



A Ilha de Calor Urbana em ambiente tropical: a Região Metropolitana da Grande Vitória no Brasil

Heat island in tropical environment: the Metropolitan Region of Vitória in Brazil

Wesley de Souza Campos Correa*¹ , Georgynio Y. Rosales Aylas¹ , Alexandre Magalhães Santiago¹ , Maria Elisa Siqueira Silva² , Cláudia Câmara do Vale¹ 
, Carlos Batista da Silva² , Natália Nunes Patucci² 

¹Instituto de Estudos Climáticos do Espírito Santo, PPGEA/PPGG, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil

²Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH), Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

E-mail: ragy3008@gmail.com (GYRA); ams_prof@yahoo.com.br (AMS); elisasiq@usp.br

(MESS); camaravale@gmail.com (CCV); krlsbatist@gmail.com (CBS); natalia.oliver@usp.br (NNP)

*E-mail para correspondência: wesley.campos.correa@gmail.com

Recebido (Received): 30/08/2021

Aceito (Accepted): 07/06/2022

Resumo: Localizada em latitudes tropicais, a Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), no estado do Espírito Santo, Brasil, é uma importante área para se debater o fenômeno da Ilha de Calor Urbana (ICU). Neste estudo, analisa-se a ocorrência da ilha de calor na RMGV no período de março de 2017 a janeiro de 2018. Os dados horários de temperatura do ar utilizados na análise e discussão dos resultados foram obtidos de cinco estações meteorológicas controladas pelo INMET, IEMA e INFRAERO. Os resultados mostram a existência de ICU na RMGV durante todo o período analisado. As intensidades horárias de ICU na RMGV apresentam distribuição de frequência próxima da gaussiana, com intervalo de maior ocorrência (~ 50% dos eventos) entre 0 °C e 2 °C; 91,4% dos valores de ICU obtidos para a RMGV estão entre 0 °C e 4 °C, indicando maior ocorrência de eventos de intensidade fraca e moderada, 0,3% do período apresentou ilha de calor de intensidade forte (4-6 °C) e muito forte (6-8 °C). O estudo possibilitou verificar que os eventos de ICU na RMGV são mais intensos durante o dia, nas estações de primavera e verão, e estão associados aos horários de maior carga térmica no ambiente, nas escalas horária e sazonal. Também foram verificados eventos de ilha de calor negativa (*cool island*) em 8,3% dos casos, condição ocorrida quando a área rural esteve mais aquecida que a área urbana. Os eventos de ilha de calor negativa foram mais frequentes entre 7 e 9 horas, nos meses de janeiro e julho, e estiveram sempre associados à atuação de sistemas atmosféricos com formação de nebulosidade, como frentes frias, ZCOU e ZCAS.

Palavras-Chave: Uso e cobertura da terra; Ilha de calor; Área urbana; Espírito Santo (Brasil); Sistemas atmosféricos.

Abstract: Metropolitan Region Vitória (MRV), located in Brazil, in the Espírito Santo state, is a relevant local to discuss Urban Heat Island (UHI) due to its tropical climate. In this study, the heat island in MRV was evaluated between March 2017 and January 2018 period. The hourly database of air temperature used in analysis and discussion was obtained from five weather stations of INMET, IEMA and INFRAERO. Results show the heat island formation all over the evaluated period. Hourly intensities of UHI for MRV have frequency distribution close to Gaussian with the highest interval occurrence (~ 50%) between 0 °C and 2 °C; 91.4% of UHI values to MRV are between 0 °C and 4 °C, indicating the highest occurrence of weak and moderate intensities, 0.3% of the period have strong (4 - 6 °C) and very strong (6 - 8 °C) UHI. In this study, it was possible to verify that UHI events at MRV are higher over the day hours than in the night, and, during spring and summer seasons, being associated with high environment thermal charge at both hourly and season scale. The study area shows cool island events in 8.3% of the cases that happened when the rural area was warmer than the urban sites. The higher frequency of cool island event was observed between 7 and 9 am, in January and July; they were always associated with cloudiness atmospheric systems, provided by the action of cold front, ZCOU and ZCAS episodes.

Keywords: Land use and land cover; Heat island; Urban area; Espírito Santo (Brazil); Atmospheric system.

1. Introdução

A alteração antrópica da superfície terrestre pode provocar impactos na circulação térmica local, em particular, em ambientes urbanos, ou seja, a ilha de calor (GUERRERO, 2010; HOMANN, 2014; STULL, 1988). A observação da ilha de calor urbana (ICU) é registrada desde o princípio da revolução industrial (LANDSBERG, 2006), sendo a forma antropogênica de modificação atmosférica mais evidente, e, também, a mais estudada (ROTH, 2013), não apenas por seus efeitos na atmosfera local, mas também pelos efeitos nocivos à saúde dos seres vivos. O fenômeno da ICU é formado quando as áreas urbanas e as não urbanas adjacentes experimentam um contraste térmico (FREITAS; DIAS, 2005; RIZWAN; DENNIS; LIU, 2008). A ICU é essencialmente definida pela diferença de temperatura entre a área central da área urbana e o ambiente rural ou zonas periféricas com baixa densidade de construções. Além da distinção simples urbano-rural ou centro-periferia, é caracterizada também pela diferença de uso e ocupação do solo (AMORIM et al., 2009). Em geral, a ICU tende a apresentar características típicas, mas a intensidade e o período de ocorrência dos eventos variam de acordo com a localidade (GARTLAND, 2008). Quando a área rural fica mais aquecida que a urbana, há o desenvolvimento da ilha de calor negativa (*cool island*) (KAMMA et al., 2020; YANG et al., 2017).

Dentre os fatores que contribuem para o desenvolvimento da ilha de calor urbana, Oke *et al.* (1991) destacam os seguintes: a localização geográfica (latitude e proximidade ao oceano), o tamanho da área urbana (pequena, média, grande ou megacidades), a função principal da sociedade (fabril, comercial ou residencial) e a forma da área urbana, bem como as condições de tempo mais frequentemente atuantes. A formação de ilha de calor depende da disponibilidade de radiação solar no sistema uma vez que a entrada de energia primária define a ocorrência de todos os processos físicos responsáveis por ela (BLAKE et al., 2011; OKE, 1995). Estudos dedicados a investigar a formação de ilha de calor urbana indicam que sua intensidade é uma importante característica a ser considerada (CHEN; ZHAO; MOCHIDA, 2016; FERREIRA et al., 2012; RYU; BAIK, 2013), aspecto comumente determinado pela diferença de temperatura entre a área urbana e as áreas adjacentes e ambientes rurais (OKE, 1995).

Alguns autores apontam diferentes características do fenômeno ICU entre latitudes médias e altas e latitudes mais baixas, sendo a quantidade de energia solar que entra no sistema em áreas tropicais e latitudes mais altas um aspecto importante para definir as diferenças observadas (ARNFIELD, 2003; CHEW et al., 2021; GONZÁLEZ et al., 2005; JAUREGUI, 1997; RIZWAN; DENNIS; LIU, 2008; ROTH, 2007; STEWART, 2011; YANG et al., 2017). Em latitudes médias e altas, a ICU é mais intensa durante a noite e no período de inverno, devido ao aumento da produção antropogênica de calor para calefação e às diferenças no balanço de energia em superfície. Durante o dia, a intensidade da ICU em latitudes médias e altas pode ser até mesmo negativa quando a temperatura média do ar na área rural é superior à temperatura média da área urbana (GARTLAND, 2008; GONZÁLEZ et al., 2005; ROTH, 2007). A intensidade máxima da ICU no período noturno, em latitudes médias e altas, é também determinada por ventos calmos predominantes durante a noite, pelo tamanho da área urbana e pela disponibilidade de umidade nas áreas urbanas (CHOW; ROTH, 2006; OKE, 1987, 1995; OKE et al., 1991; STEWART, 2011).

A ICU, em ambientes tropicais, tende a ser mais intensa durante o dia. Durante o período diurno, além da maior quantidade de radiação solar, a presença de maior umidade atmosférica em relação às latitudes médias provoca o aprisionamento de radiação terrestre em níveis baixos (RAJAGOPALAN; LIM; JAMEI, 2014). O maior teor de umidade no solo, bem como, a vegetação mais densa em áreas rurais são fatores importantes para definir os efeitos da ilha de calor em ambientes tropicais (MARQUES FILHO et al., 2009; ROTH, 2007). A maior intensidade da ICU em latitudes tropicais é registrada durante a primavera e verão, entre os horários de 10 h e 16 h (ARNFIELD, 2003; CALLEJAS et al., 2016; FREITAS; DIAS, 2005; RAJAGOPALAN; LIM; JAMEI, 2014) período de maior disponibilidade térmica no ambiente. Em locais onde o relevo é acentuado, a interferência da topografia, com vento catabático e aquecimento adiabático, pode contribuir para o aumento da temperatura média do ar sobre a região urbana e, conseqüentemente, para o maior desenvolvimento vertical da camada de mistura (FREITAS et al., 2007; SALVADOR et al., 2016). Nos períodos noturnos, em áreas tropicais, a intensidade da ilha de calor pode eventualmente apresentar valores negativos (ROTH, 2007).

Recentemente, o conceito de ilha de calor negativa (*cool island*) tem sido trazido à luz dos debates sobre o clima urbano nos trópicos, uma vez que estes eventos foram verificados em algumas localidades de clima

tropical e subtropical, como no Rio de Janeiro (MARQUES FILHO et al., 2009), Hong Kong (YANG et al., 2017) e Bangkok (KAMMA et al., 2020), por exemplo.

A ilha de calor negativa ocorre quando ambiente rural está mais aquecido que o urbano. Nos trabalhos de Kamma *et al.* (2020), Yang *et al.* (2017) e Morris e Simmonds (2000), os autores sugeriram que o desenvolvimento da ilha negativa pode ocorrer em função dos seguintes fatores: 1) estruturas urbanas densas; pouco calor antropogênico; diferenças no fluxo de calor latente, sensível e do solo entre áreas urbanas e rurais; e a advecção de ar mais quente para áreas rurais; 2) radiação solar reduzida devido a formas urbanas compactas com desfiladeiros muito profundos, saldo reduzido de radiação devido a fumaça e poluição, áreas sombreadas devido a edifícios altos; 3) maior inércia térmica em áreas urbanas do que em áreas rurais; 4) inibição dos eventos de advecção matinal pelo ar quente continental e pela brisa do mar e advecção de ar polar devido à passagem de frentes frias; 5) sistemas atmosféricos em escala sinótica e nebulosidade.

