

AVALIAÇÃO DO AMBIENTE TÉRMICO DE UM CAMPUS UNIVERSITÁRIO COM O AUXÍLIO DE UMA PLATAFORMA SIG

Pedro Renan Debiazi (1); Léa Cristina Lucas de Souza (2)

(1) Mestrando, Arquiteto e Urbanista, pedro.arq@terra.com.br, Universidade Federal de São Carlos, Rodovia Washington Luís, km 235 – São Carlos-SP, 13565-905, 17 99791 3199

(2) Doutora, Professora do Departamento de Engenharia Civil, leacrist@ufscar.br, Universidade Federal de São Carlos, Rodovia Washington Luís, km 235 – São Carlos-SP, 13565-905, Tel.: (16) 3351-9692

RESUMO

Desafios operacionais e tecnológicos são características intrínsecas aos estudos da formação de microclimas decorrentes dos processos de urbanização e adensamento das cidades. Desenvolver novas metodologias aplicadas ao planejamento climático urbano é essencial, para garantir a precisão dos dados e a padronização dos resultados nas pesquisas do conforto térmico em espaços abertos. Este artigo tem como objetivo propor uma metodologia simplificada de classificação do ambiente térmico urbano, através da observação e análise do comportamento térmico de um *campus* universitário, com auxílio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Para isso, uma campanha de coleta de dados térmicos, com foi realizada em doze pontos dentro do *campus* da Universidade Federal de São Carlos, para os quais os fatores de visão do céu foram também estimados. Sensores digitais do tipo data-loggers foram instalados em diferentes locais, correspondendo a diferentes formas de ocupação e tipologias de edificações. Como resultado, foram desenvolvidos mapas térmicos baseados no método de interpolação, combinados com imagens de satélite. Esses mapas permitiram agrupar e classificar o ambiente térmico urbano do *campus* em três zonas microclimáticas, que apresentam comportamentos térmicos significativamente diferentes. As análises dos mapas térmicos foram relacionadas aos dados de fator de visão de céu e apontaram que, durante o dia, áreas com maior concentração de edifícios e superfícies impermeáveis tendem a ser mais quentes. Também foi observado que a altura das edificações está relacionada com a formação de ilha de calor noturna para o clima local.

Palavras-chave: mapeamento térmico, ilha de calor, fator de visão do céu

ABSTRACT

Operational and technological challenges are inherent features to studies of the microclimatic formation caused by the process of urbanization and densification of cities. The development of new technologies applied to the climatic urban planning is one of the keys to ensure data precision and standardization of results on the research of thermal comfort on open spaces. This paper aims at the proposal of a simplified methodology to classifying the urban thermal environment by a process of observation and analysis of the thermal behavior of a university campus together with the application of a Geographical Information System (GIS). For this purpose, a field campaign for data collection was carried out in twelve points of the university *campus* of the Federal University of São Carlos, for which the sky view factors were also estimated. Data-loggers were placed on different sites, which corresponded to distinct types of occupation and buildings. As a result, thermal maps were developed based on an interpolation method, combined with satellite images. These maps allowed the grouping and classification of the thermal urban environment of the campus into three microclimatic zones, which present significant differences on their thermal behavior. The analysis of the thermal maps were cross-examined with the sky view factor data and pointed out the tendency of areas with the highest concentration of buildings and impervious surfaces of being hotter than the others during the day. We have also observed that the heights of the buildings are related to the formation of nocturnal heat island in the local climate.

Keywords: thermal mapping, heat island, sky view factor

1. INTRODUÇÃO

O intenso e rápido processo de urbanização e adensamento das cidades tem imposto desafios para o estudo do clima e das modificações microclimáticas causadas pela ação do ambiente construído sobre o ambiente natural. A busca por cidades mais sustentáveis e com alto desempenho energético tem sido um dos grandes paradigmas da engenharia ambiental desde o final do século passado. As condições de conforto no ambiente urbano podem influenciar as condições de clima e conforto no interior das edificações, refletindo-se diretamente na eficiência energética das cidades (SHASHUA-BAR et al., 2012; WANG e AKBARI, 2014).

Carfan et al. (2012) indicam que a cidade é um mosaico de edificações, usos e ruas com um complexo arranjo que compõe diferentes microclimas.

Na medida em que a morfologia urbana é modificada, o comportamento térmico dos espaços também é alterado. As características de uso do solo são os primeiros fatores a influenciar o comportamento do clima nas cidades. É devido à grande variedade das formas de adensamento, ocupação e a grande complexidade das interações térmicas e os elementos da paisagem urbana, que o clima assume a microescala (SOUZA, 2010; YAN et al., 2014).

Souza et al. (2010) investigaram a relação entre temperatura do ar e a geometria urbana, e descobriram forte correlação entre o coeficiente de aproveitamento do solo e o aumento das temperaturas máximas e mínimas. A geometria urbana e o volume das edificações estão diretamente ligados à alteração do microclima dentro dos cânions urbanos. A densidade e a altura das edificações pode alterar a temperatura do ar no nível do solo, a velocidade dos ventos e, conseqüentemente, o balanço energético (OKE, 1973; ROSSI et al., 2011).

As coberturas das superfícies e fachadas exercem importante papel na alteração da temperatura do ar e umidade relativa. Andreou (2012) afirma que morfologia urbana afeta mais a temperatura da microescala, do que as propriedades térmicas e de refletância dos materiais. Superfícies naturais, como áreas vegetadas, possuem calor específico maior do que os materiais artificiais, e por isso garantem maior atraso no armazenamento e ganho de calor.

