



Universidade de São Paulo

www.revistas.usp.br/rdg - ISSN 2236-2878

Volume 42 (2022), e185079

DOI: 10.11606/e1ISSN.2236-2878.rdg.2022.185079

Avaliação da ocorrência do fenômeno de ilha de calor na área urbana do município de Taubaté, SP

Evaluation of the occurrence of the heat island phenomenon in the urban area of the municipality of Taubaté, SP

Guilherme Luis Barduco* , Emerson Galvani 

Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH),

Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

E-mail: egalvani@usp.br

*E-mail para correspondência: guilherme.barduco@usp.br

Recebido (Received): 24/04/2021

Aceito (Accepted): 30/08/2022

Resumo: A população mundial está próxima de atingir 8 bilhões de habitantes, porém, somente no século XXI a população urbana superou a população rural. Com o aumento das áreas urbanas mundiais, muitas facilidades foram alcançadas, contudo muitas adversidades fazem parte do dia a dia dos cidadãos, trânsito, violência, poluição. O presente trabalho investigou a ocorrência de ilhas de calor no município de Taubaté, que está localizado na região sudeste do estado de São Paulo, na região metropolitana do Vale do Paraíba. O estudo foi realizado com a adoção da metodologia de transectos móveis. Realizaram-se 18 transectos móveis, simultâneos, com orientação de sul para norte e de oeste para leste durante o mês de julho de 2019, nos dias 18, 19 e 20, em três horários distintos do dia, as 5 horas e 10 minutos, as 14 horas as 20 horas. Foram coletados dados de temperatura e umidade relativa do ar ao longo de 37 pontos de sul para norte e 42 pontos de oeste para leste na área de estudo. A análise dos dados considerou a variação da urbanização e uso do solo para determinar as diferenças de temperatura entre os pontos dos transectos. Os resultados demonstraram que as áreas mais urbanizadas são mais aquecidas que as áreas menos urbanizadas durante o período da tarde, noturno e da madrugada. As intensidades das ilhas de calor foram, durante as 20 horas, de intensidade moderada a forte, indicando aquecimento nas superfícies urbanas.

Palavras-chave: Uso do solo; Transectos móveis; Urbanização.

Abstract: The world population is close to reaching 8 billion inhabitants, however, only in the 21st century did the urban population surpass the rural population. With the increase in urban areas worldwide, many facilities have been achieved, however many adversities are part of the daily lives of city people, traffic, violence, pollution. The present work investigated the occurrence of heat islands in the municipality of Taubaté, which is located in the southeastern region of the state of São Paulo, in the metropolitan region of Vale do Paraíba. The study was carried out with the adoption of the mobile transect methodology. 18 mobile transects were carried out simultaneously, with orientation from south to north and from west to east during the month of July 2019, on the 18th, 19th and 20th, at three different times of the day, at 5 hours and 10 minutes, from 2 pm to 8 pm. Temperature and relative humidity data were collected over 37 points from south to north and 42 points from west to east in the study area. The data analysis considered the variation of urbanization and land use to determine the temperature differences between the points of the transects. The results showed that the more urbanized areas are more heated than the less urbanized areas during the afternoon, night and dawn. The intensities of the heat islands were, during the 20 hours, of moderate to strong intensity, indicating warming in the urban surfaces.

Keywords: Land use; Mobile transects; Urbanization.

1. Introdução

A cidade é considerada como o local de ocorrência dos principais problemas sociais e ambientais do planeta. Segundo dados da PRB (Population Reference Bureau) a população planetária atingiu, em 2020, cerca de 7 bilhões e 900 milhões de habitantes. Desse total, aproximadamente 55 % vivem em cidades, segundo dados da Organização das Nações Unidas (ONU) de 2019. Embora as cidades não ocupem grandes parcelas no planeta, cerca de 2,8 % da superfície terrestre (JATOBÁ, 2011), as áreas urbanas concentram parte importante das atividades econômicas e sociais do planeta. Nelas ocorrem as maiores transformações

ambientais materializadas através da alteração e ocupação do solo, dos fluxos dos rios e córregos, da cobertura vegetal original, da morfologia do relevo e também na emissão de poluentes.

As alterações ambientais causadas pela urbanização alteram o clima local de forma intensa, produzindo efeitos e transformações, como o surgimento de ilhas de calor urbanas (ICUs). Para Oke (2002) as ilhas de calor ocorrem devido à urbanização que causa modificações no armazenamento do calor, no balanço hídrico, além de alterar o regime dos ventos, causando diferenças térmicas entre áreas mais urbanizadas quando comparadas com áreas menos urbanizadas. Na definição de Gartland (2010, p.09), as ilhas de calor “... são formadas em áreas urbanas e suburbanas porque muitos materiais de construção comuns absorvem e retêm mais calor do solo do que materiais naturais em áreas rurais menos urbanizadas”.

Os estudos sobre o tema são extensos no Brasil e no mundo. No Brasil, os estudos sobre clima urbano tiveram grande relevância com Monteiro (1976), em sua tese sobre clima urbano, desenvolvendo o Sistema Clima Urbano (SCU) que considerou o clima urbano como um sistema composto por vários subsistemas articulados com a percepção climática. Foi um grande impulso para a climatologia e para os estudos de clima urbano e a investigação sobre as ICUs. Outra abordagem muito importante foi quando, Lombardo (1985) demonstrou, através de medições e análises de imagens de satélite, as diferenças de temperaturas existentes entre os bairros da cidade de São Paulo atribuindo-as a essas diferenças, os diferentes usos de solo.

Em relação às contribuições internacionais, ressalta-se os estudos de Landsberg (1956) e Chandler (1965), que analisaram o clima das cidades, contribuíram para o entendimento das dinâmicas climáticas urbanas e, conseqüentemente na análise das ICUs. Em relação aos estudos das ICUs, alguns exemplos recentes foram os realizados por Barros e Lombardo (2016) em São Paulo, Parkarnseree *et al.* (2018) em Bangcoc, e Min *et al.* (2018) em Zhengzhou na China, que por meio da relação de sensoriamento remoto e dados de estações meteorológicas, evidenciaram a ocorrência do fenômeno nas respectivas cidades.

No Brasil, a urbanização se intensificou após a Segunda Guerra Mundial. Segundo Santos (1993) o desenvolvimento das infraestruturas necessárias à atração de capital estrangeiro, como rodovias, geração de eletricidade, entre outros, acelerou, a partir da década de 1950, o processo de urbanização do país. Desde a década de 70, grande parte da população reside em áreas urbanas (STAMM *et al.* 2013), por esta razão, grande parte da população brasileira, por ser majoritariamente urbana, está sujeita às alterações ambientais observadas nas áreas urbanas, como a ocorrência de ICUs.