As diferenças de comportamento entre ICU formadas em ambientes tropicais e extratropicais estão associadas não apenas aos horários e meses de maior magnitude da carga térmica disponível, mas, também, ao relevo local, à presença de circulação de brisa, às diferenças nas taxas de evaporação, ao teor de umidade do solo e à presença de vegetação, tal como observado por Marques Filho *et al.* (2009), Ferreira *et al.* (2012), Comarazamy *et al.* (2007), Cui e De Foy (2012), Rajagopalan *et al.* (2014) e Doan *et al.* (2016), ao estudarem a ilha de calor nas áreas urbanas do Rio de Janeiro (Brasil), São Paulo (Brasil), San Juan (Porto Rico), Cidade do México (México), Muar (Malásia) e Ho Chi Minh (Vietnã), respectivamente. Nesse contexto, o objetivo deste estudo é identificar e analisar o comportamento da ilha de calor na Região Metropolitana da Grande Vitória, capital do estado do Espírito Santo, Brasil, entre março de 2017 e 31 de janeiro de 2018.

Mesmo com sua importância econômica e industrial relativamente ao estado do Espírito Santo e o Brasil, são poucos os estudos que investigaram a ilha de calor e o clima urbano local da RMGV, como proposto nesse trabalho. Alguns estudos têm buscado analisar apenas a variabilidade da temperatura de superfície para localidades específicas, sem considerar toda a região metropolitana, como mostram os resultados de Holz *et al.* (2012), Correa *et al.* (2015) e Coelho e Correa (2013), para o município de Vitória, de Jesus (2016), para o município de Cariacica, e, os resultados de Dos Santos *et al.* (2017), para o município de Vila Velha. Em relação à análise da ilha de calor atmosférica na RMGV, os estudos são ainda incipientes, destacando-se o trabalho de Correa e Vale (2016), que analisaram o campo térmico e higrométrico da Regional Praia do Canto no município de Vitória, e os de Oliveira e Fialho (2020), que investigaram o campo térmico da região de Carapina, no município de Serra. Os dois últimos estudos mencionados apresentam apenas a análise das diferenças interurbanas da temperatura do ar, não considerando as diferenças com o ambiente rural.

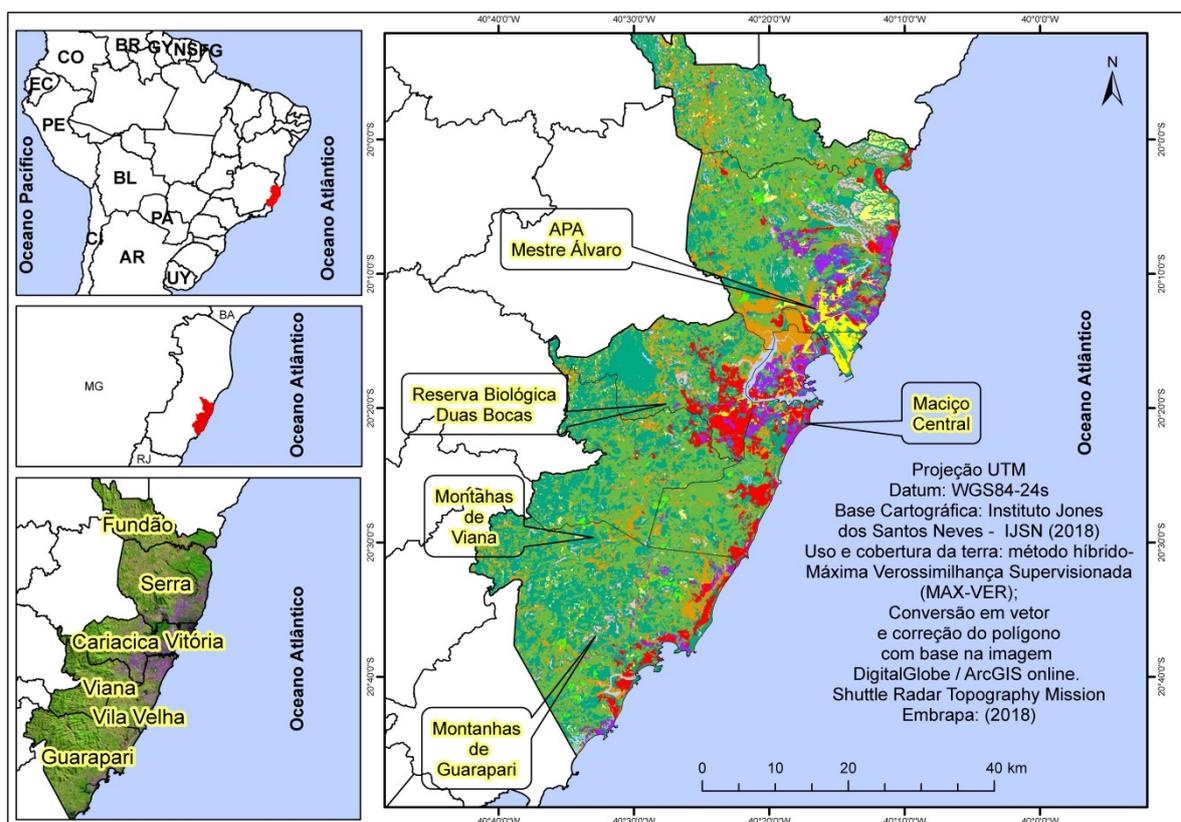
Em contraste às pesquisas desenvolvidas para a RMGV (HOLZ et al., 2012; CORREA et al., 2015; COELHO e CORREA, 2013; JESUS, 2016; DOS SANTOS et al., 2017, CORREA e VALE, 2016; OLIVEIRA e FIALHO 2020), neste estudo propõe-se investigar a ilha de calor atmosférica em toda a região metropolitana da Grande Vitória, incluindo os municípios de Vitória, Vila Velha, Cariacica, Viana, Fundão, Guarapari e Serra, estimando a intensidade da ICU e as características de sua variabilidade temporal.

2. Materiais e método

A seguir são expostos os aspectos físicos e ambientais da Região Metropolitana da Grande Vitória, relativos à localização, uso e cobertura da terra e climatologia, assim como os processos adotados na aquisição e correção dos dados de temperatura do ar e as técnicas de análise aplicadas para obtenção dos resultados.

2.1. Localização e climatologia da Região Metropolitana da Grande Vitória

A Região Metropolitana da Grande Vitória, RMGV, está localizada no estado do Espírito Santo. Possui extensão territorial de 2311 km² e densidade demográfica de 730 hab km⁻². É formada por sete municípios: Vitória (capital do estado), Serra, Vila Velha e Cariacica, que se destacam por formar o maior conglomerado urbano do estado, Viana, Fundão e Guarapari (**Figura 1**). Em relação a todo o estado do Espírito Santo, estes municípios apresentam população igual a quase 48 %, 80 % das grandes empresas que contribuem para 48 % do PIB (ZANOTELLI et al., 2014).



Classes de uso e cobertura da terra

Urbano	Restinga
Comercial/Industrial/Transporte	Campo Rupestre/Macega
Alta Intensidade Residencial	Pastagem/Cultivo Agrícola
Baixa intensidade Residencial	Outros
Rural	Solo Exposto/Afloramento Rochoso
Reflorestamento - Pinos - Eucaliptos	Mangue
Mata Nativa	Massa D'água
Reflorestamento/Seringueira	Limite Territorial - ES (2018)

Figura 1: Localização da RMGV-ES, a respectiva área urbana, uso e cobertura da terra.

A parte urbanizada da RMGV foi edificada em áreas com feições geomorfológicas predominantemente formadas por topografia plana, recortada por áreas de colinas e maciços costeiros remanescentes da Serra da Mantiqueira (IJSN, 2012). Atualmente a área urbana da RMGV é composta por três subclasses: Baixa Intensidade Residencial; Alta Intensidade Residencial e Comercial/Industrial/Transporte. Em contrapartida, a área rural é compreendida pelas seguintes subclasses: Reflorestamentos, Mata Nativa, Restinga, Campo e Pastagem. A altimetria varia entre o nível do mar, nas planícies costeiras, e 950 metros, na cadeia montanhosa encontrada em direção ao interior do continente. Nos setores oeste, sudoeste e noroeste da RMGV, onde estão localizados os municípios de Guarapari, Viana, Cariacica e Serra, a topografia é mais expressiva, com feições elevadas e onduladas (**Figura 1**). Nas porções a leste e a sudeste, a RMGV é limitada pela presença do Oceano Atlântico.

A precipitação média total anual da RMGV, calculada para o período de 1978 a 2007, é igual a 1320 mm, sendo que a estação chuvosa ocorre entre outubro e abril (com valor mensal variando entre 130 mm e 220 mm) e a estação menos chuvosa, entre maio e setembro (com valor mensal variando entre 54 mm e 77 mm) (CORREA; VALE, 2016). Os meses da estação chuvosa são caracterizados por altas temperaturas do ar (24,50 °C a 27,70 °C) e altas taxas de umidade relativa do ar (em torno de 75 %). Nos meses da estação menos chuvosa, os valores médios de temperatura do ar variam entre 20,00 °C e 23,00 °C e a umidade relativa média, entre 60 % e 75 %. Em relação a dinâmica atmosférica, os principais fenômenos meteorológicos em escala sinótica que influenciam diretamente as características do tempo sobre a RMGV são: a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (FRANCISCO et al., 2013) e Zona de Convergência de Umidade (SACRAMENTO NETO; ESCOBAR; DIAS DA SILVA, 2010), durante o verão, frentes frias

(FF) (MARCHIORO, 2012), durante o ano todo, e o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) (REBOITA et al., 2010).

2.2. Aquisição e correção dos dados

Os valores horários da temperatura do ar foram obtidos das instituições: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC-INPE), Instituto Estadual do Meio Ambiente (IEMA) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) a fim de se identificar as diferenças observadas entre as quatro estações urbanas localizadas na área da RMGV (Carapina, Aeroporto, UFES e Cariacica) e a estação de Vila Velha, localizada na área rural. Todas as estações meteorológicas estão localizadas em altitudes que variam de 5 a 25 metros em relação ao nível do mar; a posição geográfica de cada estação é indicada na **Figura 2**. A temperatura do ar registrada nas estações meteorológicas deve expressar, pelo menos em parte, os diferentes usos e cobertura da terra de cada localidade. O nome, localização e características do uso e cobertura da terra das cinco estações consideradas estão listados na **Tabela 1**.

