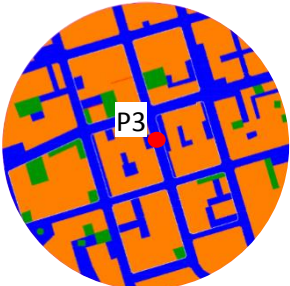
A Tabela 9 caracteriza os 3 pontos (P01, P02 e P03) a partir de um raio de 200 m no entorno dos pontos de medição. Estudos indicam (STEWART; OKE, 2012) que um raio de 200 a 500 metros assume tendência de comportamento térmico semelhante.

Com base na análise visual da imagem aérea e nas visitas *in loco*, distinguiu-se dentro do recorte a porcentagem de área permeável, pavimentada e construída. Mais especificamente, através da análise da imagem aérea gerada pelo recorte de raio 200 metros com centro no ponto onde foi instalado cada sensor, calculou-se a área equivalente à pavimentação (incluindo o viário urbano e áreas internas não permeáveis dos lotes), à construção (projeção em planta da área correspondente às edificações) e à vegetação (projeção da área de copa das árvores e áreas permeáveis). Nota-se que todos os três pontos apresentam uso do solo muito semelhante, sendo a maior parte destinada à área construída (AC), variando de 54,7% a 62,6%, seguido pela área pavimentada (AP), que variou de 33,6% a 42,5%. Verifica-se que o ponto P03 apresentou maior porcentagem de área vegetada (AV), 4,7%, em comparação com os pontos P01 e P02, que apresentaram 3,8% e 2,8%, respectivamente.

Obteve-se a relação altura e largura (H/W) para cada um dos cânions onde foram instalados os sensores de coleta de dados climáticos, para os quais foram verificadas *in loco* as medidas médias de largura da via, calçamento e recuos,

bem como da altura das edificações. Por meio das fotos tiradas com a câmera de lente “olho de peixe” obteve-se o fator de visão do céu.



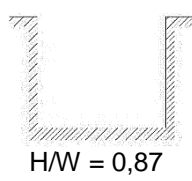


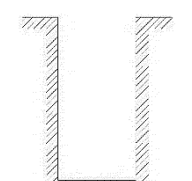


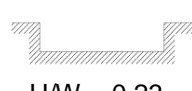
Tabela 9. Caracterização dos pontos de análise urbana: foto aérea do recorte, caracterização das áreas, descrição do entorno, porcentagem de área vegetada (%AV), porcentagem de área construída (%AC) e porcentagem de área pavimentada (%AP).

Foto da área	Caracterização da área	Entorno	%AV	%AC	% AP
 Ponto 1	 Ponto 1	Predominância de edifícios altos, com baixa incidência de arborização urbana.	3,8	62,6	33,6
 Ponto 2	 Ponto 2	Equilíbrio entre a ocorrência de edificações altas e baixas, com baixa ocorrência de arborização urbana.	2,8	54,7	42,5
 Ponto 3	 Ponto 3	Predominância de edifícios baixos, até 7 metros, com baixa incidência de arborização urbana.	4,7	61,2	34,1

A Tabela 10 mostra o perfil do cânion, o FVC e sua descrição. Os índices, FVC e relação H/W, combinados com a descrição do cânion mostram que um menor acesso solar é verificado nas regiões onde se tem uma maior relação altura e largura e que a presença de vegetação também ajuda a diminuir esse acesso solar, como é observado para os pontos 1 e 2. O primeiro, apesar de apresentar uma relação H/W intermediária, de 0,87, por ter presença de vegetação no cânion apresentou FVC de 0,112. Já o segundo, P02, que não possui vegetação no cânion, mas tem a maior relação H/W, de 2,09, apresentou FVC de 0,260. O cânion do

ponto 3, por outro lado, apresenta a menor relação H/W, de 0,23, o que lhe proporcionaria um alto acesso solar, mas por possuir vegetação, apresentou um FVC não muito superior aos demais, de 0,324.

Tabela 10. Caracterização dos pontos de análise climática: foto aérea do recorte; foto olho de peixe e fator de visão do céu (FVC); perfil do cânion e relação altura e largura (H/W); e descrição do cânion.

Foto da área	Foto “olho de peixe”	Perfil cânion	Descrição do cânion
 <p>P1</p> <p>Ponto 1</p>	 <p>FVC = 0,112</p>	 <p>H/W = 0,87</p>	<p>Alta densidade construída, com predominância de edifícios altos (36m). O cânion de instalação do equipamento é vegetado e tem orientação SO-NE. Dista 1 km da estação meteorológica de referência,</p>
 <p>P2</p> <p>Ponto 2</p>	 <p>FVC = 0,260</p>	 <p>H/W = 2,09</p>	<p>Média densidade construída, com equilíbrio entre edifícios altos e baixos (4 a 60m). O cânion de instalação do equipamento é vegetado e tem orientação NO-SE. Dista 1,7 km da estação meteorológica de referência,</p>
 <p>P3</p> <p>Ponto 3</p>	 <p>FVC = 0,324</p>	 <p>H/W = 0,23</p>	<p>Baixa densidade construída, com predominância de edifícios baixos (7m). O cânion de instalação do equipamento é vegetado e tem orientação NO-SE. Dista 1,6 km da estação meteorológica de referência,</p>

Verifica-se, do ponto de vista de uso do solo, que o ponto 3, embora tenha predominância de edifícios baixos, já apresenta tendência de verticalização, uma vez que edifícios isolados começam a surgir na região, porém se destaca pela possibilidade de implantação de edifícios mais altos conforme prevê a legislação vigente e com isso possibilita o aumento do adensamento construído e populacional de forma mais expressiva que os pontos 1 e 2, onde já se observa uma verticalização mais acentuada.

5.2. Avaliação climática

De maneira a facilitar o entendimento, a apresentação dos resultados da avaliação climática realizada para o bairro Cambuí nos três pontos de estudo é mostrada separadamente em relação ao período de medição: inverno e verão.

5.2.1. Período de inverno

Nestas análises foram consideradas as medições do período de inverno do ano de 2015. As medições ocorreram de 18 de agosto de 2015 até 23 de setembro de 2015. Para as análises de inverno foi considerado o total de 19 dias de medição, sendo descartados os dias instáveis e aqueles onde houve ocorrência de precipitação para proceder à análise comparativa entre os pontos.

5.2.1.1. Temperatura do ar

Da Figura 21 até a Figura 23, é mostrado o comportamento da média diária da temperatura do ar, bem como o valor da média, máxima e mínima para todo o período, considerando apenas os dados relativos a dias estáveis e sem ocorrência de precipitação.

No que diz respeito à temperatura do ar média, máxima e mínima observada nos três pontos, nota-se que o ponto 3 apresentou a maior temperatura do ar máxima, 32,8°C, comparado com 31,4°C do ponto 2 e 29,6°C do ponto 1. Apesar disso, o mesmo ponto 3 apresentou a temperatura do ar mínima mais baixa, 18,2°C, seguido pelo ponto 2, com 18,9°C e 19,0°C do ponto 1. Com relação à temperatura do ar média do período, verifica-se que os pontos 1 e 2 apresentaram valores aproximados, 24,0°C e 23,9°C respectivamente, e que o ponto 3 apresentou temperatura do ar média para todo o período de 24,5°C, ligeiramente superior às demais.

Verifica-se que, como é de se esperar, ao se aproximar da estação primavera o comportamento da temperatura do ar se modifica, tendo médias mais altas.

Figura 21. Variação da temperatura do ar durante o período de medição – ponto 1.

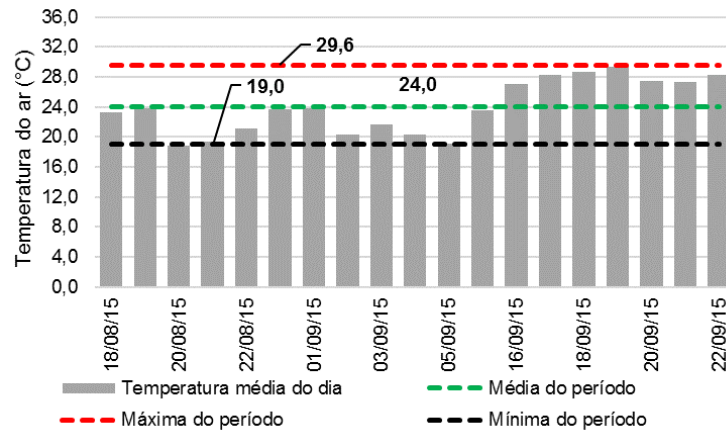


Figura 22. Variação da temperatura do ar durante o período de medição – ponto 2.

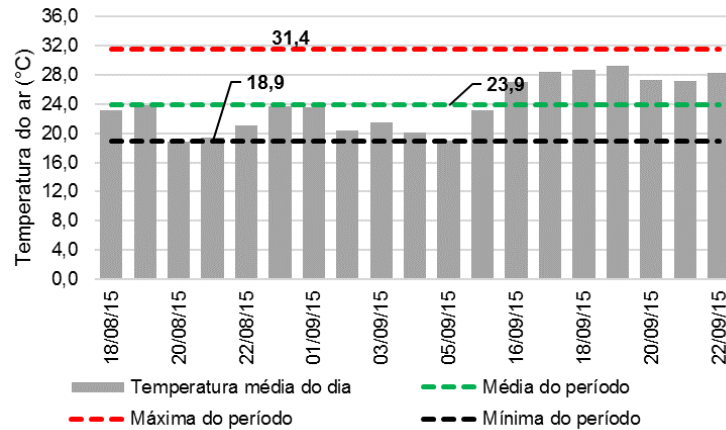
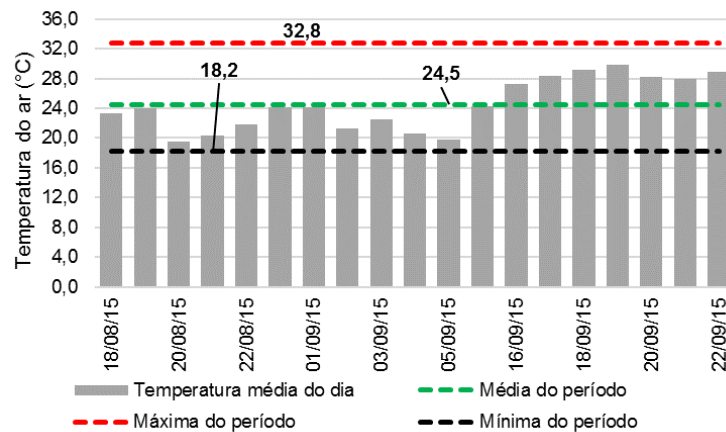


Figura 23. Variação da temperatura do ar durante o período de medição – ponto 3.

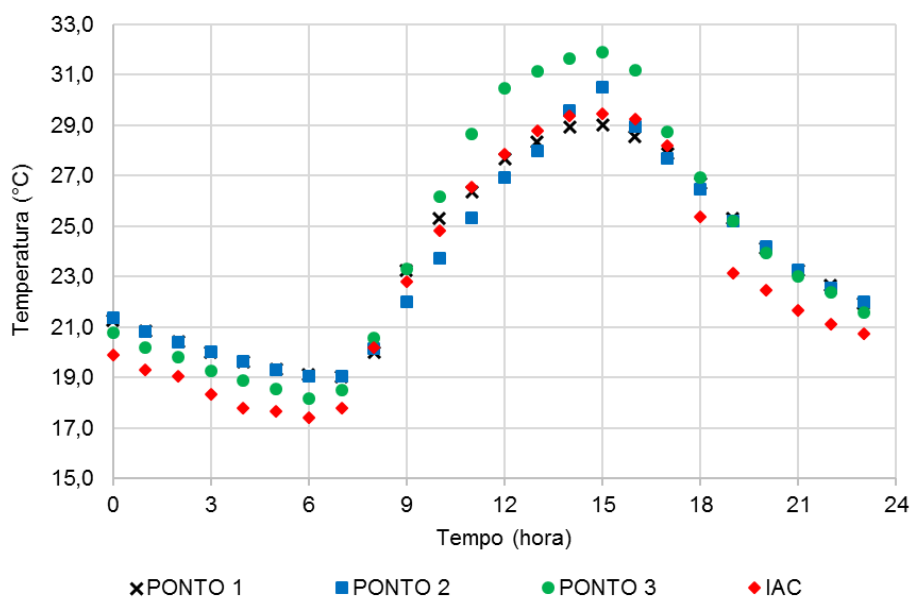


Na Figura 24 é apresentada a média horária da temperatura do ar nos pontos 1, 2 e 3 e também na estação do IAC; na Tabela 11 são apresentados os dados referentes à média, máxima, mínima e à amplitude térmica para os mesmos pontos, no intervalo descrito acima.

Tabela 11. Comparação das variáveis térmicas observadas - inverno

Variável climática	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	IAC
Temperatura do ar média (°C)	23,7	23,6	24,2	22,9
Temperatura do ar máxima (°C)	29,0	30,5	31,9	29,5
Temperatura do ar mínima (°C)	19,0	19,0	18,2	17,4
Amplitude térmica	10,0	11,5	13,7	12,1

Figura 24. Média horária da temperatura do ar nos três pontos de medição e na estação do IAC.



É possível notar que a curva de temperatura do ar do ponto 3 mostra-se diferente da observada para os pontos 1 e 2, principalmente no período entre as 10h00 e as 16h00, atingindo maior temperatura máxima acima de 31,0°C às 15h00. Além disso, a curva do ponto 3 é a que mais se aproxima da temperatura mínima observada na estação de referência do IAC, abaixo de 19,0°C às 6 da manhã. Possivelmente estas diferenças se dão por conta do maior acesso solar existente no cânion do ponto 3, permitindo que as superfícies recebam maior insolação durante o dia, e ao mesmo tempo sem barreiras excessivas que possam aprisionar o calor que é liberado durante o período de resfriamento noturno.

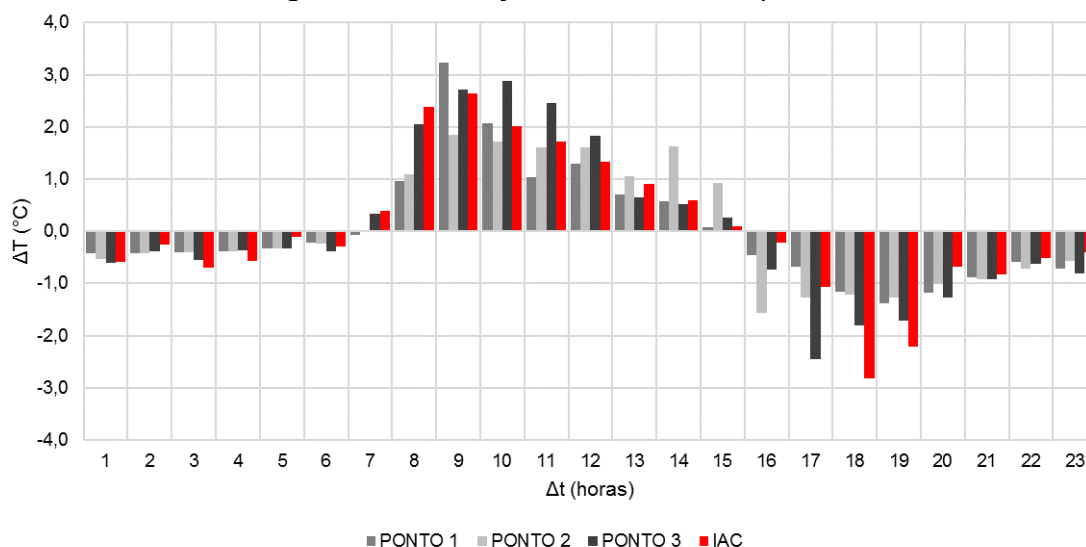
Os pontos 1 e 2 têm um comportamento muito semelhante, diferenciando-se ligeiramente no intervalo das 10 às 17 horas, em que a curva do ponto 2 mostra-se superior. Isso acontece provavelmente pelo fato de se tratar de um cânion sem vegetação, não podendo então contar com os efeitos da evapotranspiração e demais trocas térmicas realizadas.

A curva de temperatura da estação de referência do IAC tem comportamento bastante semelhante ao observado para os três pontos localizados

no bairro Cambuí, apresentando, entretanto, temperatura do ar mínima mais baixa, de 17,4°C, às 6 da manhã e temperatura do ar máxima próxima à dos pontos 1 e 2, de 29,5°C, às 15 horas. A menor amplitude térmica foi observada para o ponto 1, que possui vegetação no cânion, associada a edifícios altos.

A Figura 25 apresenta os valores da diferença térmica horária (diferença de temperatura observada a cada intervalo de uma hora para cada um dos pontos observados) observada na temperatura do ar de cada ponto. Os pontos com as maiores taxas de aquecimento foram o 1 e o 3. O ponto 1 apresentou a taxa de aquecimento mais alta entre 8 e 9 horas, com valor de 3,2 °C/h. Já o ponto 3 teve sua maior taxa de aquecimento, de 2,9°C/h, entre 9 e 10 horas. A maior taxa de resfriamento, por outro lado, foi observada para o ponto 3, mais aberto e com presença de vegetação no cânion, com valor de 2,5°C/h.

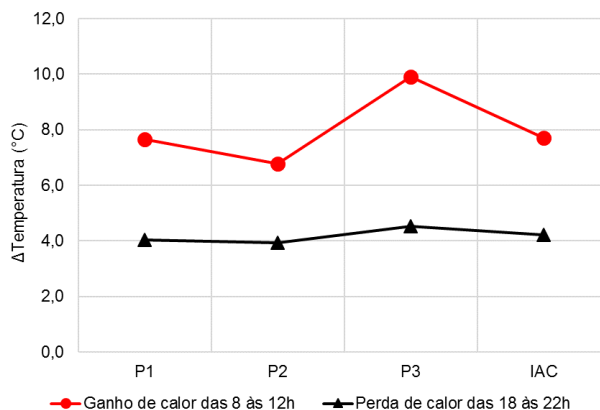
Figura 25. Diferença térmica em cada ponto.



Entre 18 e 22 horas os pontos 1 e 2 apresentaram taxas de resfriamento muito próximas. A estação do IAC mostrou comportamento diferente dos demais pontos, com taxas de resfriamento elevadas, pelo fato de se encontrar em uma região mais isolada, sem grandes interferências de pavimentação e edificações.

Na Figura 26 é possível observar para cada ponto e para a estação IAC o aquecimento que ocorre no intervalo entre 8:00 e 12:00 (diferença da temperatura do ar observada às 12h e às 8h) e o resfriamento que ocorre no período entre 18:00 e 22:00 (diferença da temperatura do ar observada às 22h e às 18h), horários em que estes fenômenos mostram-se mais acentuados.

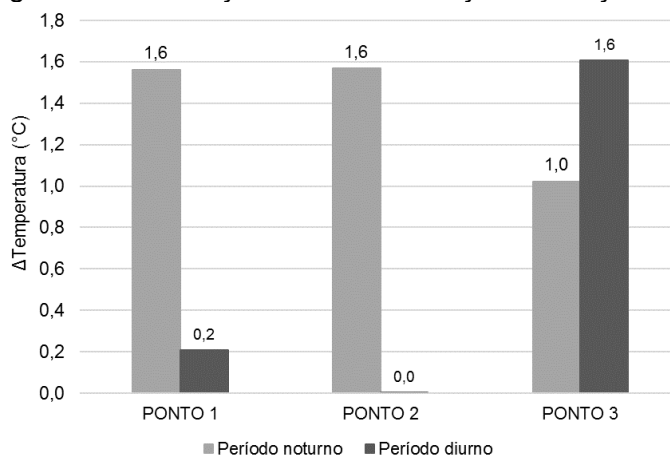
Figura 26. Aquecimento e resfriamento em cada ponto.



Verifica-se que o ponto 3 apresenta aquecimento mais acentuado, próximo dos 10°C, ao passo que os demais pontos apresentam aquecimento inferior a 8°C no mesmo período. Quanto ao resfriamento, este se mostra mais equilibrado entre os três pontos, ficando em torno dos 4°C.

Considerando a média dos valores horários da temperatura do ar diurnos, das 7h às 19h, e noturnos, das 19h às 7h, verifica-se que há diferença térmica entre a estação de referência e as áreas estudadas nos dois períodos (Figura 27). Durante a noite a intensidade dessas diferenças nas áreas estudadas é de 1,6°C para os pontos 1 e 2 e de 1,0°C para o ponto 3, que é o mais aquecido. Durante o dia essa diferença de intensidade entre as áreas estudadas ocorre apenas para os pontos 1 e 3, sendo de 0,2°C e 1,6°C, respectivamente.

Figura 27. Diferença térmica em relação à estação IAC.



A Figura 28 até a Figura 31 a seguir apresenta os gráficos de temperatura do ar para os dias de medição, descartando os dias instáveis e com ocorrência de precipitação, dos três pontos do bairro Cambuí e da estação do IAC.

Figura 28. Variação da temperatura do ar no IAC.

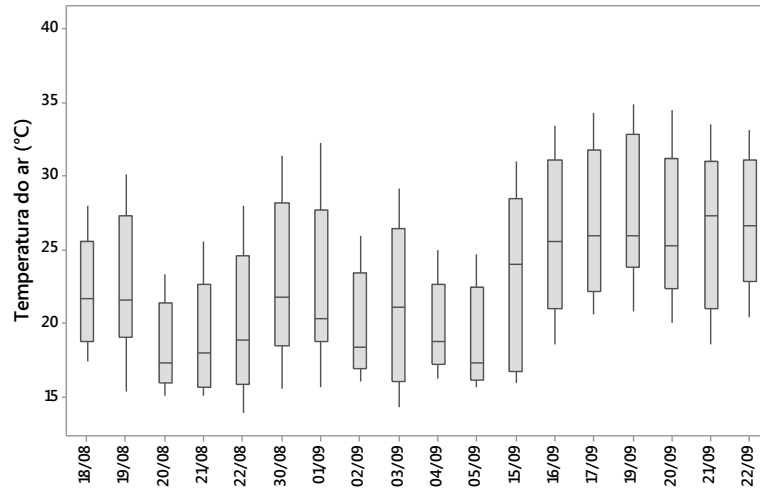


Figura 29. Variação da temperatura do ar no ponto 1.

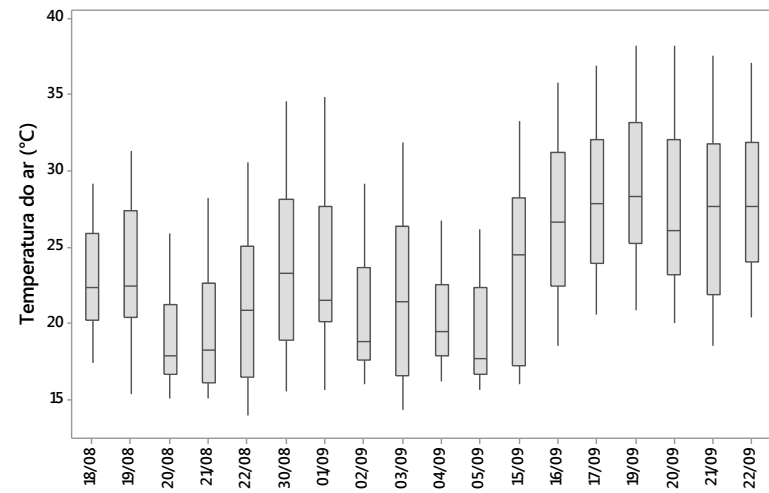


Figura 30. Variação da temperatura do ar no ponto 2.

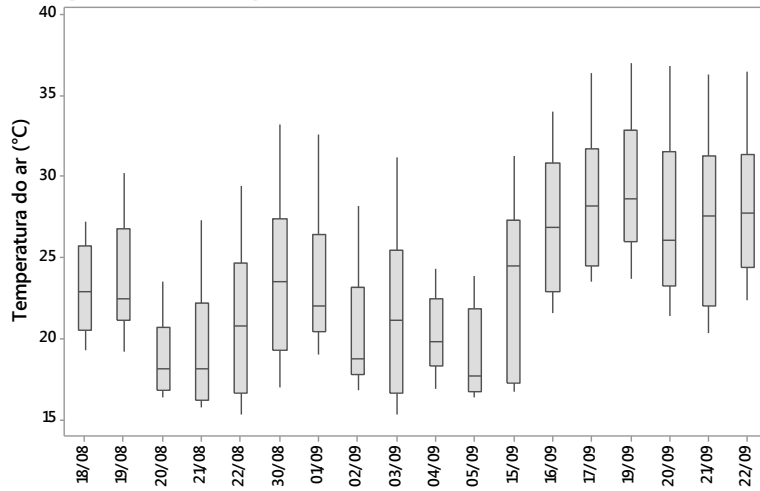
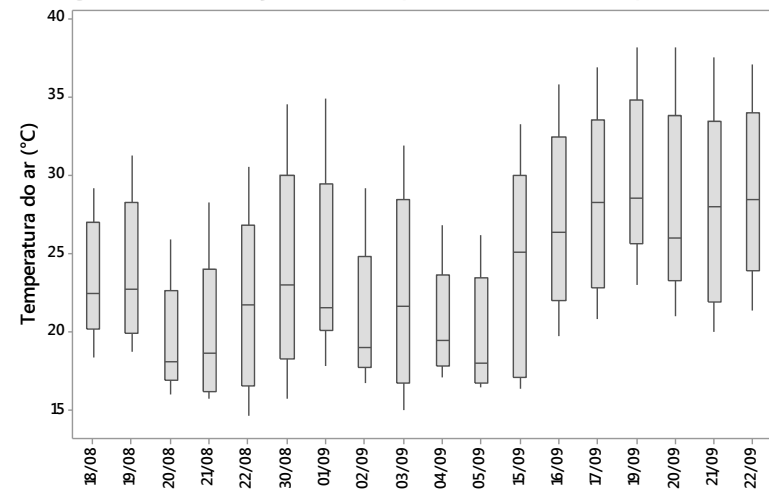


Figura 31. Variação da temperatura do ar no ponto 3.