Com base nessa problemática, a investigação da ocorrência de ICUs é tão pertinente para analisar como as ICUs ocorrem nas áreas urbanas de cada região do país, subsidiando o planejamento de ações futuras que visem mitigar tais fenômenos e melhorar a qualidade ambiental das cidades. Por esta razão, o presente artigo tem como objetivo avaliar a ocorrência de ICUs no município de Taubaté, que possui aproximadamente 320 mil habitantes e está localizado na região do Vale do Paraíba, parte leste do estado de São Paulo. Devido a importância do município na região e, por tratar-se de uma cidade de médio porte, a investigação é muito importante. Para a análise da ocorrência de ICUs no município, foi utilizada a metodologia do uso de transectos móveis, realizados em 3 diferentes períodos do dia, madrugada, tarde e noite, durante a estação de inverno.

2. Área de estudo

O presente trabalho analisou as diferenças de temperatura do ar no município de Taubaté, localizado na região Metropolitana do Vale do Paraíba, na porção leste do Estado de São Paulo. A população atual é de aproximadamente 320 mil habitantes, distribuídos de forma heterogênea, em uma área de 625,9 km². O município apresenta o clima Tropical de Altitude, caracterizado por chuvas concentradas no verão e escassas no inverno. A região é influenciada pelas massas de ar MTA (Massa Tropical Atlântica) e pela MPA (Massa Polar Atlântica). A temperatura média anual é 21,6° C com precipitações em maiores quantidades entre outubro e março e chuvas escassas entre abril e setembro que totalizam 1310 (mm), conforme apontado por Dubreuil (2018) e demonstrado na **Figura 1**.

Atualmente Taubaté é considerada uma cidade de porte médio, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) com cerca de 98% da população sendo urbana e apenas 2% rural. Para a realização do presente estudo, foi considerada a área urbanizada, local onde ocorrem as ICUs e também o entorno menos urbanizado. A **Figura 2** apresenta a localização do município e da área de estudo.

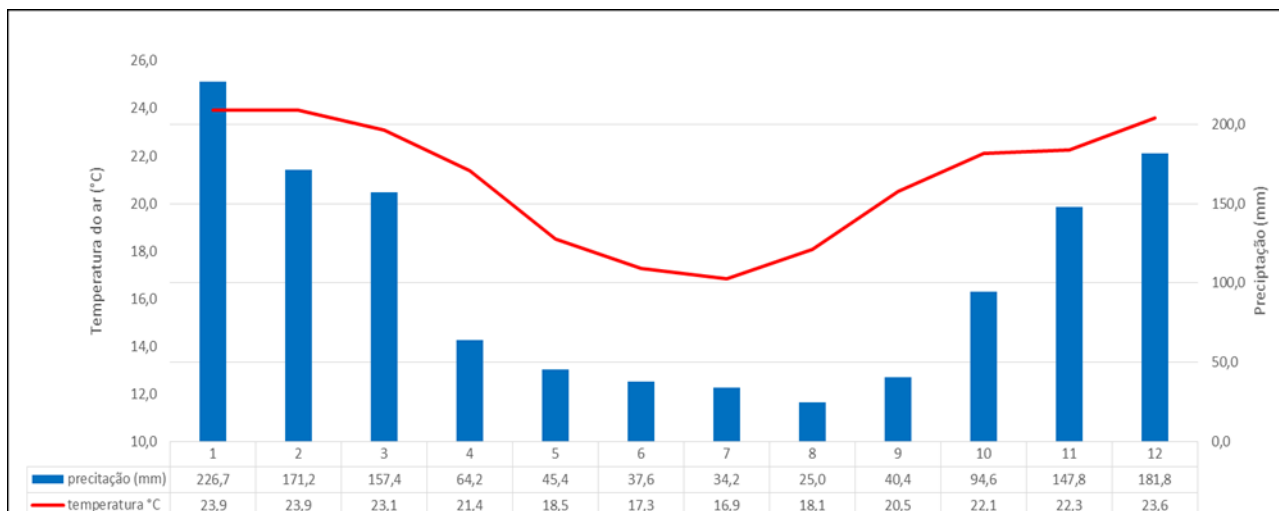


Figura 1: Variação mensal da temperatura média do ar e do total de precipitação para o município de Taubaté, SP entre 2006 e 2020: INPE, série de 2006 a 2020. Elaborado pelo autor.

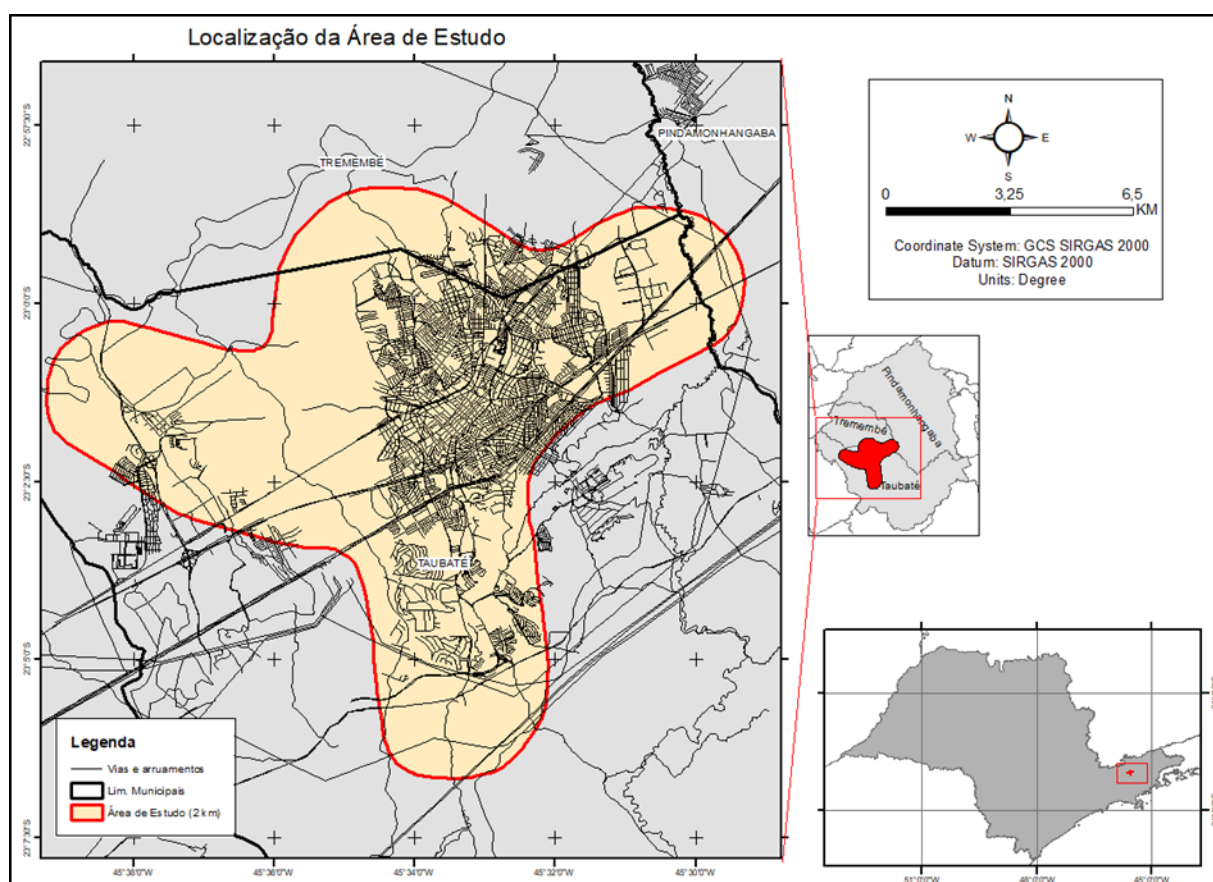


Figura 2: Localização da área de estudo no contexto do município de Taubaté e do estado de São Paulo. Elaborado pelo autor.

