Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology

OPEN ACCESS

DOI: 10.5380/abclima

A FORMAÇÃO DE ILHAS DE CALOR EM CIDADE PEQUENA: O ESTUDO DE OSVALDO CRUZ/SP/BRASIL

THE FORMATION OF HEAT ISLANDS IN SMALL TOWNS: STUDY OF OSVALDO CRUZ / SP / BRAZIL

LA FORMACIÓN DE ISLAS DE CALOR EN PEQUEÑOS PUEBLOS: EL ESTUDIO DE OSVALDO CRUZ/ SP / BRAZIL

Carlos Roberto Caputo
Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP)
carlos.caputo@hotmail.com

Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Geografia/Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP)
Presidente Prudente, São Paulo, Brasil
e-mail: margarete.amorim@unesp.br

Resumo: O objetivo deste artigo foi analisar as ilhas de calor no espaço intraurbano em Osvaldo Cruz/SP, cidade de pequeno porte, e estabelecer relações entre a temperatura do ar e o uso e ocupação da terra, a vegetação, os sistemas atmosféricos atuantes e o relevo. Como embasamento teórico e metodológico, utilizou-se do Sistema Clima Urbano (SCU) com foco no subsistema termodinâmico (MONTEIRO, 1976). Os dados da temperatura do ar foram registrados por meio dos transectos móveis (medidas itinerantes) às 20h e 21h e pontos fixos, nos dias 21 e 29 de outubro e 28 de novembro de 2018. Foram diagnosticadas ilhas de calor de muito forte magnitudes, com intensidades máximas de 6,3ºC nos transectos móveis e de 6,8ºC nos pontos fixos, sob condições atmosféricas estáveis (sem chuva e com brisa leve). As maiores intensidades das ilhas de calor se concentraram na área central e nos bairros densamente ocupados sem vegetação à oeste e sudoeste da malha urbana, enquanto nas áreas pouco construídas, principalmente no início e no fim dos trajetos, foram registradas as menores intensidades. Esta pesquisa demonstrou que mesmo sendo de pequeno porte, Osvaldo Cruz/SP apresentou um clima urbano específico em relação ao ambiente rural próximo.

Palavras-chave: Clima urbano. Temperatura do ar. Uso e ocupação da terra. Vegetação. Osvaldo Cruz/SP.

Abstract: The objective of this article was to analyze the heat islands in the intra-urban space in the Osvaldo Cruz/SP, considered small, and to establish relations between air temperature and land use and occupation, vegetation, atmospheric systems and the relief. As a theoretical and methodological basis, the Urban Climate System (UCS) was used with a focus on the thermodynamic subsystem (MONTEIRO, 1976). Air temperature data were recorded using mobile transects (itinerant measurements) at 8:00 pm and 9:00 pm and at fixed points on October 21st and 29th and November 28th, 2018. Heat islands of very strong magnitudes were diagnosed, with maximum intensities of 6.3ºC in the mobile transects and 6.8ºC in the fixed points, under stable atmospheric conductions (without rain and with light breeze). The greatest intensities of the heat islands were concentrated in the central area and densely occupied neighborhoods without vegetation to the west and southwest of the urban area while the areas just built, especially at the beginning and end of both paths, lower intensities were recorded. This research demonstrated that even though small, Osvaldo Cruz/SP presented a specific urban climate in relation to the nearby rural environment.

Keywords: Urban climate. Air temperature. Land use and occupation. Vegetation. Osvaldo Cruz/SP.

Resumen: El objetivo de este artículo fue analizar las islas de calor en el espacio intraurbano en Osvaldo Cruz/SP, ciudad pequeña, y para establecer relaciones entre la temperatura del aire y el uso y ocupación, de la tierra, la vegetación, los sistemas atmosféricos y el alivio. Como base teórica y metodológica, se utilizó el Sistema de Climático Urbano (SCU) con un enfoque en el subsistema termodinámico (MONTEIRO, 1976). Los datos de temperatura del aire se registraron mediante transectos móviles (mediciones itinerantes) a las 8:00 pm y 9:00 pm y puntos fijos el 21 y 29 de octubre y el 28 de noviembre de 2018. Fueron diagnosticados islas de calor de magnitudes muy fuertes, con una intensidad máximas de 6,3ºC en los transcectos móviles y 6,8ºC en puntos fijos, bajo condiciones atmosféricas estables (sin lluvia y brisa ligera). Las mayores intensidades de las islas de calor se concentran en la zona central y los barrios densamente ocupados sin vegetación al oeste y suroeste de la red urbana, mientras que en las áreas menos construidas, principalmente al principio y al final de las rutas, se registraron las intensidades más bajas. Esta investigación demostró que aunque pequeño, Osvaldo Cruz/SP presentó un clima urbano específico en relación con el entorno rural cercano.

Palabras clave: Clima urbano. Temperatura del aire. Uso y ocupación del suelo. Vegetación. Osvaldo Cruz/SP.

Submetido em: 08/05/2020
Aceito para publicação em: 23/09/2021
Publicado em: 13/11/2021

INTRODUÇÃO

As cidades brasileiras apresentaram aceleração de crescimento a partir da década de 1960 decorrente da mecanização da agricultura, que intensificou o processo de êxodo rural no país (EHLERS, 1999). Na busca por oportunidades de trabalho e moradia, as pessoas deslocaram-se do ambiente rural em direção às cidades, sendo introduzidas como mão de obra nas indústrias, comércios e serviços, havendo como resultado o aumento da urbanização (Tabela 1).

Tabela 1 – Aumento da população brasileira entre 1940 e 2010

Ano	População total	População urbana	Índice de urbanização (%)
1940	41.326.000	10.891.000	26,35
1950	51.944.000	18.783.000	36,16
1960	70.191.000	31.956.000	45,52
1970	93.139.000	52.905.000	56,80
1980	119.099.000	82.013.000	68,86
1991	150.400.000	115.700.000	77,13
2000	169.799.170	137.953.959	81,23
2010	190.755.799	160.879.708	84,36

Fonte: Santos (2008, p. 32), adaptado IBGE, censos 2000 e 2010.

Na Tabela 1, verifica-se que houve o aumento gradativo do índice de urbanização até a década de 1960 e após esse período, as cidades brasileiras incorporaram cada vez mais pessoas, passando para 56% em 1970, 77% em 1991 e atualmente, cerca de 84% vivem nas áreas urbanas. Portanto, "[...] foi grande o impulso tomado pela urbanização a partir do pleno desenvolvimento da industrialização" (SPOSITO, 2000, p. 49).

O processo de urbanização brasileiro mostrou-se acelerado, sendo que na década de 1970, o país passou a ser essencialmente urbano (SANTOS, 2008), enquanto apenas no ano de 2008, metade da população mundial passou a viver nas cidades, segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2010).

A expansão territorial urbana e o aumento populacional nem sempre são pensados em conjunto, pois:

> [...] na maioria dos casos, esse processo ocorre a partir de um planejamento inadequado, gerando assim um crescimento desordenado, acompanhado da falta de infraestrutura capaz de garantir a mínima qualidade ambiental (UGEDA JÚNIOR, 2011, p. 28).

Para o crescimento das cidades, a sociedade transformou o ambiente natural. Desse modo, grande parte das superfícies urbanas caracterizam-se "[...] pela alta densidade de construções, com diversos tipos de materiais construtivos" (AMORIM, et al., 2009, p. 2).

O processo acelerado de urbanização proporcionou problemas ambientais para as cidades brasileiras, tais como as enchentes nos períodos chuvosos, a poluição dos rios pela falta de saneamento básico, a retirada da cobertura arbórea, o aumento da poluição do ar através da queima de combustíveis fósseis, além do aquecimento da atmosfera urbana devido aos diferentes materiais construtivos encontrados na superfície urbana.