5.2.1.2. Umidade relativa do ar

A Figura 32 até a Figura 34 apresenta o comportamento da média diária da umidade relativa do ar no período de medição de inverno, que ocorreu de 18/08/2015 a 23/09/2015, bem como o valor da média, máxima e mínima.

No que diz respeito à umidade relativa do ar média, máxima e mínima observada para todo o período nos três pontos, nota-se que o ponto 3 apresentou a maior umidade máxima, 74,0%, comparado com 70,8% do ponto 1 e 70,6% do ponto 2. Apesar disso, o mesmo ponto 3 apresentou a umidade mínima mais baixa, 29,5%, comparado com 31,5% do ponto 2 e 33,1% do ponto 1. Com relação à umidade média do período, verifica-se que houve pouca variação, tendo sido observada uma diferença máxima de 0,3% entre eles, e a maior umidade média no ponto 3.

Figura 32. Variação da umidade relativa durante o período de medição – ponto 1.

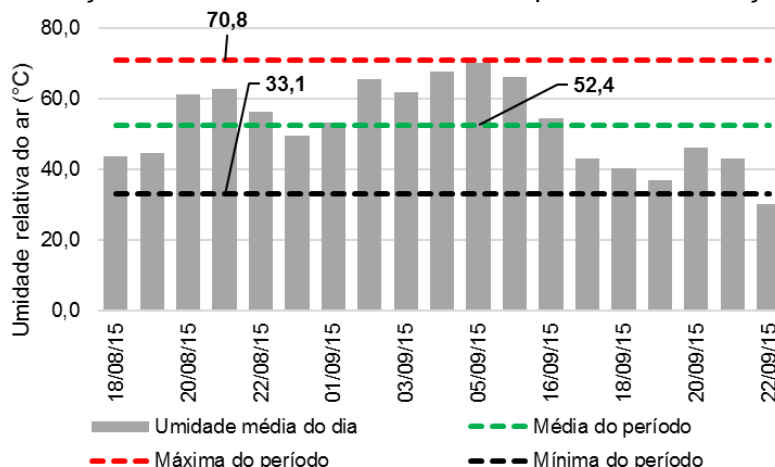


Figura 33. Variação da umidade relativa durante o período de medição – ponto 2.

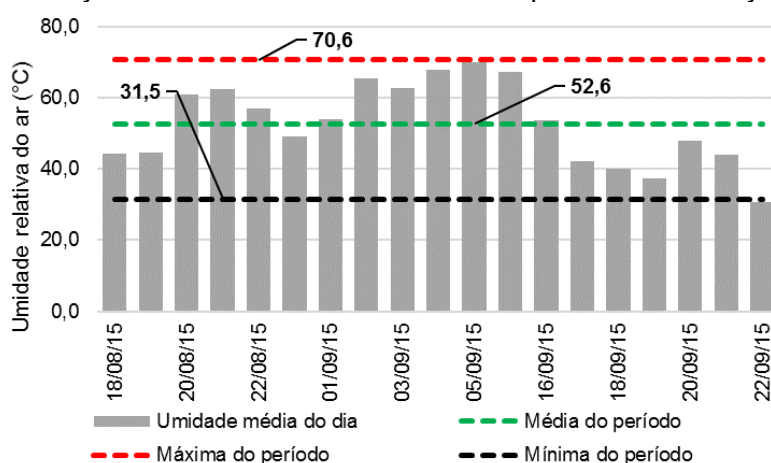
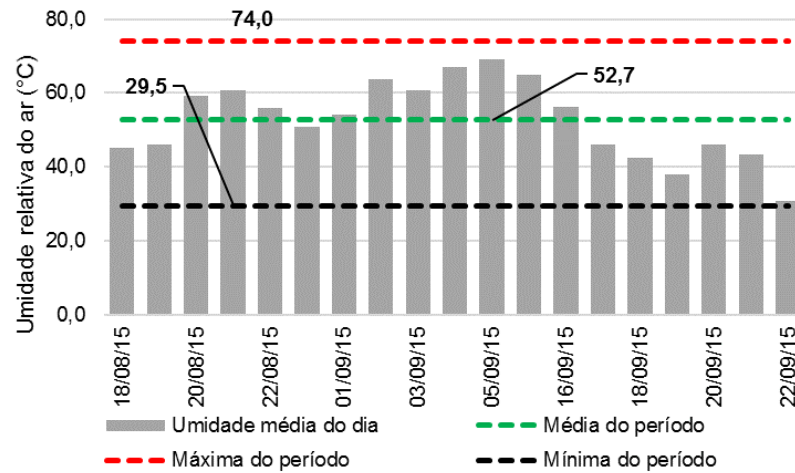


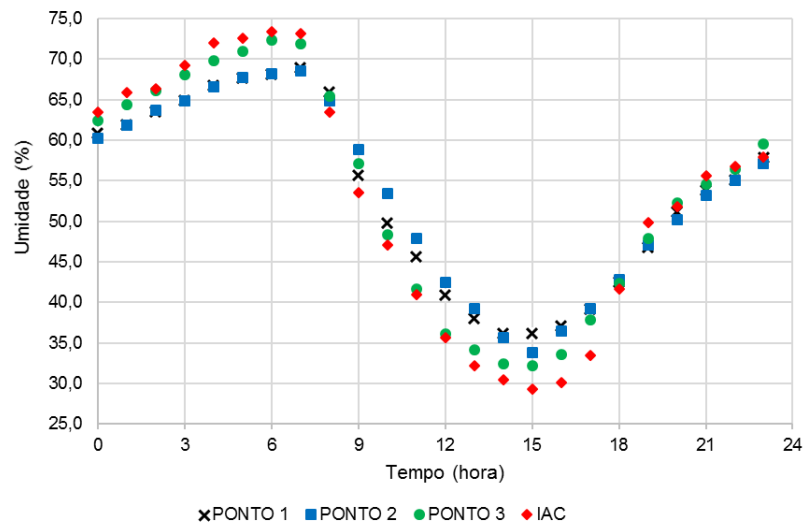
Figura 34. Variação da umidade relativa durante o período de medição – ponto 3.



Da mesma forma como observado para a temperatura do ar, verifica-se que, ao se aproximar da estação primavera, o comportamento da umidade relativa do ar se modifica, tendo médias mais baixas. No final do mês de agosto, e no início do mês de setembro percebe-se um aumento nos valores das médias de umidade, o que está associado à ocorrência de precipitação. A verificação dos dias chuvosos e instáveis foi feita por meio do acompanhamento dos boletins climáticos e dados de precipitação registrados pela estação meteorológica de referência do IAC.

Nos intervalos dos dias 18 a 22 e 30 de agosto, 1 a 5 e 15 a 22 de setembro os dias foram estáveis, sem ocorrência de precipitação. Na Figura 35 é apresentada a média horária da umidade relativa do ar nos pontos 1, 2 e 3 e também na estação do IAC, considerando o intervalo de medições descrito acima.

Figura 35. Média horária da umidade relativa do ar nos três pontos de medição e no IAC.



É possível notar que a curva do ponto 3 destaca-se dos outros dois pontos em alguns horários, entre as 23h00 e as 7h00 e entre as 11h00 e as 14h00, atingindo a umidade relativa do ar mínima mais baixa, próxima de 30,0%, às 15 horas e a maior umidade relativa do ar máxima, acima de 70,0%, às 6 horas. Novamente o ponto localizado no IAC apresentou comportamento da curva diferenciado, apresentando máxima umidade relativa do ar às 6 horas e mínima às 15 horas. Porém, verifica-se que todos os quatro pontos observados tendem a uma umidade relativa do ar muito próxima no intervalo entre 18 e 23 horas.

A Figura 36 até a Figura 39 apresenta os gráficos de umidade relativa do ar ao longo do período de 18/08/2015 a 22/09/2015 para os dias estáveis de medição, dos pontos do bairro Cambuí e da estação do IAC.

5.2.1.2.1. Escolha do dia típico de inverno para simulação

O dia 21/08/2015 apresentou a menor temperatura do ar mínima para todos os pontos da área de estudo; sua temperatura média também ficou dentre as mais baixas, bem como a temperatura do ar máxima, além de ter apresentado a maior umidade relativa média, como é de se esperar de um dia típico de inverno. Nota-se uma tendência de aquecimento com a aproximação do final da estação de inverno, e que o comportamento da curva dos três pontos de observação no bairro é muito similar ao que foi observado na estação de referência do IAC.

Além disso, o ponto 3 apresentou características climáticas e urbanísticas de uso e ocupação do solo diferenciadas dos outros 2 pontos estudados na região. Devido à baixa ocupação (edificações de até sete metros de altura), à baixa relação altura largura do cânion (0,23) e ao maior fator de visão do céu (0,32), o cânion deste ponto tem como característica um maior acesso solar. Estas características estão intimamente relacionadas com o microclima do cânion urbano, refletindo no maior aquecimento do mesmo, o qual foi verificado pelas temperaturas do ar mais altas obtidas no cânion do ponto 3 no período de aquecimento.

Figura 36. Variação da umidade relativa do ar no IAC.

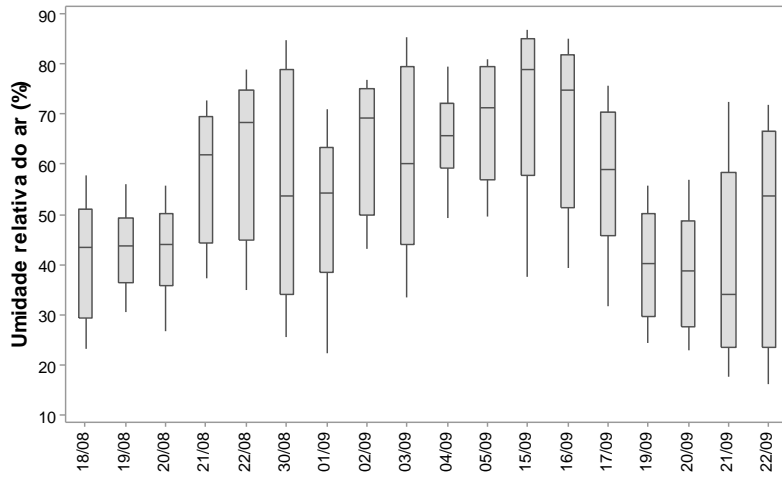


Figura 37. Variação da umidade relativa do ar no ponto 1.

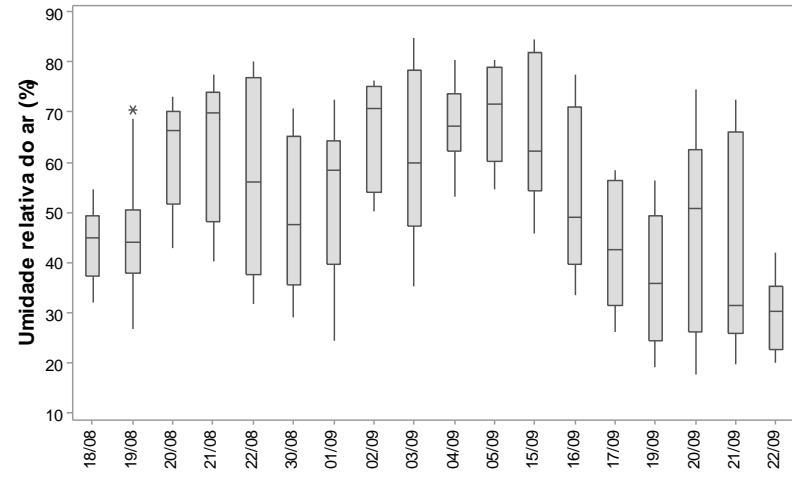


Figura 38. Variação da umidade relativa do ar no ponto 2.

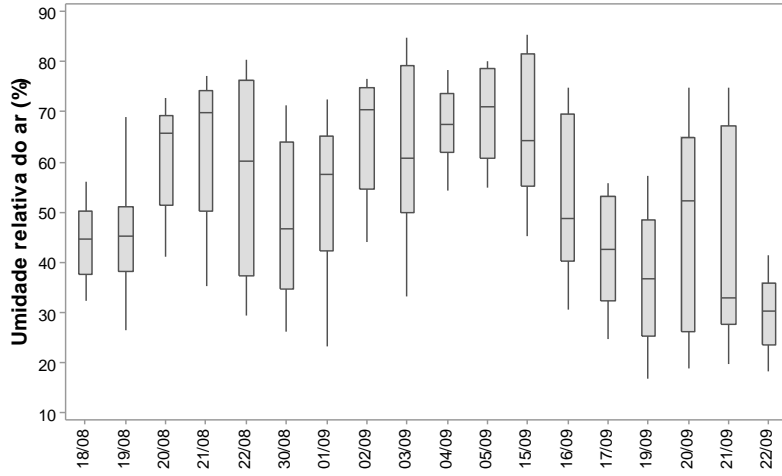
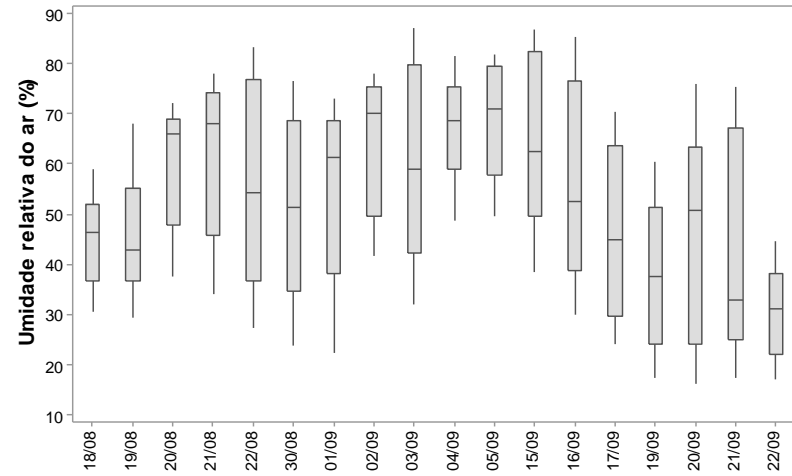


Figura 39. Variação da umidade relativa do ar no ponto 3.



5.2.2. Período de verão

Para as análises do período de verão foram consideradas as medições do ano de 2016. As medições ocorreram de 4 de janeiro de 2016 até 21 de março de 2016. Foi considerado o total de 12 dias de medição, sendo descartados os dias instáveis e aqueles em que houve ocorrência de precipitação para proceder à análise comparativa entre os pontos.

5.2.2.1. Temperatura do ar

Da Figura 40 até a Figura 42 é mostrado o comportamento da média diária da temperatura do ar, bem como o valor da média, máxima e mínima para todo o período, desconsiderando os dados relativos a dias instáveis e com ocorrência de precipitação.

No que diz respeito à temperatura do ar média, máxima e mínima observada nos três pontos, nota-se que o ponto 3 apresentou a maior temperatura máxima, 31,7°C, comparado com 30,4°C do ponto 2 e 29,6°C do ponto 1. As temperaturas mínimas nos três pontos foram muito semelhantes. Não foram observadas grandes variações entre as médias de temperatura diária nos três pontos, uma vez que os gráficos apresentados revelam certa estabilidade, sendo que apenas os dias 07 de janeiro e 19 de março se sobressaem aos demais por alcançarem médias mais altas no período.

Figura 40. Variação da temperatura do ar durante o período de medição – ponto 1.

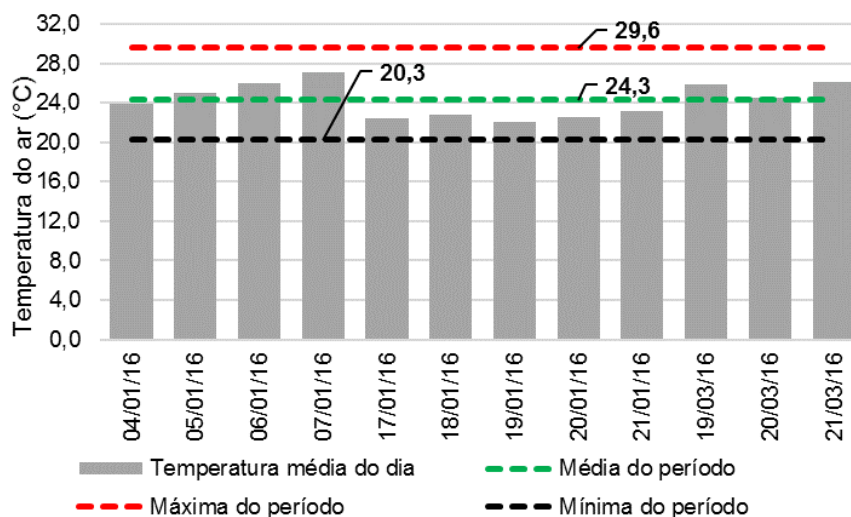


Figura 41. Variação da temperatura do ar durante o período de medição – ponto 2.

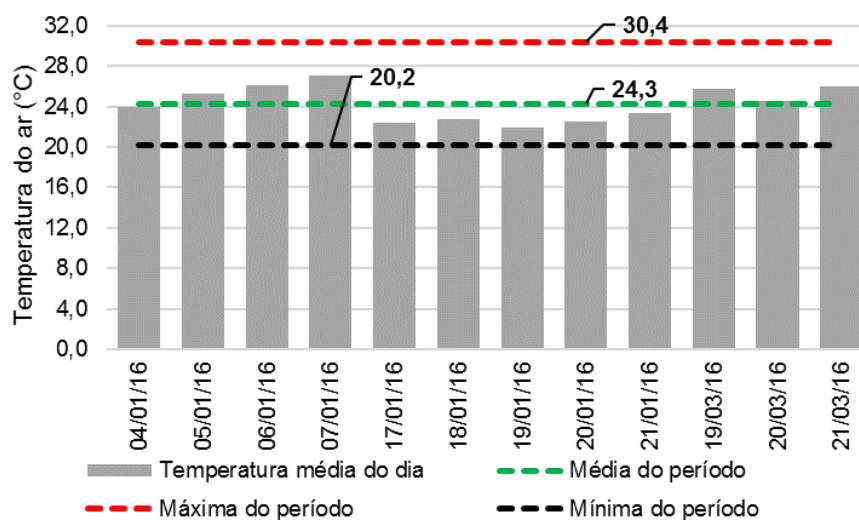
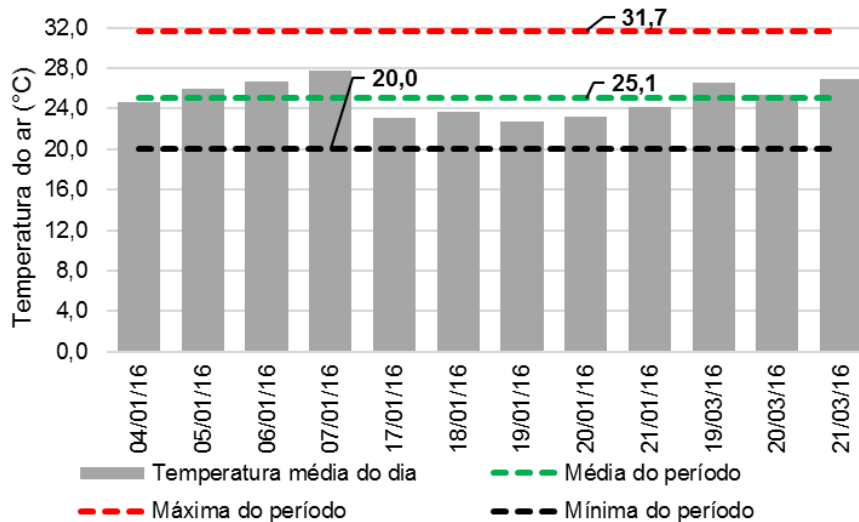


Figura 42. Variação da temperatura do ar durante o período de medição – ponto 3.

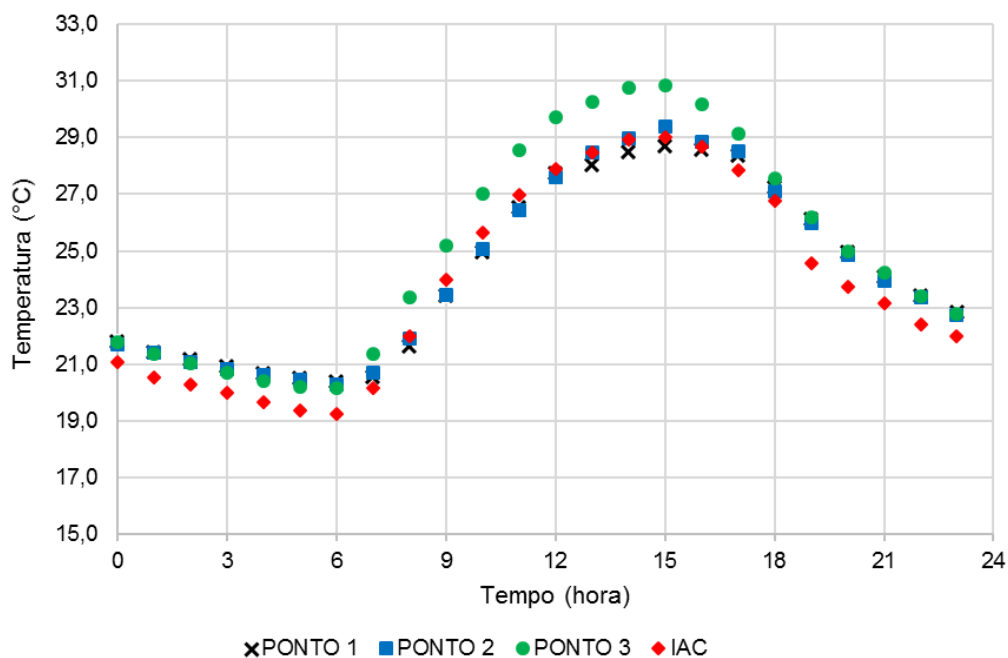


Na Figura 43 é apresentada a média horária da temperatura do ar nos pontos 1, 2 e 3 e também na estação do IAC; na Tabela 12 são apresentados os dados referentes à média, máxima, mínima e à amplitude térmica para os mesmos pontos, no intervalo descrito acima.

Tabela 12. Comparação das variáveis térmicas observadas – verão.

Variável climática	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	IAC
Temperatura do ar média (°C)	24,6	24,3	25,1	23,9
Temperatura do ar máxima (°C)	28,7	29,4	30,8	29,0
Temperatura do ar mínima (°C)	20,4	20,3	20,2	19,3
Amplitude térmica	8,3	9,1	10,7	9,8

Figura 43. Média horária da temperatura do ar nos três pontos de medição e na estação do IAC.

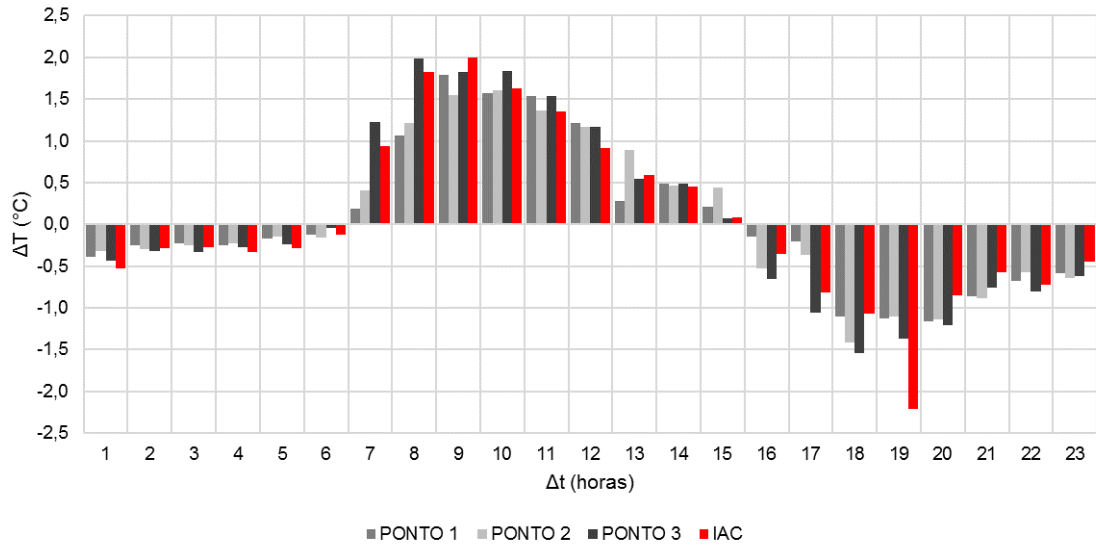


É possível notar que a curva do ponto 3 mostra-se diferente da observada para os outros dois pontos no horário das 8h00 às 16h00. Atinge, entretanto, temperatura mínima muito próxima à dos pontos 1 e 2, pouco acima dos 20,0°C, às 6 horas da manhã. A temperatura máxima, por sua vez, é novamente o destaque, atingindo 30,8°C às 15h00, ao passo que os demais pontos não alcançam os 30,0°C neste mesmo horário. Mais uma vez, estas diferenças podem ser justificadas pelo maior acesso solar existente no cânion, permitindo que as superfícies recebam maior insolação durante o dia, mas sem barreiras excessivas que possam aprisionar o calor que é liberado durante o período de resfriamento noturno.