3. Materiais e métodos

Para realização deste trabalho adotou-se a metodologia de transectos móveis, utilizada em diversos trabalhos (SILVA et al. 2018; SUN et al. 2009; SUN et al. 2011 e SUN et al. 2019; DIHKAN et al. 2018; FIALHO, 2009; AMORIM, 2005; DORIGON, 2015 e TAHA et al. 2018). Foram realizados dois transectos simultâneos no sentido de sul para norte e no sentido de oeste para leste, com início em três horários distintos, as 5 horas e 10 minutos, as 14 horas e as 20 horas, nos dias 18, 19 e 20 de julho de 2019. Os horários escolhidos visaram identificar a possível ocorrência da ICU em diferentes momentos do dia, com e

sem radiação solar. Geralmente, as ICU são identificadas, geralmente, após 3 ou 4 horas após o pôr do Sol, segundo Oke (2002), contudo a escolha do horário das 5 horas e 10 minutos foi de investigar se ocorreria ICUs no momento em que se registra, geralmente, a temperatura do ar mínima do dia.

Os percursos foram realizados em velocidades de 26 km/h e 28 km/h em média, com duração de 40 a 45 minutos, dependendo do fluxo de trânsito. No percurso sul-norte foram registrados dados de temperatura do ar em 37 pontos. No percurso oeste-leste, foram registrados 42 pontos.

A coleta dos dados de temperatura do ar e umidade relativa foi realizada, simultaneamente, com o uso de dois Data Loggers HOBO U 12. Embora a umidade relativa do ar tenha sido registrada, seus resultados não foram abordados no contexto do trabalho. Os equipamentos foram fixados em hastes de madeira, em 2 automóveis, a cento e oitenta centímetros do solo. Os sensores ficaram abrigados por um abrigo tipo ABC (Abrigo de Baixo Custo) que possui a função de minimizar as interferências causadas pela radiação solar no sensor, conforme apontando por Armani e Galvani (2006). A **Figura 3** demonstra a fixação do sensor na haste de madeira e, posteriormente em um dos veículos usados nos transectos móveis.



Figura 3: Fixação dos sensores de temperatura e umidade relativa do ar em mini abrigo meteorológico e na haste de madeira.

A determinação da área de estudo considerou diversos níveis de urbanização, sendo que os trechos iniciais e finais de ambos ocorreram em áreas menos urbanizadas que seus pontos médios e centrais. A partir da área urbana e, considerando os limites do município, determinou-se que os percursos se iniciariam nas áreas menos urbanizadas, a oeste e a sul, atravessariam toda região urbanizada do município e terminariam a norte e a leste em áreas menos urbanizadas.

Para determinar a ocorrência das ICUs, foi adotada a classificação da proposta por Garcia *et al.* (2013, p 249), conforme **Tabela 1**.

Tabela 1: Escalas de determinação da intensidade da Ilha de Calor. Garcia *et al.* (2013).

| | Intensidade da ilha de calor |
|------------|--|
| Categorias | Diferenças de temperaturas do ar entre os pontos |
| Nula | Inferior ou igual a 0° C |
| Fraca | Inferior a 2,0° C |
| Moderada | Entre 2,0° C e 4,9 ° C |
| Forte | Igual ou superior a 5° C |

Os resultados foram apresentados em gráficos com os esquemas conforme **Figuras 4 e 5**. Os esquemas relacionam a área dos transectos móveis e os níveis de urbanização. Os esquemas não possuem escala e refletem, aproximadamente, as condições de uso do solo ao longo dos transectos. É possível observar que ocorrem 4 níveis, descritos pelas letras (A, B, C, D).

O nível A representa uma área com predomínio de áreas com poucas construções e a ocorrência de vegetação, plantações e pastagens. O nível B apresenta áreas residenciais e áreas verdes. Uma transição entre as áreas rurais e urbanas. O nível C caracteriza-se por área totalmente urbana, com a presença de casas e alguns prédios. O nível D é a área mais urbanizada dos transectos, com presença de comércio, prédios e poucas residências.



Figura 4: Níveis de urbanização sendo que A é o menos urbanizado e D o mais urbanizado – Transecto Oeste-Leste.

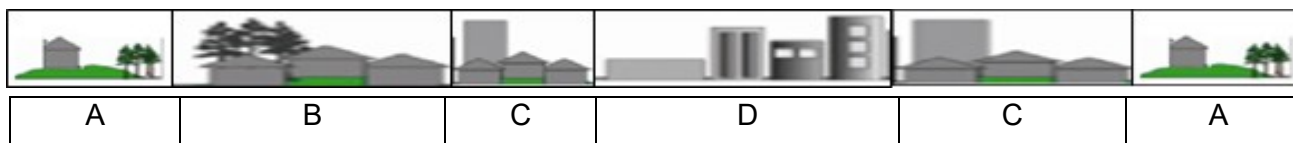


Figura 5: Níveis de urbanização sendo que A é o menos urbanizado e D o mais urbanizado – Transecto Oeste-Leste.

4. Resultados e discussões

Os transectos de inverno que foram realizados nos dias 18, 19 e 20 de julho de 2019, apresentaram condições climáticas caracterizadas por estabilidade atmosférica e condições de céu limpo. Os dados de radiação solar demonstraram que, nos dias dos transectos, praticamente, não houve nebulosidade na região, pois a curva descreve o formato de simetria entre o nascer do Sol e a passagem meridiana e desta até o ocaso. As condições climáticas dos dias do estudo apresentaram pouca nebulosidade, ausência de precipitação e amplitude térmica no dia 18 de 14,1°C, no dia 19 de 15,4°C e no dia 20 de 13,2°C. Os dias que antecederam a realização dos transectos, foram marcados por precipitação e diminuição da temperatura do ar, em razão da passagem de uma frente fria. Após a passagem da frente fria, a região ficou sobre o domínio de uma alta pressão atmosférica, condição que caracterizou os dias dos transectos móveis.