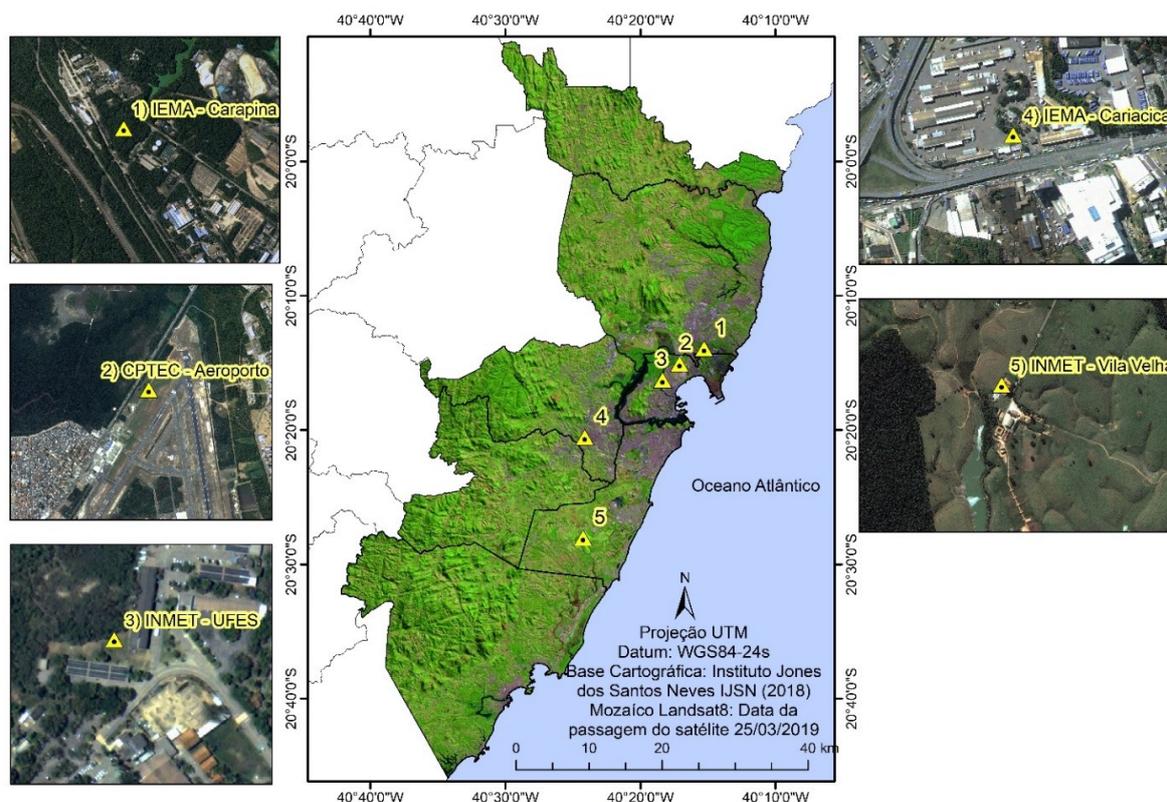


Figura 2: Localização e uso do solo na área das estações meteorológicas na RMGV-ES. As imagens da localização das estações estão de acordo com as Ortofotos do estado do Espírito Santo, colocadas à disposição pelo Geobases (2018).

Tabela 1: Caracterização do uso e cobertura do solo e fonte dos dados de cada estação meteorológica

Estação	Município	Uso e cobertura do solo	Fonte dos Dados
1	Serra	Parque industrial da empresa Vale, próximo à área vegetada	IEMA
2	Vitoria	Próximo à pista de pouso do aeroporto de Vitória, em local aberto	CPTEC
3	Vitoria	Campus da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), envolto por prédios e mangue	INMET
4	Cariacica	Área de intenso aglomerado urbano, com prédios, casas, comércio, empresas e avenidas	IEMA
5	Vila Velha	Zona rural do município de Vila Velha	INMET

Para sanar as diferenças temporais de registro dos dados entre as séries temporais de cada estação, os dados foram interpolados para uma série padronizada, com intervalos de 30 min, iniciando sempre às 00:00 h e finalizando às 23:30 h de cada dia, do primeiro dia do mês março de 2017 até às 23:30 horas (horário local) do dia 31 de janeiro de 2018.

O processo de interpolação temporal dos dados de temperatura do ar foi realizado com auxílio do *software Climate Data Operators (CDO)* (SCHULZWEIDA, 2019). Adicionalmente ao processo de interpolação, observou-se a falta de dados nas séries temporais, tal como ilustrado na **Figura 3**. As séries de Carapina, Cariacica, UFES, Vila Velha, Aeroporto apresentaram 5,36%, 8,73%, 0,54%, 0,77%, 1,17% de dados faltantes, respectivamente. Na estação Carapina, faltam dados entre os meses de março e abril de 2017, no final de novembro e início de dezembro de 2017. Na estação do Aeroporto, faltam dados em julho e entre outubro e dezembro de 2017. Na estação UFES, faltam dados entre outubro e dezembro de 2017. Em Cariacica, faltam dados nos meses de junho, julho, agosto, novembro e dezembro de 2017. Na estação Vila Velha, nos meses de julho, novembro e dezembro.

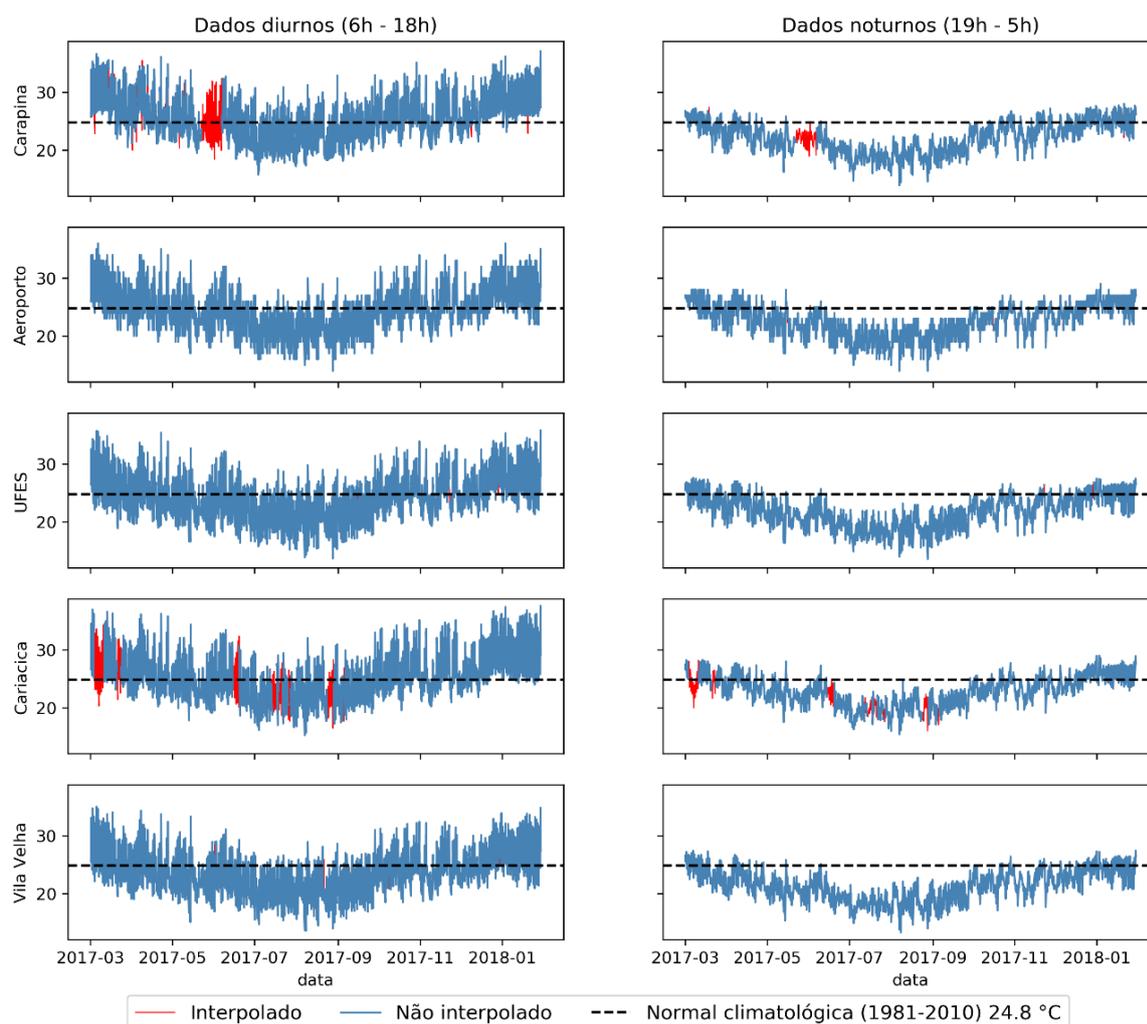


Figura 3: Evolução dos valores horários da temperatura do ar (°C) entre 01 de março de 2017 e 31 de janeiro de 2018 para cada uma das estações meteorológicas consideradas depois do preenchimento das falhas. Os quadros à esquerda representam dados diurnos e os da direita, dados noturnos. Os dados gerados pela interpolação estão indicados em vermelho.

Os dados faltantes foram preenchidos com base na técnica de interpolação *spline* (WOLBERG, 1988), com auxílio do *Software R*, versão 3.5.1 (R CORE TEAM, 2017). O *spline* é uma técnica não paramétrica que tem sido aplicada em interpolação de dados em séries temporais, com bons resultados (KOOPMAN, SHEPHARD, 1999). O *spline* consiste em ajustar polinômios de ordem mais baixa a subconjuntos dos dados. Fazem parte do conjunto de interpoladores o *spline* linear, *spline* quadrático e o *spline* cúbico. Dentre

as propostas de interpoladores do *spline*, o mais utilizado é o *spline* cúbico (FERREIRA; JUÁREZ; STEEL, 2008; JUNG; CHONG, 2018), que foi usado no presente estudo. Mais informações sobre o método de interpolação *spline* cúbico podem ser encontradas no estudo de Wolberg (1988).

Após a interpolação e o preenchimento de dados faltantes, foi realizada análise estatística descritiva para todas as cinco séries temporais, calculando-se o valor mínimo, máximo, o primeiro quartil, a mediana, a média e o terceiro quartil dos dados de temperatura do ar e a curva normal padrão de cada série. Também foi calculada a média horária da temperatura do ar para todo o período e para cada mês, com o intuito de se identificar as diferenças entre o ciclo diurno das estações meteorológicas consideradas. Para os cálculos estatísticos e demais resultados apresentados neste estudo foi utilizado o *Software R*.

2.3. Definindo a ilha de calor urbana

A ilha de calor urbana (ICU) na camada do dossel é tipicamente definida como a diferença entre a temperatura do ar na área urbana e na área rural (OKE, 1995). Apesar de amplamente difundido, o conceito carrega em si muitas incertezas por não haver um critério claro e objetivo que o defina (FIALHO, 2012). Segundo Smoliak *et al.* (2015), muitos estudos basearam-se em apenas duas estações para a estimativa da ilha de calor, condição que pode acarretar em interpretações equivocadas da magnitude da ilha de calor.

De forma a minimizar as incertezas no cálculo da ICU, relativas à quantidade de estações consideradas, foram definidas como estações urbanas as localizadas nos usos do solo: Baixa Intensidade Urbana, Alta Intensidade Urbana e Comercial/Industrial/Transporte. A estação rural foi classificada com o uso Pastagem/Cultivo Agrícola. Desta forma, as estações Carapina, Aeroporto, UFES e Cariacica foram classificadas como urbanas e a estação Vila Velha, como rural.