A curva de temperatura da estação de referência do IAC tem comportamento bastante semelhante ao observado para os três pontos localizados no bairro Cambuí, apresentando temperatura mínima ligeiramente abaixo, de 19,3°C às 6 horas da manhã e temperatura máxima muito próxima à dos pontos 1 e 2, 29,0°C às 15 horas.

A Figura 44 apresenta os valores da diferença térmica horária observada na temperatura do ar de cada ponto. O ponto 3 destaca-se com maiores taxas de aquecimento, atingindo 2,0°C/h no intervalo entre 7 e 8 horas da manhã e também a maior taxa de resfriamento, com um valor de 1,5°C/h entre 17 e 18 horas.

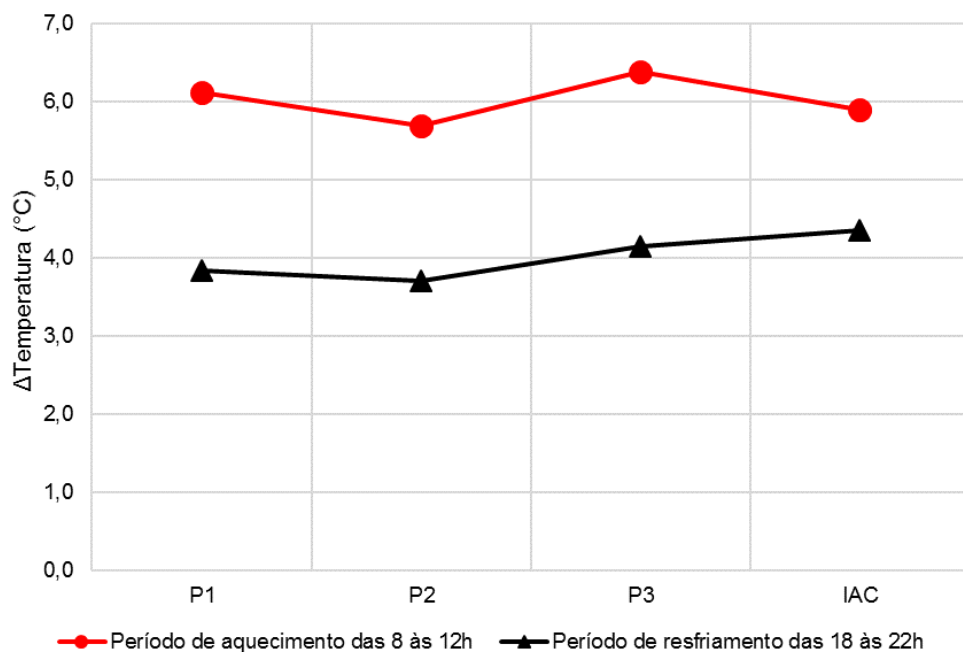
Figura 44. Diferença térmica horária em cada ponto.



A estação do IAC mostrou comportamento semelhante ao dos pontos, apresentando resfriamento acentuado entre 18 e 19 horas, $2,2^{\circ}\text{C}/\text{h}$, e aquecimento mais significativo no intervalo entre 8 e 9 horas, $2,0^{\circ}\text{C}/\text{h}$.

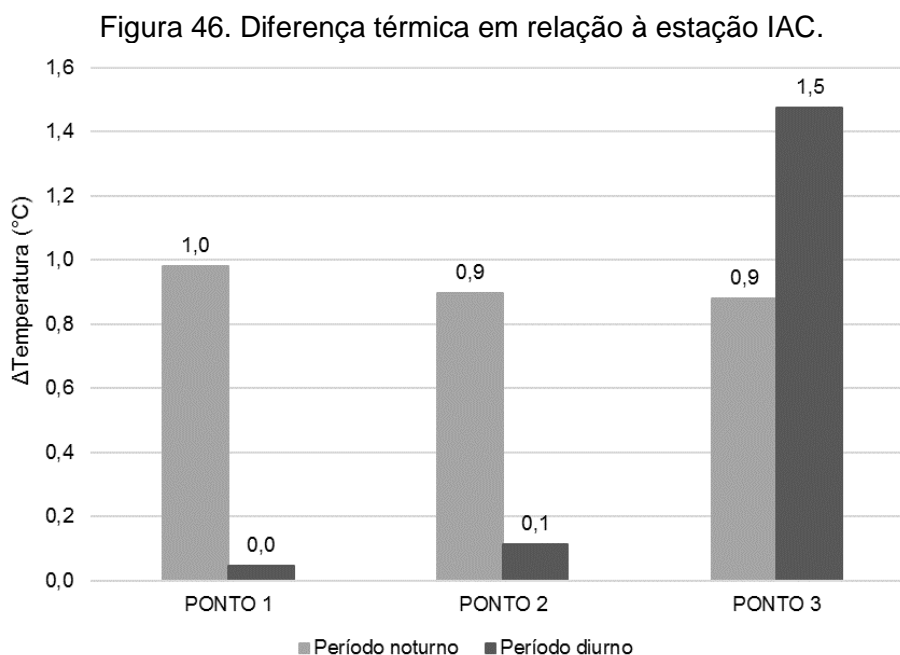
Na Figura 45 é possível observar para cada ponto e para a estação IAC o aquecimento no intervalo entre 8 e 12 horas (diferença da temperatura do ar observada às 12h e às 8h) e o resfriamento, que ocorre no período de 18 a 22 horas (diferença da temperatura do ar observada às 22h e às 18h), horários em que estes fenômenos se mostram-se mais acentuados.

Figura 45. Aquecimento e resfriamento em cada ponto.



Verifica-se que o aquecimento no período de verão é muito similar entre todos os pontos, ficando em torno dos 6°C. Já o resfriamento mostra-se mais acentuado para a estação do IAC, que está localizada em campo aberto, sem influência de superfícies ou vegetação que possam armazenar calor.

Considerando a média dos valores horários da temperatura do ar diurnos, das 7h às 19h, e noturnos, das 19h às 7h, verifica-se que há diferença térmica entre a estação IAC e as áreas estudadas nos dois períodos (Figura 46). Para os pontos 1 e 2 a diferença térmica em relação à estação de referência do IAC é mais acentuada no período noturno, atingindo 1,0°C e 0,9°C, respectivamente. Já no período diurno, para estes mesmos pontos, a diferença é bem menos significativa, sendo de 0,1°C para os pontos 1 e 2. Em contrapartida, o ponto 3 apresenta diferenças térmicas em relação à estação de referência do IAC significativas nos dois períodos: 0,9°C no período noturno e 1,5°C no período diurno.



A Figura 47 até a Figura 50 a seguir apresenta os gráficos de temperatura do ar para os dias de medição, descontando os dias instáveis e com ocorrência de precipitação, dos três pontos do bairro Cambuí e da estação do IAC.

Figura 47. Variação da temperatura do ar no IAC.

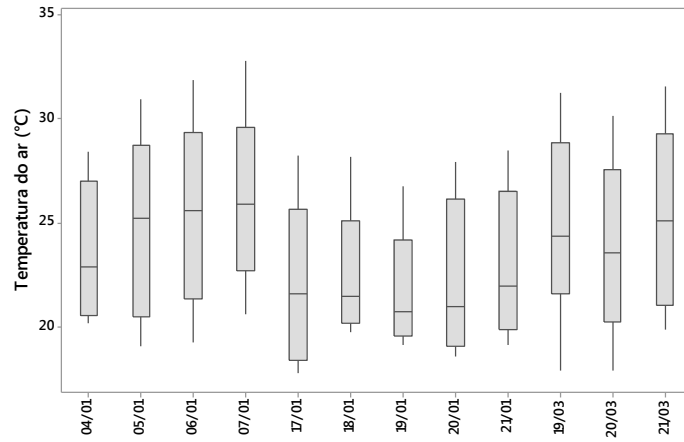


Figura 48. Variação da temperatura do ar no ponto 1.

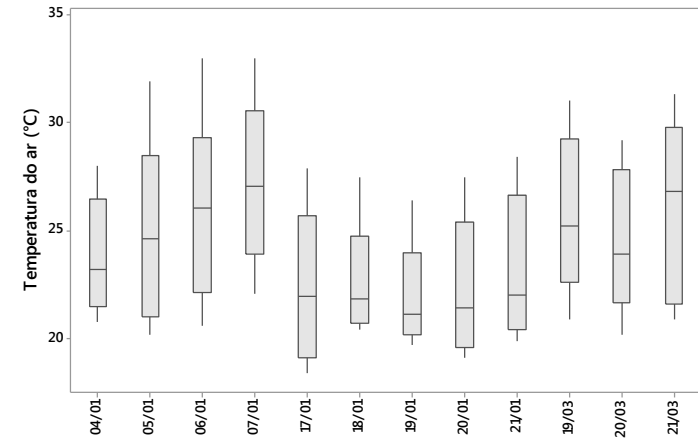


Figura 49. Variação da temperatura do ar no ponto 2.

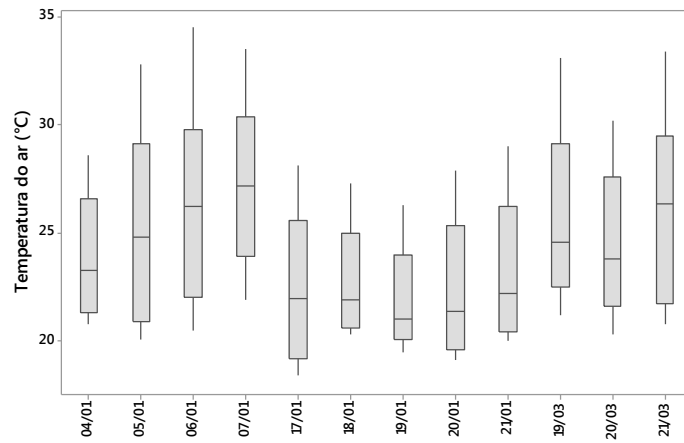
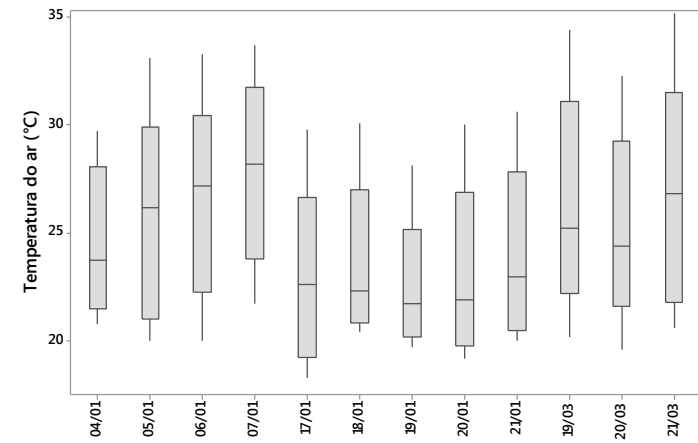


Figura 50. Variação da temperatura do ar no ponto 3.



5.2.2.2. Umidade relativa do ar

A Figura 51 até a Figura 53 apresenta o comportamento da média diária da umidade relativa do ar no período de medição de verão, que ocorreu de 04/01/2016 a 21/03/2016, bem como o valor da média, máxima e mínima.

Figura 51. Variação da umidade relativa do ar durante o período de medição – ponto 1.

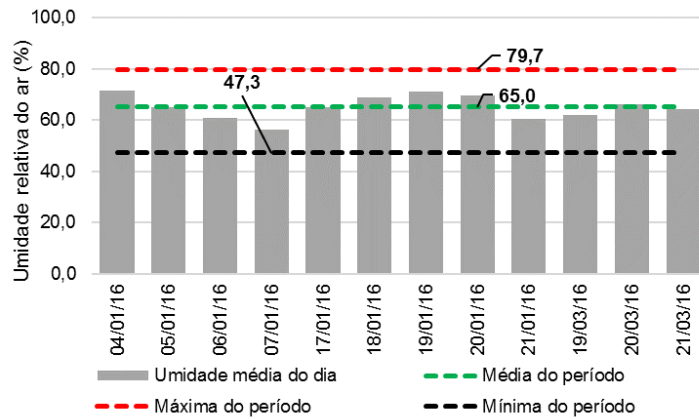


Figura 52. Variação da umidade relativa do ar durante o período de medição – ponto 2.

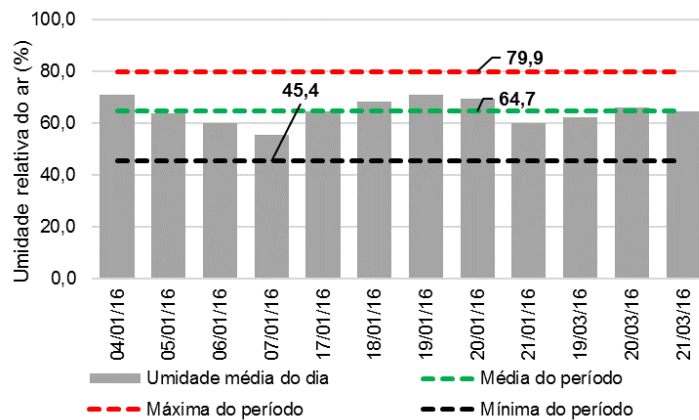
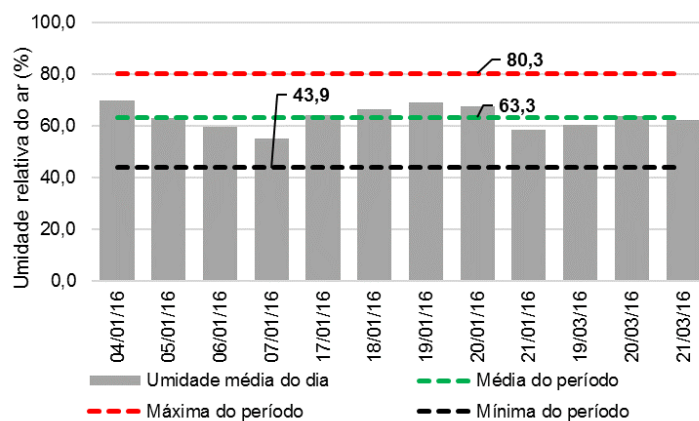


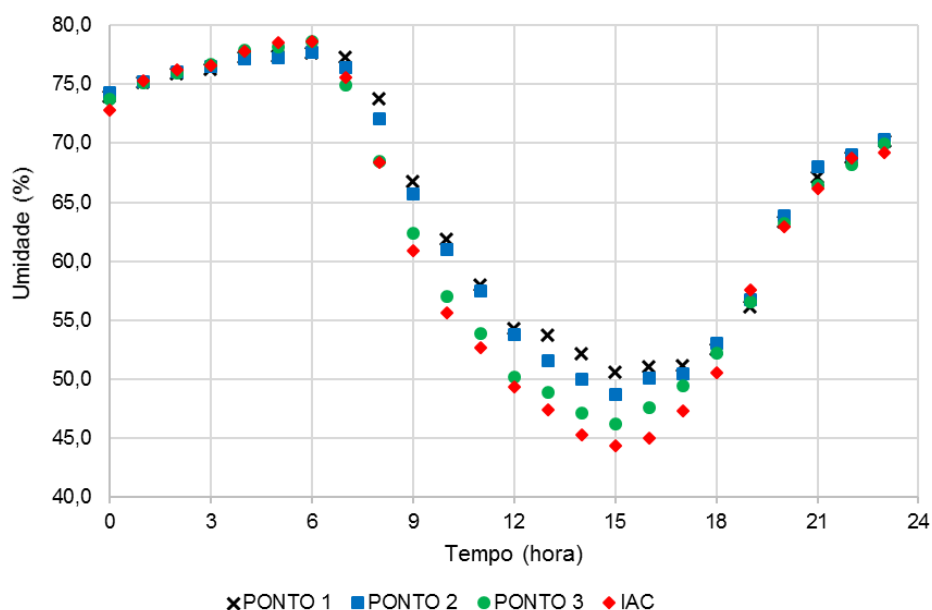
Figura 53. Variação da umidade relativa do ar durante o período de medição – ponto 3.



No que diz respeito à umidade relativa do ar média, máxima e mínima observada para todo o período nos três pontos, nota-se que o ponto 3 apresentou a maior umidade máxima, 80,3%, comparado com 79,9% do ponto 2 e 79,7% do ponto 1. Apesar disso, o mesmo ponto 3 apresentou a umidade mínima mais baixa, 43,9%, comparado com 45,4% do ponto 2 e 47,3% do ponto 1. Com relação à umidade média do período, verifica-se que houve variação mais significativa do que se observou para o período de inverno, tendo sido observada uma diferença máxima de 1,8% entre eles e a maior umidade média no ponto 1.

Na Figura 54 é apresentada a média horária da umidade relativa do ar nos pontos 1, 2 e 3 e também na estação do IAC, considerando o intervalo de medições descrito acima.

Figura 54. Média horária da umidade relativa do ar nos três pontos de medição e no IAC.



É possível notar que o ponto 3 apresenta a curva mais discrepante, quando em comparação com os outros dois pontos localizados no bairro, atingindo a umidade relativa do ar mínima mais baixa, próxima de 45%, às 15 horas. A umidade relativa do ar máxima ocorre às 6 horas e fica próxima dos 80%. O ponto localizado no IAC apresentou comportamento da curva semelhante aos demais pontos, no que se refere à umidade relativa do ar máxima. No entanto, a umidade relativa do ar mínima alcançada pela estação de referência ficou abaixo dos 45,0%, diferenciando-se dos pontos medidos no bairro Cambuí.

A Figura 55 até a Figura 58 apresenta os gráficos de umidade relativa do ar ao longo do período de 04/01/2016 a 21/03/2016, para os dias estáveis de medição, dos pontos do bairro Cambuí e da estação do IAC.

5.2.2.2.1. Escolha do dia típico de verão para simulação

Verifica-se que o dia 07/01/2016 apresentou a maior temperatura do ar mínima para todos os pontos do bairro; sua temperatura média também foi a mais alta, bem como a temperatura máxima, além de ter apresentado umidade média mais baixa, como é de se esperar de um dia típico de verão.

Mais uma vez, assim como observado para o período de inverno o ponto 3 apresentou características climáticas e urbanísticas de uso e ocupação do solo diferenciadas dos outros dois pontos estudados na região, justificando seu emprego como base para as simulações computacionais.

Figura 55. Variação da umidade relativa do ar no IAC.

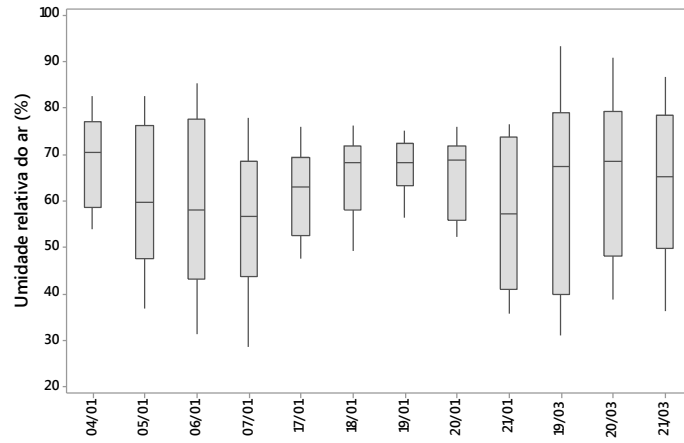


Figura 56. Variação da umidade relativa do ar no ponto 1.

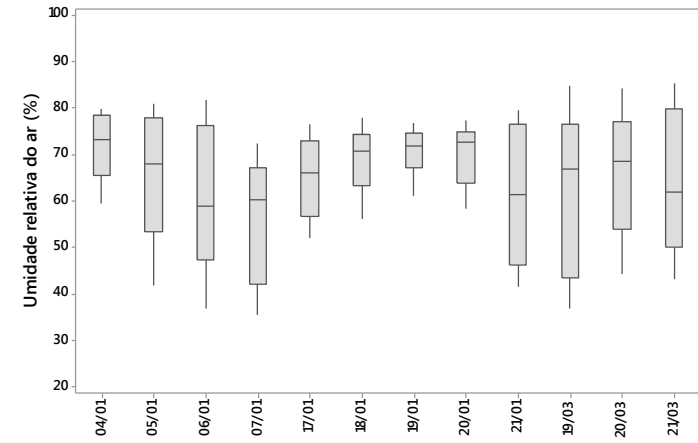


Figura 57. Variação da umidade relativa do ar no ponto 2.

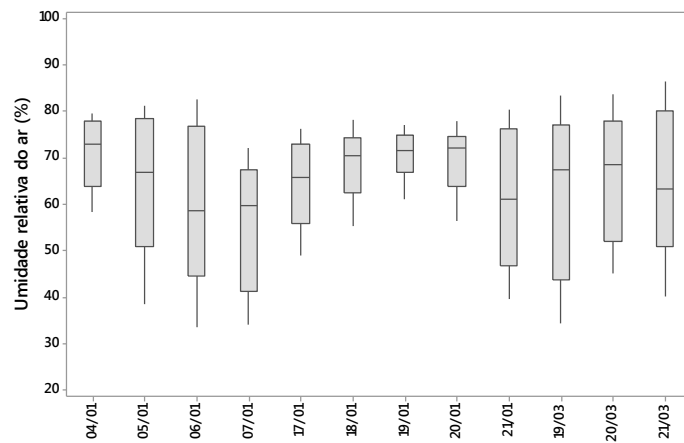
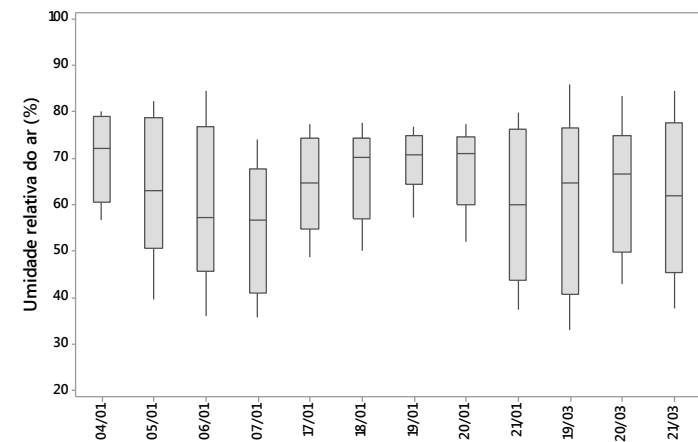


Figura 58. Variação da umidade relativa do ar no ponto 3.



5.3. Análise dos cenários

Uma vez escolhido o cânion representativo do bairro Cambuí, o ponto P03, com possibilidade real de adensamento urbano, e definidos os dias típicos de inverno e verão (21/08/2015 e 07/01/2016), com base nas análises climáticas, foi realizada a calibração do modelo que resultou em boa confiabilidade para reproduzir as características climáticas do local. Desta forma, foi possível simular os cenários propostos no capítulo 4.

Conforme descrito anteriormente, foram simulados dois conjuntos de cenários: um respeitando os requisitos da legislação e variando a relação altura largura (H/W) do cânion e a taxa de ocupação do lote; o outro investigando a geometria do cânion e variando as relações altura e largura e comprimento e altura (L/H). No primeiro conjunto de cenários também foi investigada a influência do rotacionamento do cânion, em quatro diferentes orientações (N-S, NE-SO, L-O e NO-SE) sobre as condições climáticas e o conforto térmico do pedestre.

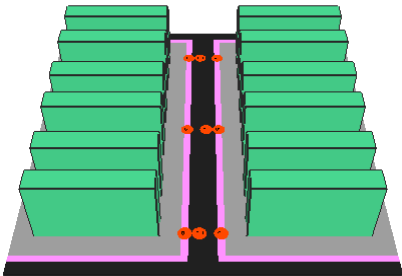
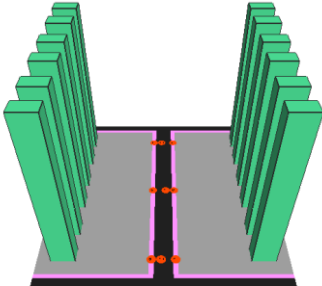
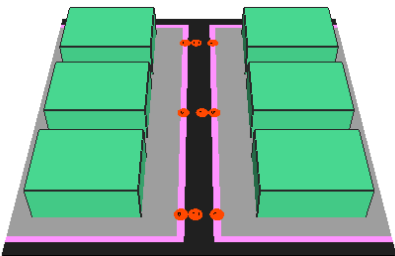
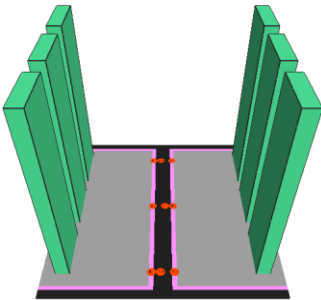
Ambos os conjuntos de cenários foram simulados para as estações de inverno e verão. Verificou-se pelas análises dos dados observacionais que o dia 21 de agosto de 2015 teve destaque (apresentando média de temperatura de 20,3°C, temperatura mínima média de 15,7°C e máxima média de 28,3°C) no período de medições. Sendo assim, este dia foi utilizado como referência para as análises do período de inverno. Já para o período de verão, o dia 7 de janeiro de 2016 se destacou (apresentando média de temperatura do ar igual a 27,7°C, temperatura mínima média de 21,7°C e máxima média de 33,7°C) sendo utilizado como referência para as análises do período de verão.