4.1. Transectos de inverno no percurso Oeste-Leste e Norte-Sul às 5 horas e 10 minutos

Os transectos realizados antes do nascer do Sol, apresentaram variações de temperatura do ar e amplitude térmica entre os pontos similares. O transecto de oeste-leste, no dia 18 apresentou amplitude térmica de 3,7°C. O ponto 8 registrou 8°C, a menor temperatura do ar, trecho com nível de urbanização A. A temperatura mais elevada foi registrada em 11,7°C nos pontos 31 e 32, com nível C de urbanização. No dia 19 a amplitude térmica foi de 2,4°C, com a temperatura mínima registrada no ponto 4, em 9,8°C em área de nível A e a máxima, nos pontos 27 e 28 em 12,2°C. Os pontos 27 e 28 se localizam na região de urbanização D. No dia 20, a amplitude térmica foi de 2,4 °C, sendo que a temperatura mínima foi registrada nos pontos 3 e 4 em 11,9°C, área de nível de urbanização A. A máxima temperatura do ar foi registrada entre os pontos 19 e 24, com registro de 16,9°C em 14,3°C. O trecho entre os pontos 19 e 24 localizam-se no nível de urbanização D. Conforme demonstra a **Figura 6**, as temperaturas mais elevadas ocorreram em áreas urbanizadas de nível C e D, caracterizadas como ICUs de intensidades moderadas.

Os transectos realizados no sentido sul - norte, apresentaram consideráveis variações de temperatura do ar e amplitude térmica. No dia 18 a amplitude térmica foi de 4,0°C, sendo que a menor temperatura 7,5°C no ponto 7, trecho entre os níveis de urbanização A e B. A maior temperatura foi registrada em 11,5°C, entre os pontos 25 e 27, trecho com nível de urbanização C. No dia 19, a amplitude térmica foi de 4,1°C, com registro mínimo de 7,9°C no ponto 10, área com nível de urbanização B, e com registro máximo de 12,0°C entre os pontos 21 e 24, trecho com nível de urbanização D. No dia 20 a amplitude térmica foi de 3,1°C, com registro de temperatura mínima em 10,1°C nos pontos 7 e 8, localizados no trecho de nível B. A maior temperatura foi de 14,2°C entre os pontos 26 e 30, trecho com nível de urbanização A e B.

Em todos os transectos foram registradas amplitudes térmicas acima de 2,0 °C, caracterizando a ocorrência de ICUs moderadas. Conforme demonstrado na **Figura 7**, as temperaturas do ar mais elevadas ocorreram nas áreas mais urbanizadas, quando comparadas com os registros nas áreas menos urbanizadas.

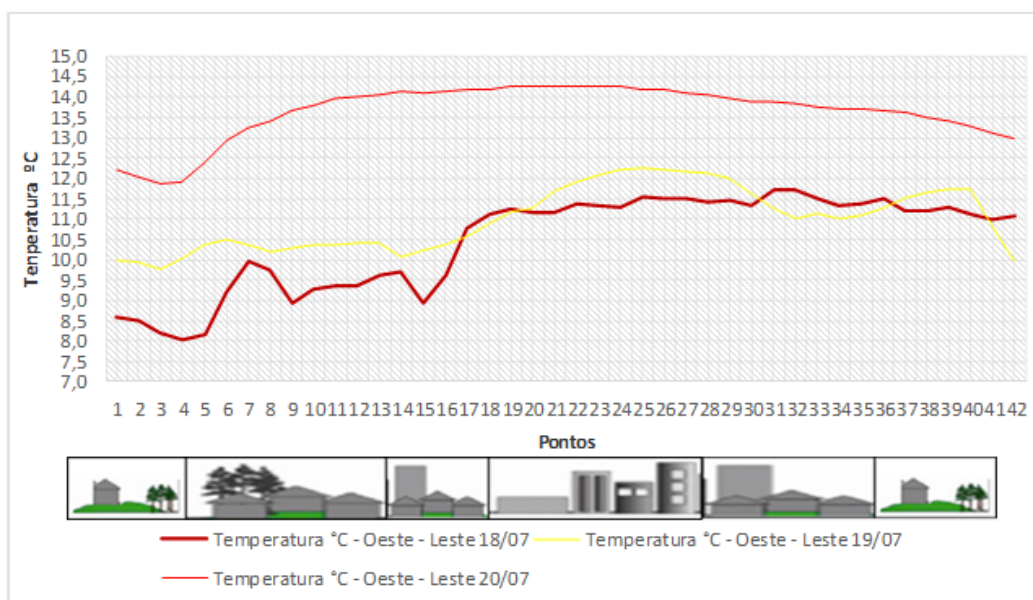


Figura 6: Variação da temperatura do ar e umidade relativa ao longo dos transectos Oeste-Leste realizados entre as 5 horas e 10 minutos e as 5 horas e 42 minutos nos dias 18, 19 e 20/07/2019. Elaborado: pelo autor.

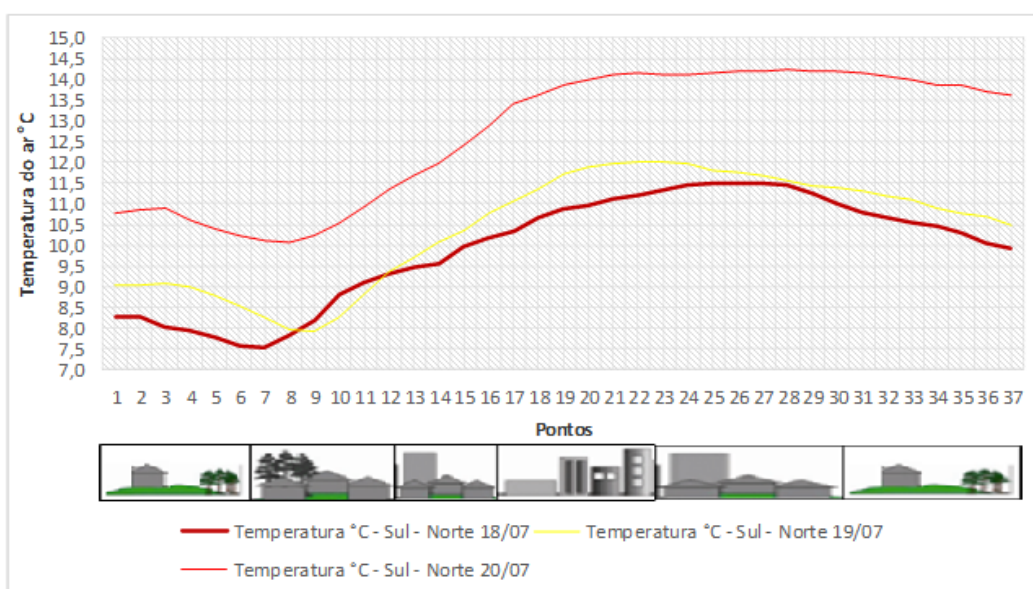


Figura 7: Variação da temperatura do ar e umidade relativa ao longo dos transectos Oeste-Leste realizados às 5 horas e 10 minutos nos dias 18, 19 e 20/07/2019. Elaborado: pelo autor.