Silva et al. (2013), em um estudo realizado em um campus universitário brasileiro, encontraram maior intensidade de ilha de calor em meio às áreas mais edificadas em residências estudantis. Em relação à vegetação urbana, em um estudo realizado em Singapura, Hien e Jusuf (2011) concluíram que maciços de vegetação tendem a ser termicamente mais eficiente para proporcionar resfriamento evapotranspirativo para a microescala do que árvores espaçadas no alinhamento dos lotes e passeios.

Os estudos sobre o clima urbano impõem também grandes desafios tecnológicos, devido às dificuldades em medir e ponderar a influência da morfologia do ambiente construído sobre o surgimento e intensidade de ilha de calor urbana e sobre as alterações microclimáticas. Programas computacionais de Sistemas de Informações Geográficas têm sido amplamente utilizados para o desenvolvimento de ferramentas e métodos para avaliação do clima, com a criação de mapas temáticos. A aplicação desta ferramenta permite um maior controle e reconhecimento dos fatores locais e regionais, bem como, maior controle sobre o tratamento e precisão dos dados climáticos.

Estes mapas temáticos podem ser utilizados diretamente para aplicação em planos de ação, e estratégias de planejamento urbano, e também para avaliação do conforto e eficiência energética em ambientes internos.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é investigar e classificar o comportamento térmico do campus da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, com auxílio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) e conseqüente criação de mapas temáticos para classificação de zonas microclimáticas urbanas.

3. MÉTODO

Um levantamento dos dados térmicos foi feito em doze pontos dentro do campus da Universidade Federal de São Carlos. Em seguida os dados coletados foram submetidos a uma planilha eletrônica para o tratamento e análise estatística, com a extração das médias para os períodos de 12 horas, do dia (07h00min as 18h00min) e noite (19h00min as 06h00min).

3.1 Local de estudo

Localizada na região central do estado de São Paulo, Brasil, a cidade de São Carlos está distante a 228 km da capital, sob as coordenadas 21°30' e 22°30' Latitude Sul e 47°30' e 48°30' Longitude Oeste, a 846 metros

acima do nível do mar. Segundo a norma brasileira NBR 15.220, o município pertence à zona bioclimática Nº 04, classificada segundo Koeppen como Cwa, Clima Subtropical de Altitude, caracterizada por inverno seco e verão chuvoso.

O campus da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) foi fundado a mais de quarenta anos, e é uma extensa área arborizada dentro do perímetro urbano, e que conta com mais de 105 mil m² de área construída, para atender os mais de dez mil alunos distribuídos entre os cursos de graduação e pós-graduação.

Nesse *campus*, 12 sensores digitais termo-higrômetros tipo data-logger, foram instalados em diferentes pontos. Os locais de coleta levaram em conta diferentes situações de ocupação urbana, em que foram elencados os seguintes critérios para escolha:

- Locais de passagem de pedestre com vegetação arbórea;
- Locais de passagem de pedestre com vegetação arbustiva e rasteira;
- Locais de passagem de pedestre descampado e sem vegetação;
- Locais de permanência com vegetação arbórea;
- Locais de permanência descampados e sem vegetação;
- Locais de passagem de pedestre em vias com edificação e vegetação;
- Locais de passagem de pedestre em vias com edificações e sem vegetação;

A Localização da UFSCar e a distribuição dos pontos de coleta de dados térmicos podem ser observadas na Figura 01.