Assim, os ambientes urbanos apresentam características distintas do ambiente rural. Como traço marcante das cidades, destaca-se a utilização de materiais construtivos com diferentes propriedades radiativas. Segundo Oke (1987), esses materiais proporcionam o aumento da absorção de energia, armazenando mais calor, com destaque para as pavimentações asfálticas, concretos e telhados de fibrocimento, havendo como resultado a criação de um clima urbano.

O clima urbano se desenvolve a partir do diferenciado uso e ocupação da terra, pois ao possuir materiais com diferentes propriedades radiativas, há alterações no balanço de energia, modificando a atmosfera local e os elementos do clima, mais especificamente a temperatura do ar.

> Como característica cada vez mais marcante das cidades, fatores como a elevada densidade demográfica, a concentração de áreas construídas, a pavimentação asfáltica e as áreas industriais podem provocar alterações no clima local, essencialmente nos valores de temperatura do ar (LOMBARDO, 1985, p. 27).

Essas características de uso e ocupação da terra nas cidades podem ser melhor entendidas no estudo de Stewart e Oke (2012), em que desenvolveram uma proposta de classificação da paisagem denominada de *Local Climates Zone*, ou "LCZ". Para tal classificação, os autores dividiram a paisagem em hierarquias conforme o uso da terra no ambiente urbano, em locais com alta, média e baixa densidade de construções e com pouca ou inexistente vegetação.

Portanto, a heterogeneidade dos materiais presentes na malha urbana possui a capacidade de alterar a atmosfera local, resultando no fenômeno das ilhas de calor.

> As ilhas de calor atmosféricas são definidas como bolsões de ar quente registrados nos ambientes urbanos decorrentes da capacidade diferenciada dos materiais encontrados na superfície de armazenar e refletir a energia solar e da produção do calor antropogênico. Resultam, portanto, das diferenças do balanço de energia entre a área urbana e rural, além das diferenças existentes no interior da própria cidade (AMORIM, 2020, p. 29).

Na perspectiva de analisar as ilhas de calor atmosféricas, Fernández García (1996, p. 264, tradução nossa) definiu as intensidades e magnitudes das ilhas de calor, considerando as diferenças térmicas entre o urbano e o rural, sendo classificadas como:

a) Fraca, quando varia entre 0ºC a 2ºC;
b) Moderada, entre 2ºC a 4ºC;
c) Forte, de 4ºC a 6ºC;
d) Muito forte, quando são superiores à 6ºC.

Os estudos referentes ao clima urbano no Brasil ganharam destaque principalmente a partir da obra de Monteiro (1976), com viés integrador entre sociedade e natureza através do espaço modificado, conhecido como Sistema Clima Urbano (SCU).

Nessa perspectiva sistêmica e integradora, o autor definiu o clima urbano como "[...] um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização [...]" (MONTEIRO, 1976, p. 116). Para os estudos referentes ao SCU, o autor adotou subsistemas diretamente ligados aos canais de percepção humana, dentre os quais foi selecionado o termodinâmico como investigação para a presente pesquisa.

O subsistema termodinâmico relaciona-se com as variações de temperatura e umidade relativa do ar, na qual são tratadas as ilhas de calor, ilhas de frescor, ilhas secas e ilhas úmidas, fenômenos esses que estão diretamente ligados com a saúde da população.

> As ilhas de calor afetam diretamente o conforto e a saúde dos indivíduos, seja por problemas relacionados diretamente ao calor, como estresse térmico ou por problemas de saúde relacionados à qualidade do ar [...]. [...] Essa situação de estresse térmico ocorre facilmente nos ambientes tropicais e se intensificam com as ilhas de calor. Pessoas submetidas a essa situação por longos períodos [...] podem ter problemas dos mais simples aos mais graves, como, por exemplo, irritabilidade, desconcentração, inapetência, desidratação, cãibras, desmaios, exaustão pelo calor até a morte (AMORIM, 2010, p. 74).

Assim, a partir do referencial teórico e metodológico de Monteiro (1976), inúmeros trabalhos foram desenvolvidos no Brasil em cidades de grande, médio e pequeno porte, com destaque para: Lombardo (1985) em São Paulo/SP, Mendonça (1994) em Londrina/PR, Amorim (2000; 2020) em Presidente Prudente/SP, Fialho (2009) em Viçosa/MG, Viana (2006) em Teodoro Sampaio/SP, Teixeira (2015) em Rancharia/SP, dentre outros.

Dessa forma, há crescente número de trabalhos em cidades de pequeno porte, pois assim como nas de grande e médio porte, elas também possuem suas particularidades, devido a construções com materiais compostos por diferentes propriedades energéticas que, somados à falta de vegetação no ambiente urbano, desenvolvem seu próprio clima.

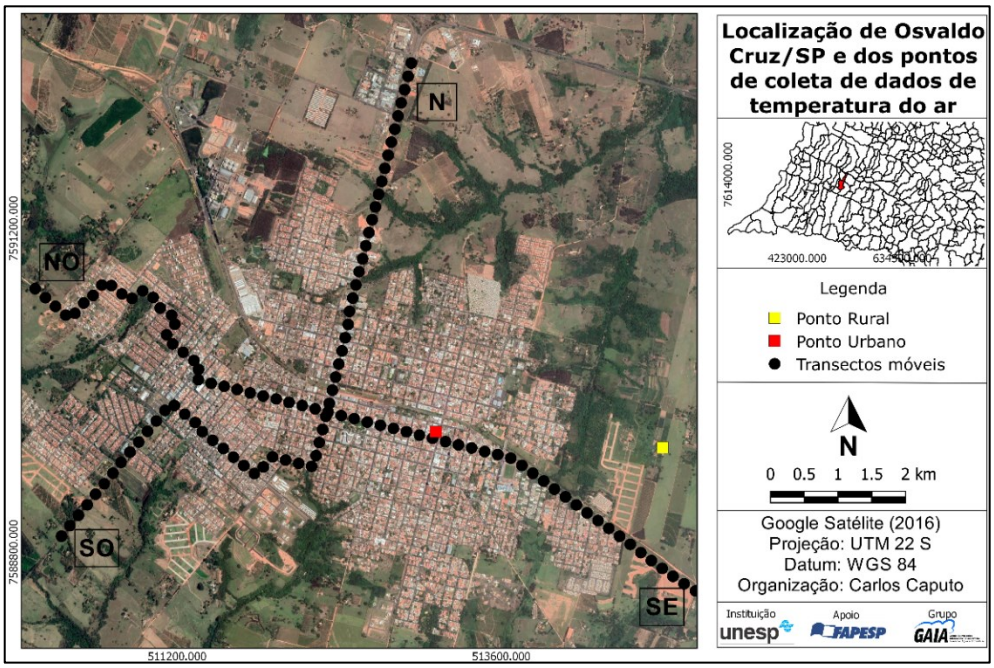
> As cidades de porte médio e pequeno possuem então características geográficas bastante diferenciadas daquelas de porte grande e metropolitanas, e apresentam, portanto, consideráveis facilidades para a identificação de suas paisagens intra-urbanas, estas, previamente identificadas, permitirão uma melhor compreensão da interação sociedade natureza na construção do clima urbano (MENDONÇA, 2003, p. 96).

Nesse sentido, este artigo tem como objetivo analisar as ilhas de calor no espaço intraurbano de Osvaldo Cruz/SP, através dos transectos móveis e de pontos fixos, e estabelecer relações entre a temperatura do ar e o uso e ocupação da terra, as características da vegetação, os sistemas atmosféricos atuantes e o relevo.

Caracterização da área e estudo

Osvaldo Cruz/SP (Figura 1) está localizado no oeste do estado de São Paulo, na região conhecida como Alta Paulista, distante 480km em linha reta da capital. Considerado de pequeno porte populacional, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), o município apresenta população de 30.917 habitantes, sendo que desse total, 27.782 residem na área urbana.