O cálculo da ICU média para a RMGV foi definido como a média das diferenças entre temperatura do ar nas quatro áreas urbanas e a observada na área rural, de acordo com a equação abaixo. O cálculo horário dos valores de ICU permitiu analisar a evolução diurna da ICU na RMGV.

$$ICU = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \sum_{t=1}^{NT} \frac{(TAR_{urbano} - TAR_{rural})}{NT} \quad \text{Eq. 1}$$

em que:

NT é o número total de observações em cada uma das estações (NT = 16081).

Neste estudo, foram verificados, adicionalmente, os casos de ilha de calor negativa (*cool island*). Esta condição ocorre quando o tecido rural fica mais quente que o urbano. A análise dessas ocorrências e suas possíveis causas basearam-se nos pressupostos teóricos e metodológicos descritos em Kamma *et al.* (2020), Yang *et al.* (2017) e Morris e Simmonds (2000). Um dos possíveis processos responsáveis pela ocorrência da ilha de calor negativa é a advecção de ar frio na retaguarda de frentes frias, além de sistemas atmosféricos que causam nebulosidade (ZCAS, ZCOU, Linha de Instabilidade, Maritimidade), investigados com base nas análises do Boletim Climatológico trimestral, do setor de Meteorologia do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER).

A ilha negativa difere das ilhas de frescor. O primeiro conceito remete-se à condição em que o campo está mais aquecido que a área urbana, seguindo os critérios estabelecidos por Kamma *et al.* (2020), Yang *et al.* (2017) e Morris e Simmonds (2000). O segundo conceito, ilha de frescor, refere-se à existência de locais dentro da área urbana com temperaturas mais baixas do que outros da mesma área urbana, como parques e praças (MONTEIRO; MENDONÇA, 2003).

A intensidade da ICU foi classificada conforme critérios pré-definidos por García (1995), elaborados com base em estudo realizado para Madri, Espanha (**Tabela 2**). Tais critérios foram considerados de forma a permitir a comparação com os valores obtidos para outras localidades, tropicais e extratropicais.

Tabela 2. Classes de intensidade de ICU, segundo Garcia (1995)

	Classe	ΔT (°C)
I	Fraca	0 – 2
II	Média	2 – 4
III	Forte	4 – 6
IV	Muito forte	> 6

3. Resultados e discussões

A variação térmica anual entre os períodos mais quentes e mais frios observados nas séries temporais consideradas segue o padrão sazonal térmico da região sudeste do Brasil, com verão e primavera (outubro a março) quentes e outono e inverno (abril a setembro) com temperaturas mais baixas (REBOITA et al., 2010), tal como mostrado na **Figura 3**. A temperatura do ar na RMGV, para o período de 01 de março de 2017 a 31 de janeiro de 2018, apresenta os maiores valores durante o verão austral, outubro a março, com valores médios que oscilam entre 23,50 °C e 28,60 °C, e os menores valores no período do inverno, junho a setembro, com valores entre 19,80 °C e 24,50 °C (**Tabela 3**).

Tabela 3: Valores da temperatura do ar (°C) (T_{min} , T_{max} , T , T_{med} , 1^oQ e 3^oQ representam temperatura do ar mínima, máxima, média, mediana, 1º quartil e 3º quartil, respectivamente) para as estações meteorológicas Carapina, Aeroporto, UFES, Cariacica e Vila Velha, para o período de 01/03/2017 a 31/01/2018.

ESTAÇÃO	T_{min}	T_{max}	T	T_{med}	1^oQ	3^oQ
Carapina (urbana)	13,95	37,09	24,31	23,93	21,48	26,67
Aeroporto (urbana)	14,00	36,00	24,12	24,00	22,00	26,00
UFES (urbana)	13,60	35,80	23,69	23,50	21,00	26,10
Cariacica (urbana)	15,26	37,56	24,78	24,38	22,07	26,91
Vila Velha (rural)	13,30	35,00	23,16	23,00	20,60	25,40

Ao observarmos os valores das séries temporais na **Figura 3**, verificamos maior amplitude térmica diurna do que noturna, em todas as estações meteorológicas. Nas estações Carapina e Cariacica, que apresentam a maior quantidade de dados faltantes, visualizamos os dados preenchidos (em vermelho) pelo uso da interpolação com *spline* (**Figura 3**).

O valor médio anual da temperatura do ar nas cinco estações consideradas variou entre 23,16 °C e 24,78 °C, tal como indicado na **Tabela 3**. As estações Cariacica, Carapina e Aeroporto apresentam os valores máximos mais altos em relação às demais, com valores máximos iguais a 37,56 °C, 37,09 °C e 36,00 °C, respectivamente (**Tabela 3**). Por outro lado, as estações meteorológicas Vila Velha (rural) e UFES apresentam os mínimos térmicos, com valores de 13,30 °C e 13,60 °C, respectivamente. Por fim, observa-se que a maior e a menor temperatura média do ar foram observadas, respectivamente, nas estações de Cariacica e Vila Velha, com valores de 24,78 °C e 23,00 °C, localizadas respectivamente na zona urbana e rural.

Na estação Cariacica, os valores mais altos de temperatura do ar são encontrados durante os meses março-abril e outubro-janeiro, com os valores absolutos máximos próximos a 37 °C, registrados em janeiro de 2018. Um dos fatores que pode ter contribuído para os altos valores de temperatura do ar na estação Cariacica é sua localização no centro da área urbana, onde o padrão de uso do solo é caracterizado por forte adensamento de edificações e estradas. A estação de Cariacica fica longe de áreas arborizadas, tal como mostrado na **Figura 2**. Tais fatores alteram o ambiente local, afetando a absorção, reflexão, armazenamento e liberação do calor para a atmosfera. Por outro lado, a estação de Vila Velha apresentou valores médios de temperatura máxima do ar que não ultrapassam 35 °C, durante o período analisado.

Os maiores valores de temperatura do ar na estação de Carapina foram observados nos períodos março-abril e outubro-janeiro, assim como observado na estação de Cariacica, tendo oscilado entre 36,00 °C e 37,00 °C, sobretudo em janeiro e março. A estação de Carapina situa-se dentro de uma área verde, no parque industrial, adjacente a fornos industriais (siderurgia), pilhas de minério de ferro, dentre outros materiais. A elevada temperatura do ar registrada nesta estação pode estar associada ao uso e cobertura da terra bem como ao calor gerado nos processos industriais.

A amplitude térmica máxima de cada estação foi calculada como a diferença entre os valores absolutos extremos observados em cada série temporal. Tal medida permitiu caracterizar as condições climáticas de cada estação meteorológica: a estação de Vila Velha apresentou amplitude térmica de 21,70 °C, a estação do Aeroporto, de 22,00 °C, a estação UFES, de 22,20 °C, a estação de Cariacica, 22,30 °C e a estação de Carapina, de 23,14 °C (**Figura 4**).

As séries temporais de temperatura do ar horária das cinco estações consideradas apresentam comportamento próximo do normal, tal como visto na **Figura 4**. As medianas das cinco séries apresentam valores entre 23,00 °C e 24,00 °C. Os valores mais recorrentes localizam-se entre 20,00 °C e 30,00 °C e os menos frequentes, abaixo de 13 °C e acima de 37 °C. Os valores referentes ao 1º e 3º quartis para a série temporal da estação de Vila Velha (rural) localizam-se mais próximos da média, indicando menor variabilidade da temperatura do ar na estação rural. Para as estações de Cariacica, UFES e Carapina, por outro lado, os valores do 1º e 3º quartis encontram-se mais distantes da média, indicando que a amplitude

térmica das áreas urbanas é maior do que a da área rural. A estação Aeroporto apresenta os 1º e 3º quartis mais próximos da média, o que pode estar associado à localização da estação em área aberta, sem interferência direta de edificações. Outro fator que pode contribuir para a menor amplitude térmica na estação Aeroporto é a grande quantidade de vegetação nas áreas do entorno, favorecendo a presença de umidade no solo e no ar (**Figura 2**).

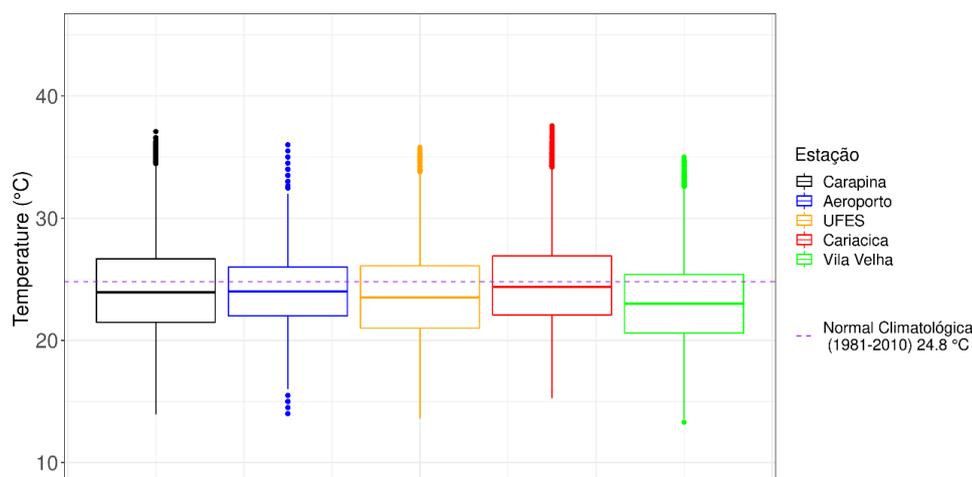


Figura 4: Distribuição da temperatura do ar entre 01 de março de 2017 e 31 de janeiro de 2018 para cada uma das estações meteorológicas da RMGV.

Estudos como os de Adebayo (1991) e Bulut *et al.* (2008) consideram que a temperatura do ar em aeroportos comporta-se de forma semelhante à de área rural, devido à menor obstrução, à área ser aberta, maior velocidade de vento, condições que contribuem para a menor amplitude térmica em relação às áreas urbanas. Neste estudo, foram observadas características de uso do solo na estação Aeroporto (**Figura 2**) semelhantes aos usos relatados nos estudos de Adebayo (1991) e Bulut *et al.* (2008), além disto, de acordo com Salvador *et al.* (2016), os maiores valores de velocidade do vento são registrados no período da tarde, em toda a RMGV. Portanto, os fatores acima contribuem para que, na estação Aeroporto, a amplitude térmica seja mais próxima da observada em Vila Velha. O comportamento da temperatura do ar na estação do Aeroporto deve ser devidamente analisado em estudo futuro.

A assimetria positiva das curvas da distribuição de frequência de temperatura do ar para as estações de Carapina, Aeroporto, UFES e Cariacica, localizadas em áreas urbanas, em relação à curva normal para a distribuição de frequência dos dados de Vila Velha, tal como visto na **Figura 5**, indica que a temperatura do ar registrada nas áreas urbanas é significativamente mais alta do que a registrada na área rural.

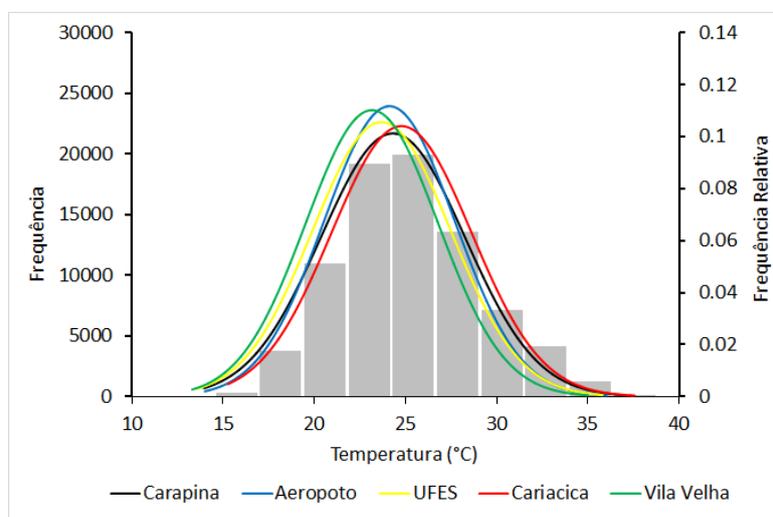


Figura 5: Distribuição de frequência da temperatura do ar em Carapina (azul), Aeroporto (laranja), UFES (amarelo), Cariacica (vermelho) e Vila Velha (verde) para o período de 01 de março de 2017 a 31 de janeiro de 2018. As barras cinzas representam a distribuição média da temperatura do ar considerando todas as estações meteorológicas.

Cerca de 80% do registro da temperatura do ar nas áreas urbanas ocorre no intervalo de 20,31 °C a 30,90 °C: para Carapina, este intervalo ocorre de 20,90 °C a 30,15 °C; para Aeroporto, de 20,60 °C a 29,40 °C; para UFES, de 21,30 °C a 29,60 °C; para Cariacica, de 21,95 °C a 30,90 °C. Na área rural, em Vila Velha, 80% dos valores de temperatura do ar são observados entre 19,80 °C e 28,50 °C.

Sugere-se que as diferenças de temperatura do ar entre áreas urbanas e a área rural, verificadas nesse estudo, possam ser explicadas pelos distintos usos e coberturas da terra, assumindo que na área urbana há maior transferência de calor sensível da superfície para o ar adjacente. Por outro lado, na área rural, coberta por mais vegetação, deve haver maior fluxo de calor latente para a atmosfera, o que contribui para diminuição do fluxo de calor sensível (AO et al., 2019; ARNFIELD, 2003; FREITAS; DIAS, 2005; TAO et al., 2013; YANG; ZHANG; QIAN, 2012), condições que contribuem para a formação da ilha de calor na RMGV.

O ciclo diurno médio da temperatura do ar nas cinco estações meteorológicas consideradas indica a ocorrência de valores máximos entre 11 e 13 horas (HL) e de valores mínimos entre 4 e 7 horas (HL) (**Figura 6**). Em todas as estações do ano, o ciclo diurno da temperatura do ar em Vila Velha (rural) apresenta, em geral, valores menores do que os obtidos para as demais estações meteorológicas (urbanas). As estações de Cariacica (curva vermelha) e Carapina (curva preta) apresentam ciclo diurno com os maiores valores médios de temperatura do ar em relação às demais estações urbanas, o que ocorre entre 10 e 14 horas (HL), em todos os meses do ano (**Figura 6**).

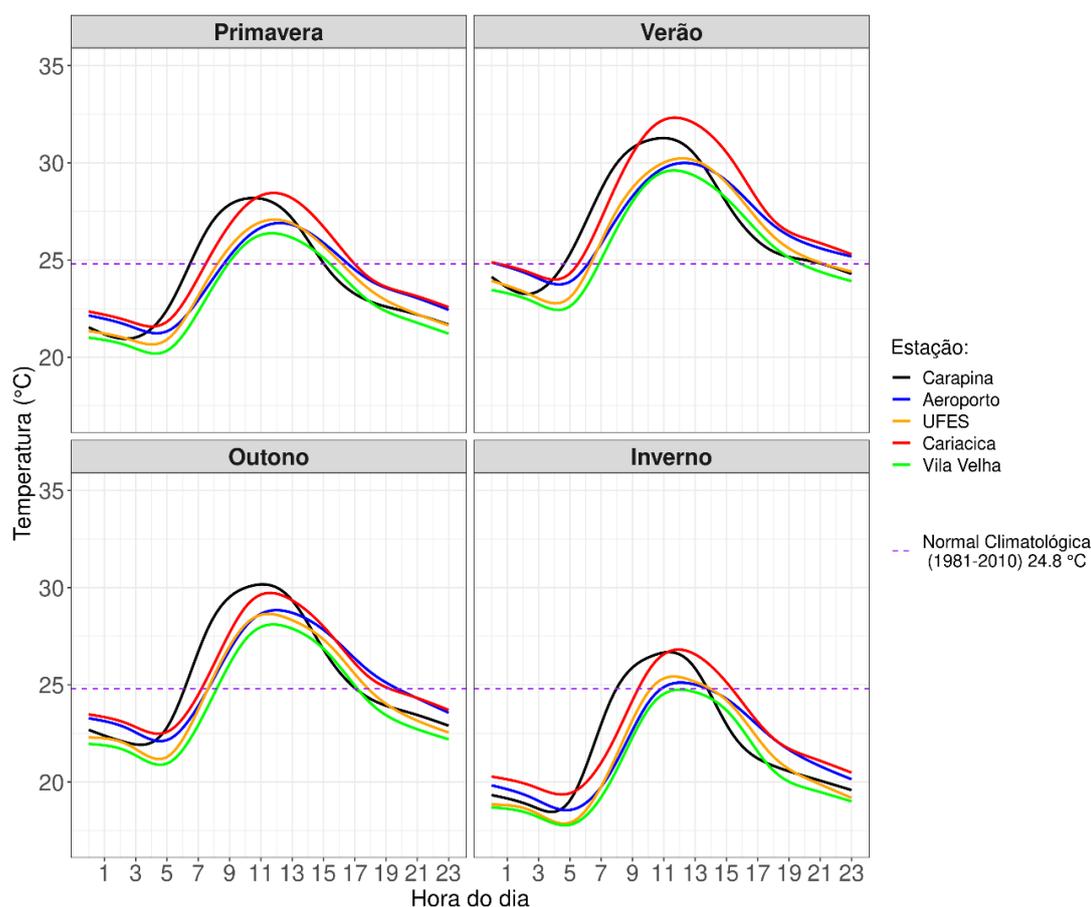


Figura 6: Ciclo diurno médio da temperatura do ar em cada estação do ano, para as estações meteorológicas Carapina (Preto), Aeroporto (Azul), UFES (Amarelo), Cariacica (Vermelho) e Vila Velha (Verde), para o período de 01 de março de 2017 a 31 de janeiro de 2018.

3.1. Ilha de calor urbana na RMGV

A análise dos valores horários da ICU na RMGV para todo o período considerado apresenta mais valores positivos (91,7 %) do que negativos (8,3 %) (**Figura 7**), indicando que, na maior parte do tempo, tem-se condições ambientais que favorecem a formação de ilha de calor na RMGV. A diferença térmica média entre o ambiente urbanizado e rural, para o período analisado, é igual a 1,1 °C, com valor máximo de +6,8°C e valor mínimo de - 4,3 °C. Valores negativos da intensidade da ICU, ou ilha de calor urbana negativa,

indicam que a área urbana esteve mais fria do que a área rural (**Figura 7**). Verificamos também maior variabilidade da ICU durante o dia, em relação à noite.

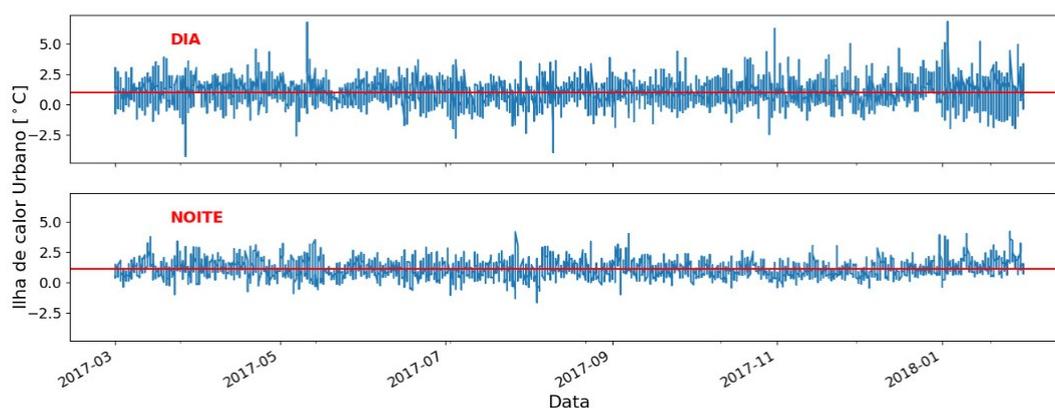


Figura 7: Série temporal dos valores de ICU (ilha de calor urbana) na RMGV, no período de 01 março de 2017 a 31 janeiro de 2018. O gráfico superior mostra os valores de ICU diurnos, entre 06 h e 17 h e o gráfico inferior, os valores noturnos, entre 18 h e 05 h.

A menor variabilidade da ICU noturna, em área urbana tropical, conforme verificado na RMGV, pode ocorrer devido ao reduzido resfriamento radiativo noturno associado ao ar úmido, segundo Roth (2007).

A ilha de calor na RMGV apresenta variações de acordo com a localização. A média da ICU à noite foi moderadamente superior à média diurna. As regiões de Carapina e Cariacica apresentaram valores de ICU média noturna e diurna superiores às demais (**Tabela 4**). Destacamos que essas duas regiões possuem predominantemente uso do solo Industrial/Comercio/Transporte, conforme visualizado na **Figura 1**. Tal comportamento é consistente com as proposições teóricas de Roth (2007) para as ilhas de calor em localidades de clima tropical.

Tabela 4: Intensidade média da ilha de calor urbana para os períodos diurno (Dia – 06 h às 17 h e noturno 18 h às 05 h), para cada estação meteorológica.

Estação	Diurna	Noturna
Carapina	1,3 °C	1,0 °C
Aeroporto	0,5 °C	1,4 °C
Vitória	0,6 °C	0,4 °C
Cariacica	1,6 °C	1,9 °C
Média	1,0 °C	1,2 °C

A intensidade máxima da ilha de calor é verificada principalmente no período vespertino (**Figura 8**). Nas estações Carapina e Cariacica a intensidade máxima da ICU ocorre próximo às 15 horas (HL), no Aeroporto, próximo às 19 h e na estação UFES, próximo às 9 horas (HL).

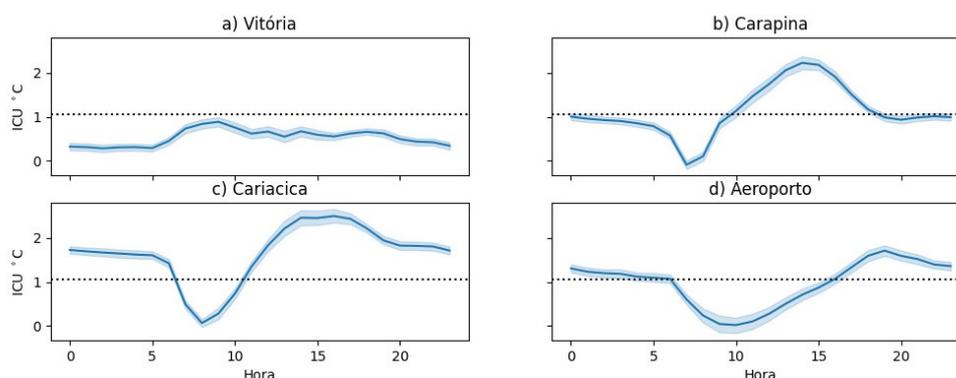


Figura 8: Variação diurna média (no período de 01 março de 2017 a 31 janeiro de 2018) da ICU na RMGV nas estações meteorológicas (a) UFES, (b) Carapina, (c) Cariacica e (d) Aeroporto. O sombreado azul indica a flutuação da ICU em cada horário. A linha tracejada indica a ICU média em cada localidade.

No período analisado foram obtidos valores médios positivos de ICU durante todo o dia, com variação de intensidade em função da hora do dia e da época do ano (**Figura 9**). Ao longo do período analisado, a ICU atinge valores máximos de intensidade entre 13 e 19 horas (HL). Os valores mínimos foram obtidos para o início da manhã, entre 06 e 09 horas (HL). A variação diurna da ICU ocorre em função das diferenças da taxa de aquecimento e resfriamento entre as áreas urbanas e rural, determinada pelas propriedades físicas do uso do solo(OKE, 1995; SMOLIAK et al., 2015).

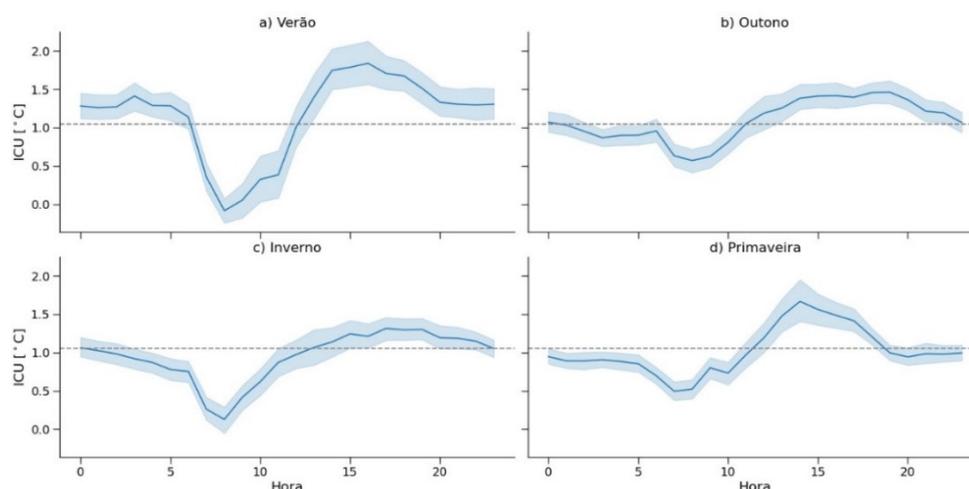


Figura 9: Variação diurna média da ICU na RMGV para o (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. A linha azul indica a flutuação da ICU em cada horário. A linha tracejada preta indica o valor de ICU médio para todo o período.

Todos os valores de ICU do ciclo diurno médio para cada mês considerado (01/03/2017-31/01/2018) são positivos (**Figura 9**) uma vez que a quantidade de valores negativos é baixa (**Figuras 7**). Nos meses de outubro a dezembro e março, meses que fazem parte das estações de primavera e verão do hemisfério sul, os maiores valores de ICU foram observados entre 13 e 16 horas. Nos meses de abril a setembro, outono e inverno austral, são obtidos, em média, valores máximos mais baixos de ICU, sempre entre 13 h e 18 h.

As estações primavera e verão são as mais chuvosas na RMGV, sendo nelas obtidas as maiores intensidades de ICU. No inverno e outono, estações menos chuvosas, foram obtidas as menores intensidades de ICU. Tais resultados diferem dos obtidos por Arifwidodo e Tanaka (2015) e Kedzuf *et al.* (2011), uma vez que os autores relatam que em Bangkok e Miami (regiões tropicais), as maiores intensidades de ICU foram obtidas nos períodos mais frios e menos úmidos e as menores intensidades, no verão (períodos chuvosos). Ao mesmo tempo, os resultados aqui apresentados corroboram os obtidos por Chow e Roth (2006), para Singapura, sendo obtidos os maiores valores de ICU para o período chuvoso. No Rio de Janeiro, Brasil, outra localidade de clima tropical, Marques Filho *et al.* (2009) mostram que a ilha de calor é mais intensa nos meses de transição, entre o verão chuvoso e inverno seco (fevereiro a maio).

A maior frequência dos valores de ICU para a RMGV ocorreu no intervalo de 0 °C a 4 °C, tendo sido observados 91,4 % dos casos neste intervalo (**Figura 10**). A frequência das intensidades horárias de ICU na RMGV tem uma distribuição próxima da gaussiana, com o intervalo de maior frequência de ocorrência de 0 a 2 °C. Segundo a classificação adotada por García (1995), os valores de ICU entre 0 °C e 4 °C correspondem a eventos de intensidade fraca e moderada. A ocorrência de ilha de calor de intensidade forte (4-6 °C) e muito forte (6-8 °C) na RMGV foi rara, totalizando, para as duas classes juntas, 0,33 % dos episódios, durante todo o período considerado.

A maior frequência de ocorrência da intensidade da ilha de calor nas classes de fraca e média intensidade para a RMGV confirma as proposições de Arnfield (2003) e Roth (2007). Estes autores afirmam que a intensidade da ilha de calor em regiões de clima tropical são frequentemente menos intensas do que as estimadas para regiões extratropicais, ocorrendo durante a estação de verão, ao contrário do observado em localidades de clima temperado. Tais constatações também estão presentes nos estudos de Marques Filho *et al.* (2009), Ferreira *et al.* (2012), Comarazamy *et al.* (2007), Cui e De Foy (2012), Rajagopalan *et al.* (2014) e Doan *et al.* (2016), ao estudarem o fenômeno ilha de calor em áreas tropicais para o Rio de Janeiro (Brasil), São Paulo (Brasil), San Juan (Porto Rico), Cidade do México (México), Muar (Malásia) e Ho Chin Minh (Vietnã), respectivamente. A intensidade da ilha de calor atmosférica para localidades de clima temperado

apresenta sua maior frequência entre 4 °C e 10 °C, ocorrendo sobretudo em horários noturnos e durante o inverno, conforme indicado por Roth (2007), podendo até mesmo ser negativa durante o dia.

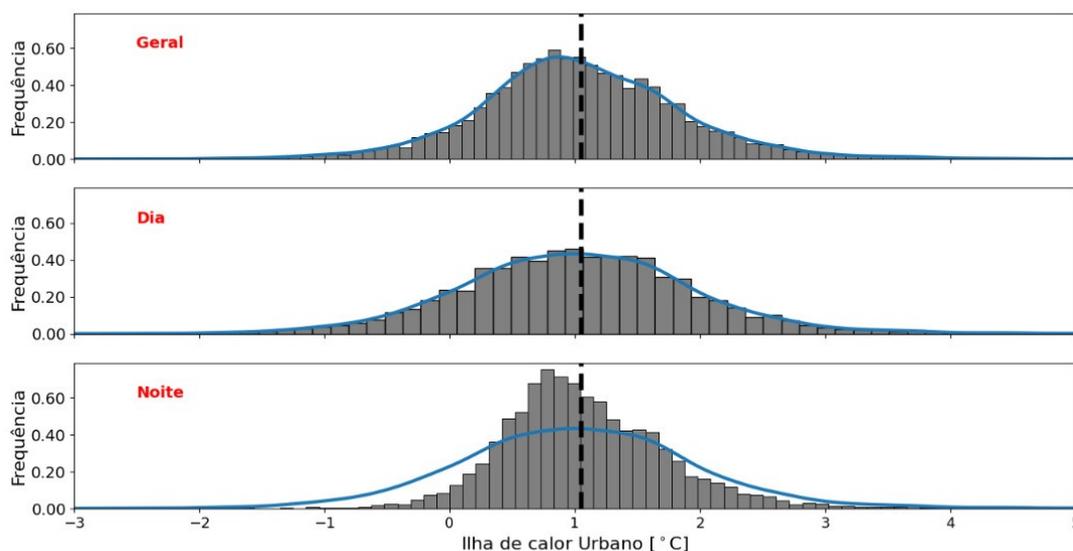


Figura 10: Distribuição de frequência da intensidade da ilha de calor urbana na RMGV para valores totais (quadro superior), diurnos (quadro do meio) e noturnos (quadro inferior), para o período de 1º de março de 2017 a 31 de janeiro de 2018. A linha tracejada preta indica o valor de ICU médio para todo o período.

3.2. A Ilha negativa (*urban cool island*) na RMGV

Quando a área rural encontra-se mais aquecida que a área urbana, surge o fenômeno da ilha negativa (*urban cool island*). Neste estudo, 8,3% (669) dos eventos foram negativos, demonstrando a presença do fenômeno.

A presença da ilha negativa foi averiguada em maior quantidade entre 7 e 9 horas (HL) da manhã (**Figura 11a**), enquanto que no período noturno o número de valores negativos de ICU foi menor. Entre 7 e 9 horas da manhã foram registrados 279 (38%) eventos negativos. Tal característica horária é consistente com o observado por Yang *et al.* (2017), que verificaram a existência de ilha negativa no período matutino, em Hong Kong.