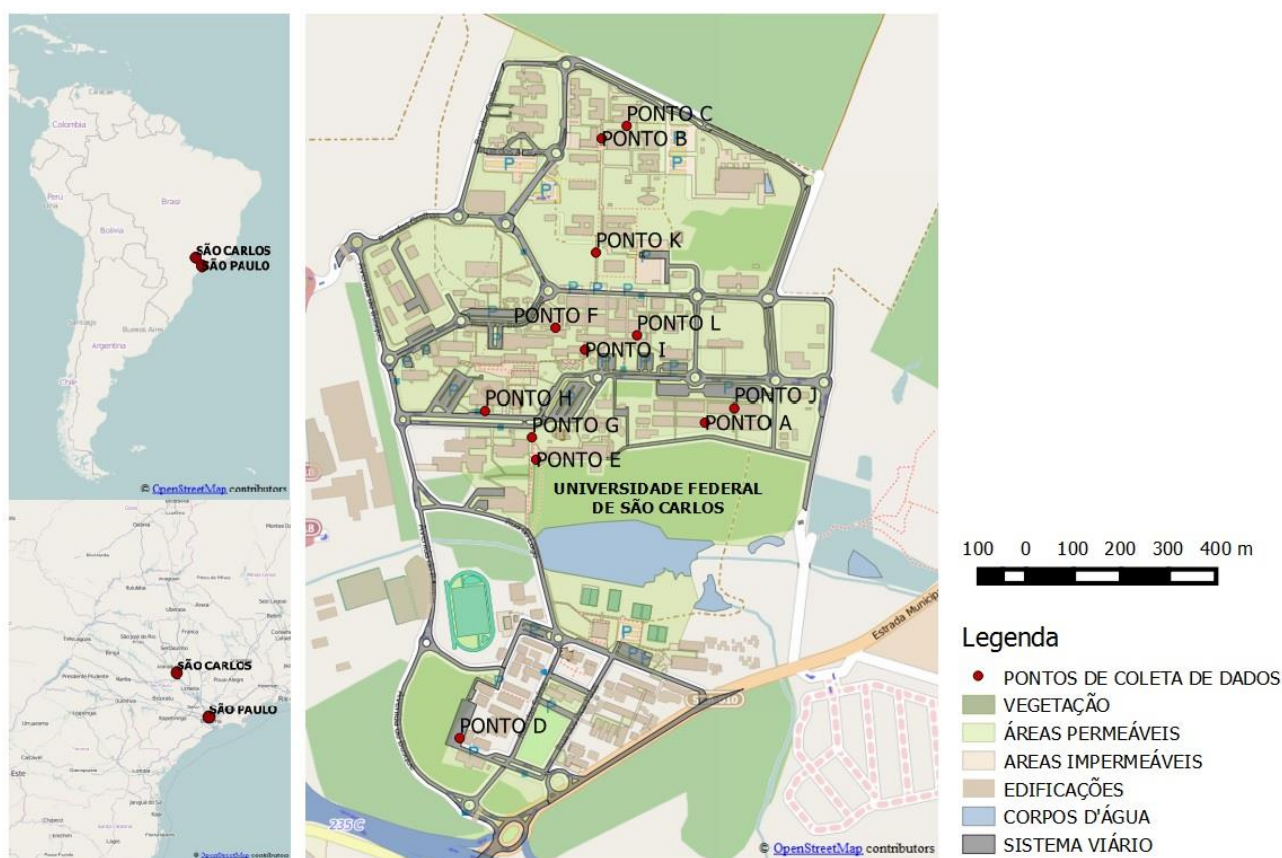


Figura 1- Localização da UFSCar e pontos de coleta de dados

3.2 Medições Térmicas

Para levantar os dados do ambiente térmico da UFSCar, foram coletados dados micrometeorológicos com termôhigrômetros e digitais do tipo data-loggers HOBO Pro V2 U23-001, com faixa de operação entre - 40° a 70° C, com índice de precisão de 0,2° C acima de 0° C até 50° C, resolução de 0,02 °C a 25 °C e tempo de resposta 40 minutos no ar em movimento de 1 m/s. Os sensores foram fixados em postes de iluminação a 2,5 metros do solo, devidamente equipados com escudos para proteção da radiação solar direta e uma cobertura extra com material metálico reflexivo (Figura 02).



Figura 2: Sensores digitais HOBO Pro V2 U23-001

A campanha para coleta dos dados ocorreu entre os meses de Outubro e Novembro de 2014. Após a análise atmosférica e da passagem das massas de ar, foi recortado o período entre os dias 16 e 17 de outubro, para dias de céu claro e vento calmo. Em função de diferenças nas passagens de massas de ar, foi preciso considerar ainda dois períodos de tempo típicos, o primeiro entre os dias 17 e 19, e o segundo entre os dias 19 e 24 de Outubro de 2014.

Uma câmera digital equipada com lente tipo olho de peixe foi utilizada para obter os valores do fator de visão do céu (FVC) de dez pontos de coleta de dados térmicos. As imagens foram tratadas em preto e branco e submetidas ao programa computacional RAYMAN 1.2 (MATZARAKIS, 2007; MATZARAKIS, 2010) para extração dos valores de FVC.

3.3 Tratamento e Análise dos dados térmicos

Após o tratamento para obtenção das médias por períodos, aqueles dados térmicos foram inseridos em um em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), para análise qualitativa e criação de mapas temáticos.

O Programa computacional *Quantum GIS V. 2.6* (Qgis) foi escolhido para esta pesquisa por ser um *software* livre e *Open Source* (código aberto), que possibilita a criação de ferramentas com maior controle sobre as operações realizadas. *Open Street Map (OPM)* e *Bing*, são bases de dados geográficos livres, que disponibilizam mapas e ferramentas para integração com o Qgis.

Os mapas térmicos foram criados utilizando-se o método de interpolação por Peso pelo inverso da distância (IDW) para os dados médios de temperatura do ar e umidade relativa obtidos a partir do intervalo de 12 horas (diurno das 7 às 19 e noturno das 19 às 7h).

A análise por mapas térmicos foi acompanhada, posteriormente, por uma verificação das tendências térmicas noturnas em função do fator de visão do céu, como forma de serem confirmadas algumas evidências demonstradas pelos mapas.

4. RESULTADOS

Como resultados foram obtidos mapas térmicos de temperatura do ar e umidade relativa, combinados com mapas de imagens de satélite e que permitiram a avaliação e identificação de zonas microclimáticas dentro do *campus* da UFSCar.

Os mapas térmicos de temperatura do ar e umidade relativa podem ser observados sequencialmente nas figuras 3, 4, 5 e 6.