Figura 1 – Localização de Osvaldo Cruz/SP e dos pontos de coleta de dados de temperatura do ar



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Durante o século XX, a cafeicultura foi a principal atividade econômica do estado de São Paulo e impulsionou a expansão da urbanização paulista (PITTON, 1997). Essa atividade econômica assumiu grande importância na formação de várias cidades e dentre elas, Osvaldo Cruz, pois era necessária uma área urbana que aportasse indústrias para o beneficiamento do café.

O surgimento de Osvaldo Cruz ocorreu, como na maioria das cidades do oeste paulista, a partir da instalação da ferrovia pertencente à Companha Paulista de Estradas de Ferro, que favoreceu o escoamento da produção cafeeira ao porto de Santos/SP.

Além de desempenhar importante papel econômico, a ferrovia contribuiu para o desenvolvimento urbano, pois margeando-a, diversas cidades cresceram e se desenvolveram.

Entretanto, com o passar do tempo, o crescimento da cidade de Osvaldo Cruz/SP não se mostrou restrito apenas na área próxima à ferrovia, mas expandiu-se para outras localidades, principalmente em direção ao sudoeste da malha urbana. Segundo Lima (2007), o crescimento para esse setor da cidade ocasionou alguns problemas ambientais, pois esse apresenta maior declividade em comparação à área central.

Com o passar dos anos, o processo de expansão territorial urbana de Osvaldo Cruz/SP resultou na implantação de loteamentos sem planejamento adequado, ocasionando problemas ambientais e de qualidade de vida para a população residente nesses locais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para esta investigação, os registros dos dados de temperatura do ar ocorreram através de dois procedimentos, sendo esses os pontos fixos e os transectos móveis (medidas itinerantes).

Para a coleta dos dados de temperatura através dos pontos fixos, utilizou-se registradores automáticos digitais do tipo *humidity-temperate logger,* da marca *Thermo data*^{tm} em dois pontos, sendo um deles no centro (a) e o outro no ambiente rural próximo (b) (Figura 2). Essa metodologia seguiu os critérios definidos por Oke (2006), sendo posicionados sob maior exposição solar e uma altura de 1,5 metros em relação ao solo.

Figura 2 – Características de uso e ocupação da terra onde foram instalados os sensores fixos



(a) Ambiente urbano (b) Ambiente rural

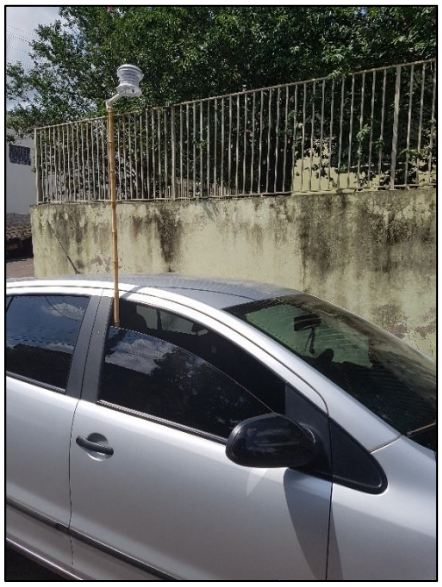
Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Para os registros da temperatura do ar com maior detalhamento espacial, foram realizados transectos móveis, conforme Amorim (2005):

> A metodologia para a coleta de temperatura [...] consistiu na definição de dois transectos, com medidas móveis, utilizando-se de termômetro digital, com o sensor preso a uma haste de madeira com 1,5m de comprimento, acoplado na lateral de dois veículos que saíram da periferia (rural), passando pelo centro e chegando no extremo oposto da cidade (AMORIM, 2005, p. 69).

Para isso, utilizou-se dos sensores digitais do modelo "TH-03B" da marca *Impact,* acoplados em uma haste de madeira com 1,5 metros de comprimento e presos na lateral de dois veículos (Figura 3) que percorreram dois trajetos, sendo eles de Norte-Sudoeste e de Sudeste-Noroeste (Figura 1). No total, foram realizados 58 registros de N-SO e 63 no trajeto de SE-NO, com registros efetuados a cada 100 metros[1].

Figura 3 – Veículo equipado com sensor digital acoplado em haste de madeira para a realização dos transectos móveis



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Os trajetos de ambos os percursos (Quadros 1 e 2) saíram de regiões afastadas da malha urbana, com predomínio de pastagens, passaram por bairros periféricos e na área central, com alta densidade de construções, chegaram no outro extremo do percurso, no rural, com velocidade de até 20 km/h e duração de 30 minutos para ambos os percursos. As coletas ocorreram às 20h nos dias 21 e 29 de outubro e às 21h[2] (hora local) no dia 28 de novembro de 2018, sob condições atmosféricas estáveis, sem chuva e com brisa leve.

[1] Ressalta-se que os registros não foram automáticos, utilizando o marcador de quilometragem do carro como base e posteriormente georreferenciadas utilizando o programa Google Earth.
[2] Foi necessário adequar o horário de coleta de dados devido ao início do horário de verão no dia 04 de novembro de 2018.

Quadro 1 - Caracterização do percurso de Sudeste-Noroeste

Percurso Sudeste-Noroeste	Caracterização
	Início do percurso, em área de transição entre o urbano e o rural, com predomínio de vegetação rasteira e arbórea esparsa, além de solo exposto, com pouca densidade construtiva.
	Área comercial no centro da cidade, com predomínio de alta densidade de construção, com presença de telhados de cerâmica, fibrocimento e alumínio e com pouca presença de vegetação.
	Uso misto na área central da cidade, com predomínio de alta densidade de construção, com telhados de cerâmica vermelha, fibrocimento e alumínio, com presença cobertura arbórea na praça central.
	Uso residencial, conjunto habitacional densamente construído, com presença de telhados de cerâmica vermelha e presença de vegetação no fundo de vale.
	Uso residencial com baixa densidade construtiva, com presença de solo exposto, telhados de cerâmica e pouca vegetação arbórea.
	Fim do percurso, com baixa densidade de construções e predominância de pastagem com vegetação arbórea esparsa.

Fonte: Dos autores; Google Earth (2010).

Quadro 2 - Caracterização do percurso de Norte – Sudoeste

Percurso Norte-Sudoeste	Caracterização
	Início do percurso, de uso industrial nas proximidades, com predomínio de telhados de alumínio e vegetação arbórea no canteiro central da via de acesso e vegetação rasteira no entorno.
	Área de transição entre o urbano e o rural, com predomínio de pastagem e vegetação arbórea no fundo de vale.
	Uso misto residencial e comercial, com predomínio de telhados de cerâmica e alumínio com pouca vegetação arbórea.
	Uso residencial, com predomínio de telhados de fibrocimento e cerâmica, com vegetação arbórea no fundo de vale.
	Uso residencial com alta densidade construtiva com predomínio de telhados de fibrocimento e pouca vegetação arbórea.
	Fim do percurso, com baixa densidade construtiva e predomínio de pastagem com uma área densa de vegetação arbórea.

Fonte: Dos autores; Google Earth (2010).

A identificação dos sistemas atmosféricos atuantes nos dias de registros foi feita a partir dos dados da Estação Meteorológica de Superfície Automática (INMET)[3] localizada na cidade de Valparaíso/SP, distante 53km de Osvaldo Cruz/SP[4], das imagens do satélite GOES-16[5] e das cartas sinóticas da Marinha do Brasil[6].

Para a interpretação e espacialização dos dados térmicos registrados nos transectos móveis, foram utilizados os programas *Surfer*®[7], para gerar as cartas de isotermas (Figura 5) e o programa *QuantumGis*®[8] para elaborar as cartas de temperatura do ar em cada ponto de registro (Figura 4), de uso e ocupação da terra (Figura 6), do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI – Figura 7), de hipsometria (Figura 8) e de orientação das vertentes (Figura 9).

Ressalta-se que para a identificação do uso e ocupação da terra e NDVI, foram utilizadas imagens do satélite Sentinel-2, com resolução espacial de 10 metros e disponibilizadas gratuitamente pela *European Space Agence* (ESA)[9]. Já para a produção do mapa hipsométrico e de orientação das vertentes, utilizou-se das imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) disponibilizados pelo TOPODATA (Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil)[10], com resolução espacial de 30 metros.