4.2 Transectos de inverno no percurso Oeste-Leste e Norte-Sul às 14 horas

Os transectos realizados a partir das 14 horas, apresentaram menores valores de amplitudes térmicas em comparação com os transectos noturnos. O transecto Oeste-Leste, realizado no dia 18, registrou amplitude térmica de 1,3°C. A temperatura máxima de 22,5°C, foi registrada no ponto 31, área de nível de urbanização C. A menor temperatura foi registrada em 21,2°C no ponto 13, área de nível de urbanização B. No dia 19, a amplitude térmica foi 1,1 °C. A temperatura máxima do ar foi 24,0°C no ponto 26, área de urbanização de nível D. A temperatura mínima foi registrada no ponto 11 em 22,9°C, área de nível de urbanização B. No dia 20 foi registrada amplitude térmica de 0,8°C. A temperatura máxima foi registrada no ponto 28 em 24,5°C, trecho que apresenta nível de urbanização D. A menor temperatura foi registrada no ponto 1, em 23,7°C, área com nível de urbanização A.

Nos três dias foram registradas amplitudes térmicas que caracterizam a ocorrência de ICUs fracas, conforme a **Figura 8**.

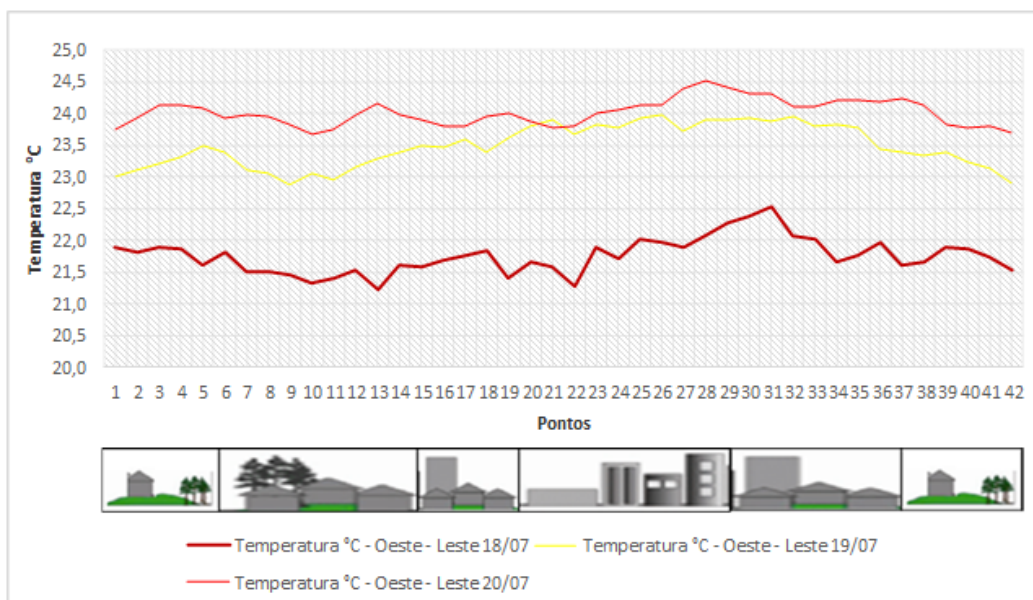


Figura 8: Variação da temperatura do ar e umidade relativa ao longo dos transectos Oeste-Leste realizados às 14 horas nos dias 18, 19 e 20/07/2019. Elaborado: pelo autor.

Os transectos Sul – Norte apresentaram pequenas variações de temperatura do ar e amplitude térmica. A amplitude térmica, do dia 18, foi de 1,1°C. O registro de temperatura mais elevada foi no ponto 26, em 22,8°C, com nível de urbanização C. A menor temperatura foi registrada entre os pontos 8 e 13 com 21,7°C em um trecho de nível B e C. No dia 19 a maior temperatura foi de 24,2°C, registrada no ponto 25, com nível de urbanização C. A menor temperatura foi de 22,6°C nos pontos 4 e 5, trecho com nível de urbanização A em transição para B. No dia 20 a maior temperatura foi de 24,8°C, registrada entre os pontos 28 e 34, trecho de transição de nível C para A. A menor temperatura foi registrada no ponto 1, 5, 6 e 7, em 23,4°C, trecho de nível de urbanização A e B. A amplitude foi de 2,2°C, contudo neste dia, a ICUs formou-se em uma área menos urbanizada, conforme a **Figura 9**, e com intensidade moderada. Nos dias 18 e 19 a intensidade foi fraca.

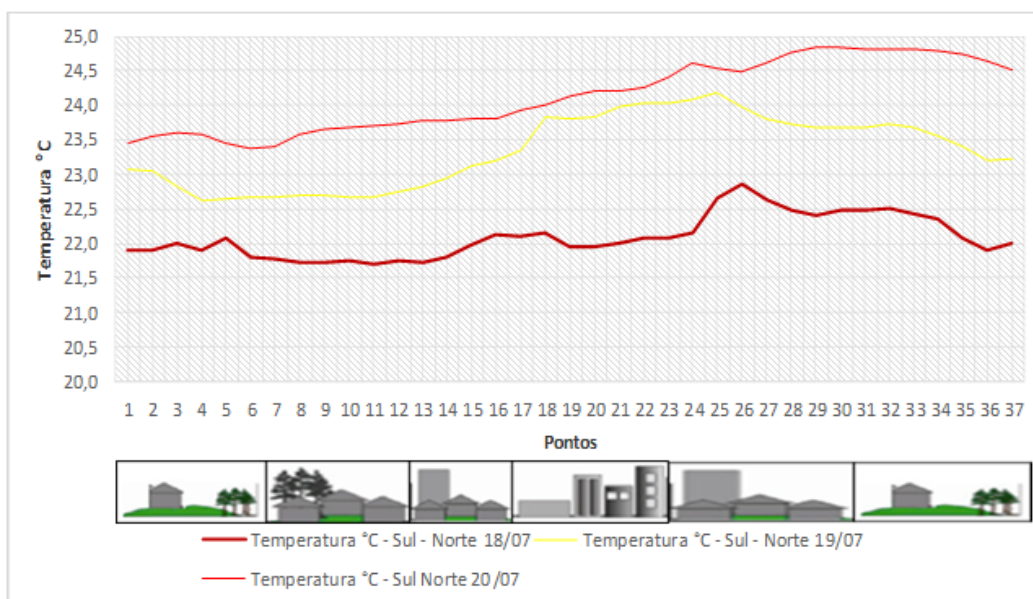


Figura 9: Variação da temperatura do ar e umidade relativa ao longo dos transectos Oeste-Leste realizados às 14 horas nos dias 18, 19 e 20/07/2019. Elaborado: pelo autor.

4.3. Transectos de inverno no percurso Oeste-Leste e Norte-Sul às 20 horas

Os transectos realizados a partir das 20 horas apresentaram temperaturas mais elevadas nas áreas mais urbanizadas em comparação com as áreas menos urbanizadas. A amplitude térmica entre os pontos foi

considerável, apontando para a ocorrência de ICUs nas áreas mais urbanizadas em relação as áreas menos urbanizadas.

Nos transectos realizados nos dias 19 e 20, na direção de oeste para leste, as temperaturas mais elevadas foram registradas nas áreas mais urbanizadas. No dia 18, a temperatura mais elevada foi registrada no ponto 10 em 16,6°C. O trecho apresenta nível B de urbanização, que ao contrário dos outros dias não foi é a área de maior urbanização. A menor temperatura foi registrada no ponto 42 em 14,2°C, em trecho de nível de urbanização A. A amplitude térmica foi de 2,4°C. Essa diferença verificada no dia 18, quando comparado aos dias 19 e 20, pode estar relacionada com a massa de ar frio, que estava sobre a região, estar mais intensa neste dia, diminuindo a amplitude térmica e, conseqüentemente a ICU.

No dia 19 a maior temperatura foi registrada entre os pontos 24 e 28, em 17,5°C. O trecho em questão é de nível de urbanização D. A amplitude térmica foi de 3,2°C. No dia 20, a temperatura mais elevada foi registrada entre os pontos 20 e 22 em 19,6°C. O nível de urbanização do trecho é D. A menor temperatura foi registrada nos pontos 3 e 4, em 16,9°C, trecho de nível de urbanização A. A amplitude térmica foi de 2,7°C. Em todos os dias foram registradas ICUs moderadas, nos dias 19 e 20, conforme a **Figura 10**, a ocorrência das ICUs coincidiu com os trechos mais urbanizados.

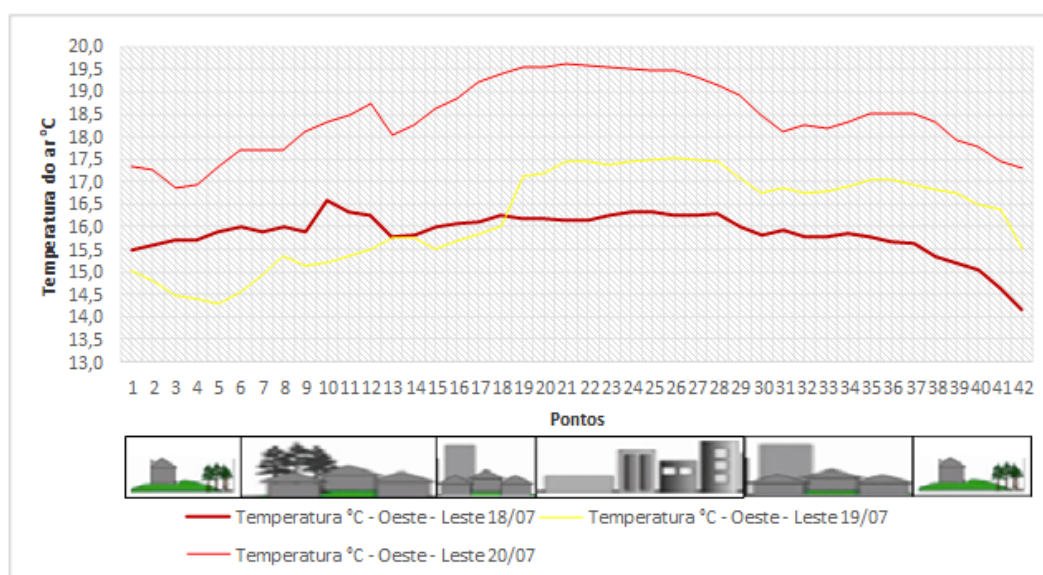


Figura 10: Variação da temperatura do ar e umidade relativa ao longo dos transectos Oeste-Leste realizados às 20 horas nos dias 18, 19 e 20/07/2019. Elaborado: pelo autor.

Os transectos no sentido Sul-Norte registrou as maiores temperaturas nas regiões mais urbanizadas. As curvas de temperatura do ar verificada na **Figura 10**, demonstraram que ocorreram elevações consideráveis da temperatura do ar, em todos os dias, conforme intensificação da urbanização. No dia 18, a temperatura do ar mais elevada foi registrada entre os pontos 21 e 24 em 19,5°C área com nível de urbanização D. A menor temperatura foi registrada em 14,0°C entre os pontos 9 e 10, em área de urbanização de nível B. A amplitude foi de 2,5°C. No dia 19 a temperatura mais elevada foi registrada em 17,7°C, entre os pontos 27 e 28, trecho com nível de urbanização C. A temperatura mais baixa foi registrada no ponto 8 em 12,8°C, trecho de urbanização de nível B. A amplitude térmica foi de 4,9°C. No dia 20, a temperatura máxima ocorreu entre os pontos 21 e 24, registrando 19,5 °C, trecho de urbanização de transição de nível D e C. A menor temperatura foi registrada no ponto 8 em 13,1°C. A amplitude térmica foi a mais elevada de todos os transectos, atingindo 6,4°C.

Nos dias 18 e 19 a intensidade das ICUs foram moderadas, contudo no dia 20 houve registro de ICUs de intensidade forte, demonstrando, conforme a **Figura 11**, que as temperaturas mais elevadas e, conseqüentemente as ICUs, ocorreram nas áreas mais urbanizadas.

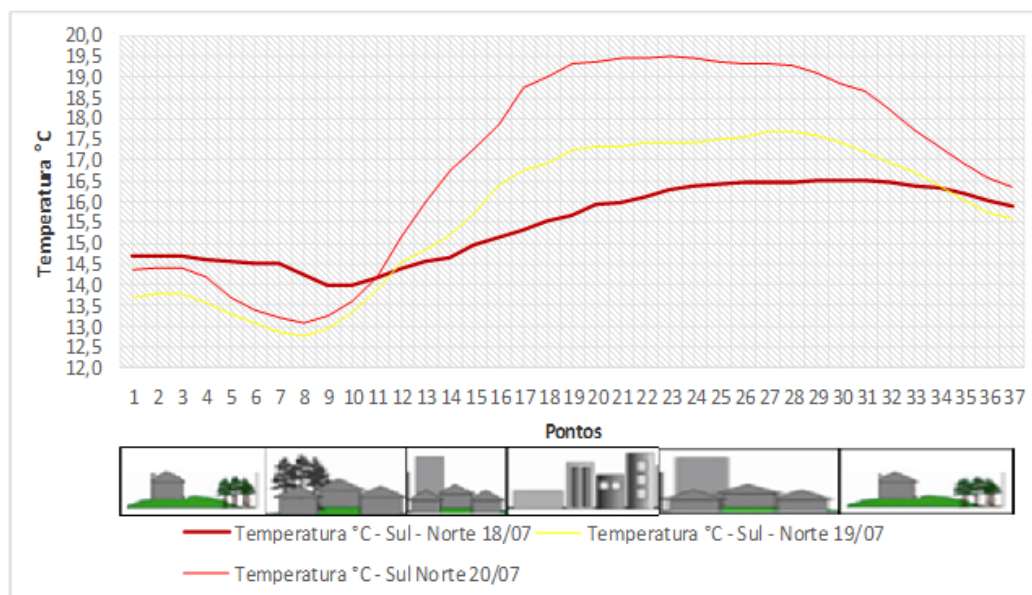


Figura 11: Variação da temperatura do ar e umidade relativa ao longo dos transectos Sul- Norte realizados às 20 horas nos dias 18, 19 e 20/07/2019. Elaborado: pelo autor.

Os resultados, baseados nos dados coletados nos transectos móveis, demonstraram que nas áreas com níveis de urbanização C e D, as temperaturas do ar foram mais elevadas nos transectos noturnos. Nos transectos diurnos, as máximas temperaturas foram registradas no trecho com nível de urbanização C. Essa situação pode ser explicada, pois durante os transectos da tarde, a área mais urbanizada, de nível D, apresenta edificações mais elevadas, produzindo sombreamento de alguns trechos dos transectos. Já no trecho de nível C, embora seja urbanizado, há predomínio de casas, que não promovem sombreamento com no nível D. Com o passar dos dias os registros de temperatura do ar foram se elevando, caracterizando uma tropicalização da massa de ar Polar atlântica (MPA), conforme apontou Borsato *et al.* (2015). A elevação da temperatura intensificou as amplitudes térmicas, pois as amplitudes mais intensas ocorreram no dia 20, no transecto entre 20 e 21 horas, indicando que conforme o ar frio foi aquecendo, as ICUs se intensificaram.

As condições verificadas em relação ao a variação da temperatura do ar ao longo dos transectos, foram similares aos registrados em trabalhos realizados em Uberlândia, (SILVA *et al.* 2018), em Viçosa – MG (Fialho, 2009) e em Presidente Prudente - SP (Amorim, 2005) registraram a ocorrência de ICUs com maiores intensidades em horários noturnos e em áreas com maior urbanização e impermeabilização do solo. Em geral, a maioria dos trabalhos apresentaram tais características, contudo o presente trabalho, além de comprovar a ocorrência de ICU em Taubaté, demonstrou que a ICU é prolongada, sendo detectada mesmo nas madrugadas, minutos antes do amanhecer. O resultado observado na madrugada coincidiu com o verificado por Sun *et al.* (2019) na cidade de Tainan, em Taiwan, onde as diferenças de temperatura chegaram a 3,5° C. Fialho (2009) analisou a ICU na madrugada de Viçosa-MG, contudo, de menor intensidade do que em Taubaté. Tal registro, indica que os materiais utilizados nas construções da área urbana, juntamente com a falta de áreas verdes, contribuem para o prolongamento do aquecimento da área central, mesmo várias horas após o pôr do Sol. Além disso, características similares ocorreram em diferentes latitudes e localidades do planeta, evidenciando que as ICUs podem estar presentes, durante a madrugada, em várias áreas urbanas do planeta.

As condições climáticas foram determinantes para a magnitude das ICUs registradas, pois conforme a massa de ar frio foi perdendo suas características e se aquecendo, maior foi a intensidade da ICU. Nos transectos noturnos e das madrugadas, as variações foram cada vez mais intensas com o passar dos dias, indicando que quanto menos intensa ficou a massa de ar frio, maior foi a amplitude térmica entre os pontos. A escolha dos dias para a realização dos transectos, após a passagem de uma frente fria, colaborou para que as características citadas fossem observadas.

4. Conclusões

A análise da ocorrência da ICUs em diferentes horários: as 5 horas e 10 minutos, período em que são registradas, geralmente, as mínimas temperaturas do ar. As 14 horas, período que comumente ocorrem as

máximas temperaturas do ar e as 20 horas, período em que a perda de calor está ocorrendo e que comumente ocorrem os momentos mais intensos da ICU (AMORIM, 2015), apresentaram resultados distintos. As maiores intensidades de ICU foram verificadas nos horários das 20 horas e das 5 horas e 10 minutos. Mesmo após várias horas sem radiação solar incidindo, foram detectadas ICU pouco antes do nascer do Sol. Os transectos das 14 horas apresentaram intensidades de ICU fracas e com menor variação de temperatura do ar entre os pontos dos transectos.

Os resultados verificados corroboraram com os trabalhos aqui citados, pois as ICUs mais intensas foram registradas nos períodos noturnos e das madrugadas, nos transectos iniciados as 20 horas e as 5 horas e 10 minutos. As ICUs com maiores intensidades ocorreram nos transectos das 20 horas, no sentido sul-norte, algo esperado, pois neste transecto, as diferenças em relação aos níveis de urbanização são mais intensas quando comparadas às verificadas no transecto oeste-leste. Os transectos da madrugada demonstraram, também a ocorrência de ICUs com intensidades moderadas, mesmo após várias horas após o pôr do Sol. Durante os transectos noturnos e das madrugadas, os registros das temperaturas mais elevadas ocorreram nas áreas mais urbanizadas, evidenciando a influência da alteração do uso do solo na ocorrência das ICUs. Tal constatação reforça que, independentemente da localidade da área de estudo, a urbanização possui papel determinante na elevação da temperatura do ar, pois em todos os estudos analisados, a situação descrita foi constatada.

Em todos os períodos foram registradas ocorrência de ICUs, contudo nos períodos noturnos se apresentaram mais intensamente, quando comparadas com o período da tarde. Mesmo com o avanço da madrugada e a perda de calor acumulada pelas superfícies da área urbana, registrou-se a ocorrência do fenômeno de forma moderada no horário em que, geralmente, registra-se a temperatura mínima do dia. Conforme a MPA foi se tropicalizando, mais intensos foram os registros das ICUs. Durante os transectos noturnos, as temperaturas do ar mais elevadas ocorreram nas áreas de urbanização de nível C e D. No período diurno, a temperatura do ar ao longo dos transectos foi mais homogênea, sem grandes amplitudes térmicas.

Com base nos resultados, é possível afirmar que as ICUs ocorrem, durante a estação de inverno, no município de Taubaté com intensidades fracas, durante o período da tarde e, com intensidade moderada e forte durante a noite e a madrugada. Além disso, as ICUs foram intensificadas conforme a massa de ar frio perdeu força e foi se aquecendo, evidenciando que no inverno, onde tais características predominam, as ICUs ocorrem com maior predominância.

Notas

Este artigo faz parte da tese de doutorado do primeiro autor.

Bibliografia

AMORIM, M. C. C. T. **Intensidade e forma da ilha de calor urbana em Presidente Prudente/SP: episódios de inverno.** Revista *Geosul*, Florianópolis, v. 20, n. 39, p. 65–82, jan/jun. 2005.

AMORIM, M. C. C. T. **Clima urbano: Concepções Teóricas, metodologias, aplicações e perspectivas.** *Revista Equador, Teresina*, v. 04, n. 03, p. 69-86, agosto. 2015. Disponível em <https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/viewFile/3643/2119>. Acesso em 15 mar. 2022.

ARMANI, G.; GALVANI, E. **Avaliação do desempenho de um abrigo meteorológico de baixo custo.** *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 14, p. 116-122, 2006.

BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo no município de São Paulo-SP. *GEOUSP Espaço e Tempo (Online)*, [S. l.], v. 20, n. 1, p. 160-177, 2016. DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geousp.2016.97783. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/97783>. Acesso em: 18 mar. 2022.

BORSATO, V. A.; MENDONÇA, F. A. **A participação da massa tropical Atlântica no estado do tempo no Centro Sul do Brasil.** *Revista Geonorte*, Manaus, v. 8, n. 3, p. 293-304, out. 2012. Disponível em: <https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2358>. Acesso em 20 abr. 2021.

CHANDLER, T. J. **The climate of London.** University of London. Hutchinson & CO, 1965.

DIHKAN, M. *et al.* **Evaluation of urban heat island effect in Turkey**. Arabian Journal of Geosciences, [s. l.], v. 11, ed. 186, p. 1-20, 2018. DOI /doi.org/10.1007/s12517-018-3533-3. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12517-018-3533-3#citeas>. Acesso em: 22 ago. 2019.

DORIGON, L. P. **Clima urbano em Paranavaí/PR: análise do espaço intraurbano**. 2015. xv, 125 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/190867>>.

DUBREUIL, V. *et al.* **Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015**. Confins, no 37, setembro de 2018. DOI.org (Crossref), doi:10.4000/confins.15738. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/15738>. Acessado em 10 dez. 2019.

FIALHO, E.S. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte: Caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira**. Tese (Doutorado em Geografia Física). Programa de Pós-graduação em Geografia Física, USP. São Paulo, 2009.

GARCIA, F. F. *et al.* **La Isla de Calor en Madrid Durante Los Periodos Cálidos: Evaluacion de Impactos Y Propuestas de Actuación**. In: ANGULO, Julio Vinuesa et al. Reflexiones a propósito de la revisión del Plan General de Madrid. 1. ed. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid; Grupo TRYS, 2013. cap. II, p. 229-253. ISBN 84-695-8386-7; 978-84-695-8386-9

GARTLAND, I. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo. Oficina de Textos, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades e Estados, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/sorocaba.html>. Acessado em: 10/04/2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Séries históricas. Disponível em: <http://bancodedados.cptec.inpe.br/>. Acessado em 20 de janeiro de 2021

JATOBÁ, S. U. S. **Urbanização, Meio Ambiente e Vulnerabilidade Social**. Boletim Regional, Urbano e Ambiental, Brasília - Df, v. 5, p. 141-148, jan. 2011. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5567/1/BRU_n05_urbanizacao.pdf. Acesso em: 26 abr. 2021.

LANDESBURG, H.E.; **The climate of Towns**: in Thomas, W.L. org (1956) Man's Role in Changing the Face of the Earth. Vol2, pp 584- 606; traduzido por AZEVEDO, T. R. publicado na Revista do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo nº 18, 2006.

LOMBARDO, M.A. **Ilhas de Calor nas Metrôpoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: HUCITEC, 1985.

MIN, M.; ZHAO, H.; MIAO, C. **Spatio-Temporal Evolution Analysis of the Urban Heat Island: A Case Study of Zhengzhou City, China**. Sustainability, [s. l.], 2018. DOI 10.3390/su10061992. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/6/1992>. Acesso em 10 mar. 2019.

MONTEIRO, C. A. F. e MENDONÇA, F. **Clima Urbano** (Tese 1976). Editora Contexto. São Paulo, 2003.

OKE, T. **Boundary Layer Climates**. Abingdon. 2º Ed. Taylor & Francis Library, 2002.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). ONU News: Disponível em:<https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701>. Acesso 12 jan. 2021

PAKARNSEREE, R.; CHUNKAO, K; BUALER, S. **Physical characteristics of Bangkok and its urban heat island phenomenon**. Building and Environment, vol. 143, pg 561-569, 2018. DOI 10.1016/j.buildenv.2018.07.042. Acesso em 10 dez. 2019.

POPULATION REFERENCE BUREAU (PRB). Banco de dados. Disponível em www.prb.org> Acesso em 12 jan. 2021.

SANTOS, M. **A urbanização brasileira**. São Paulo. Editora HUCITEC Ltda, 1993.

SILVA, V. J. *et al.* **Mobile Transect for indentification of intra-urban heat island in Uberlandia, Brazil**. *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, v. 13, n. 4, ed. 2187, p. 1-9, 2018. DOI 10.4136/ambi-agua.2187. Disponível em: www.ambi-agua.net. Acesso em: 11 set. 2019.

SUN, C. *et al.* **Desert heat island study in winter by mobile transect and remote sensing techniques**. *Theoretical and Applied Climatology*, Viena, v. 98, p. 323-335, 2009. DOI <https://doi.org/10.1007/s00704-009-0120-2>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-009-0120-2#citeas>. Acesso em: 14 set. 2019.

SUN, C. *et al.* **Application of low-cost sensors for urban heat island assessment: A case study in Taiwan**. *Sustainability*, Taiwan, v. 11, n. 2759, p. 1-12, 2019. DOI 10.3390/su11102759. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/10/2759>. Acesso em: 16 ago. 2019.

SUN, C. *et al.* **A street thermal environment study in summer by the mobile transect technique**. *Theoretical and Applied Climatology*, Taiwan, 2011. DOI 10.1007/s00704-011-0444-6. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-011-0444-6>. Acesso em: 1 dez. 2019.

STAMM, C. *et al.* **A população urbana e a difusão das cidades de porte médio no Brasil. Interações, Campo Grande** - Ms, v. 4, n. 2, p. 251-265, dez. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/inter/v14n2/a11v14n2.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2021.

TAHA, H. *et al.* **Air-Temperature Response to Neighborhood-Scale Variations in Albedo and Canopy Cover in the Real World: Fine-Resolution Meteorological Modeling and Mobile Temperature Observations in the Los Angeles** Climate Archipelago. *Climate*, [s. l.], v. 6, n. 53, ed. 2, p. 1-25, 2018. DOI <https://doi.org/10.3390/cli6020053>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2225-1154/6/2/53>. Acesso em: 14 set. 2019.



Este artigo é distribuído nos termos e condições do *Creative Commons Attribution/Atribuição- NãoComercial-CompartilhaIgual* (CC BY-NC-SA).