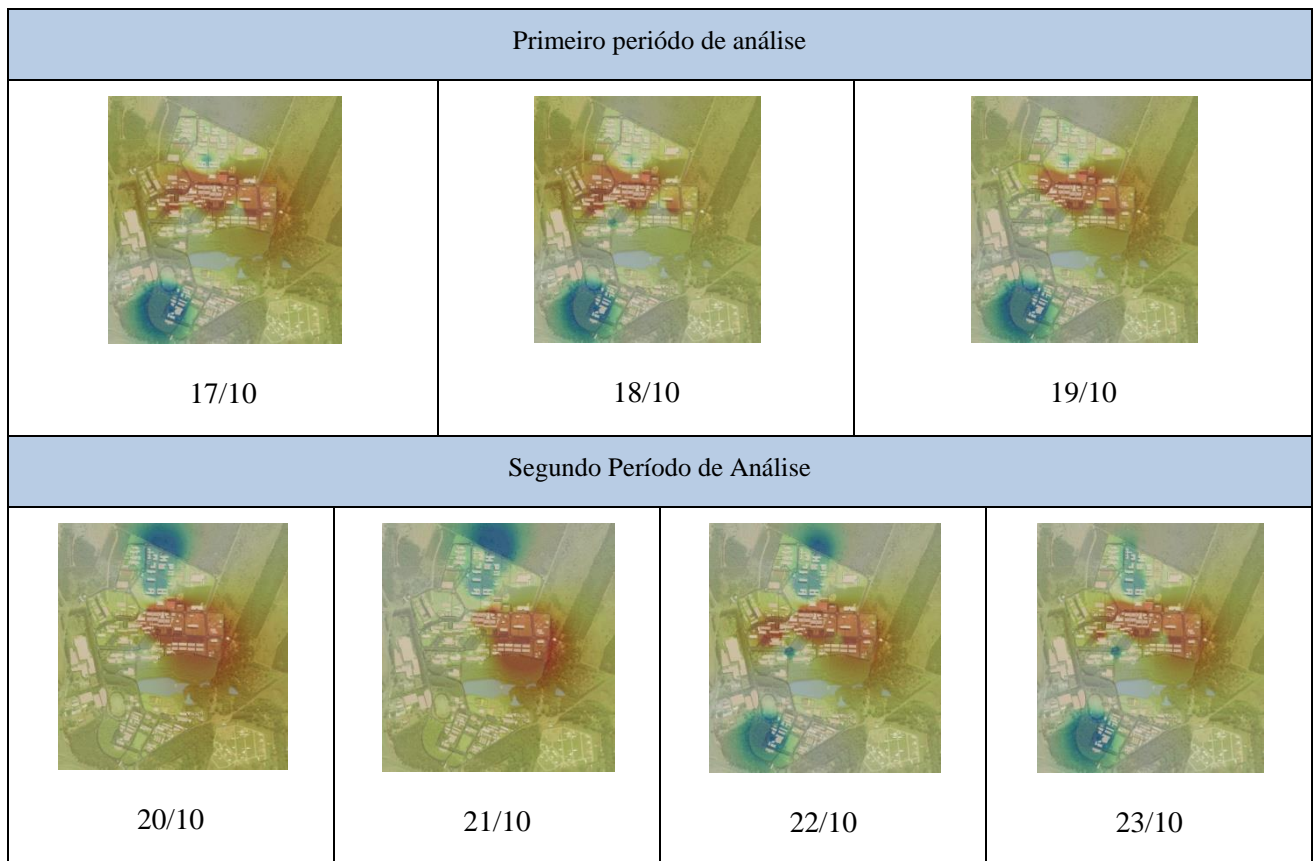


Figura 3: Temperatura do ar, média de 12 horas para o período diurno

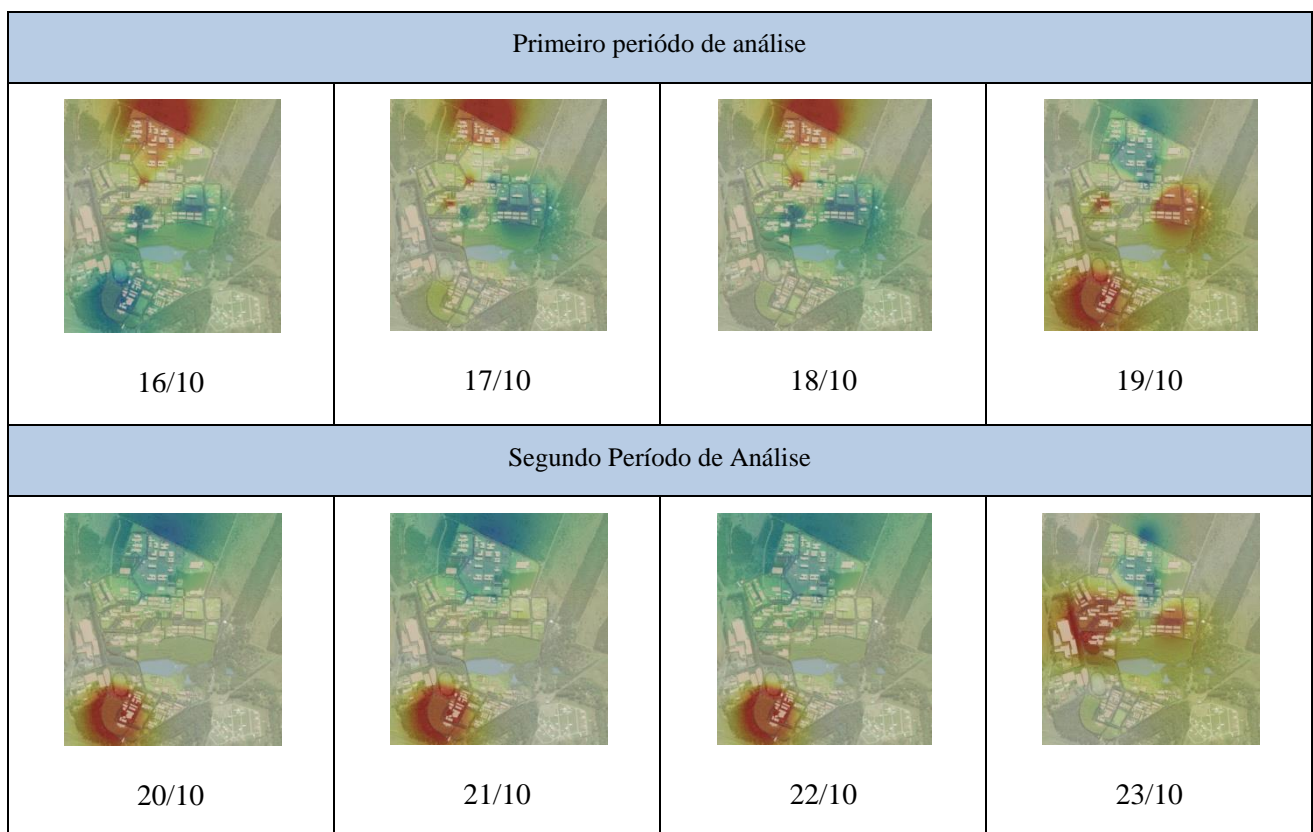


Figura 4: Temperatura do ar, média de 12 horas para o período noturno

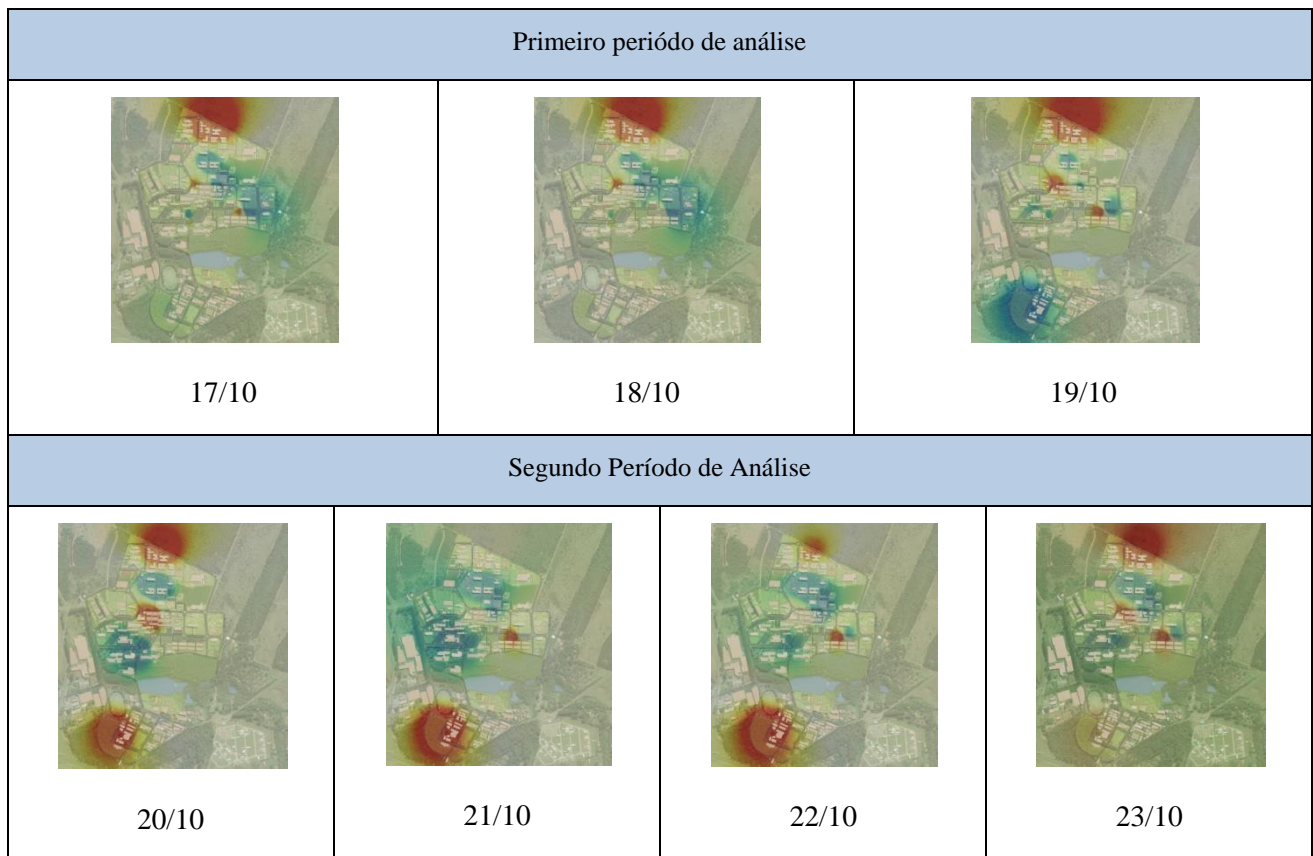


Figura 5: Umidade Relativa, média de 12 horas para o período diurno

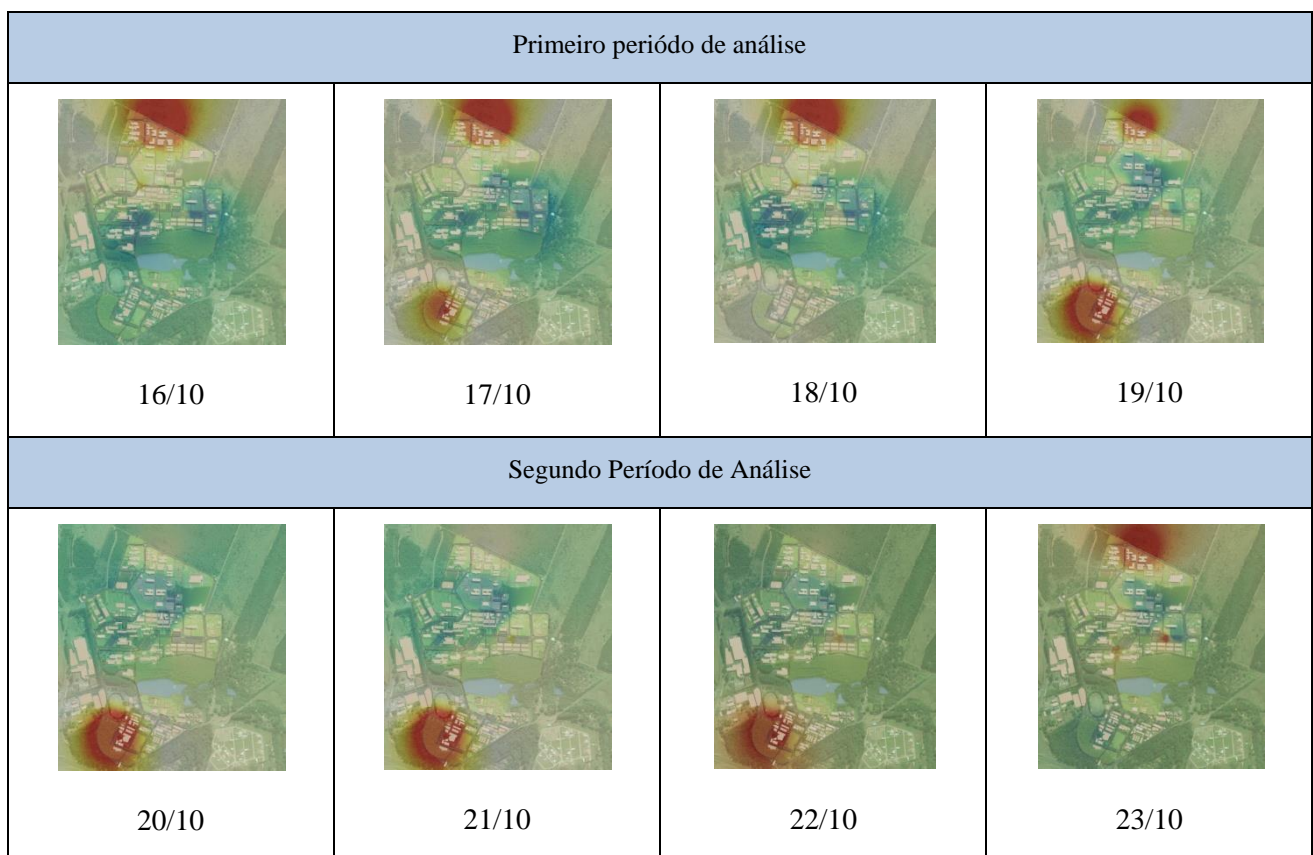


Figura 6: Umidade Relativa, média de 12 horas para o período noturno

4.1 Análises dos mapas térmicos

A partir dos mapas térmicos criados, foi possível identificar diferentes zonas térmicas, que estão associadas à configuração urbana. Em geral, identificou-se a presença de um campo térmico com maiores temperaturas nos locais com maior concentração de edifícios, maior densidade construtiva e menor cobertura de vegetação.

Foram observadas três grandes zonas com diferentes comportamentos na distribuição do padrão de temperatura do ar e umidade relativa (Figura 7).

Durante o dia, foi possível identificar, pela sequência de imagens, maiores temperaturas do ar na Zona 2. Esta foi a zona com maior densidade construtiva e maior área impermeável.