5.3.1. Análise da legislação vigente

O Quadro 14 detalha os cenários respeitando a legislação.

Os cenários 1 e 3 são de máxima taxa de ocupação, e os cenários 2 e 4 de máxima relação H/W. Os cenários 1 e 2 possuem seis lotes por quadra com testada de 15 metros; já os cenários 3 e 4 possuem três lotes por quadra com testada de 30 metros.

Quadro 14. Detalhamento dos cenários respeitando a legislação (continua).

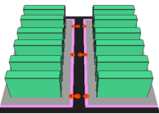
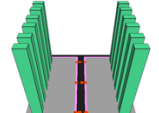
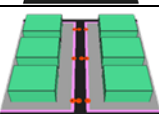
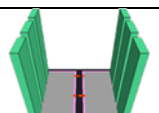
Ilustração	Parâmetro	Adotado
<p>Vista cenário 1</p> 	Coeficiente aproveitamento	2,24
	Taxa de ocupação	0,34
	Recuo frontal – R (m)	6,0
	Altura total da edificação- H (m)	20
	Área lote (m ²)	675
	Área construída (m ²)	231
	Testada (m)	15
	Largura do cânion (W) (m)	26
	Relação altura e largura do cânion (H/W)	0,75
	<p>Vista cenário 2</p> 	Coeficiente aproveitamento
Taxa de ocupação		0,10
Recuo frontal – R (m)		29
Altura total da edificação- H (m)		72
Área lote (m ²)		675
Área construída (m ²)		70
Testada (m)		15
Largura do cânion (W) (m)		72
Relação altura e largura do cânion (H/W)		1
<p>Vista cenário 3</p> 		Coeficiente aproveitamento
	Taxa de ocupação	0,49
	Recuo frontal – R (m)	9
	Altura total da edificação- H (m)	12
	Área lote (m ²)	1350
	Área construída (m ²)	660
	Testada (m)	30
	Largura do cânion (W) (m)	32
	Relação altura e largura do cânion (H/W)	0,39
	<p>Vista cenário 4</p> 	Coeficiente aproveitamento
Taxa de ocupação		0,10
Recuo frontal – R (m)		33
Altura total da edificação- H (m)		80
Área lote (m ²)		1350
Área construída (m ²)		132
Testada (m)		30
Largura do cânion (W) (m)		80
Relação altura e largura do cânion (H/W)	1	

Para todos os cenários foram respeitados os recuos mínimos permitidos pela Lei de Uso e Ocupação do Solo de Campinas (Lei nº 6031 de 29 de dezembro de 1988), de 6 metros para fundos e 4 metros para cada uma das laterais. Foi também considerada para todos os cenários a média do bairro Cambuí para a largura da via e da calçada, sendo estas de 8 e 3 metros, respectivamente.

Serão apresentados a seguir os resultados obtidos para o período de inverno e de verão, tomando como base a média dos valores de cada variável climática, obtida para todos os 9 receptores colocados no cânion em estudo.

A Tabela 13 indica os valores médios encontrados para cada variável no período de inverno. Analisando a temperatura do ar (T_a) a 1,5 metros nos cenários 1 a 4, verifica-se que a orientação NO-SE (cânion rotacionado 135° para a direita) alcança pico de T_a cerca de $0,5^\circ\text{C}$ mais elevado que as demais orientações nos cenários observados. Além disso, fica evidente que o cenário 3, de menor relação H/W, apresentou picos de T_a mais elevados que os outros em todas as orientações e também a menor T_a mínima, resultando numa maior amplitude térmica para este cenário. Nele não ocorre sombreamento da fachada oposta, permitindo maior acesso solar. Entretanto, por possuir edifícios de baixa altura, tem facilidade em perder o calor acumulado durante o dia.

Tabela 13. Temperatura do ar máxima, média e mínima e amplitude térmica nos quatro cenários e nas quatro orientações – inverno.

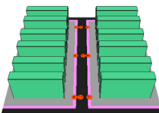
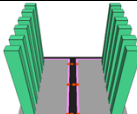
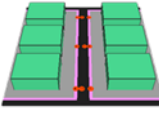
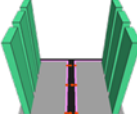
Cenário	Orient.	T_a méd ($^\circ\text{C}$)	T_a máx ($^\circ\text{C}$)	T_a mín ($^\circ\text{C}$)	Amplitude
 <p>Máxima T.O. 6 lotes/quadra (cenário 1)</p>	N-S	20,3	27,1	16,2	10,9
	NO-SE	20,4	27,6	16,0	11,6
	L-O	20,3	27,0	16,2	10,8
	NE-SO	20,4	27,2	16,1	11,1
 <p>Máximo H/W 6 lotes/quadra (cenário 2)</p>	N-S	20,3	26,6	16,4	10,2
	NO-SE	20,3	27,2	16,2	11,0
	L-O	20,3	26,6	16,4	10,2
	NE-SO	20,3	26,6	16,5	10,1
 <p>Máxima T.O. 3 lotes/quadra (cenário 3)</p>	N-S	20,4	27,5	16,1	11,4
	NO-SE	20,5	28,1	15,9	12,2
	L-O	20,5	27,5	16,1	11,4
	NE-SO	20,4	27,2	16,3	10,9
 <p>Máximo H/W 3 lotes/quadra (cenário 4)</p>	N-S	20,3	26,5	16,4	10,1
	NO-SE	20,3	27,2	16,2	11,0
	L-O	20,3	26,6	16,4	10,2
	NE-SO	20,4	26,2	16,8	9,4

No que se refere à temperatura superficial (T_s) fica evidente pela Tabela 14 que a orientação NE-SO destaca-se das demais atingindo picos bem superiores: o cenário 3 apresentou maior pico de T_s , $37,0^\circ\text{C}$, seguido pelo cenário 4, com pico de T_s da ordem de $34,3^\circ\text{C}$, seguido pelos cenários 1 e 2, com picos de $32,1^\circ\text{C}$ e $28,8^\circ\text{C}$, respectivamente. Para a orientação N-S os cânions 1 e 3, com maior taxa de ocupação do lote, apresentaram maiores picos de T_s , $28,7^\circ\text{C}$ e $28,0^\circ\text{C}$, respectivamente. Já os pontos 2 e 4, com maior relação H/W, apresentaram picos de T_s bem inferiores, $25,7^\circ\text{C}$. Na orientação L-O os cânions 1 e 3 apresentaram

picos de T_s de aproximadamente $28,0^{\circ}\text{C}$, enquanto os cânions 2 e 4 de aproximadamente $25,5^{\circ}\text{C}$. A orientação NO-SE, por sua vez, foi a que apresentou picos de T_s mais equilibrados, em torno de $26,0^{\circ}\text{C}$.

A orientação do cânion interfere diretamente no acesso solar e nas condições de ventilação do mesmo. Na Tabela 14 fica evidente como os cânions NO-SE (orientados na direção predominante dos ventos de Campinas – SE) apresentaram valores de velocidade do vento superiores, refletindo em diminuição da temperatura superficial (T_s), e conseqüentemente, do índice PET. Por outro lado, esta mesma orientação, por proporcionar maior aquecimento das fachadas, atingiu maior temperatura do ar (T_a) máxima e maior temperatura radiante média (T_{mrt}).

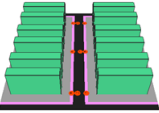
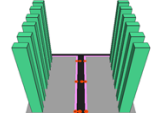

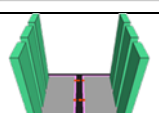
Tabela 14. Média dos valores de pico da temperatura do ar (T_a), umidade relativa (UR), velocidade do vento (V_v), temperatura radiante média (T_{mrt}) e do PET – inverno.

Cenário	Orient.	T_a máx ($^{\circ}\text{C}$)	UR (%)	V_v (m/s)	T_{mrt} ($^{\circ}\text{C}$)	T_s ($^{\circ}\text{C}$)	PET ($^{\circ}\text{C}$)
 Máxima T.O. 6 lotes/quadra (cenário 1)	N-S	27,1	73,8	2,3	53,4	28,7	32,9
	NO-SE	27,6	75,0	3,8	54,4	26,4	32,4
	L-O	27,0	73,8	2,2	51,6	28,8	32,6
	NE-SO	27,2	74,1	1,3	50,9	32,1	34,2
 Máximo H/W 6 lotes/quadra (cenário 2)	N-S	26,6	71,9	3,7	53,0	25,7	29,7
	NO-SE	27,2	73,7	4,3	55,3	26,1	31,6
	L-O	26,6	72,0	3,6	49,4	25,9	29,3
	NE-SO	26,6	71,6	2,2	50,4	28,8	31,5
 Máxima T.O. 3 lotes/quadra (cenário 3)	N-S	27,5	74,1	2,4	56,0	28,0	34,8
	NO-SE	28,1	75,8	3,4	56,0	26,8	34,1
	L-O	27,5	74,1	2,3	56,1	28,2	35,1
	NE-SO	27,2	73,2	0,5	56,1	37,0	40,6
 Máximo H/W 3 lotes/quadra (cenário 4)	N-S	26,5	71,5	4,1	53,3	25,7	29,3
	NO-SE	27,2	73,6	3,9	55,5	26,0	32,2
	L-O	26,6	71,5	3,7	48,7	25,6	29,4
	NE-SO	26,2	68,9	0,9	51,6	34,3	33,9

A Tabela 15 indica os valores médios encontrados para cada variável no período de verão. Analisando a temperatura do ar (T_a) a 1,5 metros de altura dos cenários 1 a 4, verifica-se que a orientação NO-SE (cânion rotacionado 135° para a direita) alcança pico de T_a cerca de $0,4^{\circ}\text{C}$ mais elevado que as demais orientações nos cenários observados, assim como foi observado para o período de inverno. No entanto, como é de se esperar, as temperaturas no período de verão foram superiores às de inverno, uma vez que as máximas observadas no inverno não chegaram a atingir os $29,0^{\circ}\text{C}$ e no verão ultrapassaram os $33,0^{\circ}\text{C}$. Novamente o cenário 3, de menor relação H/W, apresentou picos de T_a mais elevados que os

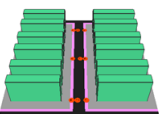
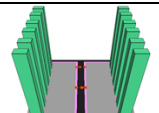

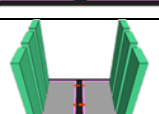
outros em todas as orientações, e também a menor Ta mínima, resultando numa maior amplitude térmica para este cenário.

Tabela 15. Temperatura do ar máxima, média e mínima e amplitude térmica nos quatro cenários e nas quatro orientações - verão

Cenário	Orient.	Ta méd (°C)	Ta máx (°C)	Ta mín (°C)	Amplitude
 Máxima T.O. 6 lotes/quadra (cenário 1)	N-S	28,2	32,9	22,9	10,0
	NO-SE	28,2	33,2	22,7	10,5
	L-O	28,1	32,7	22,9	9,8
	NE-SO	28,1	32,9	22,8	10,1
 Máximo H/W 6 lotes/quadra (cenário 2)	N-S	28,2	33,1	22,8	10,3
	NO-SE	28,2	33,6	22,5	11,1
	L-O	28,2	33,1	22,8	10,3
	NE-SO	28,2	32,9	22,9	10,0
 Máxima T.O. 3 lotes/quadra (cenário 3)	N-S	28,3	33,3	22,8	10,5
	NO-SE	28,3	33,7	22,5	11,8
	L-O	28,3	33,3	22,8	10,5
	NE-SO	28,3	33,1	22,9	10,2
 Máximo H/W 3 lotes/quadra (cenário 4)	N-S	28,2	33,2	22,8	10,4
	NO-SE	28,2	33,6	22,6	11,0
	L-O	28,3	33,2	22,9	10,3
	NE-SO	28,3	32,6	23,5	9,1

No período de verão, conforme observado na Tabela 16, a Ts também é mais alta na orientação NE-SO, atingindo picos superiores às demais. Porém, desta vez o cenário 4 apresentou maior pico, 48,9°C, e não o cenário 3, que apresentou, no entanto, pico muito próximo, 48,6°C.

Tabela 16. Média dos valores de pico da temperatura do ar (Ta), umidade relativa (UR), velocidade do vento (Vv), temperatura radiante média (Trmt) e do PET – verão.

Cenário	Orient.	Ta máx (°C)	UR (%)	Vv (m/s)	Trmt (°C)	Ts (°C)	PET (°C)
 Máxima T.O. 6 lotes/quadra (cenário 1)	N-S	32,9	67,6	1,7	63,2	41,3	44,8
	NO-SE	33,2	69,1	2,7	64,3	38,3	43,9
	L-O	32,7	67,7	1,5	66,2	42,0	46,3
	NE-SO	32,9	68,3	1,0	65,7	44,7	47,6
 Máximo H/W 6 lotes/quadra (cenário 2)	N-S	33,1	68,2	2,3	64,1	39,4	44,4
	NO-SE	33,6	69,8	2,7	65,1	38,7	44,2
	L-O	33,1	68,3	2,2	66,7	39,6	45,3
	NE-SO	32,9	67,7	1,4	65,6	42,7	46,3
 Máxima T.O. 3 lotes/quadra (cenário 3)	N-S	33,3	68,2	1,9	68,4	40,7	47,0
	NO-SE	33,7	70,1	2,6	68,2	38,8	45,9
	L-O	33,3	68,3	1,8	68,3	41,1	47,1
	NE-SO	33,1	67,5	0,5	68,3	48,6	51,6
 Máximo H/W 3 lotes/quadra (cenário 4)	N-S	33,2	68,2	2,7	62,0	38,4	43,0
	NO-SE	33,6	69,7	2,4	64,3	39,3	44,5
	L-O	33,2	68,1	2,5	67,4	38,9	45,2
	NE-SO	32,6	64,8	0,5	65,8	48,9	49,3

Já os cenários 1 e 2, nesta mesma orientação, apresentaram picos de 44,7°C e 42,7°C, respectivamente. Para a orientação N-S, os cânions 1 e 3, com

maior taxa de ocupação do lote, apresentaram maiores picos de T_s , $41,3^\circ\text{C}$ e $40,7^\circ\text{C}$, respectivamente. Já os pontos 2 e 4, com maior relação H/W, apresentaram pico de T_s $2,0^\circ\text{C}$ abaixo. Na orientação L-O, os cânions 1 e 3 apresentaram picos de T_s de $42,0^\circ\text{C}$ e $41,1^\circ\text{C}$, respectivamente, enquanto nos cânions 2 e 4, os picos de T_s atingiram $39,6^\circ\text{C}$ e $38,9^\circ\text{C}$, respectivamente. A orientação NO-SE, por sua vez, foi a que apresentou picos de T_s mais equilibrados, em torno de $39,0^\circ\text{C}$.

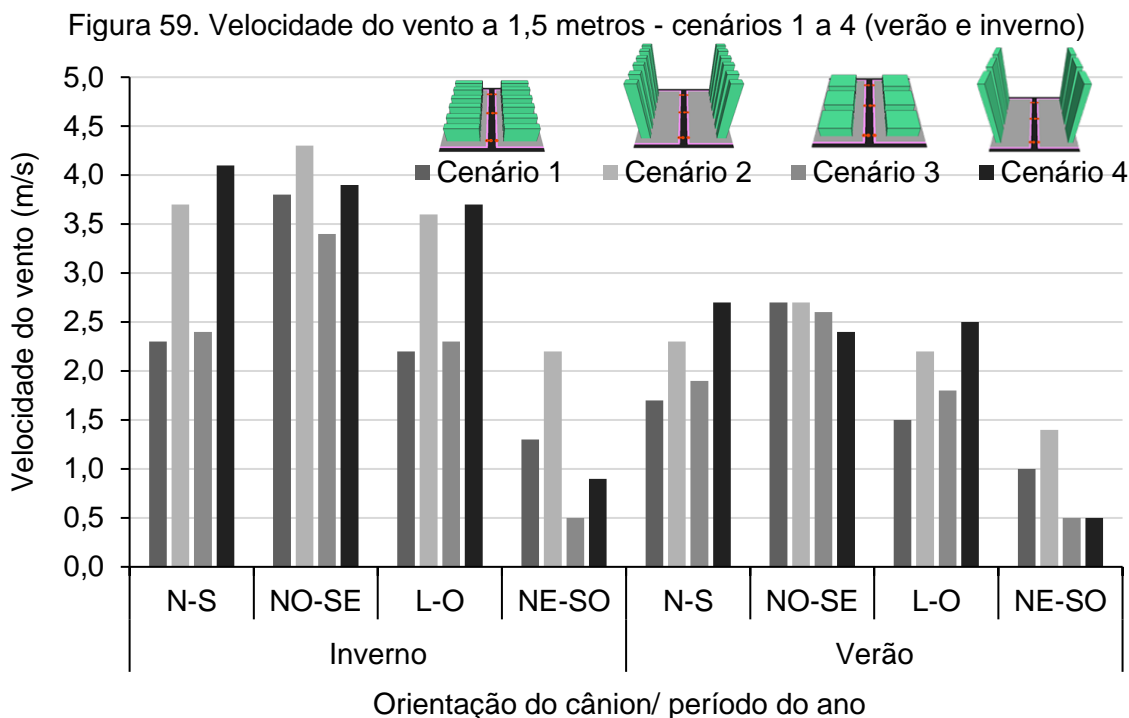
O mesmo comportamento observado para o inverno obteve-se para o verão, uma vez que as velocidades do vento ocasionaram redução na temperatura superficial (T_s) e no índice PET.

Comparando os quatro tipos de cenário em cada orientação, verifica-se que o cenário 3 destaca-se por apresentar pico de T_a mais elevado em todas as orientações, tanto no período de inverno, quanto no de verão. Além disso, nota-se que, para qualquer uma das orientações investigadas, o cenário 3 foi o que apresentou maior amplitude térmica. Este comportamento justifica-se pela sua menor relação H/W, uma vez que cânions rasos apresentam maior acesso solar e não provocam sombreamento nas edificações opostas (BOURBIA; BOUCHERIBA, 2010; ALI-TOUDERT; MAYER, 2006; JOHANSSON; EMMANUEL, 2006).

De acordo com Bougiatioti (2006), fachadas voltadas para noroeste (ou seja, cânions orientados a NE-SO) podem sobreaquecer cânions urbanos com relações H/W entre 0 e 2. Ahmed *et al.* (2015) também relata que em seus estudos as fachadas voltadas para noroeste (cânions orientados a NE-SO) apresentaram temperatura superficial $7,2^\circ\text{C}$ mais quente durante o dia. Eliasson (1990) já estudava a relação da geometria urbana com as variáveis de temperatura do ar e superficial, tendo encontrado alterações mais significativas para a temperatura superficial e menores para a T_a .

Observando a Figura 59 fica evidente que a orientação NE-SO é a que gera maior impacto sobre a velocidade do vento (V_v) no cânion, que não chega a atingir $1,5\text{ m/s}$ em nenhum cenário estudado no período de verão e fica também abaixo dos $2,5\text{ m/s}$ no inverno.

Este comportamento se deve ao fato da disposição das edificações neste cenário ser perpendicular à direção predominante dos ventos, agindo como uma barreira para sua passagem.



Por outro lado, a orientação NO-SE é a que proporciona maior V_v , exceto para o cenário 4, de máximo H/W e 3 lotes por quadra, onde a V_v nas orientações N-S e L-O mostra-se ligeiramente superior. Neste cenário, dada a altura das edificações e a menor ocorrência de recuos entre elas (menor permeabilidade do cânion), ocorre a canalização do vento, potencializando sua velocidade.

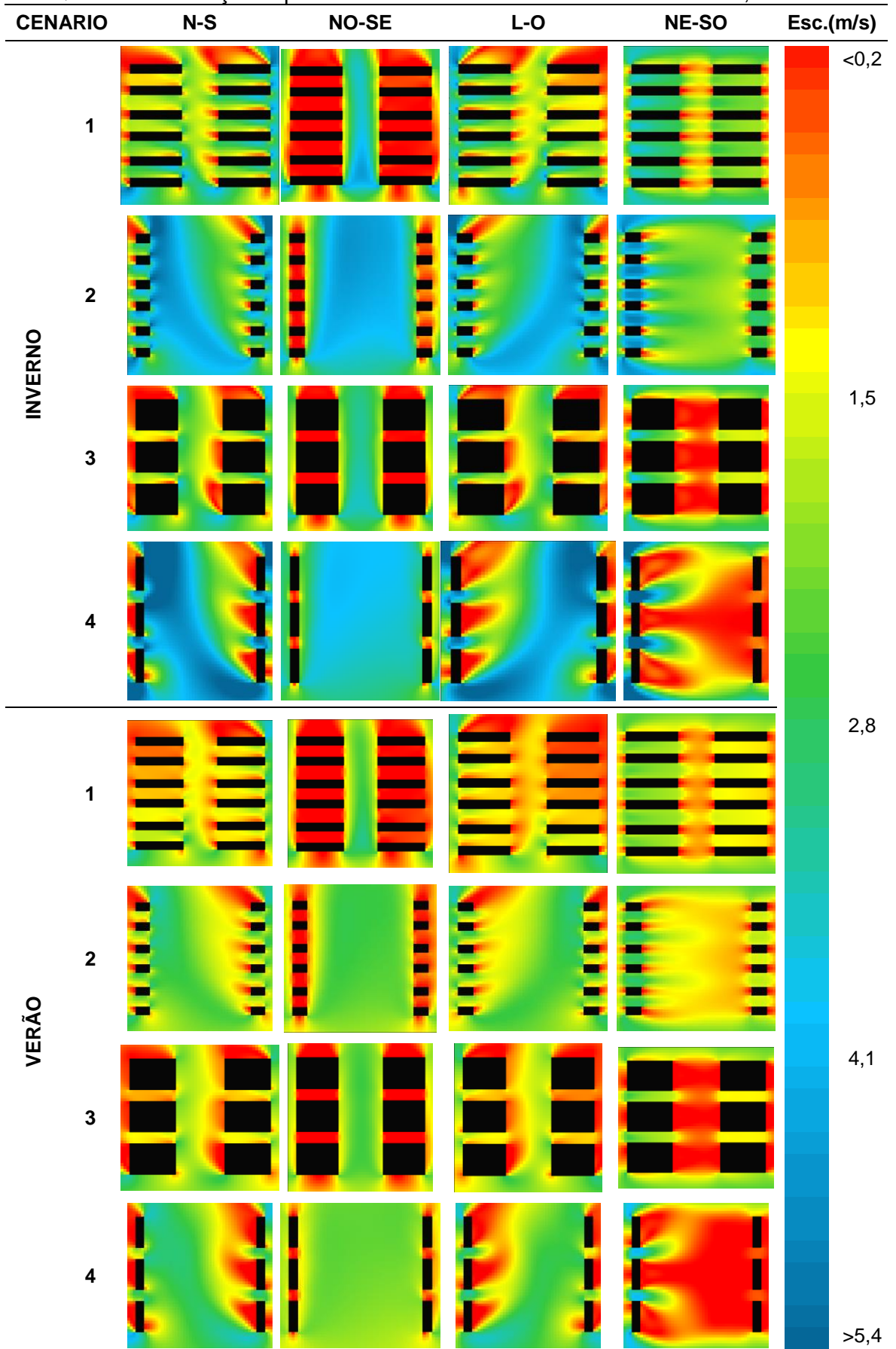
Estes resultados eram esperados, uma vez que os ventos predominantes sudeste são potencializados quando o cânion está numa orientação paralela (NO-SE) e bloqueados quando a orientação é perpendicular (NE-SO).

Observa-se também que, no geral, os ventos são mais intensos no período de inverno do que no de verão; isto se deve à entrada do dia típico (que foi de 4,2 m/s à 10 metros de altura no inverno e 2,4 m/s à 10 metros de altura no verão) conforme dados coletados da estação meteorológica do IAC.

O Quadro 15 mostra a distribuição da velocidade do vento para os dois períodos: inverno e verão.

O efeito da orientação e do espaçamento entre as edificações é visível, sendo os cenários 2 e 4 mais alto, e por isso apresentam velocidade do vento mais acentuada no interior do cânion.

Quadro 15. Variação espacial da velocidade do vento nos cenários – 1,5 metros.



De acordo com Krüger, Pearlmutter e Rasia (2010), que estudou o comportamento do vento com direção predominante NO-SE em diferentes tipos de cânion, as orientações N-S e L-O proporcionam boa circulação de ar ao redor das edificações, o que favorece a troca de calor por convecção e auxilia na redução das cargas térmicas de resfriamento interno.

A orientação NO-SE, paralela à direção predominante dos ventos, apresenta altos valores de velocidade do vento, como era esperado, havendo redução apenas nas áreas de fachada voltada para o cânion, ocasionada pelo atrito com as edificações. A orientação NE-SO, perpendicular à direção predominante dos ventos, resulta em menores valores de velocidade do vento, e causa áreas de estagnação com velocidade bastante reduzida nas áreas de fachada das edificações. As orientações N-S e L-O apresentam velocidades do vento intermediárias no interior do cânion, gerando além da boa circulação ao redor dos edifícios, a zona de estagnação na fachada frontal, da mesma forma como é observado para os cânions orientados a NE-SO.

A variação do índice PET durante todo o período de um dia para a média dos valores obtidos em todos os 9 receptores colocados no cânion é apresentada da Figura 60 até a Figura 63.

Figura 60. Variação do índice PET durante o dia – cenário 1.

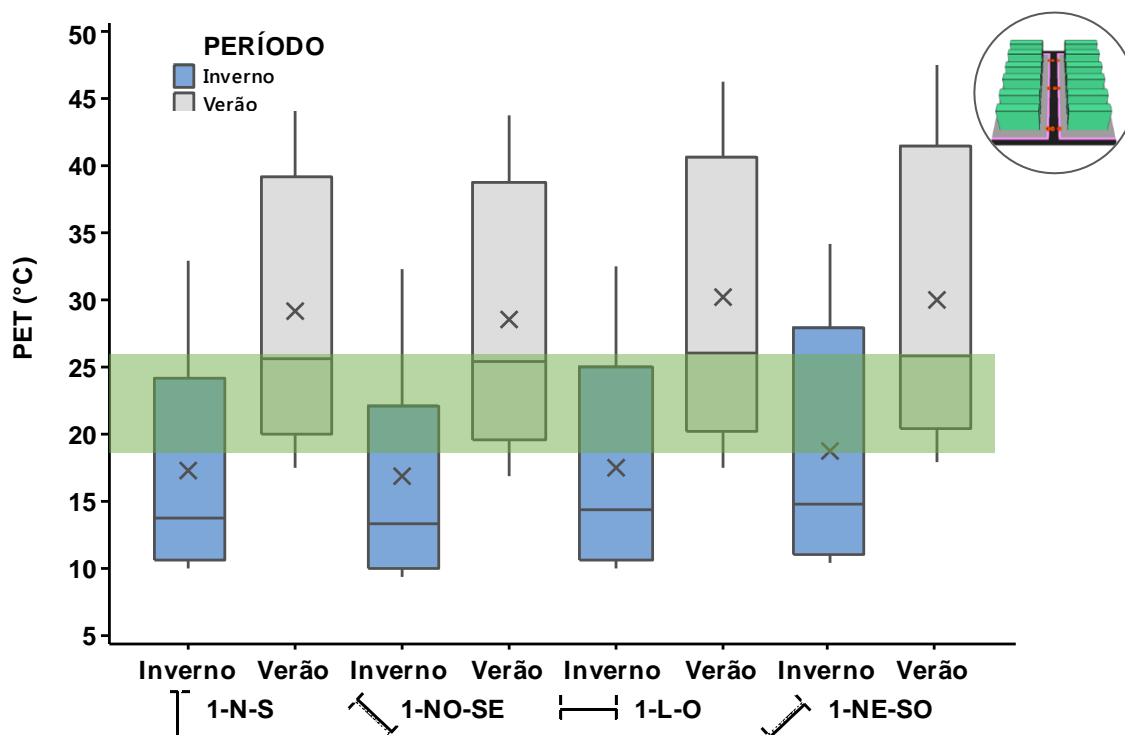


Figura 61. Variação do índice PET durante o dia – cenário 2.

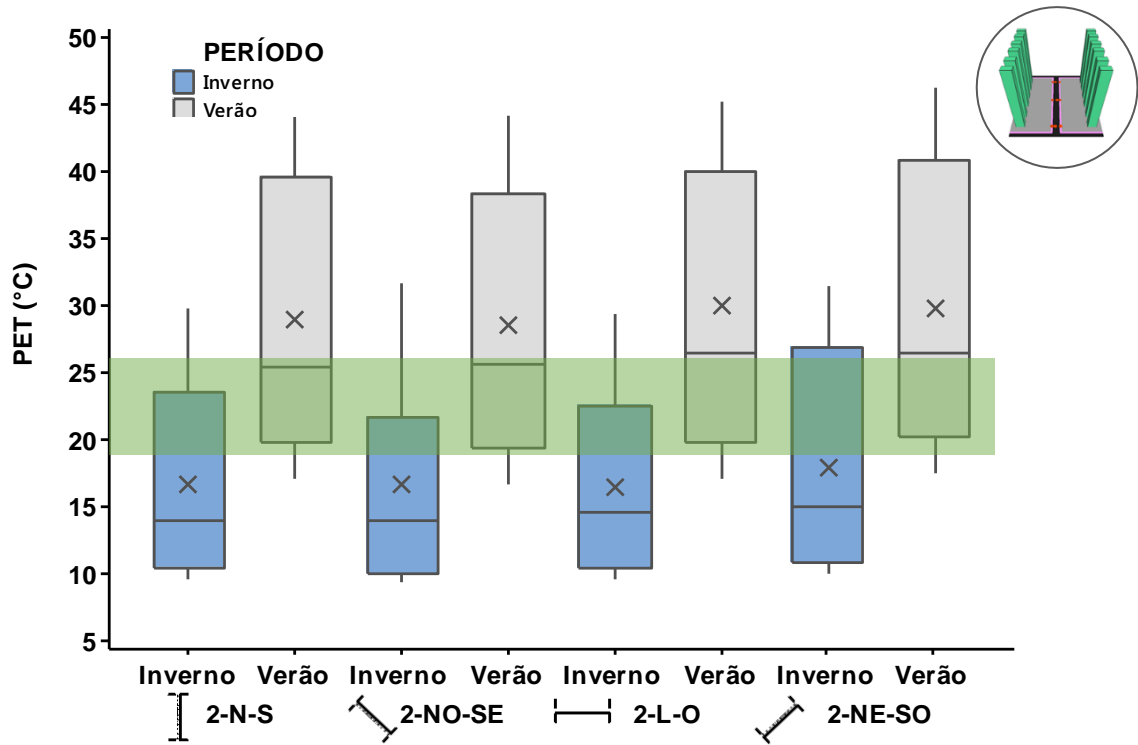


Figura 62. Variação do índice PET durante o dia – cenário 3.

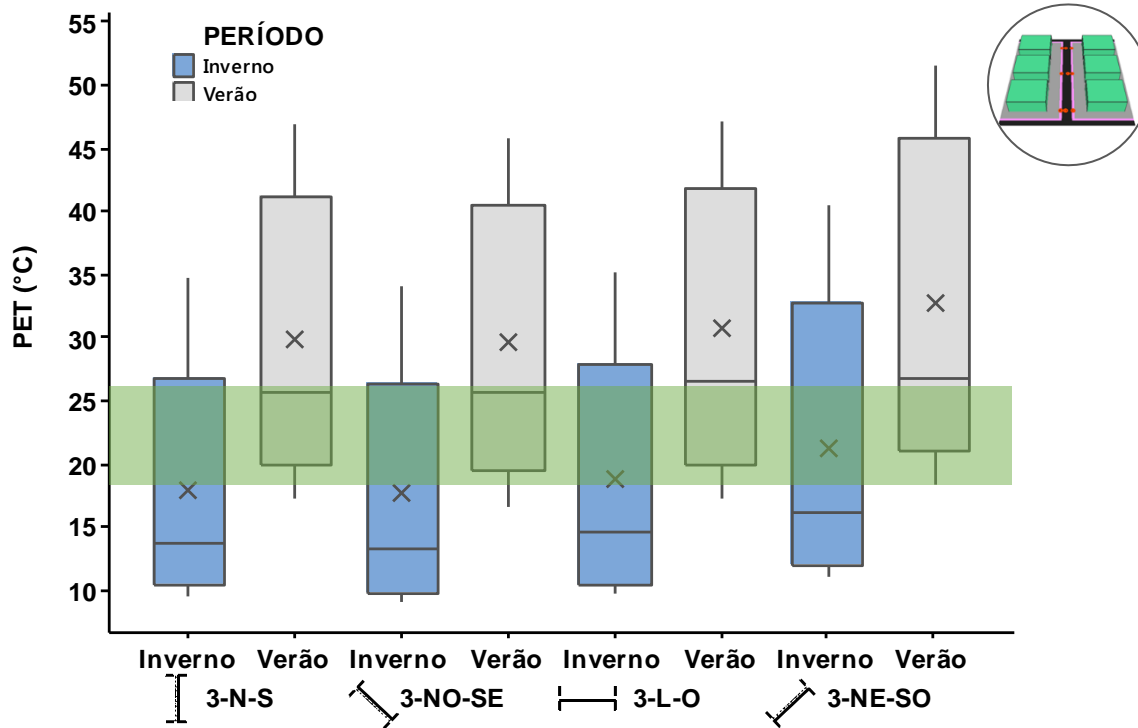
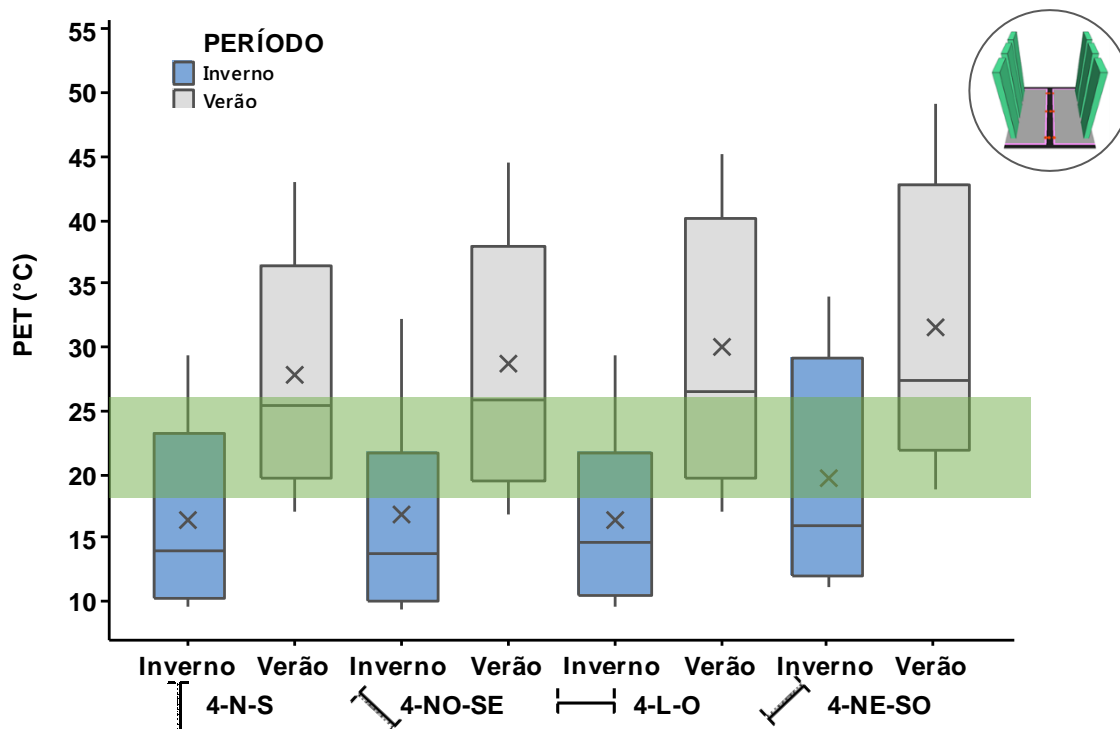


Figura 63. Variação do índice PET durante o dia – cenário 4.



É possível verificar que para todos os tipos de cenário (1 a 4) a orientação NE-SO foi a que permitiu alcançar valores de PET mais elevados, tanto para o período de inverno quanto para o de verão, evidenciando uma relação direta entre a temperatura superficial e o PET.

Além disso, no período de inverno a orientação NE-SO é a única que proporciona sensação de desconforto para o calor em mais de 25% do dia (índice $PET > 26^{\circ}\text{C}$) e ainda permanece mais de 50% do dia em desconforto para o frio (mediana é menor que 15°C). Já no período de verão nota-se que, para qualquer orientação, os cenários permanecem com índice dentro dos limites de conforto ($18^{\circ}\text{C} < PET < 26^{\circ}\text{C}$) em apenas 50% do dia (valor correspondente à mediana). Porém, a média do PET diário no verão indica desconforto para o calor.

Comparando os cenários de mesma orientação (Figura 64 à Figura 67) nota-se também que, em todas as orientações investigadas o cenário 3 ($H/W=0,4$) foi o que mais se destacou, apresentando valores de PET superiores aos demais cenários simulados. Verifica-se, desta forma, que o valor do PET também tem relação direta com a temperatura do ar e com a geometria do cânion, uma vez que o cenário 3 foi o que apresentou T_a mais elevada em relação aos demais e é o que apresenta relação H/W mais baixa.

Figura 64. Variação do índice PET durante o dia – orientação N-S.

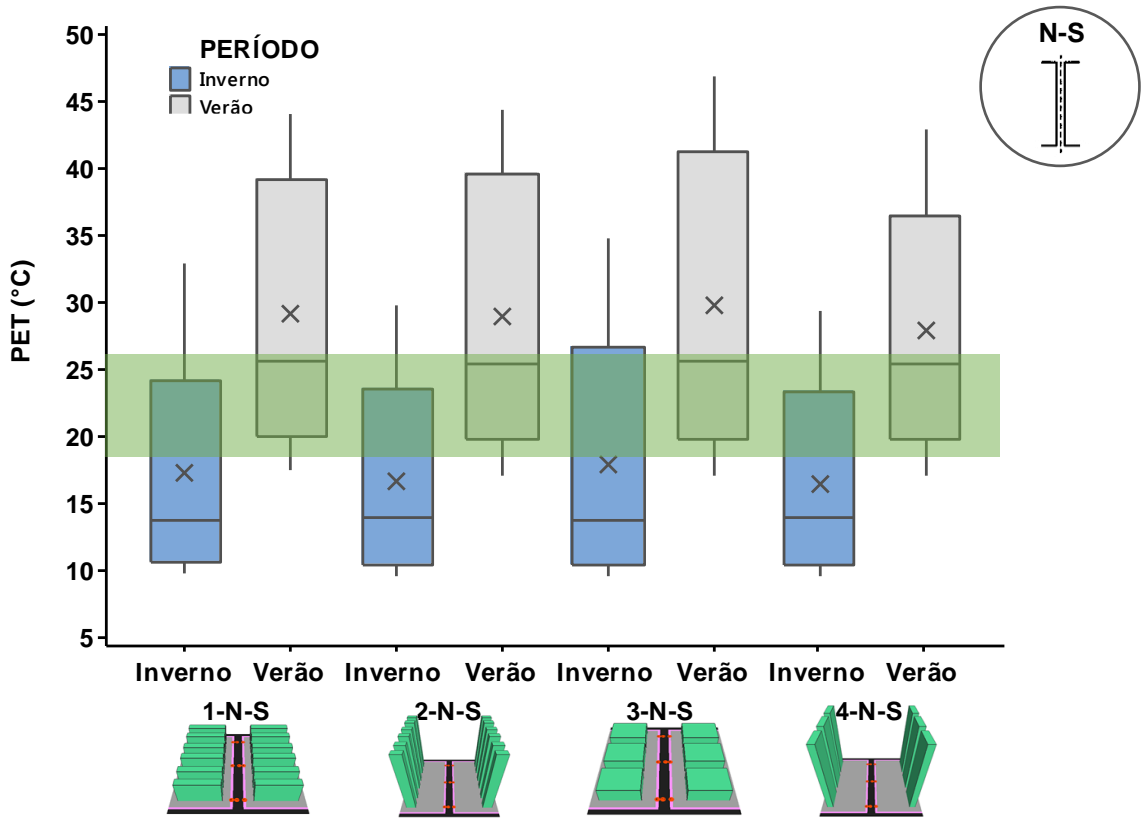


Figura 65. Variação do índice PET durante o dia – orientação NO-SE.

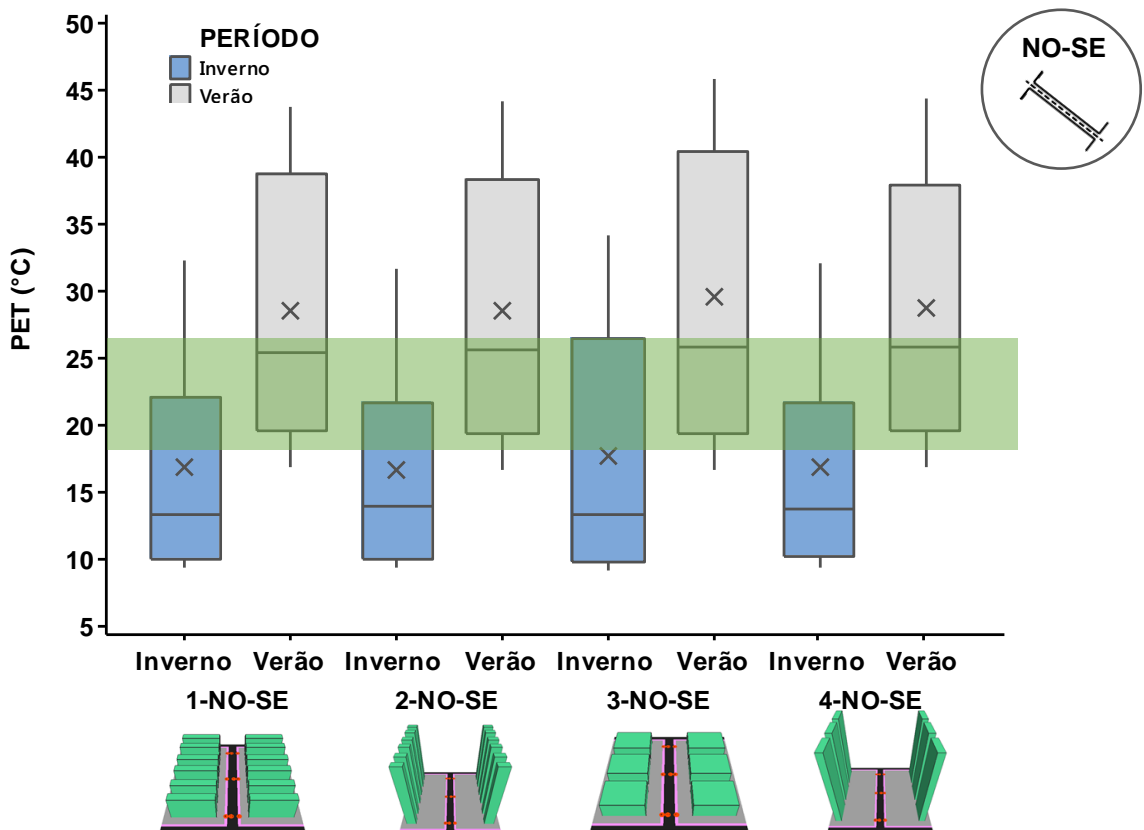


Figura 66. Variação do índice PET durante o dia – orientação L-O.

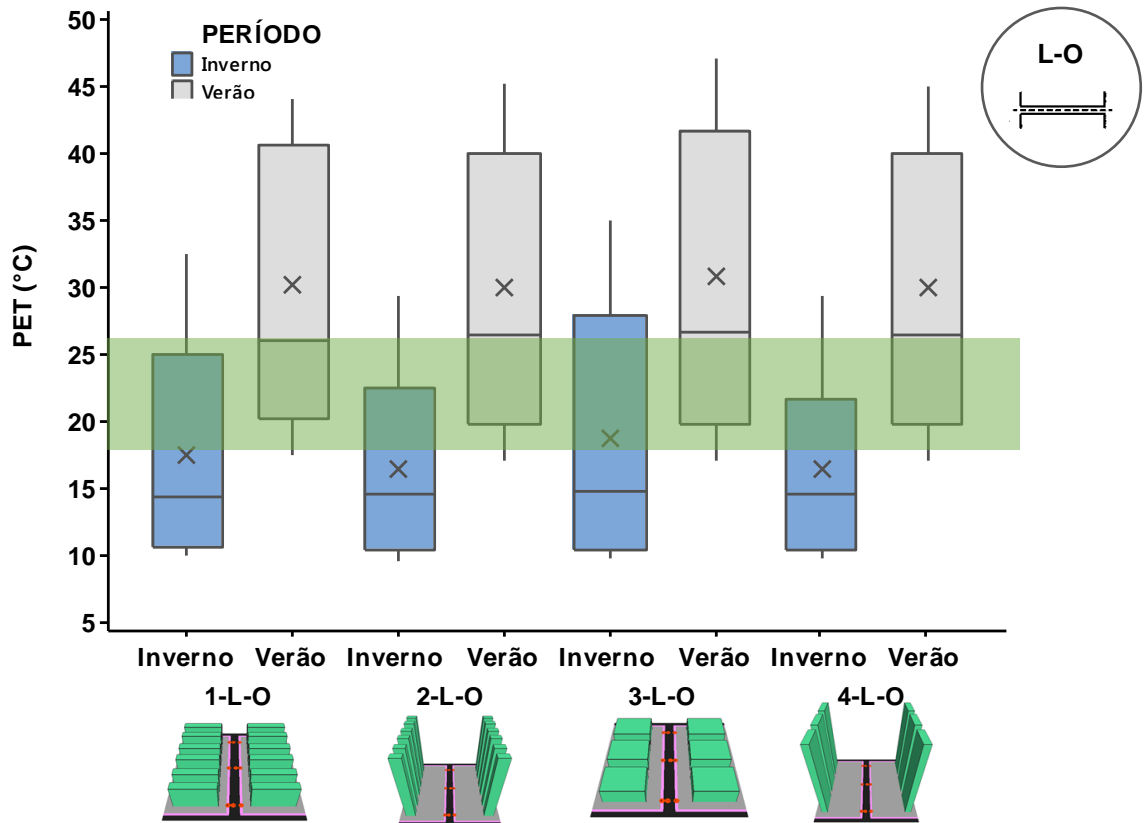
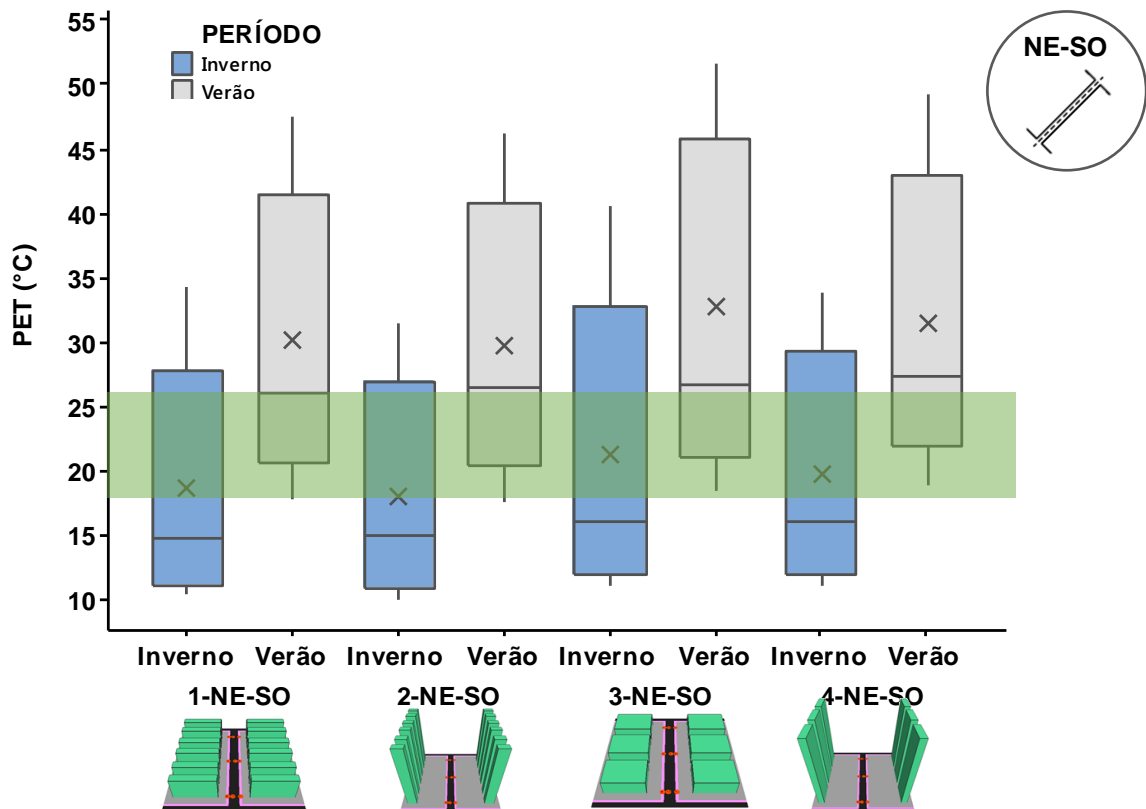


Figura 67. Variação do índice PET durante o dia – orientação NE-SO.



O cenário 4, por sua vez, possui H/W igual a 1, com edifícios altos e menor quantidade de recuos entre as edificações, uma vez que tem apenas três lotes por quadra. Estas características proporcionam maior sombreamento das edificações, fazendo com que elas atinjam picos de PET mais baixos.

Comparando as duas estações, inverno e verão, verifica-se ainda que os valores de PET encontrados para o verão refletem maior desconforto para o calor durante o dia.

O que se nota é que a velocidade do vento e o sombreamento do cânion urbano afetam significativamente o índice de conforto, conforme já discutido por Abreu-Harbich, Labaki e Matzarakis (2014). Os cenários orientados a NO-SE, que se encontram na direção predominante dos ventos, apresentaram índices PET mais baixos.

A orientação NE-SO proporciona maior bloqueio do vento por parte das edificações, uma vez que as edificações dispostas de forma perpendicular à direção predominante dos ventos dificultaram a ventilação do cânion e possíveis trocas térmicas por convecção, elevando os valores de PET. O que se observa entre os cenários é que naqueles com menor permeabilidade, cenários 2 e 4 (menor quantidade de recuos entre edificações), foi observado PET mais elevado, ao passo que os cenários mais permeáveis (1 e 3) foram mais confortáveis.