Para analisar o uso e ocupação da terra na cidade, optou-se como parâmetro, pelo método de classificação supervisionada de Máxima Verossimilhança, que consiste na classificação da imagem ponto a ponto, a partir de classes fornecidas pelo próprio usuário (ROSA, 2009).

Na definição das classes de uso e ocupação da terra foram consideradas as características urbanas e de seu entorno rural, que resultou em três classes de uso da terra, sendo as áreas em verde representadas pela vegetação arbórea, em amarelo a vegetação rasteira e em laranja, as construções. Assim, a primeira classe abrange os locais que

[3] Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: < http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>. Acesso em: 13 ago. 2019.
[4] Osvaldo Cruz não possui estação meteorológica.
[5] Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais. Disponível em: < http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes16.formulario.logic?i=br>. Acesso em: 13 ago. 2019.
[6] https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas
[7] *Surfer* é uma marca registrada da Golden Software.
[8] *QuantumGis* é uma marca registrada da QGIS Developmente Team.
[9] ESA. *European Space Agence*. Disponível em: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>. Acesso em: 20 out. 2019.
[10] TOPODATA. Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Acesso em: 20 out. 2019.

apresentaram significativa cobertura vegetal arbórea de grande porte, enquanto a segunda classe é composta por vegetação de pequeno porte, como as gramíneas. A terceira classe contém as áreas construídas.

Para o mapeamento da vegetação na cidade, utilizou-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) – (*Normalized Difference Vegetation Index*) que consiste em uma "[...] técnica de sensoriamento remoto que pode ser usada como uma ferramenta para mapear a distribuição e diversidade de espécies, correlacionar e avaliar o efeito de perturbações na paisagem" (RIBEIRO, 2012, p. 7).

Desse modo, essa metodologia possibilita o acompanhamento dos níveis de vegetação ao longo do tempo, sendo que "[...] um índice de vegetação resulta da combinação dos valores de reflectância em dois ou mais intervalos de comprimento de onda, possuindo uma relação com a quantidade e o estado da vegetação em uma dada área da superfície terrestre" (RIBEIRO, 2012, p. 8).

Assim, para a produção da carta de NDVI, utilizou-se a imagem do satélite Sentinel-2 do dia 22 de outubro de 2018, com a banda 4 do vermelho (resolução espectral de 665µm) e banda 5 do infravermelho próximo (resolução espectral de 842µm), por meio da seguinte equação:

$$\mathbf{NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)}$$

em que:

NDVI é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

NIR é a refletância no comprimento de onda correspondente ao infravermelho próximo;

R é a refletância no comprimento de onda correspondente ao vermelho.

Para a elaboração do mapa de orientação das vertentes, seguiu-se a metodologia proposta por De Biasi et al. (1977), denominada de ábaco, em que:

> A orientação desses segmentos de vertentes irá depender da amplitude angular de suas tangentes em relação às curvas de nível, levando-se em consideração os azimutes determinados pela linha Norte-Sul da carta (DE BIASI et al., 1977, p. 5).

Segundo os autores, foram definidas oito classes com as seguintes orientações: norte, nordeste, noroeste, sul, sudeste, sudoeste, leste e oeste. As cores aplicadas variaram

conforme a orientações, em que as vertentes norte, nordeste, noroeste e leste receberam as cores quentes devido a maior exposição à insolação enquanto as faces com orientações sul, sudeste, sudoeste e oeste receberam as cores mais frias devido ao menor recebimento de radiação (Tabela 2).

Tabela 2 - Classes para a elaboração do Mapa de Orientação das Vertentes em Osvaldo Cruz/SP

Classes	Orientação das Vertentes	Variável visual da cor
1	Norte	Amarelo – 60 C R: 255; G: 255; B: 0
2	Nordeste	Laranja – 26 C R: 255; G: 136; B: 40
3	Noroeste	Verde – 120 C R: 15; G: 200; B: 15
4	Sul	Azul – 240 C R: 0; G: 0; B: 159
5	Sudeste	Roxo – 277 C R: 137; G: 61; B: 184
6	Sudoeste	Azul – 239 C R: 105; G: 107; B: 255
7	Leste	Vermelho – 0 C R: 230; G: 30; B: 30
8	Oeste	Verde – 120 C R: 0; G: 135; B: 0

Fonte: ROVANI; CASSOL (2012, p. 40).

Por fim, as cartas receberam a malha urbana, juntamente com os *layers* dos pontos fixos, transectos móveis, hidrografia e utilizou-se da palheta de cores do próprio programa para ser feita a escala de valores.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos registros das temperaturas do ar mostraram ilhas de calor de magnitudes forte e muito forte, conforme a classificação de Fernández García (1996). Na Tabela 3, pode-se observar as temperaturas do ar (máximas e mínimas) registradas nos percursos dos transectos móveis, assim como sua variação (ΔT), tanto nas medidas itinerantes quanto nos pontos fixos na cidade de Osvaldo Cruz e os sistemas atmosféricos atuantes nos dias de registros. Para a identificação dos sistemas atmosféricos atuantes nos dias de registros, foram utilizados, além dos dados da estação meteorológica do INMET, as imagens do satélite GOES-16 e as cartas sinóticas da Marinha do Brasil (Prancha 1).

Prancha 1 – Imagens do satélite GOES- 16 e cartas sinóticas dos dias de registros da temperatura do ar

Imagem do satélite GOES-16 – canal 13 – 21/10/2018	Carta Sinótica – 21/10/2018

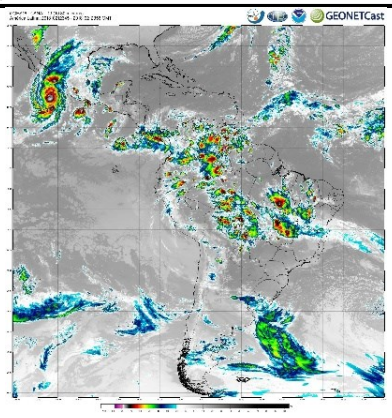
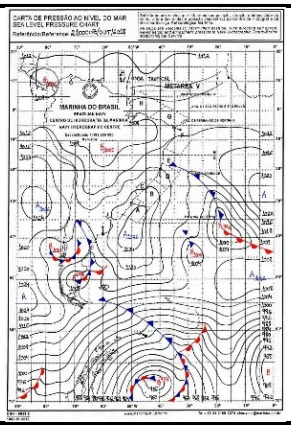

	

Imagem do satélite GOES-16 – canal 13 – 29/10/2018	Carta Sinótica – 29/10/2018

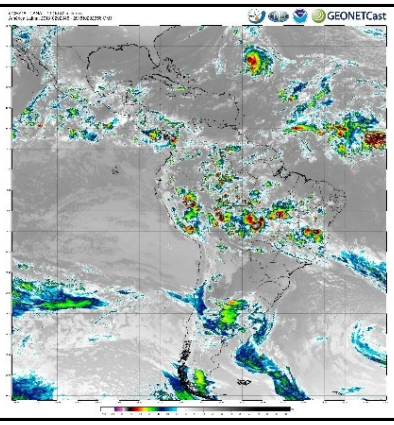
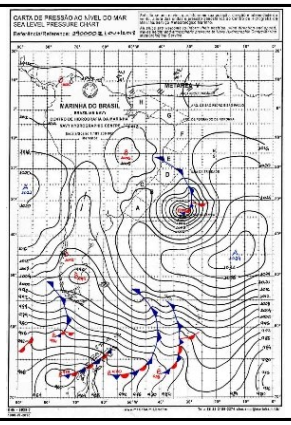
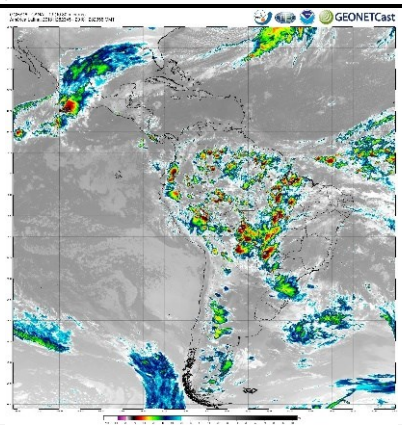
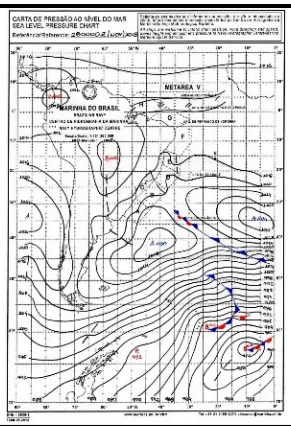

	

Imagem do satélite GOES-16 – canal 13 – 28/11/2018	Carta Sinótica – 28/11/2018
	

Fontes: http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes16.formulario.logic?i=br>. Acesso em: 13 ago. 2019. https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas. Acesso em: 13 ago. 2019.