As Zonas 1 e 3 apresentaram temperaturas menos elevadas durante o dia. Tal fato para a Zona 3 pode estar associado ao grande índice de vegetação presente na área e à proximidade de um espelho d'água, ambos colaborando na promoção de resfriamento evapotranspirativo. Na Zona 1, tal fato pode estar relacionado ao maior espaçamento entre os edifícios, que proporciona melhor circulação e distribuição do fluxo dos ventos, e um maior sombreamento sobre os pontos de coleta, devido a maior altura das edificações.

Acerca da umidade relativa, foi possível observar que a Zona 1 foi também a zona mais seca, o que também pode estar relacionado à configuração urbana mais espaçada e com menor presença de vegetação arbórea.

Durante o dia, as Zonas 2 e 3 apresentaram maior umidade relativa. A presença de dois grandes maciços de vegetação e a proximidade com o espelho d'água contribuíram para manter as taxas de umidade do ar mais elevadas.

A baixa umidade registrada na Zona 1, também pode explicar o baixo potencial para aquecimento durante o dia. Entretanto, durante a noite, essa área apresentou uma maior tendência para um campo térmico de maiores temperaturas no primeiro período analisado, entre os dias 17 e 19/11.

A Zona 3 foi a zona mais fria e mais úmida durante todo o primeiro período de análise, durante o dia e à noite. No segundo período de análise (de 19 a 24/11), esta zona apresentou um acúmulo térmico, que pode estar associado ao acesso ao céu. Por ser um local com vegetação densa e adulta, o acesso ao céu para troca de calor durante a noite é menor, impedindo que as superfícies liberem a radiação de onda longa acumulada durante as horas do dia (quando a predominância é de ondas curtas). Por isso, o resfriamento torna-se mais lento e a perda de calor é menor.

Durante todo o período de análise, foi possível observar que as áreas com predominância de edificações baixas (até um pavimento), Zona 2, foram as áreas com as maiores temperaturas durante o dia, e temperaturas do ar mais amenas durante a noite. Tal fato pode também estar associado à exposição à radiação solar e ao acesso ao céu. Durante o dia estas áreas estão mais expostas à radiação solar direta, que aquece grande quantidade de superfície, contribuindo assim para aumento da temperatura do ar. No entanto durante a noite, o calor acumulado é liberado com mais facilidade, pois encontra menos obstáculos para a troca de calor com céu, naturalmente mais frio.