No período vespertino, as observações de ilha negativa podem ser explicadas pela atuação da brisa marítima, conforme também destacou Freitas *et al.* (2007) para estudos relativos ao município de São Paulo, e Marques Filho *et al.* (2009), para o Rio de Janeiro. No caso da RMGV, o efeito da brisa marítima na ilha de calor deve ser mais bem analisado em estudo futuro.

A ilha negativa na RMGV foi verificada em todos os meses do período analisado (**Figura 11b**), sendo os eventos mais recorrentes observados em janeiro, julho e agosto com 117,105 e 73 episódios, respectivamente. Os sistemas atmosféricos que estiveram presentes durante a formação da ilha negativa e, portanto, que podem ter tido mais influência em sua formação foram as frentes frias e ZCAS, associadas a 62 e 40 eventos (**Figura 11c e 11d**), respectivamente. Destaca-se que durante a passagem de frentes frias e da atuação de ZCAS há a formação de nebulosidade, um dos fatores responsáveis pela formação da ilha negativa, segundo Yang *et al.* (2017) e Kamma *et al.* (2020). As frentes frias estiveram associadas à formação de ilhas negativas em quase todos os meses analisados, sobretudo no inverno; durante o verão os eventos de ilha de calor negativa e ZCAS também estiveram associados. Conforme apontado por Morris e Simmonds (2000), a presença da nebulosidade associada a condições sinóticas específicas é um dos principais fatores para a formação da ilha de calor negativa em localidades tropicais. Na RMGV, a maioria dos eventos de ilha negativa ocorreram sob a atuação de sistemas atmosféricos que geram nebulosidade, como ZCOU, instabilidade atmosférica ou advecção de umidade marítima, linha de instabilidade, baixa pressão atmosférica, frente fria e ZCAS. Segundo Yang *et al.* (2017) e Kamma *et al.* (2020), tais sistemas são consistentes com a ocorrência de ilha negativa em ambientes tropicais.

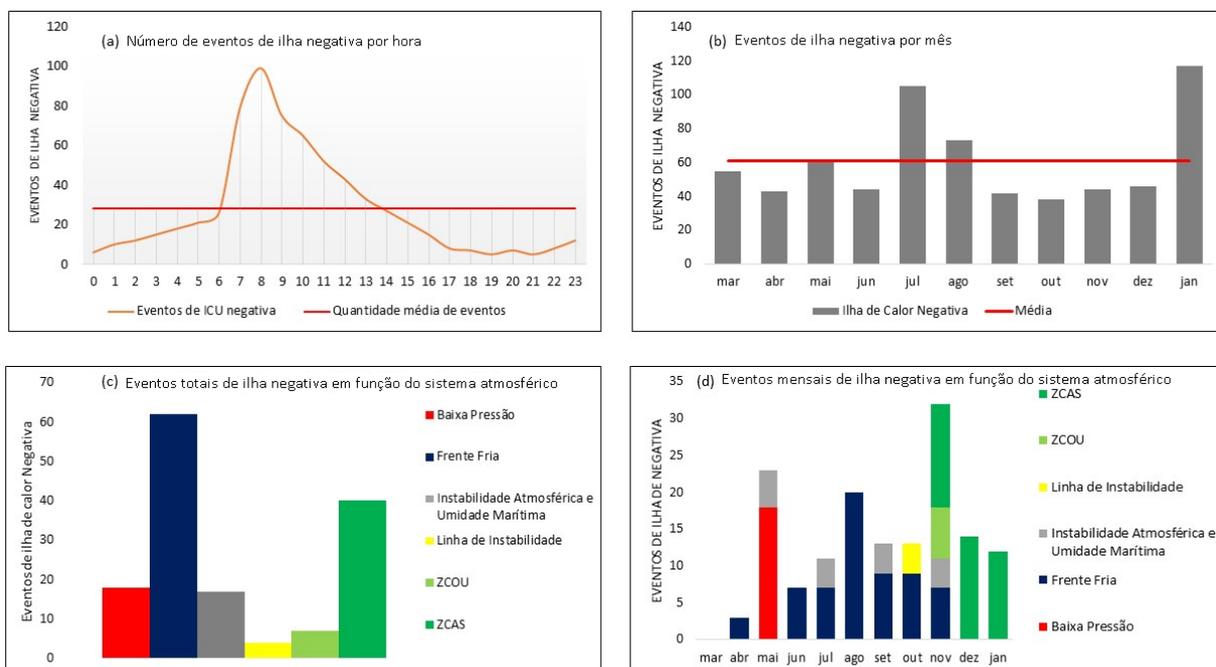


Figura 11: Eventos de ilha negativa: (a) Número horário de eventos de ilha negativa; (b) Eventos mensais de ilha negativa; (c) Eventos totais de ilha negativa em função do sistema atmosférico; (d) Eventos mensais de ilha negativa em função do sistema atmosférico.

4. Considerações finais

A partir de dados diários da temperatura do ar observada na Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) e área rural adjacente, buscamos identificar a presença de ilha de calor no período de 01/março/2017 a 31/janeiro/2018. A evolução temporal da Ilha de Calor na RMGV ainda não foi abordada em estudos anteriores. As estações meteorológicas localizadas nas áreas urbanas da RMGV (Carapina, Aeroporto, UFES e Cariacica) apresentaram maiores valores de temperatura do ar (média, mínima, máxima, 1º e 3º quartis) em relação ao observado na área rural (Vila Velha). As estações de Cariacica, Carapina e Aeroporto apresentaram valores absolutos máximos da temperatura do ar mais altos em relação a todas as estações consideradas, iguais a 37,56 °C, 37,09 °C e 36,00 °C, respectivamente. Por outro lado, as estações meteorológicas Vila Velha e UFES apresentaram os mínimos térmicos absolutos, com valores iguais a 13,30 °C e 13,60 °C, respectivamente. O maior e o menor valor médio da temperatura do ar foram observados, respectivamente, nas estações de Cariacica (urbana) e Vila Velha (rural), com valores iguais a 24,78 °C e 23,00 °C.

Durante o período analisado, a RMGV apresentou frequentemente ilha de calor (ICU) menos intensa do que as registradas em localidades de altas e médias latitudes, corroborando com os resultados obtidos para outras áreas de clima tropical. Apesar de terem sido observados episódios de ilha de calor forte (4-6 °C) e muito forte (> 6°C) na RMGV, durante o período considerado, os episódios de fraca e média intensidade foram os mais frequentes (91,4 % dos casos). A intensidade máxima da ilha de calor na RMGV foi observada durante o dia, nos horários de maior insolação, entre 13 h e 16 h, nos meses de outubro a janeiro, meses que fazem parte das estações de primavera e verão no hemisfério sul, distintamente do observado em latitudes médias e altas, onde a ICU é formada durante o período noturno, principalmente durante o inverno, como resultado do calor armazenado no tecido urbano durante o dia. A caracterização da RMGV como ilha de calor em área tropical constitui uma informação importante no contexto das mudanças climáticas, que, por sua vez, também indicam o incremento da temperatura do ar em torno de 1,5° C, para os próximos anos (IPCC, 2021).

A análise dos dados de ICU permitiu verificar a existência de eventos de ilha negativa (*cool island*) na RMGV, suas principais características nas escalas horária e mensal, e, processos associados à sua gênese, o que também não havia sido identificado para a região. A formação da ilha negativa esteve diretamente associada a eventos atmosféricos associados à formação de nebulosidade, como as frentes frias e da ZCAS. O horário de formação da ilha de calor negativa ocorreu preferencialmente no período da manhã e nos meses de janeiro e julho, respectivamente.

Neste estudo, não foi possível verificar os processos físicos que levam a formação da ilha negativa, nem tampouco averiguar os processos de interação entre a brisa marítima e a ilha de calor, circulações termicamente induzidas que produzem efeitos sobre o clima urbano. Para responder a essas questões são necessários, estudos observacional e de modelagem numérica. Uma questão específica que poderá ser analisada através de modelagem numérica é a verificação do impacto da ilha de calor no escoamento das brisas marítima e terrestre na RMGV.

Estudos realizados com base na alteração das características físicas do uso do solo na RMGV e na área rural adjacente, usando modelagem numérica, devem permitir identificar os principais processos físicos que propiciam a formação da ilha de calor e negativa. Análises da interação da ilha de calor com a brisa marítima para períodos específicos devem ajudar a melhor compreender a modificação da circulação atmosférica causada pelo aquecimento na região metropolitana. Tais estudos podem ser realizados de forma observacional e com o uso de modelagem numérica.

Referências

- ADEBAYO, Y. R. “Heat island” in a humid tropical city and its relationship with potential evaporation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 43, n. 3, p. 137–147, 1991. <https://doi.org/10.1007/BF00867471>
- AMORIM, M. C. DE C. T. et al. Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). **Confins**, v. 7, n. 2009, 2009. <https://doi.org/10.4000/confins.6070>
- AO, X. et al. Observed synergies between urban heat islands and heat waves and their controlling factors in Shanghai, China. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 58, n. 9, p. 1955–1972, 2019. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-19-0073.1>
- ARIFWIDODO, S. D.; TANAKA, T. The Characteristics of Urban Heat Island in Bangkok, Thailand. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 195, p. 423–428, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.484>
- ARNFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. **International Journal of Climatology**, v. 23, n. 1, p. 1–26, 2003. <https://doi.org/10.1002/joc.859>
- BLAKE, R. et al. Urban climate: Processes, trends and projections. **First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network**, p. 43–81, 2011.
- BULUT, Y. et al. Urban-rural climatic differences over a 2-year period in the City of Erzurum, Turkey. **Atmosfera**, v. 21, n. 2, p. 121–133, 2008.
- CALLEJAS, I. J. A. et al. Seasonal variation of surface energy balance of a central Brazil city. **Mercator**, v. 15, n. 3, p. 85–106, 23 set. 2016. <https://doi.org/10.4215/RM2016.1503.0006>
- CHEN, G.; ZHAO, L.; MOCHIDA, A. Urban Heat Island Simulations in Guangzhou, China, Using the Coupled WRF/UCM Model with a Land Use Map Extracted from Remote Sensing Data. **Sustainability**, v. 8, n. 7, p. 628, 5 jul. 2016. <https://doi.org/10.3390/su8070628>
- CHEW, L. W. et al. Interaction between heat wave and urban heat island: A case study in a tropical coastal city, Singapore. **Atmospheric Research**, v. 247, n. June 2020, p. 105134, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105134>
- CHOW, W. T. L.; ROTH, M. Temporal dynamics of the urban heat island of Singapore. **International Journal of Climatology**, v. 26, n. 15, p. 2243–2260, 2006. <https://doi.org/10.1002/joc.1364>
- COELHO, A. L. N.; CORREA, W. DE S. C. Temperatura de superfície celsius do sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 7, n. 1, p. 31, 1 jul. 2013.
- COMARAZAMY, D. E. et al. **A validation study of the urban heat island in the tropical coastal city of**

San Juan , Puerto Rico. (I. A. for U. C. (IAUC), Ed.)Lodz: Fifth International Conference on Urban Climate, 2007.Disponível em: <<http://meteo.geo.uni.lodz.pl/icuc5/>>

CORREA, W. DE S. C. C.; VALE. Contribuição à compreensão do campo térmico da regional Praia do Canto em Vitória (ES) pela metodologia de transectos. **RA'E GA - O Espaço Geografico em Analise**, v. 38, p. 50–81, 2016. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v38i0.41854>

CORREA, W. DE S. C.; COELHO, A. L. N.; VALE, C. C. DO V. Influência de distintos sistemas atmosféricos na temperatura de superfície do município de vitória (es). **Caminhos de Geografia**, v. 16, n. 53, p. 37–54, 2015.