Tabela 3 – Temperaturas máximas e mínimas e intensidades registradas nos transectos móveis e nos pontos fixos e sistemas atmosféricos

Data	TºC máx transectos	TºC mín transectos	ΔT transectos	ΔT pontos fixos	Sistemas Atuantes
21/10/18	27,6	21,3	6,3	6,2	mPa
29/10/18	26,5	21,7	4,8	4,8	mPa
28/11/18	27	21,3	5,7	6,8	mTa

Fonte: Trabalhos de campo realizados em outubro e novembro de 2018. Dados referentes aos sistemas atmosféricos: INPE <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes16.formulario.logic?i=br>.

As altas intensidades das ilhas de calor estão relacionadas às combinações de fatores, como a influência dos sistemas atmosféricos estáveis na região, o uso e ocupação da terra, o nível de vegetação na cidade e as características do relevo.

No dia 21 de outubro de 2018, a região estudada esteve sob atuação da Massa Polar Atlântica (Prancha 1), com ventos predominantes de sudeste e velocidade de 3,1m/s (brisa leve), sem registro de precipitação, segundo o INMET.

De maneira geral, o início e o fim de ambos os percursos apresentaram temperaturas menores em comparação a área central da cidade, com temperaturas entre 21,3ºC e 25ºC (Figura 4) e formação de ilhas de calor com intensidades de fraca e média magnitudes de até 3,7ºC (Figura 5).

À medida que os transectos móveis adentraram a malha urbana e se aproximaram da área com maior adensamento construtivo, houve o aumento gradativo da temperatura do ar. O núcleo da ilha de calor urbana (ICU) concentrou-se no percurso N-SO, sendo esta de muito forte magnitude (6,3ºC), intensidade esta parecida com a registrada nos pontos fixos de 6,2ºC (Tabela 3).

No dia 29 de outubro de 2018, a cidade também foi influenciada pela Massa Polar Atlântica (Prancha 1), sem ocorrência de precipitação, com ventos de sudeste e velocidade de 2,5m/s (brisa leve) às 20h, segundo o INMET.

Assim como observado no episódio anterior, houve o predomínio de menores temperaturas próximas ao início e fim de ambos os percursos, com registros de ilhas de calor de fraca e média magnitudes. As maiores intensidades das ICU foram novamente registradas no percurso de N-SO. A temperatura variou entre 21,7ºC e 26,5ºC e a intensidade da ICU foi de 4,8ºC, tanto no transectos como nos pontos fixos (Tabela 3).

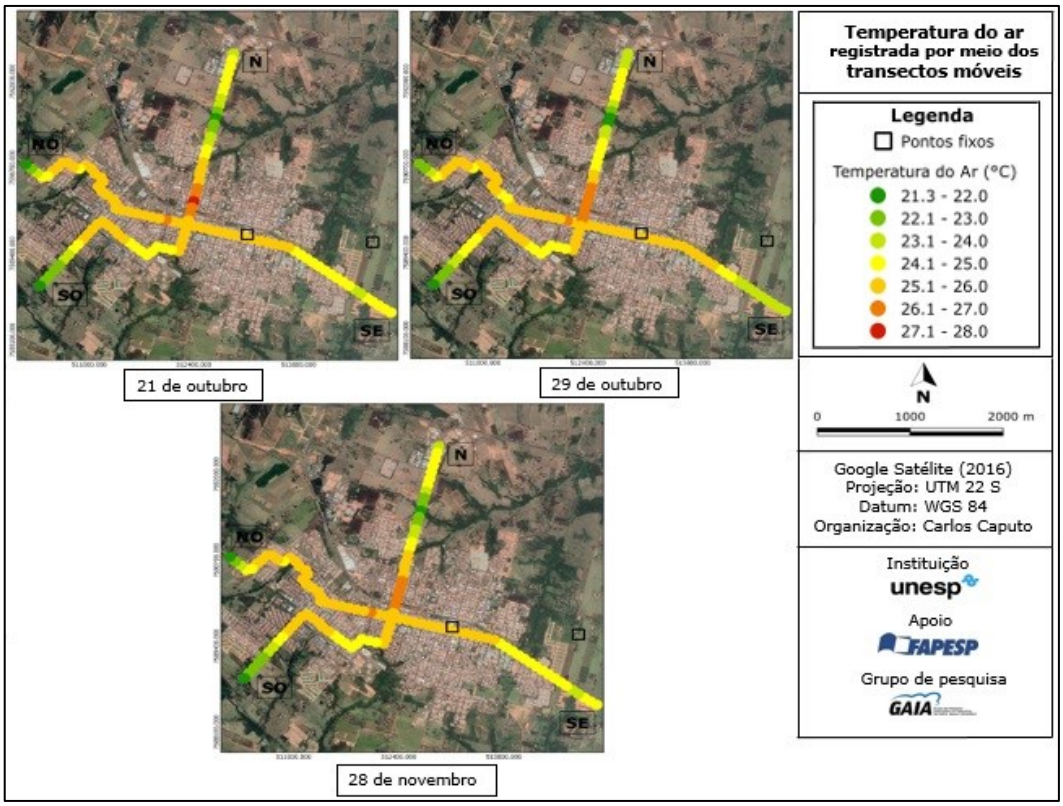
O terceiro e último dia de coleta de dados térmicos ocorreu no dia 28 de novembro de 2018. Nesse dia, a cidade esteve sob atuação da Massa Tropical Atlântica (Prancha 1) com direção do vento de leste e velocidade de 1m/s (vento leve) às 21h, segundo o INMET.

Foram registradas temperaturas entre 21,3ºC nos bairros periféricos e 27ºC nos bairros próximos à área central, onde concentrou-se o núcleo da ICU. A intensidade foi de 5,7ºC e os registros nos pontos fixos mostraram intensidade ainda maior, de 6,8ºC, ou seja, de muito forte magnitude (Tabela 3).

Portanto, nos três dias analisados, houve o registro de menores temperaturas nas áreas periféricas e rurais e o aumento gradativo da temperatura no interior da malha urbana, em bairros construídos e com menos áreas sem edificações.