Para o período de inverno verifica-se ainda uma relação entre o H/W e o PET, uma vez que o cenário 3, de menor relação H/W (0,4), apresentou PET superior em todas as situações. Na orientação L-O, em que o efeito do sombreamento das edificações é menor, percebe-se mais claramente o efeito da relação H/W sobre o PET, uma vez que o cenário 3 (H/W = 0,4) apresentou maior valor de PET (27,9°C) seguido pelo cenário 1 (H/W = 0,8), que apresentou PET de 24,9°C, e pelos cenários 2 e 4, ambos com H/W de 1 e PET de 22,5°C e 21,7°C, respectivamente. A relação entre o H/W e o PET foi também constatada no período de verão, reforçando os resultados obtidos no período de inverno, sendo que cânion rasos, como é o exemplo do cenário 3 (H/W=0,4), levam a picos de PET mais elevados para qualquer uma das orientações de cânion aqui estudadas (N-S, L-O, NO-SE, NE-SO).

Emmanuel, Rosenlund e Johansson (2007) também verificaram a mesma influência do H/W sobre o PET, tendo sido observada por eles uma

diferença de 10°C entre cenários variando o H/W de 1 a 3. No que diz respeito à orientação, estes autores avaliaram apenas N-S e L-O, sendo observado menor valor de PET para a orientação N-S. Porém, segundo eles, o efeito da orientação diminui com o aumento do sombreamento das edificações (aumento do H/W). Os resultados obtidos neste estudo confirmam o que foi observado por estes autores e também afirmado por Ali-Toudert e Mayer (2006) e Johansson e Emmanuel (2006), uma vez que também foi observada redução no PET da orientação N-S quando em comparação com a L-O. Porém esta afirmação não se aplicou para os cenários com relação H/W igual a 1.

5.3.2. Análise dos cenários variando a geometria do cânion: relações altura largura (H/W) e comprimento altura (L/H)

Foram avaliadas as combinações entre as relações altura e largura (H/W) e comprimento e altura (L/H) e como estas influenciam o microclima dos cânions urbanos.

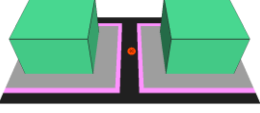
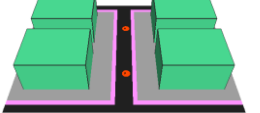
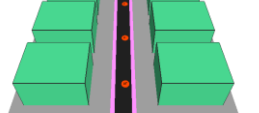
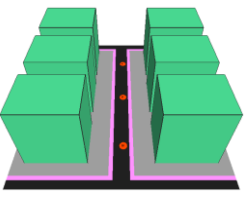
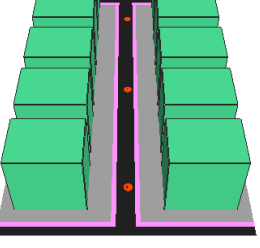
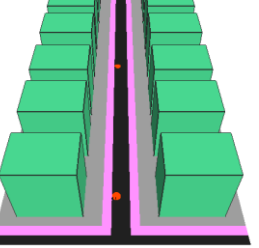
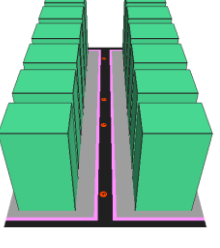
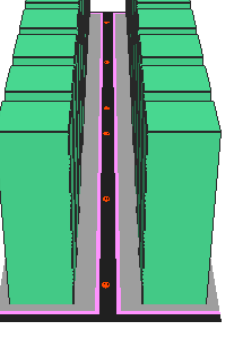
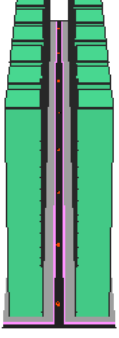
Os cenários de A a I reúnem o primeiro conjunto, ilustrado no Quadro 16, com as diferentes características de cânions: rasos, regulares, profundos e curtos, médios e longos (VARDOULAKIS *et al.*, 2003, AHMAD; KHARE; CHAUDHRY, 2005, AFIQ; AZWADI; SAQR, 2012, SHISHEGAR, 2013):

- os cenários A, B e C apresentam relação H/W igual a 0,5, representando cânions rasos; os cenários D, E e F apresentam relação H/W igual a 1,0, representando cânions regulares e os cenários G, H e I apresentam relação H/W igual a 2, representando cânions profundos.
- os cenários A, D e G apresentam relação L/H igual a 3, representando cânions curtos; os cenários B, E e H apresentam relação L/H igual a 5, representando cânions médios, e por fim, os cenários C, F e I apresentam relação L/H igual a 7, representando cânions longos.

O Quadro 16 detalha os cenários com variação da geometria urbana para o conjunto de cenários em que foram considerados os recuos laterais entre as

edificações conforme o previsto na legislação urbanística vigente no bairro Cambuí (4 metros da divisa do lote).

Quadro 16. Detalhamento dos cenários variando a geometria do cânion – Conjunto 1 (com espaçamento entre edificações).

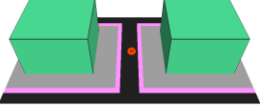
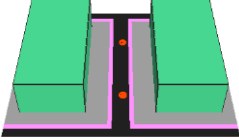
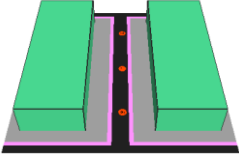
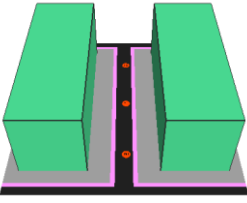
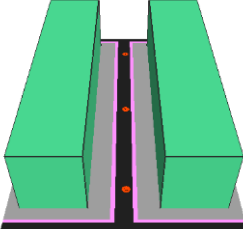
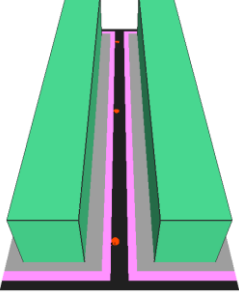
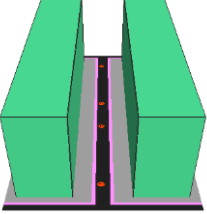
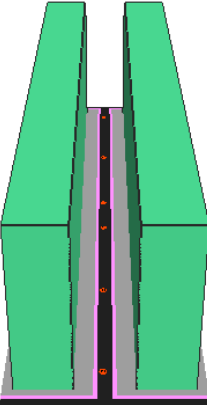
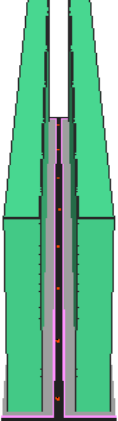
Parâmetros	L/H = 3	L/H = 5	L/H = 7
H/W < 0,5	 <p>Cenário A</p>	 <p>Cenário B</p>	 <p>Cenário C</p>
H/W = 1,0	 <p>Cenário D</p>	 <p>Cenário E</p>	 <p>Cenário F</p>
H/W > 2	 <p>Cenário G</p>	 <p>Cenário H</p>	 <p>Cenário I</p>

O segundo conjunto de cenários, apresentado no Quadro 17, possui as mesmas características dos cenários do primeiro conjunto, porém desconsiderando o recuo entre as edificações.

Em ambos os conjuntos foram dispostos receptores no centro da via, conforme indicam os pontos alaranjados nas ilustrações dos cenários. A quantidade de receptores variou conforme o comprimento do cânion, de maneira a abranger da melhor forma possível as variações climáticas ocorridas ao longo dele. Além disso, os receptores foram dispostos sempre em frente às edificações para não sofrerem influência direta do corredor de ventos formado entre elas. Todos os

cenários de ambos os conjuntos foram simulados na orientação N-S apenas, com ventos predominantes sudeste.

Quadro 17. Detalhamento dos cenários variando a geometria do cânion – Conjunto 2 (sem espaçamento entre edificações).

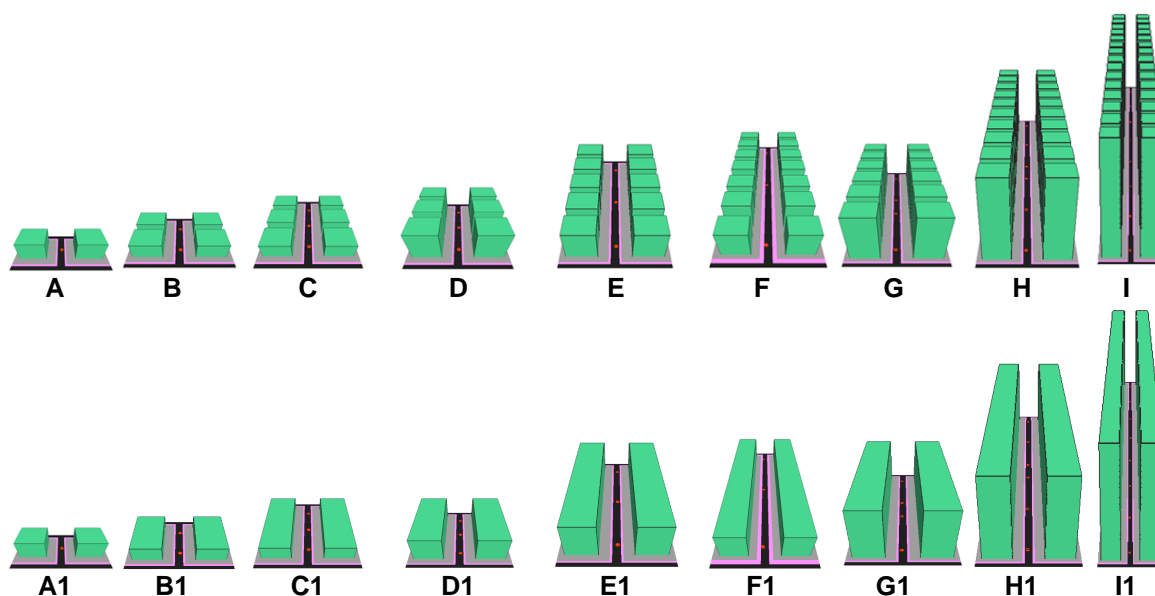
Parâmetros	L/H = 3	L/H = 5	L/H = 7
H/W < 0,5	 Cenário A1	 Cenário B1	 Cenário C1
H/W = 1,0	 Cenário D1	 Cenário E1	 Cenário F1
H/W > 2,0	 Cenário G1	 Cenário H1	 Cenário I1

A Tabela 17 apresenta os dados de temperatura do ar obtidos para cada um dos cenários. Verifica-se que a temperatura do ar tende a diminuir conforme o cânion torna-se mais profundo e longo. Além disso, é possível notar que o cânion de menor relação H/W e mais curto (cenário A) apresenta maior amplitude térmica (11,8°C no inverno e 11,1°C no verão), a qual tende a diminuir também conforme se aumenta a profundidade e o comprimento do cânion (o cenário I apresenta amplitude térmica de 9,1°C para o verão e inverno). No geral, cânions de mesma relação L/H apresentam comportamento da temperatura do ar muito semelhante, e

o espaçamento entre as edificações não afeta significativamente a temperatura do ar no cânion.

Tabela 17. Valores de temperatura do ar (T_a) em cada cenário.

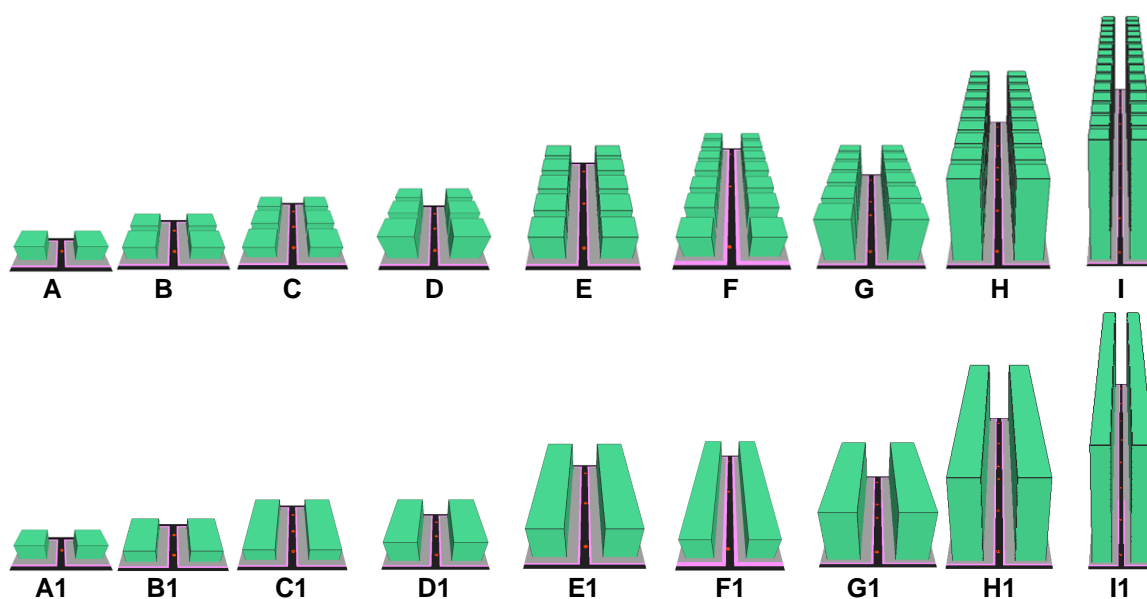
Cenários	L/H=3		L/H=5		L/H=7			
	COM ESP	SEM ESP	COM ESP	SEM ESP	COM ESP	SEM ESP		
Verão	Máxima	H/W=0,5	33,6 (A)	33,6 (A1)	33,3 (B)	33,4 (B1)	33,2 (C)	33,3 (C1)
		H/W=1,0	32,9 (D)	33,1 (D1)	32,7 (E)	32,8 (E1)	32,6 (F)	32,7 (F1)
		H/W=2,0	32,5 (G)	32,7 (G1)	32,3 (H)	32,6 (H1)	32,1 (I)	32,3 (I1)
	Média	H/W=0,5	28,2 (A)	28,2 (A1)	28,2 (B)	28,2 (B1)	28,2 (C)	28,2 (C1)
		H/W=1,0	28,1 (D)	28,1 (D1)	28,0 (E)	28,1 (E1)	28,0 (F)	28,1 (F1)
		H/W=2,0	27,9 (G)	28,0 (G1)	27,9 (H)	28,0 (H1)	27,8 (I)	27,9 (I1)
	Mínima	H/W=0,5	22,5 (A)	22,5 (A1)	22,6 (B)	22,6 (B1)	22,8 (C)	22,8 (C1)
		H/W=1,0	22,8 (D)	22,7 (D1)	22,9 (E)	22,9 (E1)	22,9 (F)	23,0 (F1)
		H/W=2,0	22,9 (G)	22,9 (G1)	22,9 (H)	23,0 (H1)	23,0 (I)	23,2 (I1)
Inverno	Máxima	H/W=0,5	27,7 (A)	27,7 (A1)	27,4 (B)	27,4 (B1)	27,2 (C)	27,1 (C1)
		H/W=1,0	26,7 (D)	26,9 (D1)	26,7 (E)	26,6 (E1)	26,0 (F)	25,8 (F1)
		H/W=2,0	25,9 (G)	25,9 (G1)	25,8 (H)	25,6 (H1)	25,8 (I)	25,5 (I1)
	Média	H/W=0,5	20,3 (A)	20,3 (A1)	20,3 (B)	20,3 (B1)	20,3 (C)	20,3 (C1)
		H/W=1,0	20,3 (D)	20,2 (D1)	20,3 (E)	20,3 (E1)	20,3 (F)	20,3 (F1)
		H/W=2,0	20,3 (G)	20,3 (G1)	20,3 (H)	20,3 (H1)	20,3 (I)	20,3 (I1)
	Mínima	H/W=0,5	15,9 (A)	15,9 (A1)	16,1 (B)	16,1 (B1)	16,2 (C)	16,2 (C1)
		H/W=1,0	16,2 (D)	16,1 (D1)	16,2 (E)	16,3 (E1)	16,7 (F)	16,8 (F1)
		H/W=2,0	16,7 (G)	16,8 (G1)	16,7 (H)	16,9 (H1)	16,7 (I)	16,9 (I1)



A Tabela 18 apresenta os valores de pico da temperatura superficial (T_s) obtidos para cada cenário. Nota-se pouca variação da T_s máxima entre todos os cenários estudados. Verifica-se, entretanto, uma diferença de cerca de 2°C entre os cenários com e sem espaçamento no período de verão. No período de inverno essa diferença não é percebida tão nitidamente.

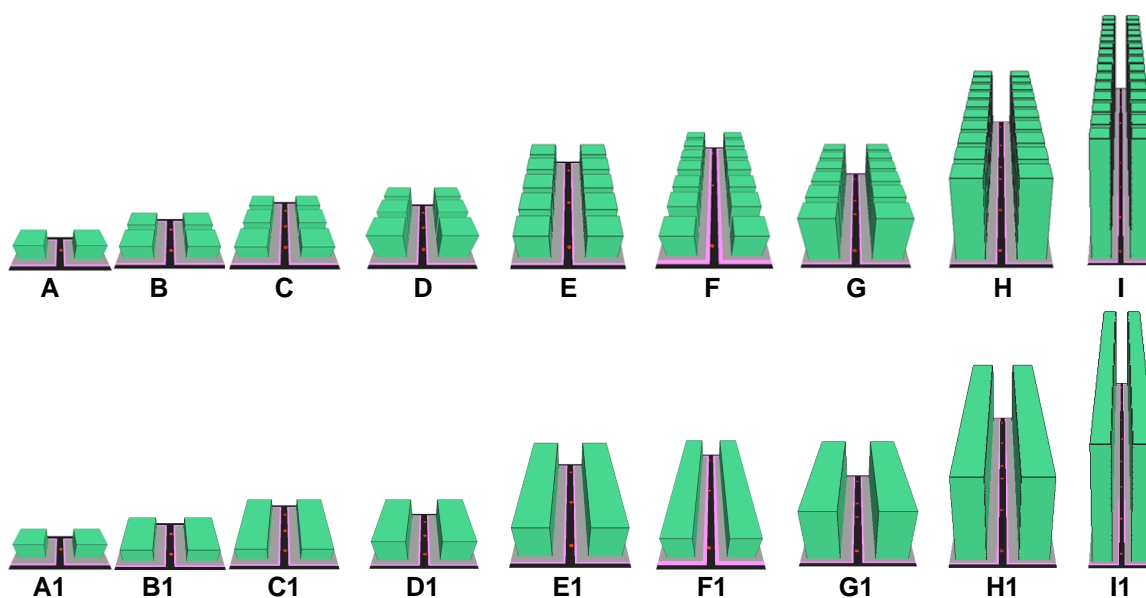
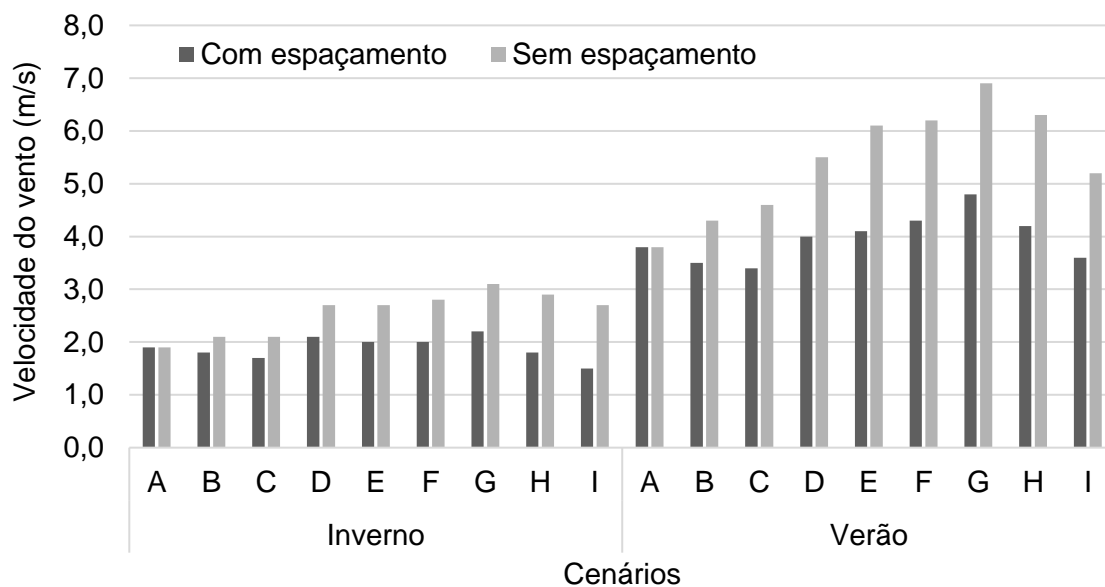
Tabela 18. Valores de pico da temperatura superficial (T_s) em cada cenário.

Cenários		L/H=3		L/H=5		L/H=7	
		COM ESP	SEM ESP	COM ESP	SEM ESP	COM ESP	SEM ESP
Verão	H/W=0,5	40,7 (A)	40,7 (A1)	41,1 (B)	40,0 (B1)	41,2 (C)	39,7 (C1)
	H/W=1,0	39,6 (D)	38,2 (D1)	39,9 (E)	38,0 (E1)	40,0 (F)	37,9 (F1)
	H/W=2,0	39,2 (G)	37,2 (G1)	40,5 (H)	37,4 (H1)	41,6 (I)	37,9 (I1)
Inverno	H/W=0,5	26,5 (A)	26,5 (A1)	26,1 (B)	26,3 (B1)	26,0 (C)	26,0 (C1)
	H/W=1,0	25,6 (D)	26,0 (D1)	25,6 (E)	25,7 (E1)	25,0 (F)	24,9 (F1)
	H/W=2,0	24,9 (G)	25,1 (G1)	25,0 (H)	24,8 (H1)	25,7 (I)	24,6 (I1)



A Figura 68 apresenta a velocidade do vento média para cada um dos cenários estudados. Analisando os dados nela apresentados não foi possível estabelecer um comportamento linear entre a velocidade do vento e o alongamento do cânion, uma vez que entre os cenários A, B e C é observado pequeno aumento da velocidade do vento quando do aumento da relação L/H, assim como entre os cenários D, E e F; porém, um decréscimo na velocidade do vento é observado entre os cenários G, H e I quando do aumento da relação L/H, contrariando a tendência observada anteriormente e impossibilitando a correlação entre as duas variáveis. Conforme verificado por Battista *et al.* (2015), a velocidade do vento é independente do comprimento do cânion. Por outro lado, este mesmo autor verificou que a velocidade do vento tende a aumentar conforme se aumenta a relação H/W. Esta relação também foi aqui constatada, porém apenas para os cenários com relação H/W menor que 1.

Figura 68. Velocidade do vento média em cada cenário.

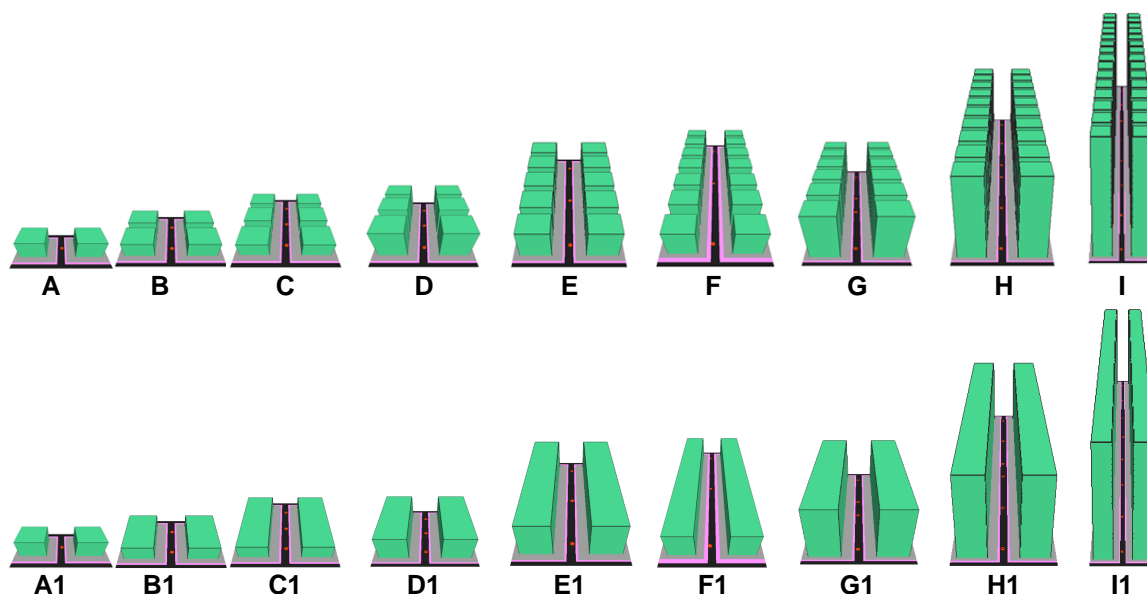


No período de verão a velocidade de entrada do vento na simulação foi maior, justificando os valores superiores para este período em relação ao inverno. Nota-se ainda que os cenários sem espaçamento entre as edificações proporcionaram maiores velocidades de vento no cânion. O mesmo resultado também foi observado por Taleghani *et al.* (2015).

A Tabela 19 apresenta os dados de pico do PET encontrados para cada um dos cenários. Os valores apresentados correspondem ao máximo PET obtido da média horária de todos os receptores colocados no eixo da via.

Tabela 19. Valores de pico do PET em cada cenário.

Parâmetro	Período	L/H=3		L/H=5		L/H=7	
		COM ESP.	SEM ESP.	COM ESP.	SEM ESP.	COM ESP.	SEM ESP.
H/W=0,5		33,1 (A)	33,1 (A1)	32,7 (B)	32,0 (B1)	32,5 (C)	31,2 (C1)
H/W=1,0	Inverno	29,8 (D)	28,8 (D1)	29,4 (E)	27,5 (E1)	31,3 (F)	29,1 (F1)
H/W=2,0		26,5 (G)	24,9 (G1)	26,9 (H)	25,0 (H1)	25,8 (I)	25,8 (I1)
H/W=0,5		Verão	47,5 (A)	47,5 (A1)	46,9 (B)	46,8 (B1)	47,0 (C)
H/W=1,0	44,5 (D)		44,0 (D1)	44,2 (E)	43,2 (E1)	43,7 (F)	42,6 (F1)
H/W=2,0	41,6 (G)		40,9 (G1)	41,8 (H)	40,6 (H1)	40,4 (I)	40,4 (I1)



Verifica-se que o PET tende a diminuir com o aumento da relação H/W, ou seja, quanto mais profundo mais confortável o cânion. Além disso, comparando os cenários com e sem espaçamento entre as edificações nota-se que os cenários sem espaçamento apresentaram pico de PET até 2,2°C mais baixo (cenários F e F1 no período de inverno). Taleghani *et al.* (2015) também verificou em seus estudos que a configuração de cânion sem espaçamento entre edificações resultou em melhor conforto térmico ao nível do pedestre. Nota-se ainda que no período de verão os valores de pico do PET são cerca de 14°C mais altos que no inverno.

A tendência de diminuição do valor de pico do PET fica evidente ao comparar a Figura 69 com a Figura 70 e Figura 71. Para uma mesma relação L/H (3, 5 ou 7) os cenários com H/W maior (2) apresentaram picos de PET menores e com menor variação durante o dia. Este comportamento é observado tanto para os cenários com espaçamento (A a I) quanto para os sem espaçamento (A1 a I1) entre edificações.

Figura 69. Variação do PET durante o dia. Cenários A ($H/W=0,5$), D ($H/W=1,0$) e G ($H/W=2,0$) - com espaçamento - e A1 ($H/W=0,5$), D1 ($H/W=1,0$) e G1 ($H/W=2,0$) - sem espaçamento. Relação $L/H = 3$.

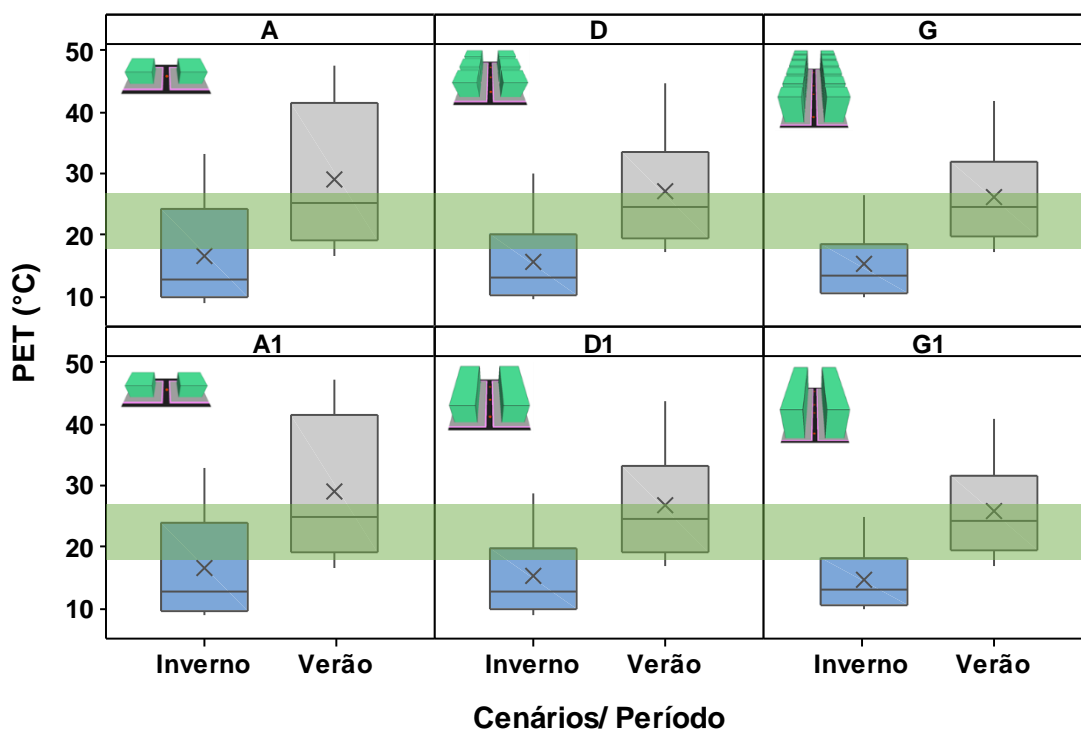


Figura 70. Variação do PET durante o dia. Cenários B ($H/W=0,5$), E ($H/W=1,0$) e H ($H/W=2,0$) - com espaçamento - e B1 ($H/W=0,5$), E1 ($H/W=1,0$) e H1 ($H/W=2,0$) - sem espaçamento. Relação $L/H = 5$.

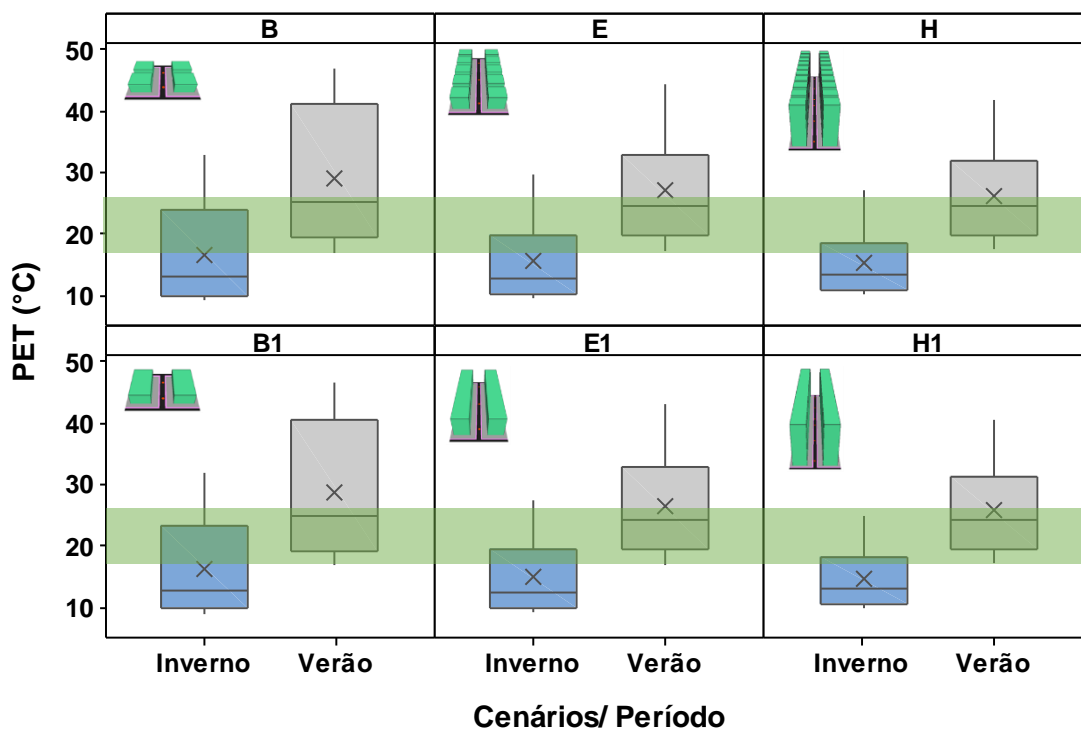
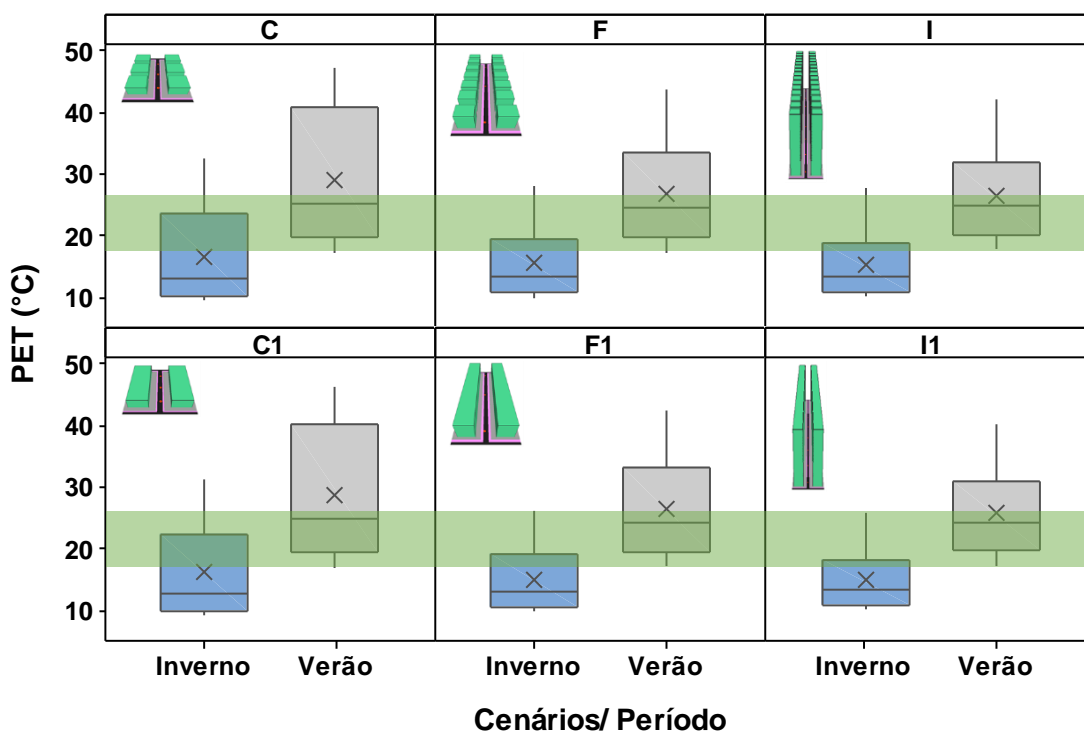


Figura 71. Variação do PET durante o dia. Cenários C (H/W=0,5), F (H/W=1,0) e I (H/W=2,0) - com espaçamento - e C1 (H/W=0,5), F1 (H/W=1,0) e I1 (H/W=2,0) – sem espaçamento. Relação L/H = 7.



O sombreamento ocasionado pelas edificações é um dos principais fatores que justificam a diminuição do valor do PET em cânions de maior relação H/W (YAHIA; JOHANSSON, 2013 E 2014).

Comparando a Figura 72 com a Figura 73 e Figura 74 não é possível notar tendência decorrente do alongamento do cânion, uma vez que para uma mesma relação H/W, a variação da relação L/H não resultou em alteração significativa dos valores diários de PET.

Fica também evidente em todos os cenários abordados a diferença de magnitude do PET entre as estações de inverno e verão, sendo que esta última alcança índices muito mais elevados.

No período de inverno verifica-se que os cenários não atingem desconforto para o calor em mais de 75% do dia (o terceiro quartil é inferior a 26°C). Já no período de verão observa-se que os cenários proporcionam conforto térmico em pelo menos 50% do dia (a mediana é inferior a 26°C e o menor valor é maior que 18°C).

Figura 72. Variação do PET durante o dia. Cenários A (L/H=3), B (L/H=5) e C (L/H=7) - com espaçamento - e A1 (L/H=3), B1 (L/H=5) e C1 (L/H=7) - sem espaçamento. Relação H/W=0,5.

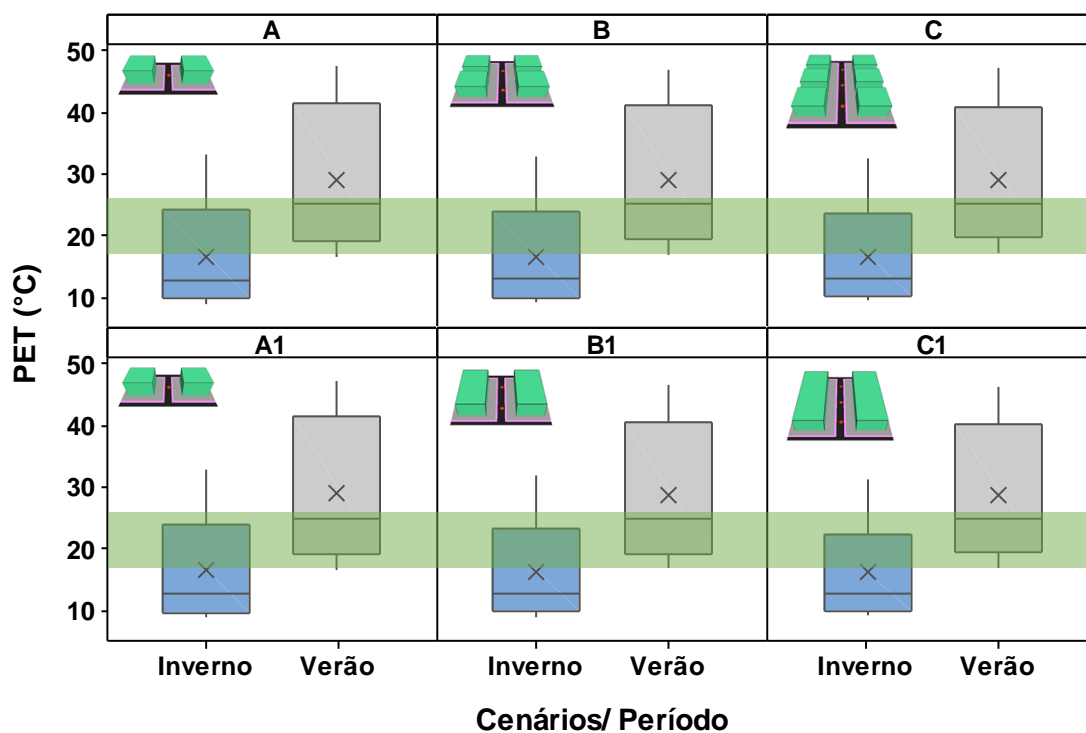


Figura 73. Variação do PET durante o dia. Cenários D (L/H=3), E (L/H=5) e F (L/H=7) - com espaçamento - e D1 (L/H=3), E1 (L/H=5) e F1 (L/H=7) - sem espaçamento. Relação H/W=1,0.

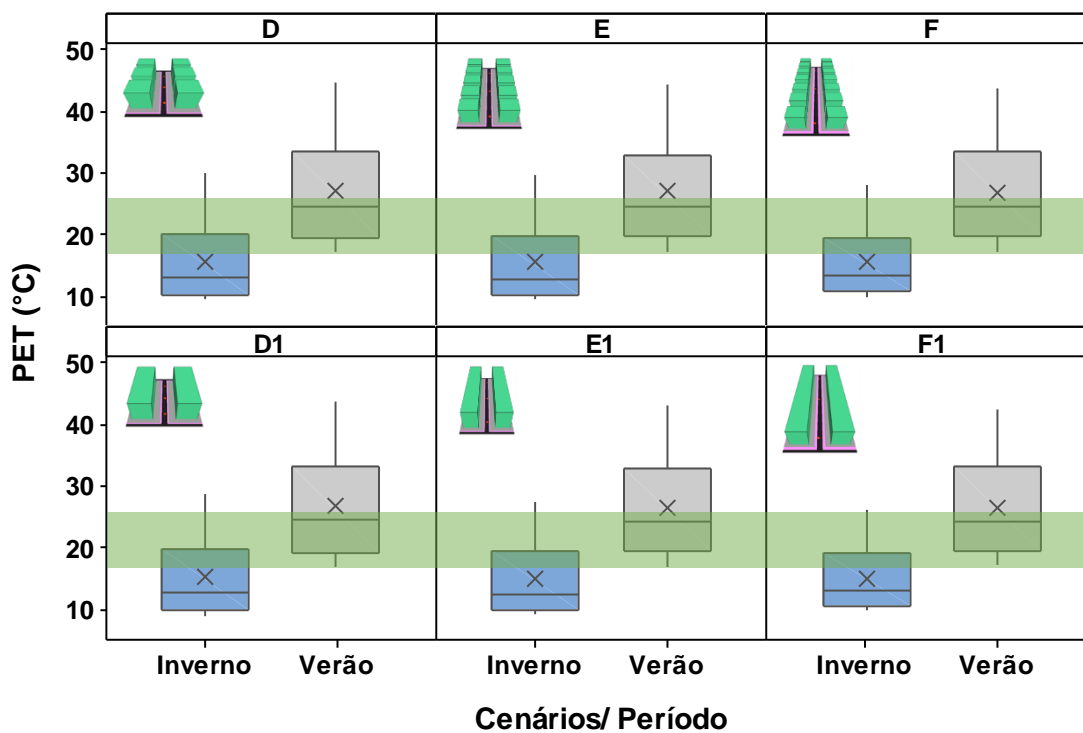
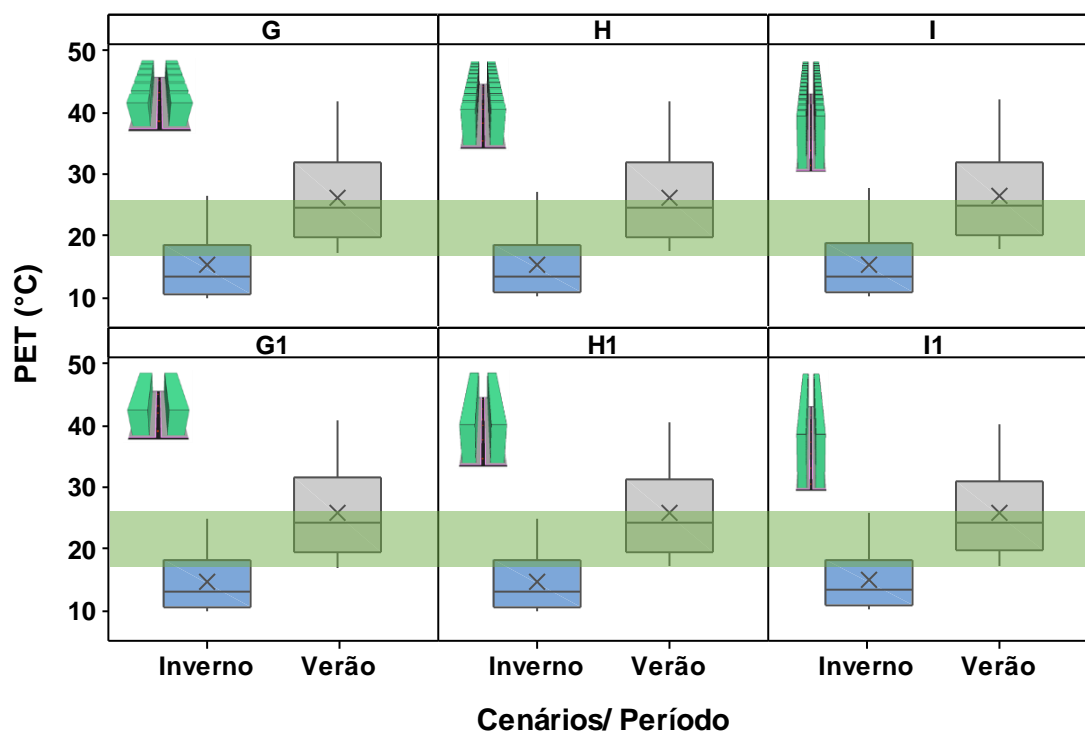


Figura 74. Variação do PET durante o dia. Cenários A (L/H=3), B (L/H=5) e C (L/H=7) - com espaçamento - e A1 (L/H=3), B1 (L/H=5) e C1 (L/H=7) - sem espaçamento. Relação H/W=2,0.



Considerando todos os cenários avaliados em comparação com a escala de conforto térmico para o índice PET proposta por Monteiro e Alucci (2010) para São Paulo, verifica-se que em todos os cenários atinge-se em algum momento do dia a sensação de conforto ($18^{\circ}\text{C} < \text{PET} < 26^{\circ}\text{C}$) e que a orientação NE-SO é a que proporciona maior período de desconforto para o calor ($\text{PET} > 26^{\circ}\text{C}$) ao nível do pedestre, da mesma forma como acontece para os cânions mais rasos, de menor relação H/W. Além disso, no período de verão não foi observada ocorrência de desconforto para o frio ($\text{PET} < 18^{\circ}\text{C}$), ao passo que no período de inverno, os horários mais quentes do dia ocasionarem sensação de desconforto para o calor ($\text{PET} > 26^{\circ}\text{C}$).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo um recorte urbano localizado no bairro Cambuí da cidade de Campinas, São Paulo, foi tomado como base para simulações computacionais, visto que, dada a configuração e tendência do bairro para o adensamento urbano e verticalização, o recorte que hoje contempla edifícios de baixa altura tem grandes possibilidades de ter sua conformação e geometria urbana alteradas.

Para este recorte foram propostos cenários de simulação que permitiram a avaliação do comportamento climático e da sensação de conforto térmico ao nível do pedestre mediante o aumento das relações H/W e L/H, o rotacionamento do cânion e a existência ou não de recuo lateral entre as edificações. O estudo do comportamento climático destes cenários foi desenvolvido com base na análise das variáveis meteorológicas simuladas pelo programa ENVI-met 4.0 *preview* e da sensação de conforto, por meio do índice PET (*Physiological Equivalent Temperature*), calculado com o programa RayMan Pro 1.2. Todos os cenários foram avaliados nas estações de inverno e verão.

Os resultados obtidos evidenciaram que os parâmetros reguladores do uso do solo previstos na legislação, como coeficiente de aproveitamento, taxa de ocupação e recuos mínimos, são determinantes da geometria do cânion, influenciando na sua relação altura largura e também no espaçamento entre edifícios.

Ficou evidente que cenários com cânions de maior relação altura largura proporcionam aumento da velocidade do vento e maior sombreamento das superfícies pelas edificações, o que reduz a variação da sensação de conforto térmico durante o dia e abaixa os valores de pico do PET, melhorando o conforto térmico ao nível do pedestre, principalmente no período de verão. Além disso, o aumento da relação H/W proporcionou redução da temperatura do ar máxima e da temperatura superficial.

O alongamento do cânion, aumento da relação entre o seu comprimento e sua altura, por sua vez, não acarretou variações significativas na sensação de conforto térmico ao nível do pedestre. Entretanto, no que tange ao comportamento climático notou-se leve redução na temperatura do ar máxima quando do aumento da relação L/H.

A eliminação do espaçamento entre as edificações (eliminação dos recuos laterais) resultou em redução de cerca de 2°C no valor de pico do índice PET, uma vez que cânions menos permeáveis ao vento levam à canalização do mesmo e, portanto, aumentam sua velocidade.

A estratégia de rotacionamento do cânion nas orientações N-S, L-O, NE-SO e NO-SE permitiu concluir que cânions orientados paralelamente à direção predominante dos ventos permitem melhor ventilação do mesmo, melhorando a sensação de conforto e reduzindo os picos de temperatura do ar e superficial, ao passo que, em cânions orientados perpendicularmente à direção predominante dos ventos, as edificações atuam como barreiras para a passagem dos ventos, reduzindo sua velocidade e aumentando a sensação de desconforto.

Tendo isso em vista, os cenários estudados neste trabalho permitiram identificar as seguintes implicações no desenho urbano:

- em cânions urbanos já existentes orientados perpendicularmente à direção predominante dos ventos, onde a posição das edificações bloqueia e reduz sua velocidade, o aumento da relação H/W resultaria em sombreamento da superfície e aumento da velocidade do vento, melhorando a sensação de conforto ao nível do pedestre;
- no planejamento urbano de novos loteamentos a orientação das vias há de ser considerada, resultando em melhoramento do conforto térmico ao nível do pedestre quando estas forem orientadas paralelamente à direção predominante dos ventos;
- reduzir o espaçamento entre edificações é uma estratégia que garante o aumento da velocidade do vento no cânion e conseqüentemente melhora a sensação de conforto térmico ao nível do pedestre.

Considerando o local de estudo a recomendação seria buscar uma relação altura largura do cânion próxima de 1 (cânion regular), a qual proporcionaria redução no valor de pico do PET no período de verão e não aumentaria

significativamente o desconforto para o frio no período de inverno, apresentando-se assim como uma solução benéfica para ambas as estações.

Diante do exposto apresenta-se a seguir algumas sugestões para trabalhos futuros, a fim de compreender mais profundamente a relação existente entre a geometria urbana, o clima de espaços abertos e o conforto térmico:

- investigar a insolação proporcionada pelos cenários em cada orientação, a fim de compreender melhor o efeito do sombreamento sobre o conforto térmico ao nível do pedestre;
- isolar a variável velocidade do vento, a fim de investigar o efeito isolado da orientação do cânion sobre as condições climáticas, e não seu efeito combinado;
- comparar a sensação de conforto percebida no local com a sensação obtida pelos modelos de simulação, a fim de quantificar a melhoria proporcionada pelas estratégias sugeridas.

Enfatiza-se que as estratégias aqui abordadas mostraram-se benéficas no que diz respeito ao conforto térmico ao nível do pedestre no interior do cânion urbano. São indicados, no entanto, estudos futuros que considerem o conforto do pedestre e o acesso solar de maneira conjugada, levando em consideração não somente o cânion, mas também o interior das quadras.

REFERÊNCIAS

- ABREU, L. V.; LABAKI, L. C. Conforto térmico propiciado por algumas espécies arbóreas: avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 103-117, out./dez. 2010.
- ABREU-HARBICH, L. V.; LABAKI, L. C.; MATZARAKIS, A. Thermal bioclimate in idealized urban street canyons in Campinas, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 115, p. 333-340, 2014.
- ACERO, J. A.; HERRANZ-PASCUAL, K. A comparison of thermal comfort conditions in four urban spaces by means of measurements and modelling techniques. **Building and Environment**, v. 93, p. 245–257, nov. 2015.
- AFIQ, W. M. Y.; AZWADI, C. S. N.; SAQR, K. M. Effects of buildings aspect ratio, wind speed and wind direction on flow structure and pollutant dispersion in symmetric street canyons: a review. **International Journal of Mechanical and Materials Engineering (IJMME)**, v. 7, n. 2, p. 158–165, 2012.
- AGUIRRE JUNIOR, J. H. de. **Arborização viária como patrimônio municipal de Campinas/SP: histórico, situação atual e potencialidades no bairro Cambuí**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2008.
- AHMAD, K.; KHARE, M.; CHAUDHRY, K. K. Wind tunnel simulation studies on dispersion at urban street canyons and intersections - A review. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 93, n. 9, p. 697–717, 2005.
- AHMED, A. Q.; OSSEN, D. R.; JAMEI, E.; MANAF, N. A.; SAID, I.; AHMAD, M. H. Urban surface temperature behaviour and heat island effect in a tropical planned city. **Theoretical and Applied Climatology**, p. 1–22, 2015.
- AKBARI, H. Shade trees reduce building energy use and CO₂ emissions from power plants. **Environmental pollution**, v. 116, p. 119–26, 2002.
- ALCHAPAR, N. L.; CORREA, E. N.; CANTÓN, M. A. Índice de reflectancia solar de revestimientos verticales: potencial para la mitigación de la isla de calor urbana. **Ambiente Construído**, setembro 2012. 107-123.
- ALCHAPAR, N. L.; PEZZUTO, C. C.; CORREA, E. N.; LABAKI, L. C. The impact of different cooling strategies on urban air temperatures: the cases of Campinas, Brazil and Mendoza, Argentina. **Theoretical and Applied Climatology**, 2016.
- 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**, v. 41, n. 2, p. 94–108, fev. 2006.
- ALVES, E. D. L.; VECCHIA, F. A. S. Análise de diferentes métodos de interpolação para a precipitação pluvial no Estado de Goiás. **Acta Scientiarum. Human and Social Sciences**. v. 33, n. 2, p. 193-197, 2011.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, **ASHRAE 55-2004**. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ASHRAE, 2004.

BARTHOLOMEI, C. L. B. **Influência da vegetação no conforto térmico urbano e no ambiente construído**. Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas, 2003.

BATTISTA, G.; EVANGELISTI, L.; GUATTARI, C.; DE LIETO VOLLARO, R. On the influence of geometrical features and wind direction over an urban canyon applying a FEM analysis. **Energy Procedia**, v. 81, p. 11–21, 2015.

BATTIBUGLI, A. **Vista aérea da cidade**. 2016. Editora Abril. Disponível em <<http://viajaequi.abril.com.br/cidades/br-sp-campinas>> Acesso em: 22 ago. 2016.

BANCO MUNDIAL. **Relatório sobre desenvolvimento mundial – 2010. Visão geral. Desenvolvimento e mudança climática**. Banco Mundial, Washington, D.C. 42 p. 2010.

BOUGIATIOTI, F. Effect of urban geometry on surface temperatures of “ skin ” materials in Greek cities. **In. PLEA 2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture**, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006September, p. 6–8, 2006.

BOURBIA, F.; BOUCHERIBA, F. Impact of street design on urban microclimate for semi arid climate (Constantine). **Renewable Energy**, v. 35, p. 343–7, 2010.

BRUSE, M.; FLEER, H. Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. **Environmental Modelling & Software**, v. 13, n. 3-4, p. 373–384, out. 1998.

BRUSE, M.; FLEER, H. With a Three Dimensional Numerical Model. **Environmental Modelling & Software**, v. 13, n. 3-4, p. 373–384, 1998.

BURTON, A.; BAMBRICK, H.; FRIEL, S. If you don't know how can you plan? Considering the health impacts of climate change in urban planning in Australia. **Urban Climate**, v. 12, p. 104–118, 2015.

BYRNE, L. B.; BRUNS, M. A.; KIM, K. C. Ecosystem properties of urban land covers at the aboveground-belowground interface. **Ecosystems**, v. 11, n. 7, p. 1065–1077, 2008.

CAMPINAS (Prefeitura Municipal). Lei nº 6.031 de 29 de dezembro de 1988. **Dispõe sobre o Uso e Ocupação do Solo do município de Campinas**, 1988.

CAMPINAS (Prefeitura Municipal). Lei Complementar Nº 15 de 27 de dezembro de 2006. **Dispõe sobre o Plano Diretor do Município de Campinas**. p. 1–39, 2006.

CAMPINAS (Prefeitura Municipal). (2014). **P3A Análise e Diagnóstico Técnico**. Disponível em: <http://campinas.sp.gov.br/governo/seplama/luos/p3a/p3a_r04_consolidado.pdf> Acesso em: 05 jun. 2016.

CAMPINAS (Prefeitura Municipal). (2016a). **Dados geográficos**. Disponível em: <<http://www.campinas.sp.gov.br/governo/seplama/dados-do-municipio/cidade/>>. Acesso em: 9 mai. 2016.

CAMPINAS (Prefeitura Municipal). (2016b). **Histórico de número de imóveis por macrozona**. Disponível em: <<http://2009.campinas.sp.gov.br/seplama/publicacoes/planodiretor2006/tabelas/tab1.jpg>>. Acesso em: 9 mai. 2016.

CAMPINAS (Prefeitura Municipal). (2016c). **CENSO 2000 - Unidades Territoriais Básicas (UTBs) - População por UTB**. Disponível em: <http://www.campinas.sp.gov.br/governo/seplama/publicacoes/censo2000/utb/utb_pop_to tal.php>. Acesso em: 9 mai. 2016.

CATALOGO SIGMA. **Solar Radiation Shield Installation Guide – Hobo RS1**. Disponível em: <http://www.sigmasensors.com.br/files/manuais_e_tutoriais/4115-B-MAN-RS1.pdf> Acesso em: 21 fev. 2017.

CEPAGRI - Centro de pesquisas meteorológicas e climáticas aplicadas a agricultura. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>. Acesso em: 9 mai. 2016. (2016a)

CEPAGRI - Centro de pesquisas meteorológicas e climáticas aplicadas a agricultura. **Clima de Campinas**. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-de-campinas.html>>. Acesso em: 9 mai. 2016. (2016b)

CHAPPIN, E. J. L.; VAN DER LEI, T. Adaptation of interconnected infrastructures to climate change: A socio-technical systems perspective. **Utilities Policy**, v. 31, p. 10–17, 2014.

CHOW, W. T.L. BRAZEL A. J. Assessing xeriscaping as a sustainable heat island mitigation approach for a desert city. **Building and Environment**, v. 47, p. 170 – 181, 2012.

CIIAGRO ONLINE - Centro integrado de informações agrometeorológicas. **Resenha Agrometeorológica 2015**. Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/>> Acesso em: 09 nov. 2016.

CORREA, E. et al. Thermal comfort in forested urban canyons of low building density. An assessment for the city of Mendoza, Argentina. **Building and Environment**, v. 58, p. 219–230, 2012.

COSTA, N. S. D., BALDO, M. C., SILVA, R. F., LIMA, V. O. BASANE, A. C. Análise comparativa da temperatura no centro da cidade e na área rural de Campo Mourão – PR. In.: II SIMPÓSIO DE ESTUDOS URBANOS: A DINÂMICA DAS CIDADES E A PRODUÇÃO DO ESPAÇO. **Anais...** SEURB, 2013.

DJUKIC, A.; VUKMIROVIC, M.; STANKOVIC, S. Principles of climate sensitive urban design analysis in identification of suitable urban design proposals. Case study: Central zone of Leskovac competition. **Energy and Buildings**, v. 115, p. 23–35, 2015.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: Métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 152 f. 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. Urban Geometry, Surface Temperature and Air Temperature. **Energy and Buildings**, v. 15–16, p. 141–145, 1990.

ELNABAWI, M. H.; HAMZA, N.; DUDEK, S. Use and evaluation of the ENVI-met model for two different urban forms in Cairo, Egypt: Measurements and model simulations. **13th Conference of International Building Performance Simulation Association**, Chambéry, França, p. 26-28, 2013.

EMMANUEL, R.; JOHANSSON, E. Influence of urban morphology and sea breeze on hot humid microclimate: The case of Colombo, Sri Lanka. **Climate Research**, v. 30, n. 3, p. 189–200, 2006.

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, p. 1995–2004, 2007.

EMMANUEL, R.; LOCONSOLE, A. Green infrastructure as an adaptation approach to tackling urban overheating in the Glasgow Clyde Valley Region, UK. **Landscape and Urban Planning**, v. 138, p. 71–86, 2015.

GHAFFARIANHOSEINI, A.; BERARDI, U.; GHAFFARIANHOSEINI, A. Thermal performance characteristics of unshaded courtyards in hot and humid climates. **Building and Environment**, v. 87, p. 154–168, 2015.

GIANNOPOULOU, K.; SANTAMOURIS, M.; LIVADA, I.; GEORGAKIS, C.; CAOURIS, Y. The impact of canyon geometry on intra Urban and Urban: Suburban night temperature differences under warm weather conditions. **Pure and Applied Geophysics**, v. 167, n. 11, p. 1433–1449, 2010.

GILL, S. E. et al. Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. **Built Environment**, v. 33, n. 1, p. 115–133, 2007.

GIRGIS, N.; ELARIANE, S.; RAZIK, M. Evaluation of Heat Exhausts Impacts on Pedestrian Thermal Comfort. **Sustainable Cities and Society** (In Press), jul. 2015.

GIVONI, B. The influence of work and environmental conditions on the physiological responses and thermal equilibrium of man. In: **Symposium on Environmental Physiology and Psychology in Arid Conditions**, Lucknow, Índia. Anais... Lucknow: UNESCO, p. 199-204, 1962.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 11–23, 1992.

GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design**. Hoboken: John Wiley & Sons; 1998.

GIVONI, B., NOGUCHI, M. Issues in outdoor comfort research. In: **PLEA**, 2000, Cambridge. Proceedings... Cambridge: James & James, p. 562 – 565, 2000.

GOLANY, G. S. Urban design morphology and thermal performance. **Atmospheric Environment**, v. 30, n. 3, p. 455-465, 1996.

GOMES, P. S. Clima e Planejamento Ambiental Urbano: Estudo Preliminar. **Paisagem Ambiente: ensaios**, n. 23, p. 42-49, 2007.

GUO, H.; MURRAY, F.; LEE, S. C. Emissions of total volatile organic compounds from pressed wood products in an environmental chamber, **Building and Environment**, v. 37, n. 11, p. 1117-1126, 2002.

GUSSON, C. S. **Efeito da Densidade Construída Sobre o Microclima Urbano: Construção de Diferentes Cenários Possíveis e seus Efeitos no Microclima para a Cidade de São Paulo, SP**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo, p. 152, 2014.

HEDQUIST, B. C.; BRAZEL, A. J. Seasonal variability of temperatures and outdoor human comfort in Phoenix, Arizona, U.S.A. **Building and Environment**, v. 72, p. 377-388, 2014.

HIRASHIMA, S. Q. S.; ASSIS, E. S.; NIKOLOPOULOU, M. Daytime thermal comfort in urban spaces: A field study in Brazil. **Building and Environment**, v. 107, p. 245-253, 2016.

HUMPHREYS, M. Field studies of thermal comfort compared and applied. **BRE Current Paper**, 75/76, Londres, UK., 1975.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População Urbana - Censo Demográfico (1960-2010)**. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>>. Acesso em: 9 mai. 2016.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. 2015. **Sumário para os tomadores de decisão do Quinto relatório de avaliação (2014)**. Traduzido por Iniciativa Verde, São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www.iniciativaverde.org.br//lib/php/download.php?cfg=1&arq=produtos/37_2015_05_04_relatorio_ipcc_portugues.pdf&mde=ProdItem&cod=37>. Acesso em: 05 jun. 2016.

JAMEI, E. et al. Review on the impact of urban geometry and pedestrian level greening on outdoor thermal comfort. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 54, p. 1002-1017, 2016.

JENDRITZKY, G. & NÜBLER. A model analyzing the urban thermal environment in physiologically significant terms. **Archives for meteorology, geophysics, and bioclimatology**, n. 29, ser. B, p. 313-326, 1981.

JOHANSSON, E.; EMMANUEL, R. The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka. **International Journal of Biometeorology**, v. 51, n. 2, p. 119-133, 2006.

JOHANSSON, E. Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. **Building and Environment**, v. 41, n. 10, p. 1326-1338, 2006.

KLEEREKOPER, L.; VAN ESCH, M.; SALCEDO, T. B. How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 64, p. 30–38, 2012.

KRÜGER, E.; PEARLMUTTER, D.; RASIA, F. Evaluating the impact of canyon geometry and orientation on cooling loads in a high-mass building in a hot dry environment. **Applied Energy**, v. 87, n. 6, p. 2068–2078, 2010.

KRÜGER, E. L. Impacto do adensamento e da orientação solar de cânions urbanos na demanda por condicionamento térmico de edificações sob condições de clima desértico. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 1, p. 65–87, 2008.

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**, v. 46, n. 3, p. 621–634, 2011.

LABAKI, L. C.; FONTES, M. S. G. C.; BUENO-BARTHOLOMEI, C. L.; DACANAL, C. Conforto térmico em espaços públicos de passagem: estudos em ruas de pedestres no estado de São Paulo. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 167–178, 2012.

LIM, H. V. **Measuring and Modelling Spatial Variation of Temperature and Thermal Comfort in a Low-Density Neighbourhood in Singapore**. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais). Universidade Nacional de Singapura, 206 p, 2014.

LIMA, A. G.; MOTA, M. A. S. Comparação entre a temperatura da área urbana e da área rural do Município de Vigia-PA. In: IV Simpósio Internacional de Climatologia, 2011, João Pessoa - PB. **Anais do IV Simpósio Internacional de Climatologia**, 2011.

LIMA, L. C.; ZANELLA, M. E. A climatologia aplicada ao planejamento urbano e ambiental de Aquiraz/CE-BR. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, n. 47E, p. 1–13, 2011.

LOIS, E.; LABAKI, L. C. Conforto térmico em espaços externos: uma revisão. In: 6. ENCONTRO NACIONAL e 3. ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO. **Anais...** São Pedro, 2001.

MACIEL, C. R. **Condições microclimáticas de espaços abertos: simulação de estratégias por meio do software Envi-met**. Tese (Doutorado em Física Ambiental) Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental. Universidade Federal de Mato Grosso, 93 f, 2014.

MARTINELLI, L.; MATZARAKIS, A. Influence of height/width proportions on the thermal comfort of courtyard typology for Italian climate zones. **Sustainable Cities and Society**, v. 29, p. 97–106, 2017.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. **Aplicativo computacional RayMan 1.2**. Disponível: <<http://www.mif.uni-freiburg.de/rayman/>> Acesso 09 dez. 2016.

MAYER, H., HÖPPE, P. Thermal comfort of man in different urban environments. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 38, p. 43-49, 1987.

MENDONÇA, F. A. **O estudo do clima urbano no Brasil: evolução, tendências e alguns desafios**. p.175-192. In: MONTEIRO, C. A F.; MENDONÇA, F. A. (Orgs). **Clima Urbano**. São Paulo: Editora Contexto, 2003.192p.

MINELLA, F. C. O.; HONJO, S.; KRÜGER, E. L. Estratégias de melhoria do ambiente térmico diurno em situação de verão de uma fração urbana da cidade de São Paulo. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 4, p. 139–158, 2012.

MIRZAEI, P. A.; HAGHIGHAT, F. Approaches to study Urban Heat Island – Abilities and limitations. **Building and Environment**, v. 45, n. 10, p. 2192–2201, 2010.

MME – Ministério de Minas e Energia. 2009. **Balanco Energético Nacional – Resultados Preliminares Empresa de Pesquisa Energética**. Rio de Janeiro: EPE, 2009. Disponível em: <<https://www.ben.epe.gov.br>> Acesso em: 05 jun. 2016.

MONTEIRO, L.; ALUCCI, M. Índices de Conforto Térmico em Espaços Urbanos Abertos. **Fórum Patrimônio**. Belo Horizonte, v. 4, n.1, jan. / jun. 2010.

MONTEIRO, C. A. F; MENDONÇA, F. **Clima Urbano**. São Paulo, Contexto, 2003, p. 09-68.

MORGAN, D. L. & BASKETT, R. I. Comfort of man in the city: an energy balance model of man-environment coupling, **International Journal of Biometeorology**, v. 18, p. 184-198, 1974.

MOURA SANTOS, F. M. et al. Influencia da ocupação do solo no clima urbano de Cuiabá, Estado do Mato Grosso, Brasil. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, Ituiutaba, v. 4, n. 1, p. 100-121, 2013

NASCIMENTO, T. C. C.; JÚNIOR, J. S. G.; BARBOSA, R. V. R. Estudo comparativo entre cânions urbanos formados em ruas com diferentes configurações: influência da verticalização para o clima urbano. In.: XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Campinas, 2015.

NICHOLSON, S. E. A pollution model for street-level air. **Atmospheric Environment (1967)**, v. 9, n. 1, p. 19–31, 1975.

NIKOLOVA, I. et al. Dispersion modelling of traffic induced ultrafine particles in a street canyon in Antwerp, Belgium and comparison with observations. **The Science of the total environment**, v. 412-413, p. 336–43, 15 dez. 2011.

NOBRE, C. A. **Fundamentos científicos das mudanças climáticas**. São José dos Campos, SP: Rede Clima/INPE, 2012. 44 p.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2. ed. London: Matheun, 1987.

OKE, T. R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. **Journal of Climatology**, v. 1, n. 3, p. 237–254, 1981.

OKE, T. R. **Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations At Urban Sites**. In.: Instruments and Observing Methods Report n°. 81. WMO, 2006.

OKE, T. R. Street design and urban canopy layer climate. **Energy and Buildings**, v. 11, n. 1-3, p. 103–113, 1988.

OLIVEIRA, G. S.; NOBRE, C. A. **Mudanças Climáticas**. In: RUTKOWSKI, E. W. Mudanças climáticas e mudanças socioambientais globais: reflexões sobre alternativas de futuro. Brasília: UNESCO, IBECC, 15-31, 2008.

PENG, L.; JIM, C. Green-Roof Effects on Neighborhood Microclimate and Human Thermal Sensation. **Energies**, v. 6, n. 2, p. 598–618, 2013.

PERINI, K.; MAGLIOCCO, A. Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 13, n. 3, p. 495–506, mar. 2014.

ROSENFELD, A. H. et al. Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates. **Energy and Buildings**, v. 22, n. 3, p. 255–265, 1995.

ROSSETI, K. A. **Efeitos do uso de telhado vegetado em ilhas calor urbanas com simulação pelo software Envi- met**. Tese (Doutorado em Física Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental. Universidade Federal de Mato Grosso, 253 f, 2013.

SÁ, E. et al. Climate change and pollutant emissions impacts on air quality in 2050 over Portugal. **Atmospheric Environment**, v. 131, p. 209–224, 2016.

SAMAALI, M. et al. Analysis of a 3D boundary layer model at local scale: Validation on soybean surface radiative measurements. **Atmospheric Research**, v. 85, n. 2, p. 183–198, ago. 2007.

SANTAMOURIS, M. et al. Using cool paving materials to improve microclimate of urban areas - Design realization and results of the flisvos project. **Building and Environment**, v. 53, p. 128–136, 2012.

SANTAMOURIS, M. On the energy impact of urban heat island and global warming on buildings. **Energy and Buildings**, v. 82, p. 100–113, out. 2014.

SANTAMOURIS, M.; SYNNEFA, A.; KARLESSI, T. Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. **Solar Energy**, v. 85, n. 12, p. 3085–3102, dez. 2011.

SÃO PAULO (ESTADO). Secretaria do Meio Ambiente / CETESB. **Mudanças climáticas globais no Estado de São Paulo**. Oliveira, Rafaela Di Fonzo; Alves, João Wagner Silva. São Paulo: SMA, 2011. 83p.

SAILOR, D.; FAN, H. Modeling the diurnal variability of effective albedo for cities. **Atmospheric Environment**, v. 36, p. 713–725, 2002.

SAVI, M. A. **Dinâmica não-linear e caos**. Editora E-papers, 2006.

SEADE - Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **Informações dos municípios paulistas - Campinas**. 2010. Disponível em: <<http://www.imp.seade.gov.br/frontend/#/perfil>>. Acesso em: 9 mai. 2016.

SHASHUA-BAR, L.; HOFFMAN, M. E. Quantitative evaluation of passive cooling of the UCL microclimate in hot regions in summer, case study: Urban streets and courtyards with trees. **Building and Environment**, v. 39, n. 9, p. 1087–1099, 2004.

SHASHUA-BAR, L.; TSIROS, I. X.; HOFFMAN, M. E. A modeling study for evaluating passive cooling scenarios in urban streets with trees. Case study: Athens, Greece. **Building and Environment**, v. 45, n. 12, p. 2798–2807, 2010.

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, 2013.

SKELHORN, C.; LINDLEY, S.; LEVERMORE, G. The impact of vegetation types on air and surface temperatures in a temperate city: A fine scale assessment in Manchester, UK. **Landscape and Urban Planning**, v. 121, p. 129–140, 2014.

SOUZA, A. L. F. de; MASSAMBANI, O. Ilha de calor urbana na Região Metropolitana de São Paulo. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia: Meteorologia e o Desenvolvimento Sustentável, 2004, Fortaleza. **Anais...** 2004.

SOUZA, L. C. L. de et al. Fator de visão do céu e intensidade de ilhas de calor na escala do pedestre. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 155–167, 2010.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local climate zones for urban temperature studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 12, p. 1879–1900, 2012.

STONE, R. J. Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models. **Solar Energy**, v. 51, n. 4, p. 289–291, 1993.

STRØMANN-ANDERSEN, J.; SATTRUP, P. A. The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 8, p. 2011–2020, ago. 2011.

SUN, L. et al. Impact of Land-Use and Land-Cover Change on urban air quality in representative cities of China. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 142, p. 43–54, 2016.

SYNNEFA, A. et al. On the use of cool materials as a heat island mitigation strategy. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 47, n. 11, p. 2846–2856, 2008.

SYNNEFA, A.; SALIARI, M.; SANTAMOURIS, M. Experimental and numerical assessment of the impact of increased roof reflectance on a school building in Athens. **Energy and Buildings**, v. 55, p. 7–15, 2012.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; APOSTOLAKIS, K. On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment. **Solar Energy**, v. 81, n. 4, p. 488–497, abr. 2007.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; LIVADA, I. A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment. **Solar Energy**, v. 80, n. 8, p. 968–981, 2006.

SZÚCS, Á. Wind comfort in a public urban space - Case study within Dublin Docklands. **Frontiers of Architectural Research**, v. 2, n. 1, p. 50–66, 2013.

TALEGHANI, M.; KLEEREKOPER, L.; TENPIERIK, M.; VAN DEN DOBBELSTEEN, A. Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. **Building and Environment**, v. 83, p. 65–78, mar. 2015.

VARDOULAKIS, S.; FISHER, B. E. A.; PERICLEOUS, K.; GONZALEZ-FLESCA, N. Modelling air quality in street canyons: a review. **Atmospheric Environment**, v. 37, p. 155–182, 2003.

VASCONCELOS, J. S. **Índices Urbanísticos e o Ambiente Térmico: Estudo em uma Fração Urbana da Cidade de São Carlos-SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. UFSP, 102 f, 2014.

VILELA, J. A. **Variáveis do clima urbano: análise da situação atual e prognósticos para a região do bairro Belvedere III, Belo Horizonte, MG**. 213p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal Minas Gerais, Escola de Arquitetura, 2007.

VIRK, G. et al. Microclimatic effects of green and cool roofs in London and their impacts on energy use for a typical office building. **Energy and Buildings**, v. 88, p. 214–228, 2015.

WANG, Y.; BERARDI, U.; AKBARI, H. Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada. **Energy and Buildings**, jun. 2015.

WILLMOTT, C.J. On the validation of models, **Physical Geography**, v. 2, n. 2, p. 184-194, 1981.

WMO. World Meteorological Organization. (2009). **Guide to Climatological Practices. Third Edition (draft). WMO – N°100**, Genebra: WMO. Disponível em: <<http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/documents/Guide2.pdf>> Acesso em: 05 jun. 2016.

YAHIA, M. W.; JOHANSSON, E. Influence of urban planning regulations on the microclimate in a hot dry climate: The example of Damascus, Syria. **Journal of Housing and the Built Environment**, v. 28, n. 1, p. 51–65, 2013.

YAHIA, M. W.; JOHANSSON, E. Landscape interventions in improving thermal comfort in the hot dry city of Damascus, Syria-The example of residential spaces with detached buildings. **Landscape and Urban Planning**, v. 125, p. 1–16, 2014.

YANG, J.; WANG, Z.-H.; KALOUSH, K. E. Environmental impacts of reflective materials: Is high albedo a “silver bullet” for mitigating urban heat island? **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 47, p. 830–843, 2015.

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**, v. 60, p. 93–104, fev. 2013.