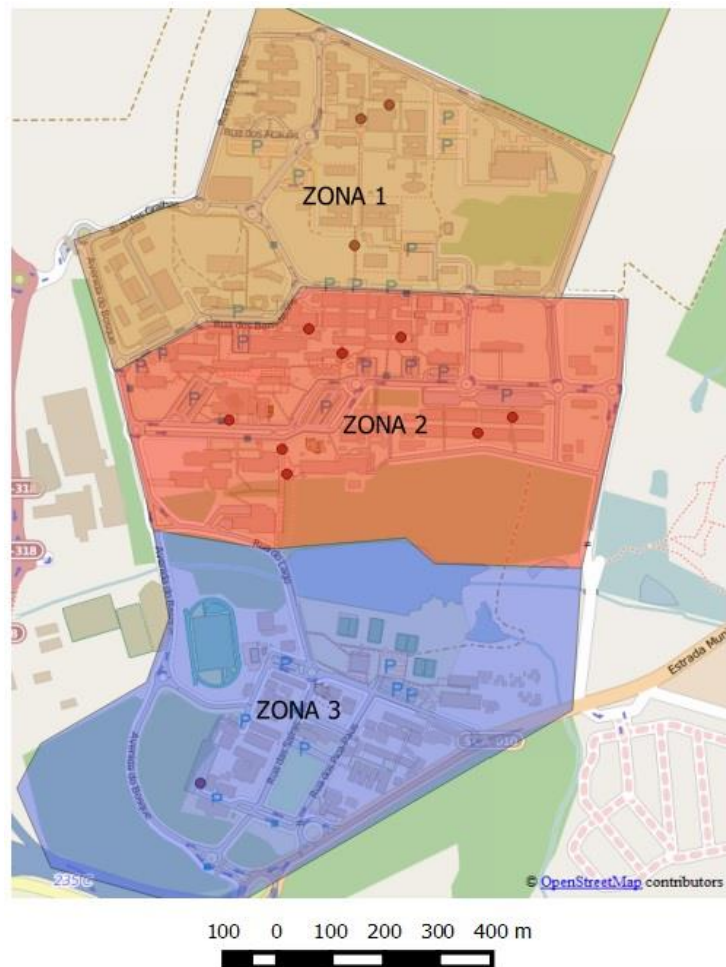
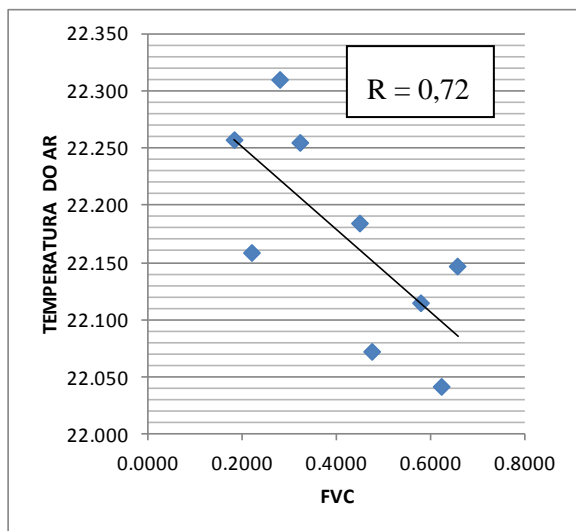


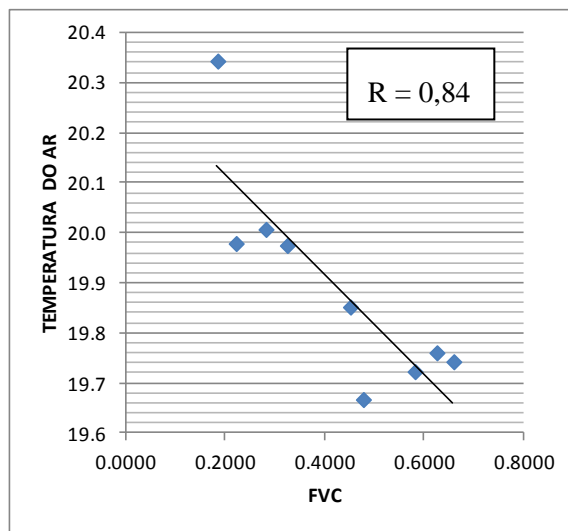
Figura 7: Zonas climáticas observadas

4.2 Análise da relação entre o FVC e a temperatura noturna

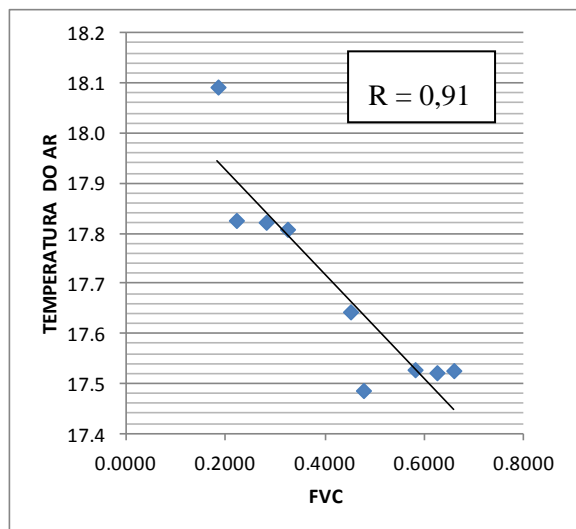
Verificando a influência dos fatores de visão do céu evidenciada pelos mapas térmicos, foi realizado um cruzamento de seus valores com a temperatura do ar. O coeficiente de correlação encontrado nas noites típicas do segundo período do recorte amostral (entre os dias 19 e 24/11) confirmou que há uma tendência de acúmulo térmico nas áreas com menor acesso ao céu para as trocas de calor durante a noite. A Figura 8 mostra as relações entre o FVC e a média temperatura do ar no período noturno, dos dias 19, 20, 21 e 22.



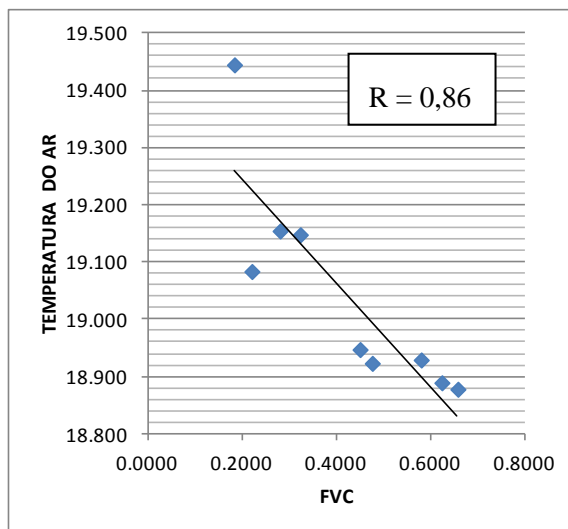
FVC e temperatura do ar (noite 19/11)



FVC e temperatura do ar (noite 20/11)



FVC e temperatura do ar (noite 21/11)



FVC e temperatura do ar (noite 22/11)

Figura 8: Relações entre FVC e Temperatura do ar

5. CONCLUSÕES

Este artigo investigou o comportamento térmico do *campus* da Universidade Federal de São Carlos, utilizando o desenvolvimento de mapas térmicos com auxílio de uma plataforma de Sistema de Informação geográfica (SIG). Acredita-se que a criação destes mapas temáticos possa ser útil para planos de ação no planejamento urbano termicamente orientado.

Os mapas criados a partir da metodologia proposta neste artigo podem ser utilizados para avaliar e classificar o ambiente térmico urbano, através do agrupamento de zonas microclimáticas locais. No caso do

campus da UFSCar, foi verificado que os comportamentos térmicos distintos permitiram a sua classificação em três zonas microclimáticas com diferentes tipologias e morfologias de ocupação.

Os resultados apontam, que, nos locais com maior área construída e menor permeabilidade do solo, a temperatura tende a ser maior durante o dia. No entanto, a altura das edificações parece estar mais associada à formação de um campo térmico noturno, devido à redução do acesso ao céu causado pela formação de cânions urbanos, que dificulta a dispersão das ondas longas emitidas pelas fachadas e superfícies durante a noite.

Além disso, os resultados obtidos neste artigo corroboram os resultados de estudos preliminares, sobre a relação entre fator de visão de céu e a temperatura do ar para o conforto dos pedestres no campus da Universidade Federal de São Carlos. Reforça-se que há uma tendência de acúmulo térmico sobre a copa das árvores, que criam obstáculos e dificultam dispersão de ondas longas, durante o período noturno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREOU, E. Thermal comfort in outdoor spaces and urban canyon microclimate. **Renewable Energy**, v. 55, p. 182-188, 2013.
- CARFAN, A.C.; GALVANI, E.; Nery, J.T. Study of the microclimate effect in the urban vertical structure in Ourinhos, São Paulo State. **Acta Scientiarum**, v.34, n. 3, p.313-320, 2012..
- HIEN, W. N.; JUSUF, S. K.. Air temperature distribution and the influence of sky view factor in a green Singapore estate. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 136, n. 3, p. 261-272, 2009.
- 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.
- MATZARAKIS, Andreas; RUTZ, Frank; MAYER, Helmut. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, v. 54, n. 2, p. 131-139, 2010.
- OKE, T. R. City size and the urban heat island. **Atmospheric Environment** (1967), v. 7, n. 8, p. 769-779, 1973.
- ROSSI, F. A.; KRÜGER, Eduardo; NIKOLOPOULOU, Marialena. A Influência da Configuração Urbana no Microclima e na Sensação Térmica em Ruas de Pedestre de Curitiba, Paraná. **ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 11, 2011.
- SHASHUA-BAR, L.; TSIROS, I. X.; HOFFMAN, M.. Passive cooling design options to ameliorate thermal comfort in urban streets of a Mediterranean climate (Athens) under hot summer conditions. **Building and Environment**, v. 57, p. 110-119, 2012.
- SILVA, Ingrid Almeida da; VIEIRA, Maria de Lourdes S.; SANTOS, Joel da Silva; ARAÚJO, Lincoln Eloi de. Clima Urbano: Uma Avaliação do Campo Térmico Urbano do Campus IV da UFPB\ Rio Tinto-PB (Urban Climate: An Assessment of The Field of Urban Heat of Campus IV UFPB Rio Tinto-PB). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 5, p. 1384-1399, 2013.
- SOUZA, L. C. L.; TENTE, C. M.; GIUNTA, M. B.; NAKATA, C. M.; Fator de visão do céu e intensidade de ilhas de calor na escala do pedestre. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 155-167, out./dez. 2010.
- SOUZA, L. C. L. Relações entre ilhas de calor, geometria urbana e consumo de energia elétrica. **Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável**, v. 3, n. 2, 2013.
- WANG, Y.; AKBARI, H. Effect of Sky View Factor on Outdoor Temperature and Comfort in Montreal. **Environmental Engineering Science**, v. 31, n. 6, p. 272-287, 2014.
- YAN, Hai; FAN, Shuxin; GUO, Chenxiao; WU, Fan; ZHANG, Nan; DONG, Li. "Assessing the effects of landscape design parameters on intra-urban air temperature variability: The case of Beijing, China." **Building and Environment** 76 (2014): 44-53.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a equipe do Núcleo de pesquisas acústicas e térmicas nas edificações e redes viárias (NUPA) da Universidade Federal de São Carlos, em especial a pós-doutoranda Marcia Thais Suriano e a Doutoranda Camila Mayumi Nakata Osaki. Agradecemos também a prefeitura do campus por permitir a instalação dos equipamentos. Por fim, agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro em diversas etapas dessa pesquisa.