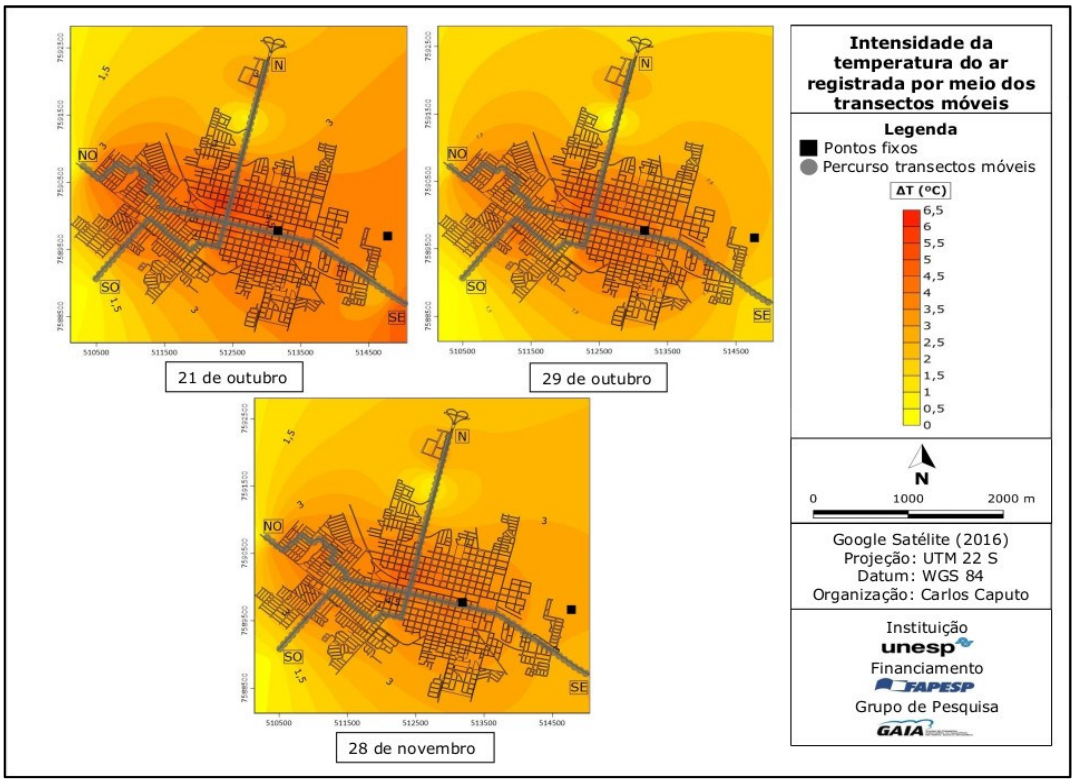
A Figura 4 apresenta os valores instantâneos da temperatura do ar e a Figura 5 a intensidade da ilha de calor na cidade de Osvaldo Cruz durante os dias analisados.

Figura 4 – Temperatura do ar registrada por meio dos transectos móveis em Osvaldo Cruz/SP



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

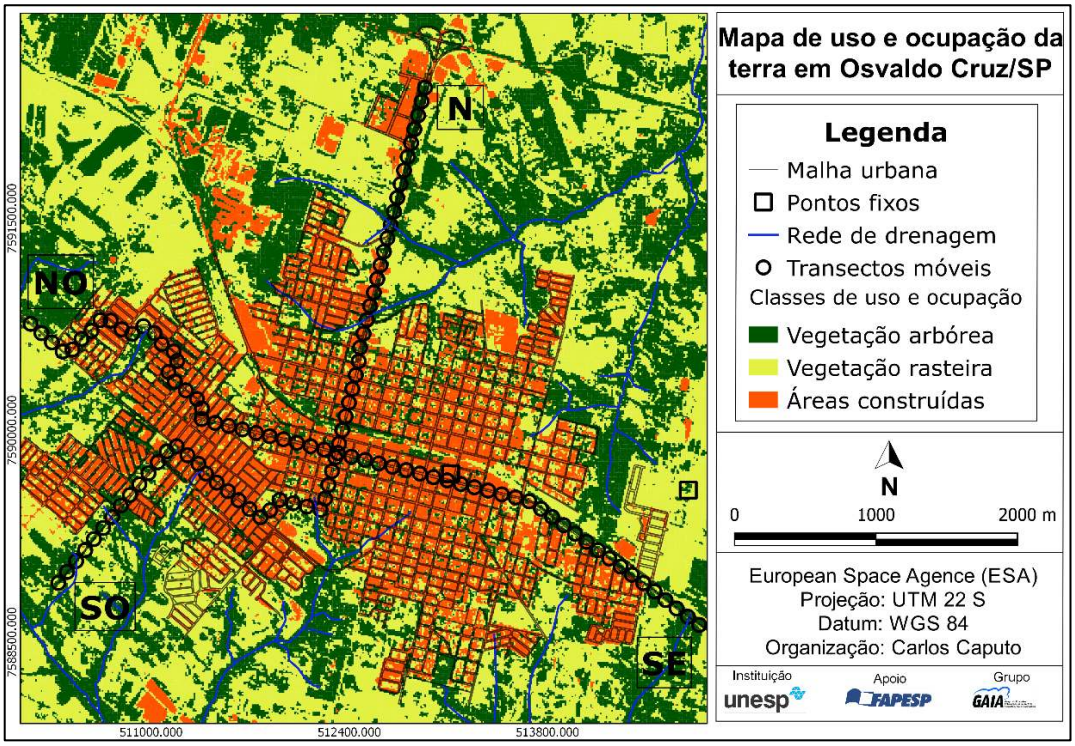
Figura 5 – Intensidade da temperatura do ar registrada por meio dos transectos móveis em Osvaldo Cruz/SP



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Desse modo, nota-se que nos três episódios analisados, o núcleo da ICU concentrou-se no percurso de N-SO, que apresentou ilhas de calor de forte a muito forte magnitudes, no centro da malha urbana, com intensidades entre 4,8ºC e 6,3ºC. Esses locais caracterizam-se pela presença de alta densidade de construções e superfícies impermeáveis (Figura 6).

Figura 6 – Uso e ocupação da terra na cidade de Osvaldo Cruz/SP

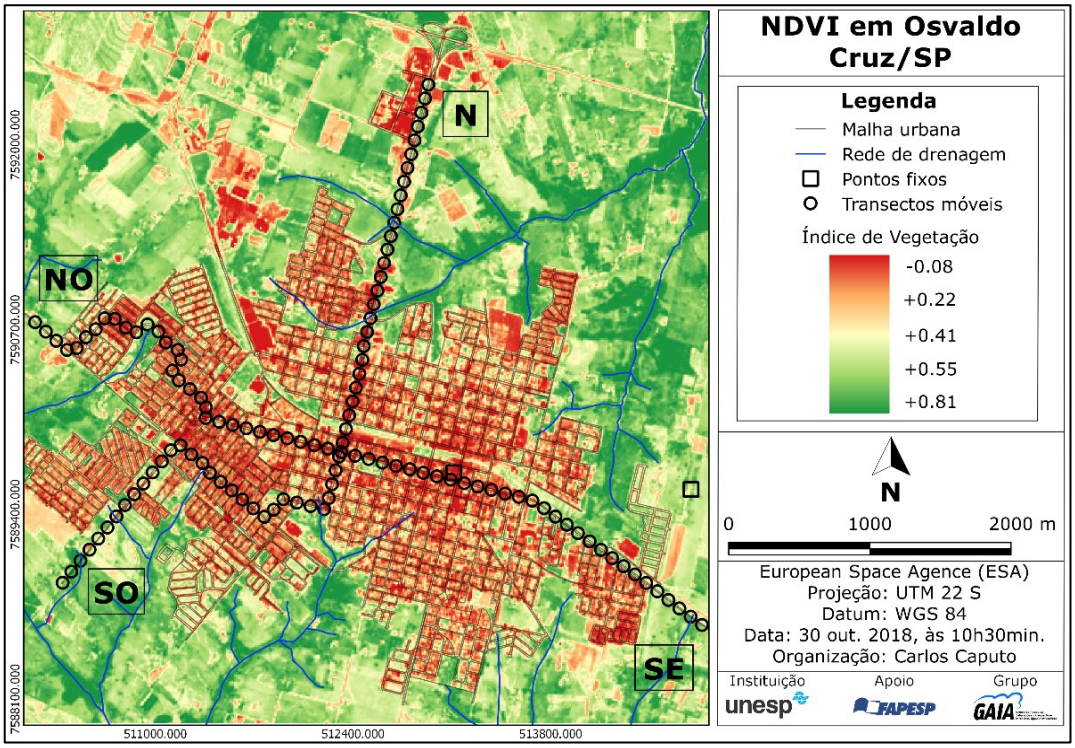


Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Já no percurso de SE-NO, destaca-se a principal avenida da cidade, a Brasil, situada na área central, que apresentou valores expressivos de temperatura (26,1ºC a 27ºC) e intensidades que variaram de 3ºC a 6ºC. Nota-se que esses bolsões de ar quente também foram registrados na região periférica à oeste da cidade, com predomínio de lotes pequenos e telhados de fibrocimento, favorecendo a absorção de energia durante o dia.