CUI, Y. Y.; DE FOY, B. Seasonal Variations of the Urban Heat Island at the Surface and the Near-Surface and Reductions due to Urban Vegetation in Mexico City. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 51, n. 5, p. 855–868, 2012. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-11-0104.1>

DOAN, Q. VAN; KUSAKA, H.; HO, Q. B. Impact of future urbanization on temperature and thermal comfort index in a developing tropical city: Ho Chi Minh City. **Urban Climate**, v. 17, p. 20–31, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.04.003>

DOS SANTOS, A. R. et al. Spatial and temporal distribution of urban heat islands. **Science of the Total Environment**, v. 605–606, p. 946–956, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.275>

FERREIRA, J. T. A. S.; JUÁREZ, M. A.; STEEL, M. F. J. Directional log-spline distributions. **Bayesian Analysis**, v. 3, n. 2, p. 297–316, 2008. <https://doi.org/10.1214/08-BA311>

FERREIRA, M. J. et al. Radiation balance at the surface in the city of São Paulo , Brazil : diurnal and seasonal variations. **Theor Appl Climatol** p. 229–246, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0480-2>

FIALHO, E. S. Ilha de calor: reflexões acerca de um conceito. **Revista ACTA Geográfica**, p. 61–76, 2012. <https://doi.org/10.5654/acta.v0i0.1094>

FRANCISCO, M. et al. O Climanálise e o monitoramento da ZCAS nos últimos 30 anos. n. 1992, p. 19–25, 2013.

FREITAS, E. D. DE; DIAS, P. L. DA S. Alguns efeitos de áreas urbanas na geração de uma ilha de calor. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 3, p. 355–366, 2005.

FREITAS, E. D. et al. Interactions of an urban heat island and sea-breeze circulations during winter over the metropolitan area of São Paulo, Brazil. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 122, n. 1, p. 43–65, 10 jan. 2007. <https://doi.org/10.1007/s10546-006-9091-3>

GARCÍA, F. F. **Manual de climatologia aplicada: clima, médio ambiente y planificación**. Madri: Síntesis, 1995.

GARTLAND, L. M. **Heat Islands**. 1ª ed. London: Routledge, 2008.

GONZÁLEZ, J. E. et al. Urban heat islands developing in coastal tropical cities. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 86, n. 42, p. 397, 2005. <https://doi.org/10.1029/2005EO420001>

GUERRERO, V. V. U. **Características das circulações locais em regiões metropolitanas do Chile Central**. 2010. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, University of São Paulo, São Paulo, 2010. doi:10.11606/D.14.2010.tde-05052010-130601

HOLZ, S.; LORENA, R. B.; MARCHIORO, E. O uso de sensoriamento remoto para análise do campo térmico da superfície urbana completa do município de Vitória (ES). **Revista Geonorte**, v. 2, n. 4, p. 1674–1682, 2012.

HOMANN, C. T. **Avaliação dos efeitos urbanos sobre circulações de mesoescala em função da expansão territorial da Região Metropolitana de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia),

- Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. 141p.
- IJSN, I. J. D. S. N. Mapeamento geomorfológico do estado do Espírito Santo. **Nota Técnica 28**, p. 21, 2012.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2021: The Physical Science Basis Summary for Policymakers Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. [s.l.] ONU, 2021.
- JAUREGUI, E. Climates of Tropical and Subtropical Cities. In: M, Y. et al. (Eds.). . **Climates and Societies — A Climatological Perspective**. 1^a ed. [s.l.] Springer, Dordrecht, 1997. p. 361–373. https://doi.org/10.1007/978-94-017-1055-8_17
- JESUS, R. J. D. E. **Avaliação do comportamento da temperatura da superfície terrestre do município de cariaca (es) em 1985 e 2013 avaliação do comportamento da temperatura da superfície terrestre do município de cariaca (ES)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós Graduação em Geografia. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória 2016.
- JUNG, I.; CHONG, K. Interpolation and spatial matching method of various public data for building an integrated database. **WIT Transactions on the Built Environment**, v. 176, p. 307–318, 2018. <https://doi.org/10.2495/UT170261>
- KAMMA, J. et al. Urban heat island analysis for Bangkok: multi-scale temporal variation, associated factors, directional dependence, and cool island condition. **ScienceAsia**, v. 46, n. 2, p. 213, 2020. [10.2306/scienceasia1513-1874.2020.024](https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2020.024)
- KEDZUF, N. J.; ZUIDEMA, P.; MCNOLDY, B. Seasonal Variability and Trends of the Miami Urban Heat Island. p. 1–6, 2011.
- LANDSBERG, H. O clima das cidades. **RDG Revista do Departamento de Geografia- ...**, v. 18, p. 95–111, 2006.
- MARCHIORO, E. A incidência de frentes frias no município de Vitória (ES). **Revista ACTA Geográfica**, p. 49–60, 2012. <https://doi.org/10.5654/acta.v0i0.1093>
- MARQUES FILHO, E. P. . et al. Rio de Janeiro's Tropical Urban Climate. **Quarterly Newsletter of the IAUC**, v. 32, n. June, p. 5–9, jun. 2009.
- MONTEIRO, C. A. DE F.; MENDONÇA, F. **Clima urbano**. 1. ed. São Paulo: Contexto, 2003.
- MORRIS, C. J. G.; SIMMONDS, I. Associations between varying magnitudes of the urban heat island and the synoptic climatology in Melbourne, Australia. **International Journal of Climatology**, v. 20, n. 15, p. 1931–1954, 2000. [https://doi.org/10.1002/1097-0088\(200012\)20:15<1931::AID-JOC578>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/1097-0088(200012)20:15<1931::AID-JOC578>3.0.CO;2-D)
- OKE, T. . **Boundary Layer Climates**. 2. ed. London: [s.n.], v. 1
- OKE, T. R. et al. Simulation of surface urban heat islands under 'ideal' conditions at night part 2: Diagnosis of causation. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 56, n. 4, p. 339–358, 1991. <https://doi.org/10.1007/BF00119211>
- OKE, T. R. The Heat Island of the Urban Boundary Layer: Characteristics, Causes and Effects. In: CERMAK, J. E. et al. (Eds.). . **Wind Climate in Cities**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1995. p. 81–107. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3686-2_5
- OLIVEIRA, W. D.; FIALHO, E. S. O campo térmico do distrito de Carapina - Serra/ES. **Cadernos de Geografia**, n. 41, p. 59–79, 2020. https://doi.org/10.14195/0871-1623_41_5
- RAJAGOPALAN, P.; LIM, K. C.; JAMEI, E. Urban heat island and wind flow characteristics of a tropical city. **Solar Energy**, v. 107, n. May, p. 159–170, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.05.042>

- REBOITA, M. S. et al. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185–204, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862010000200004>
- RIZWAN, A. M.; DENNIS, L. Y. C.; LIU, C. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. **Journal of Environmental Sciences**, v. 20, n. 1, p. 120–128, 2008. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)60019-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60019-4)
- ROTH, M. Review of urban climate research in (sub)tropical regions. **International Journal of Climatology**, v. 27, n. 14, p. 1859–1873, 30 nov. 2007. <https://doi.org/10.1002/joc.1591>
- ROTH, M. Urban Heat Islands. **Handbook of Environmental Fluid Dynamics, Volume Two**, p. 143–159, 2013.
- RYU, Y. H.; BAIK, J. J. Daytime local circulations and their interactions in the Seoul metropolitan area. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 52, n. 4, p. 784–801, 2013. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-12-0157.1>
- SACRAMENTO NETO, O. B.; ESCOBAR, G. C. J. ; DIAS DA SILVA, P. E. Método objetivo para identificar episódios de Zonas de Convergência de Umidade (ZCOU) no ambiente operacional do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC. **XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia**, v. 1, 2010.
- SALVADOR, N. et al. Study of the thermal internal boundary layer in sea breeze conditions using different parameterizations: Application of the WRF model in the greater Vitória region. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4, p. 593–609, 2016. <https://doi.org/10.1590/0102-7786312314b20150093>
- SCHULZWEIDA, U. CDO User Guide. n. October, p. 1–206, 2019.
- SIEM JAN KOOPMAN, NEIL SHEPHARD, J. A. D. Statistical algorithms for models in state space using SsfPack 2.2. **Econometrics Journal**, v. 2, p. 113–166, 1999. <http://www.jstor.org/stable/23114855>.
- SMOLIAK, B. V. et al. Dense network observations of the Twin Cities Canopy-Layer urban heat island. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 54, n. 9, p. 1899–1917, 2015. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-14-0239.1>
- STEWART, I. D. Redefining the Urban Heat Island. n. October, p. 1–352, 2011b.
- STULL, R. B. **An Introduction to Boundary Layer Meteorology**. 1. ed. Dordrecht: Springer Netherlands, 1988.
- TAO, Z. et al. Effect of land cover on atmospheric processes and air quality over the continental United States—a NASA Unified WRF (NU-WRF) model study. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 13, n. 13, p. 6207–6226, 2013. <https://doi.org/10.5194/acp-13-6207-2013>
- TEAM, R. C. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria R Foundation for Statistical Computing; 2016, , 2017. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>
- WOLBERG, G. Cubic Spline Interpolation: a Review. In: **Columbia University Computer Science Technical Reports**, 1^a ed. Columbia: Department of Computer Science, Columbia University, 1988. p. 1–14.
- YANG, B.; ZHANG, Y.; QIAN, Y. Simulation of Urban climate with high-resolution WRF model: A case study in Nanjing, China. **Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences**, v. 48, n. 3, p. 227–241, 2012. <https://doi.org/10.1007/s13143-012-0023-5>
- YANG, X. et al. The urban cool island phenomenon in a high-rise high-density city and its mechanisms. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 2, p. 890–904, 2017. <https://doi.org/10.1002/joc.4747>

ZANOTELLI, C. L. et al. A renda da terra na Região Metropolitana da Grande Vitória – ES – Brasil. *Confins*, v. 21, n. 21, 20 jun. 2014. <https://doi.org/10.4000/confins.9738>



BY



NC



SA

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