Com relação ao índice de vegetação (Figura 7), de maneira geral, as regiões que possuíam vegetação arbórea esparsa e rasteira (+0.41 - +0.55) apresentaram menores temperaturas e intensidades, evidenciando a importância da cobertura vegetal na diminuição da temperatura do ar. Desse modo, o início e fim de ambos os percursos registraram as menores temperaturas e intensidades em comparação às áreas construídas, com valores entre 21,3ºC e 25ºC e de 0ºC e 2ºC, respectivamente.

Figura 7 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) de Osvaldo Cruz/SP



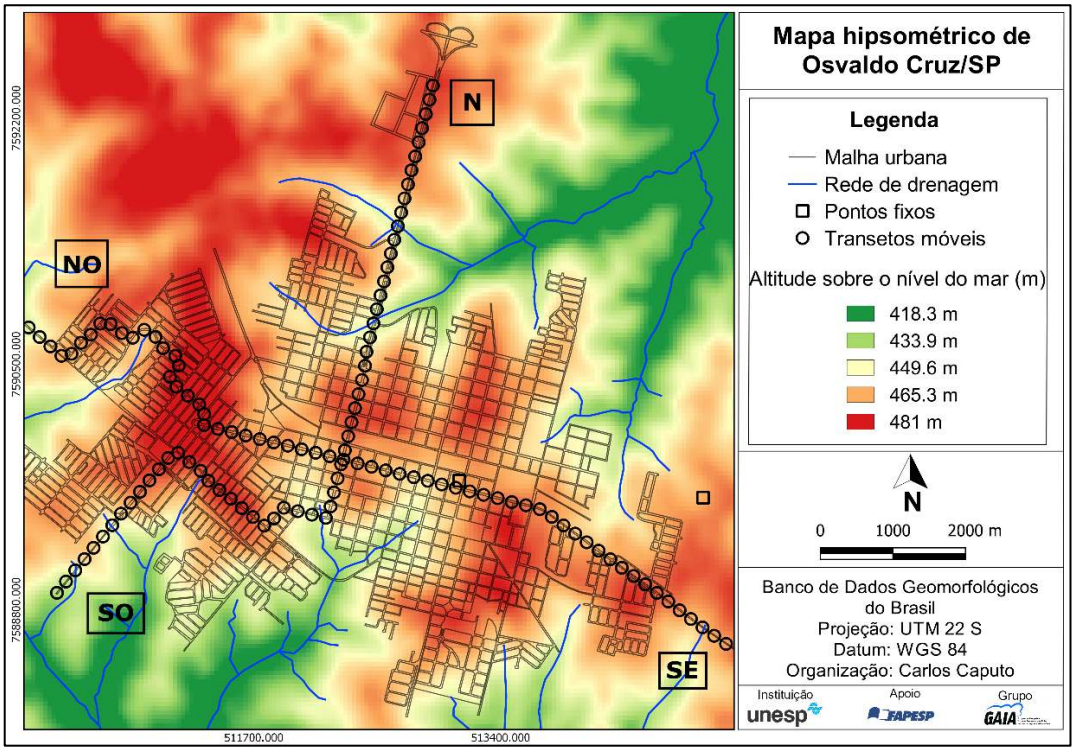
Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Assim, como observado na Figura 7, é possível notar o baixo nível de vegetação no interior da malha urbana (-0.08), evidenciando que nas áreas de maior adensamento construtivo, como na área central e em bairros afastados do centro, foram registradas as maiores temperaturas do ar em ambos os percursos, com intensidades entre 3ºC e 6,3ºC.

Além disto, observa-se vegetação rasteira (+0.41) nos fundos dos quintais e em bairros novos, ainda com construções esparsas, como à oeste no percurso de SE-NO, e apresentaram ilhas de calor de fracas e médias magnitudes devido ao processo de evapotranspiração, resultando no aumento do calor latente e na diminuição do calor sensível (AMORIM, 2020).

As menores intensidades das ilhas de calor foram registradas próximas aos fundos de vale (Figura 8), com menores altitudes (418 metros) e com densa vegetação arbórea (+0.81) em ambos os percursos, com intensidades entre 0ºC e 1ºC e temperaturas entre 21,3ºC e 23ºC.

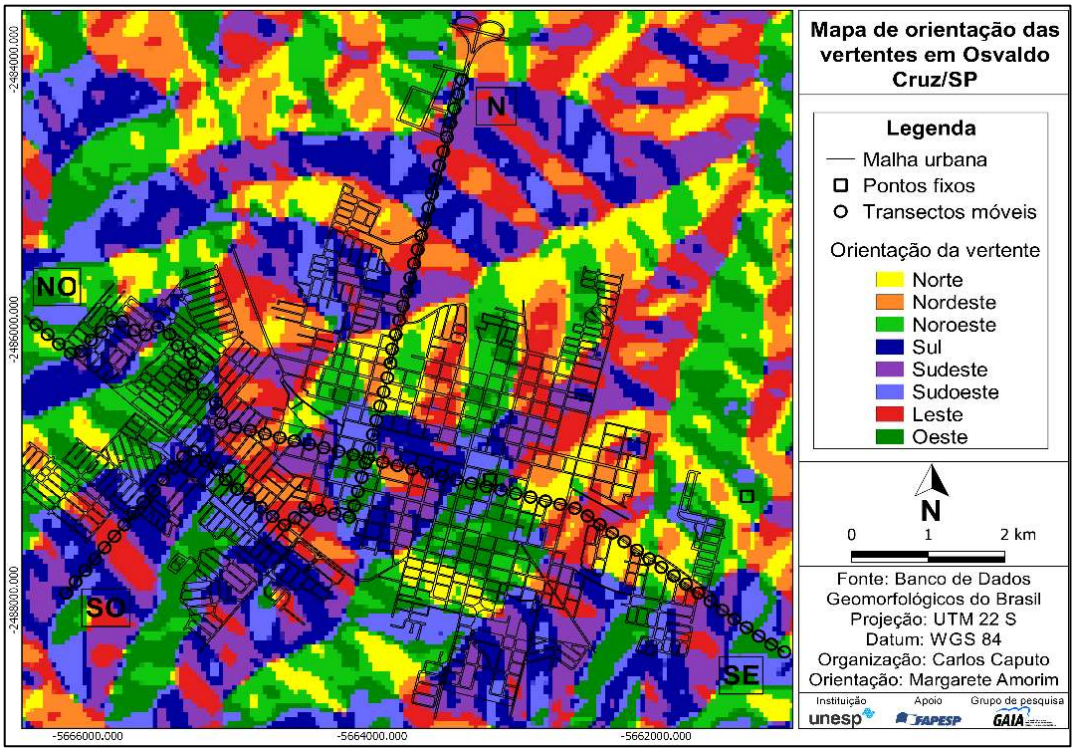
Figura 8 – Mapa hipsométrico de Osvaldo Cruz/SP



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Nas áreas mais elevadas, com variação altimétrica entre 449 e 481 metros, correspondentes a área central e aos bairros à oeste e sudoeste da cidade apresentaram as maiores temperaturas (25,1ºC a 28ºC) e intensidades (3ºC a 6,3ºC). As porções oeste e sudoeste da malha urbana, além de receberem mais radiação solar no final da tarde, potencializando o acúmulo de radiação solar antes do anoitecer, também tem parte de suas vertentes voltadas para o quadrante oeste (noroeste, oeste e sudoeste). A exposição das vertentes para o oeste (Figura 9), facilita o recebimento da radiação solar no período da tarde intensificando o aquecimento do ar nas primeiras horas depois do pôr do sol.

Figura 9 – Mapa de orientação das vertentes de Osvaldo Cruz/SP



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Nesse sentido, as diferenças entre as maiores e as menores temperaturas no intraurbano e no entorno rural tiveram relações com o relevo (altitude e exposição das vertentes), com as áreas construídas e com a presença de cobertura vegetal. As menores temperaturas e intensidades das ilhas de calor foram registradas nos fundos de vale vegetados (+0.81 - +0.55) que apresentaram baixas altitudes (418 – 433 metros) e poucas construções, enquanto as áreas mais elevadas (465 - 481 metros), com pouca vegetação (+0.22 - +0.41) e com a presença de construções, foram registrados os maiores valores de temperatura do ar.

Assim, nota-se que "[...] as características geomorfológicas de determinado lugar (relevo, altitude, declividade) também são capazes de influenciar de modo significativo na formação de subunidades climáticas" (SILVA; JARDIM, 2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste trabalho mostraram que o padrão de uso e ocupação a terra combinado com o nível de vegetação, sistemas atmosféricos atuantes e o relevo (altitude e

orientação das vertentes) foram fundamentais para a manutenção das elevadas temperaturas contribuindo para a formação de um clima urbano em Osvaldo Cruz/SP.

No decorrer dos transectos móveis, as áreas que apresentaram as maiores temperaturas foram a região central e os bairros periféricos à oeste e sudoeste da cidade, com características similares de uso da terra, com construções, baixa presença de vegetação, altitude elevada e vertentes voltadas para o quadrante oeste. Essa forma de ocupação da superfície urbana contribuiu para a formação de ilhas de calor de forte e muito forte magnitude nos transectos móveis, com intensidades de até 6,3ºC e de 6,8ºC nos pontos fixos.

Porém, próximo ao início e ao fim de ambos os percursos, ou seja, áreas com características rurais, com presença de construções esparsas, vegetação rasteira e baixas altitudes, houve a diminuição das intensidades das ilhas de calor, entre 0 a 2ºC e temperaturas de 21,3ºC a 23ºC.

Desse modo, esta pesquisa comprovou que mesmo sendo considerada de pequeno porte, a cidade de Osvaldo Cruz/SP apresentou condições para a formação de seu próprio clima urbano.

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro (Processo nº 2017/13134-6); a Universidade Estadual Paulista (UNESP) pelo apoio institucional e ao Grupo de Pesquisa Interações na Superfície Terrestre, Água e Atmosfera (GAIA).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, M. C. C. T. Climatologia e gestão do espaço urbano. **Mercator**, Fortaleza, número especial, p. 71-90, dez. 2010. Disponível em: http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/534. Acesso em: 20 jan. 2021.

AMORIM, M. C. C. T. Intensidade e forma da ilha de calor urbana em Presidente Prudente/SP. **Geosul (UFSC)**, Florianópolis, v. 20, p. 65-82, 2005. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/13307. Acesso em: 23 jan. 2021.

AMORIM, M. C. C. T. **O clima urbano de Presidente Prudente/SP.** 2000. Tese (Doutorado em Geografia) — Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

AMORIM, M. C. C. T. **Ilhas de calor em cidades tropicais de médio e pequeno porte:** teoria e prática. Curitiba: Appris, v. 1. 2020. 161p.

AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V.; QUENOL, H.; SANT'ANNA NETO, J. L. Características da ilha de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). **Confins [Online]**, Paris, v. 7, p. 1-16, 2009. Disponível em: https://journals.openedition.org/confins/6070?lang=pt#:~:text=13As%20temperaturas%20m%C3%A9dias%20anuais,os%20limites%20da%20esta%C3%A7%C3%A3o%20meteorol%C3%B3gica. Acesso em: 18 jan. 2021.

DE BIASI, M. et al. Cartas de orientação de vertentes: confecção e utilização. **Cartografia**, São Paulo, v. 4, p. 2-11, 1977.

EHLERS, E. **Agricultura sustentável**: origens e perspectivas de um novo paradigma. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 1999.

FERNÁNDEZ GARCÍA, F. **Manual de climatologia aplicada**: clima, medio ambiente y planificación. Madrid: Editorial Síntesis S.A., 1996. 285p.

FIALHO, E.S. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte**: Caso de Viçosa, na zona da mata mineira. São Paulo, 2009. Tese (Doutorado em Geografia) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

GOOGLE. **Google Earth**. Version 7.1. c2010. Disponível em: https://google-earth-pro.br.uptodown.com/windows. Acesso em: 10 nov. 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base de informações do Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: http://censo2010.ibge.gov.br/resultados. Acesso em: 04 out. 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base de informações do Censo Demográfico 2000**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=27641. Acesso em: 04 out. 2019.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Estações automáticas**. Brasília. Disponível em: https://bdmep.inmet.gov.br/. Acesso em: 05 nov. 2019.

LIMA, V. **Análise da qualidade ambiental na cidade de Osvaldo Cruz/SP**. 2007. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles**: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985.

MENDONÇA, F. A. **O clima e o planejamento urbano de cidade de porte médio e pequeno**: proposições metodológicas para estudo e aplicação à cidade de Londrina, PR. 1994. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MENDONÇA, F. A. O clima e o planejamento urbano em Londrina: proposições metodológicas e de intervenção urbana a partir do estudo de campo termohigrométrico. *In*: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. A. (org.). **Clima Urbano**. São Paulo: Editora Contexto, 2003.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: Universidade de São Paulo/Instituto de Geografia, 1976. (Série Teses e Monografias, 25).

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates.** Routledge, 1987. 435 p.

OKE, T.R. Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites. IOM Report N.81, WMO/TD. N. 1250. **World Meteorological Organization**, Geneva, 2006.

ONU. **United Nations Population Division**. Disponível em: https://population.un.org/wpp. Acesso em 20 nov. 2019.

PITTON, S. E. C. **As cidades como indicadores de alterações térmicas**. São Paulo, 1997. 272p. Tese (Doutorado em Geografia Física) — Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

RIBEIRO, E. A. W. Operações aritméticas com o Spring para o estudo da vegetação. **Azimute**, Presidente Prudente, v.1, p. 1-22, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/323202302_Operacoes_aritmeticas_com_o_Spring_para_o_estudo_da_vegetacao. Acesso em: 20 dez. 2019.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia: EDUFU, 2009.

ROVANI, F. F. M.; CASSOL, R. CARTOGRAFIA TEMÁTICA: uma contribuição na análise geográfica do município de Barão de Cotegipe/RS. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 6, n. 2, 2012, p. 33-54. Disponível em: https://www.revistas.ufg.br/atelie/article/view/13979. Acesso em: 28 dez. 2019.

SANTOS, M. **A urbanização brasileira**. 5. ed. São Paulo: Edusp, 2008.

SILVA, M. R.; JARDIM, C. H. Influência da Topografia e Uso da Terra na Variação dos Elementos Climáticos em Belo Horizonte, Ibirité, Sete Lagoas e Conceição do Mato Dentro – MG: O Segmento Temporal Entre 11 a 23/09/2016. **Revista do Departamento de Geografia USP**. São Paulo, v. Especial, eixo 3, p. 48-57, 2017. Disponível em: https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/132753. Acesso em: 27 dez. 2019.

SPOSITO, M. E. B. **Capitalismo e urbanização.** São Paulo: Contexto, 2000.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 2012, New York, United States.

TEIXEIRA, D. C. **Clima urbano de Rancharia/SP**. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente-SP.

UGEDA JÚNIOR, J. C. U. **Clima urbano e planejamento na Cidade de Jales-SP**. 2011. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente.

VIANA, S. S. M. **Caracterização do clima urbano em Teodoro Sampaio/SP**. 2006. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente.