Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

ESTIMATIVA DOS ÍNDICES HUMIDEX E WBGT DA REGIÃO METROPOLITANA DE SOROCADA DO PERÍODO ENTRE 2007 E 2020

HUMIDEX and WBGT indices estimate of the Sorocaba metropolitan region between 2007 and 2020

Estimación de los índices HUMIDEX y WBGT de la región metropolitana de Sorocada para el período entre 2007 y 2020

Cássia Maria Leme Beu
Centro de Lasers e Aplicações, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)
cassia.beu@gmail.com

Resumo: Os males associados aos extremos de calor são uma realidade, embora pouca importância seja dada ao assunto. Em parte, a falta de atenção é decorrente do desconhecimento. Outro motivo é a negligência do poder público, no que diz respeito à fiscalização, especialmente das condições laborais. Neste trabalho, os índices HUMIDEX e WBGT foram calculados para a Região Metropolitana de Sorocaba, interior paulista, com um conjunto de dados de 14 anos. Apesar de estar próximo ao leste paulista, Sorocaba não é influenciada pela brisa marítima, que poderia contribuir para amenizar o calor, pois o clima da região é caracterizado por temperaturas elevadas em vários meses do ano. A mensuração de índices bioclimáticos pode contribuir para as políticas de saúde pública de forma a reduzir a insalubridade de trabalhadores expostos ao calor excessivo e consequentemente promovendo melhora da qualidade de vida e até mesmo da produtividade, como indicam as pesquisas.

Palavras-chave: WBGT. HUMIDEX. Conforto térmico.

Abstract: Diseases associated with heat extremes are a reality, although little importance is given to this subject. In part, the lack of attention is due the unknowing. In part, the lack of care is the negligence of the authorities, regarding inspection, especially in terms of working conditions. In this work, the HUMIDEX and WBGT indices were calculated for the Metropolitan Region of Sorocaba, Sao Paulo countryside, with a 14-year dataset. Despite being close to the ocean, Sorocaba is not influenced by the sea breeze, which could contribute to alleviate the heat and its climate is characterized by high temperatures in several months of the year. The measurement of bioclimatic indices can contribute to public health policies in order to reduce the unhealthy conditions of workers exposed to excessive heat and, consequently, improve the quality of life and even productivity, as indicated by researches.

Keywords: WBGT. HUMIDEX. thermal comfort.

Resumen: Los males asociados a los extremos de calor son una realidad, aunque se le da poca importancia al tema. En parte, la falta de atención se debe a la falta de conocimiento. En parte, es negligencia de las autoridades, con respecto a la inspección, especialmente de las condiciones de trabajo. En este trabajo, se calcularon los índices HUMIDEX y WBGT para la Región Metropolitana de Sorocaba, en el interior de São Paulo, con un conjunto de datos de 14 años. A pesar de estar cerca del océano, Sorocaba no se ve influenciada por la brisa del mar, lo que podría contribuir a aliviar el calor y el clima de la región se caracteriza por altas temperaturas en varios meses del año. La medición de índices bioclimáticos puede contribuir a las políticas de salud pública con el fin de reducir las condiciones insalubres de los trabajadores expuestos a un calor excesivo y, en consecuencia, mejorar la calidad de vida e incluso la productividad, como indican las investigaciones.
Palabras clave: WBGT. HUMIDEX. comodidad térmica.

Submetido em: 30/06/2021
Aceito para publicação em: 20/01/2022
Publicado em: 16/02/2022

1. INTRODUÇÃO

Ondas de calor e seus efeitos são estudados com maior frequência nos países do Hemisfério Norte (AHMED *et al.*, 2021; YU *et al.*, 2021; SARÀ *et a.l*, 2021; WU *et al.*, 2021; LÓPES-BUENO *et al.*, 2021; PASCAL *et al.*, 2021), apesar da sua posição em latitudes mais altas em comparação aos países do Hemisfério Sul. Historicamente, as ondas de calor são responsáveis por mais mortes do que qualquer outro desastre natural (incêndios, tempestades, ciclones tropicais e inundações) na Austrália, Estados Unidos e Europa (NAIRN e FAWCETT, 2015).

Recentemente, trabalhos para latitudes mais baixas também tem sido encontrados (DUBE, SINGH e ASHRIT, 2021; GUIGMA *et al.*, 2021). As pesquisas que abordam as ondas de calor e suas consequências estão em expansão no Hemisfério Sul (KING e REEDER, 2021; MANN, *et al.*, 2021; FONTAN e RUSTICUCCI, 2021; FITCHETT, 2021). Em um dos poucos trabalhos em que o termo **ondas de calor** é usado para o Brasil, a análise com 53 anos de dados a partir de 1961 constatou uma tendência de aumento das ondas de calor no País (BITENCOURT *et al.*, 2016). O aumento da frequência das ondas de calor possivelmente é um efeito combinado das mudanças climáticas globais e urbanização. A pesquisa também identificou diferenças regionais devido à grande extensão geográfica do País e características dinâmicas da atmosfera.

Diante do cenário de mudanças climáticas, as projeções apontam para o aumento da frequência e intensidade das ondas de calor (RUSSO *et al.*, 2014) e consequentemente, aumento do impacto na ausência de ações mitigadoras. Os primeiros 20 anos do século 21 registraram numerosos eventos de temperatura extrema com grandes impactos na saúde humana, agricultura, recursos hídricos, demanda por energia, economia regional e ecossistemas (BASARIN, LUKIC e MATZARAKIS, 2020). Por isso, é importante avaliar os impactos dos extremos de calor e propor medidas mitigadoras.

Segundo a Organização Meteorológica Mundial e a Organização Mundial da Saúde (WMO, 2015) a exposição aos extremos de calor produzem efeitos silenciosos na saúde humana, à medida, que poucas mortes são diretamente atribuídas ao calor, mas as ondas de calor agem principalmente no agravamento do estado de saúde. Os idosos se tornam vulneráveis porque os mecanismos de regulação térmica e hídrica do organismo tem maior risco de não funcionar apropriadamente. Crianças apresentam maior dificuldade em

expressar suas necessidades de hidratação e conforto térmico. Além disso, algumas doenças como: diabetes, doenças cardíacas e renais e esclerose múltipla prejudicam a habilidade do organismo em lidar com as altas temperaturas (HAVENITH, 2005).

De acordo com a compilação de estudos conduzida por (CAMPBELL *et al.*, 2018), fatores sociais contribuem substancialmente para o agravamento da exposição ao calor e somam-se ao grupo de maior vulnerabilidade: indivíduos que vivem em isolamento, a população de baixa renda, pessoas que vivem nas ruas ("sem-tetos") e residentes de áreas urbanas com baixo acesso as áreas verdes. Os autores identificaram que a maior parte dos trabalhos relacionados aos efeitos do calor na saúde humana ficaram restritos a regiões de latitudes mais altas e com maior renda. Em contrapartida, existe uma lacuna para as regiões tropicais e subtropicais, com destaque para a América do Sul, África e leste europeu. Os poucos trabalhos publicados sugerem que as populações de áreas tropicais estão expostas a impactos dos extremos do calor na saúde.

O excesso de calor também afeta a produtividade e aumenta o risco de acidentes ocupacionais (RUAS *et al.*, 2020). Segundo o Centro Canadense para Saúde e Segurança Ocupacional (CCOHS, sigla em inglês), as doenças mais severas relacionadas à exposição ao calor são: **erupções cutâneas** que acontecem quando as glândulas sudoríparas inflamam e dificultam a transpiração; **cãibras de calor** devido à perda de sais após transpiração intensa; **exaustão por calor**, causando sudorese intensa, fraqueza, tontura, náuseas e dores de cabeça; e **insolação**, causando elevação da temperatura corporal (podendo exceder 41º C) e completa ou total perda da consciência, situação que requer atendimento médico urgente (CCOHS).

Antunes *et al*. (2021) analisaram a exposição ao calor em diferentes coberturas na cidade de Cuiabá (MT) e verificaram que os melhores resultados de conforto térmico foram observados para o cenário arborizado, tanto no período quente e úmido, quanto na condição quente e seca e que a intensidade do vento (em geral, fraca) exerceu pouca influência nas duas situações. Os autores destacaram a importância da vegetação no meio urbano para minimizar os impactos do calor extremo.

A incidência da radiação solar em um *canyon* urbano é completamente diferente de uma superfície natural (ZHANG *et al.*, 2021). O termo *canyon* urbano é associado à estrutura de edifícios e ruas, similar à um *canyon* natural. O calor absorvido pelas superfícies no ambiente urbano pode ser re-irradiado entre as construções e o calor pode ficar retido pela

diminuição do escoamento do ar. Consequentemente, as cidades apresentam temperaturas mais altas do que as áreas rurais e por isso são chamadas de ilhas de calor. O experimento de Zhang *et al.* (2021) mostrou que a temperatura variou em até 6º C no canyon urbano, dependendo do sombreamento e ventilação. Entretanto, a substituição da cobertura por materiais altamente reflexivos reduziu a temperatura em até 10º C, propiciando maior conforto térmico, especialmente para trabalhadores que desempenham suas atividades em ambientes não-climatizados.

Para avaliar os efeitos de eventos extremos na saúde humana são adotados índices biometeorológicos que incluem uma combinação de variáveis meteorológicas relacionadas à sensação de calor. Esses índices variam de acordo com as variáveis empregadas, seu objetivo final e sofisticação (FREITAS e GRIGORIEVA, 2015). Além da temperatura do ar, a umidade do ar, a radiação térmica e a velocidade do vento são os principais componentes que influenciam a sensação de calor (MCGREGOR e VANOS, 2018). Verificou-se que em Lisboa (Portugal), a direção do vento também desempenha papel importante para a intensidade da ilha de calor urbana (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

A dissipação de calor pela ventilação acontece quando a temperatura do ar é menor do que a temperatura corporal (~36º C) e a ventilação também age no sentido de alterar as taxas de evaporação pele-atmosfera (MCGREGOR e VANOS, 2018). Além dos fatores ambientais anteriormente citados, a intensidade da atividade física desenvolvida pelos indivíduos, bem como suas vestimentas desempenham um papel dominante para o stress térmico (MISTRY, 2020). Uma pesquisa realizada com trabalhadores rurais e da construção no Catar mostrou que a adoção de roupas adequadas e intervalos para descanso durante a jornada de trabalho pode reduzir o tempo a que os indivíduos são submetidos à hipertermia (ILO, 2019). A duração dos intervalos para descanso varia amplamente de acordo com as condições ambientais (intervalos mais longos para trabalhadores expostos ao Sol e nos horários com temperaturas mais elevadas).

A análise do índice Physiologically Equivalent Temperature (PET) mostrou que o Comitê Olímpico Internacional (COI) acertou na decisão ao transferir a maratona e a marcha atlética de Tóquio (cidade sede) para Saporo, cidade situada mais ao norte, para evitar o stress térmico dos atletas e o desconforto do público, visto que os Jogos previstos para 2020, mas adiados para 2021 devido à pandemia COVID-19 se realizariam no auge do verão do

Hemisfério Norte e que Tóquio oferece condições mais extrema do que Saporo (WU, GRAW e MATZARAKIS, 2020).

Anjos *et al*. (2020) investigaram o efeito da frente de brisa no conforto térmico em Aracaju (SE). Surpreendentemente, os autores verificaram que os dias com frente de brisa (chuva durante a madrugada e início da manhã) tiveram maior incidência da radiação solar, temperaturas mais altas e menores valores de umidade relativa, levando ao aumento do desconforto térmico em comparação aos dias sem frente de brisa, contrariando o senso comum de que a brisa marítima alivia o calor. Este resultado indica que o senso comum não pode ser aplicado de forma generalizada e que condições locais (como, neste caso o horário da brisa marítima) devem ser consideradas.

Basarin, Lukic e Matzarakis (2020) destacam a importância da alta umidade associada à temperatura para o desconforto térmico humano. Raymond, Matthews e Horton (2020) mostraram uma tendência global de aumento da temperatura de bulbo úmido. Embora 35º C (temperatura de bulbo úmido) seja o limite para que ocorra troca de calor através da transpiração, as populações das regiões atingidas pelas severas ondas de calor na Europa (2003) e Rússia (2010) sofreram os impactos associados ao calor com temperatura de bulbo úmido inferior a 28º C, indicando que os impactos na saúde acontecem com valores inferiores ao limite.

O HUMIDEX e o Wet-Bulb Globe Temperature (WBGT) são dois índices biometeorológicos que vem sendo amplamente usados em estudos dos efeitos do calor na saúde humana e que consideram tanto a temperatura quando à umidade do ar nas suas estimativas e estão entre os 162 índices listados por Freitas e Grigorieva (2015).

O WBGT é, possivelmente, o índice mais testado, documentado e usado sob uma variedade de condições climáticas para evolução histórica e aplicação para fins de saúde e exposição ao calor. Igualmente bem documentada é a relação entre o WBGT e os ciclos de repouso necessários para evitar os efeitos do stress térmico em atividades com exposição ao calor excessivo (MISTRY, 2020).

Uma análise com 14 anos de dados indicou que os profissionais que atuam na varrição de ruas em Presidente Prudente (oeste de São Paulo) foram expostos a situações de insalubridade térmica em 37% das horas analisadas de acordo com o WBGT. Os eventos extremos ocorrem com maior frequência na primavera e no verão, sendo que em dezembro (o mês com maior frequência de eventos extremos) os profissionais se expõem à

insalubridade térmica em 6 das 8 horas diárias de trabalho. O questionário aplicado aos profissionais de varrição indicou prevalência de sintomas como dor de cabeça, manchas na pele e indisposição ao trabalho dentre as doenças do calor e princípios da termorregulação (MENDES e TOMMASELLI, 2020).

A relação entre o ritmo cardíaco e a temperatura corporal em cortadores de cana no estado de São Paulo revelou que o ritmo cardíaco apresenta, com certo *delay*, uma tendência similar a temperatura corporal, ou seja, à medida que o esforço aumenta, os batimentos cardíacos e a temperatura corporal aumentam. Observou-se ainda variações relacionadas à idade e às condições ambientais, como o WBGT. (RUAS *et al.*, 2020).

O HUMIDEX também vem sendo amplamente usado em trabalhos de estudos térmicos, tanto para áreas urbanas como para rurais e para atividades de lazer, além de atividades laborais (BASARIN, LUKIC e MATZARAKIS, 2020). Este índice não considera nem o vento e nem a incidência de radiação, mas a sua simplicidade de cálculo permite que seja adotado operacionalmente para alertar o público em geral quanto aos eventos de calor extremo, como é feito no Canadá (MISTRY, 2020).

Considerando importância do calor na saúde humana, este trabalho apresenta a análise dos índices HUMIDEX e WBGT baseada em 14 anos de dados meteorológicos observados continuamente no município de Iperó, Região Metropolitana de Sorocaba, para avaliar aspectos associados ao conforto térmico.

2. METODOLOGIA

2.1. WBGT

O WBGT é o índice mais bem conhecido para medida de exposição ao calor em atividades ocupacionais (RUAS *et al.*, 2020; MENDES e TOMMASELLI, 2020; MISTRY, 2020). Seu cálculo é uma média ponderada entre a temperatura do ar (Ta), Temperatura de bulbo úmido (Tw) e temperatura de globo (Tg), conforme equação (1):

$$WBGT = 0{,}7 * Tw + 0{,}2 * Tg + 0{,}1 * Ta \quad (1)$$

Uma alternativa à equação (1) é o uso de softwares para o cálculo de índices biometeorológicos, como o Bioklima (IGSO, 2011). Softwares como o Bioklima são ferramentas bastante convenientes para o cálculo de índices biometeorológicos, especialmente quando se trabalha com um extenso conjunto de dados. O Bioklima faz a

estimativa do WBGT a partir de dados de estações meteorológicas através de um algoritmo que considera: a temperatura do ar, a temperatura do ponto de orvalho, a umidade relativa do ar, a velocidade do vento e a radiação solar.

A partir da estimativa de WBGT, o risco associado à condição ambiental pode ser caracterizado como: hipotermia (WBGT ≤ 10º C) ou stress por calor. No caso de stress térmico, o risco é baixo quando 10º C < WBGT ≤ 18º C; moderado quando 18º C < WBGT ≤ 23º C, alto quando 23º < WBGT ≤ 28º C e extremo quando WBGT > 28º C. Cada nível de risco demanda diferentes ações de forma a minimizar o impacto das condições ambientais, como por exemplo, climatizar o ambiente, incluir intervalos para descanso nas atividades ocupacionais/esportivas, hidratação, entre outras (ARMSTRONG *et al.*, 2007).

2.2. HUMIDEX

O HUMIDEX é um índice usado pelo CCOHS para expressar os efeitos combinados da temperatura e umidade. Seu cálculo é simples, usando apenas duas variáveis (Ta e temperatura do ponto de orvalho -Td), conforme equação (2):

$$(2) \qquad H = Ta + \frac{5}{9}\left[6{,}11 * e^{5117{,}7530\left(\frac{1}{278{,}16} - \frac{1}{278{,}15+Td}\right)} - 10\right]$$

A simplicidade do cálculo, especialmente no que diz respeito ao emprego de apenas duas variáveis, torna seu uso mais prático para estimativas rápidas e quando outras variáveis não estão disponíveis para a estimativa de índices mais complexos. Rigorosamente, o HUMIDEX é um índice adimensional, embora, alguns textos adotam o Celsius como unidade. O valor estimado pode então ser classificado de acordo com a seguinte escala de conforto: 20 ≤ H < 30, nenhum ou pequeno desconforto; 30 ≤ H < 40, desconforto; 40 ≤ H < 45, grande desconforto e H > 45, perigo. Estes resultados podem orientar gestores na adoção de práticas para reduzir o risco das pessoas expostas ao calor. Para valores entre 40 e 45, por exemplo, a recomendação é evitar esforços e quando o índice supera 45 há risco de insolação, segundo o CCOHS.

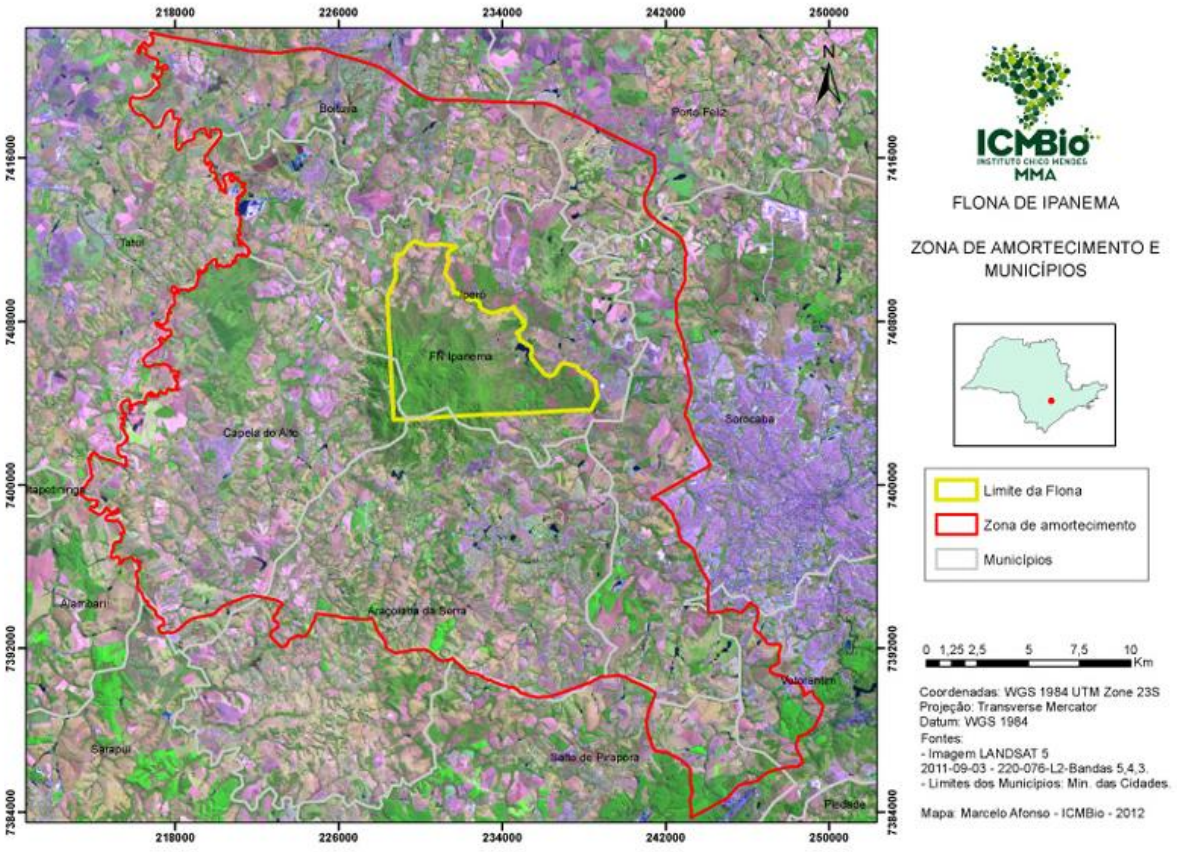
2.3. Dados e local de estudo

Para este trabalho foram usados dados meteorológicos da estação automática (A713) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) disponível no site (INMET). A estação A713

está localizada na Floresta Nacional de Ipanema (Flona Ipanema) do Instituto Chico Mendes de Conservação e Biodiversidade (ICMBio). A Flona Ipanema (https://www.icmbio.gov.br/flonaipanema) foi criada em 1992, entre os municípios de Iperó, Capela do Alto e Araçoiaba da Serra (interior de São Paulo), conforme indica a figura 1.

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (Lei 9.985) estabelece que Florestas Nacionais são uma das categorias que compõem o grupo de Unidades de Conservação de Uso Sustentável, cujo objetivo é compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais. A Flona ocupa uma área aproximada de 5.069 hectares e está relativamente próxima ao município de Sorocaba, caracterizado pela presença de indústrias e densamente ocupado. A população de Sorocaba estimada pelo IBGE é de aproximadamente 688 mil habitantes em 2020. A mancha urbana de Sorocaba produz um forte contraste com os municípios vizinhos e especialmente com a Flona Ipanema (Figura 1).

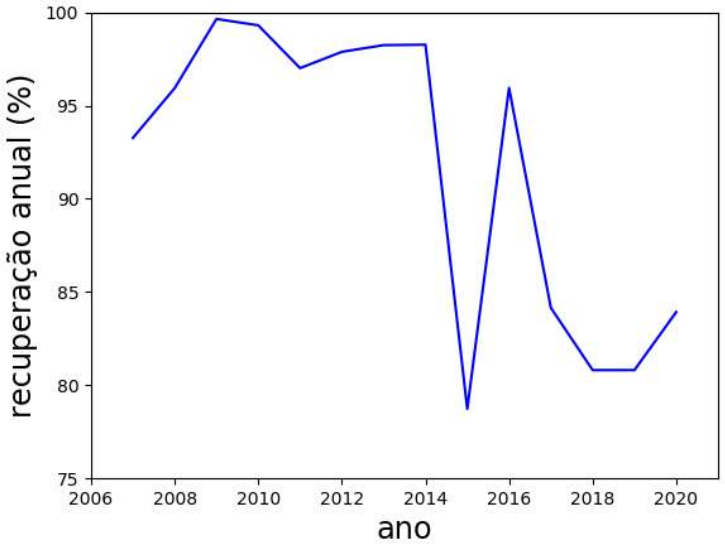
Figura 1 - Mapa da localização da Flona Ipanema



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

O período analisado compreende 14 anos entre 2007 e 2020. Os dados são médias horárias e apresentaram recuperação anual superior a 75% e em muitos dos anos analisados, recuperação de quase 100%, conforme indica a figura 2.

Figura 2 - Recuperação anual de dados da estação meteorológica INMET A713



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. Resultados

Na figura 3 são apresentadas as médias anuais de temperatura, umidade relativa (UR), pressão e velocidade do vento, bem como o acumulado de chuva do período. Esses dados foram compilados a partir dos dados horários da estação A713. A figura também indica a média do período entre 2007 e 2020 (linha tracejada), bem como a normal climatológica do INMET 1981-2010 (INMET) da estação Sorocaba (83851). A estação 83851 é uma estação convencional, apenas com observações nos horários sinóticos e situada em uma região urbanizada atualmente.

Observa-se pequena diferença entre a média da estação A713 e a normal climatológica (estação 83851), apesar das diferentes posições de observações e períodos de aquisição de dados. Isto indica que a estação A713 preservou as características do período 1981 a 2010, apesar das constantes mudanças de ocupação de superfície observadas em áreas urbanizadas, por estar localizada em uma unidade de conservação. A temperatura

média anual é 20,8º C, mas os extremos variaram entre -2,1º C em julho/2018 a 36,6º C em dezembro/2015. Ao longo dessa série histórica houve registro de 56 eventos em que a temperatura superou 36º C, valor esse em que o vento já não exerce dissipação do calor (MCGREGOR e VANOS, 2018). A UR média anual gira em torno de 75%, com grandes amplitudes diárias, sendo agosto, setembro e outubro, o trimestre com os menores índices de UR. O acumulado anual de chuva apresenta notável variabilidade interanual e desvio em relação à média, com anos chuvosos, como 2009 e outros com chuva abaixo da média, como 2011, 2012 e 2018.

O regime de chuva, como no estado de São Paulo, é caracterizado por um trimestre chuvoso (dezembro, janeiro e fevereiro) e um trimestre seco (junho, julho e agosto), intercalados pelas estações de transição. Apesar desse regime de chuva bem definido, ocorrem anos de grandes extremos. Em 2007, por exemplo, janeiro teve acumulado de 419 mm (198% acima da média), enquanto em 2014, o acumulado foi de apenas 79 mm (37% abaixo da média). O mesmo acontece na estação seca, como julho que em 2017 teve acumulado de 0,6 mm e em 2009 acumulado de 186 mm, contra a média mensal de 48 mm. A umidade do ar é um fator importante para o mecanismo de termorregulação do corpo humano (Raymond, Matthews e Horton, 2020) e é considerada na estimativa dos índices WBGT (na forma de temperatura de bulbo úmido) e HUMIDEX (na forma de temperatura do ponto de orvalho). Na área de estudo, bem como em outros estados brasileiros, a estação chuvosa e, portanto, úmida, coincide com os meses mais quentes do ano.

Figura 3 - Médias anuais de temperatura, UR, pressão, velocidade do vento e acumulado de precipitação da estação A713 e normais climatológicas da estação 83851 (INMET)



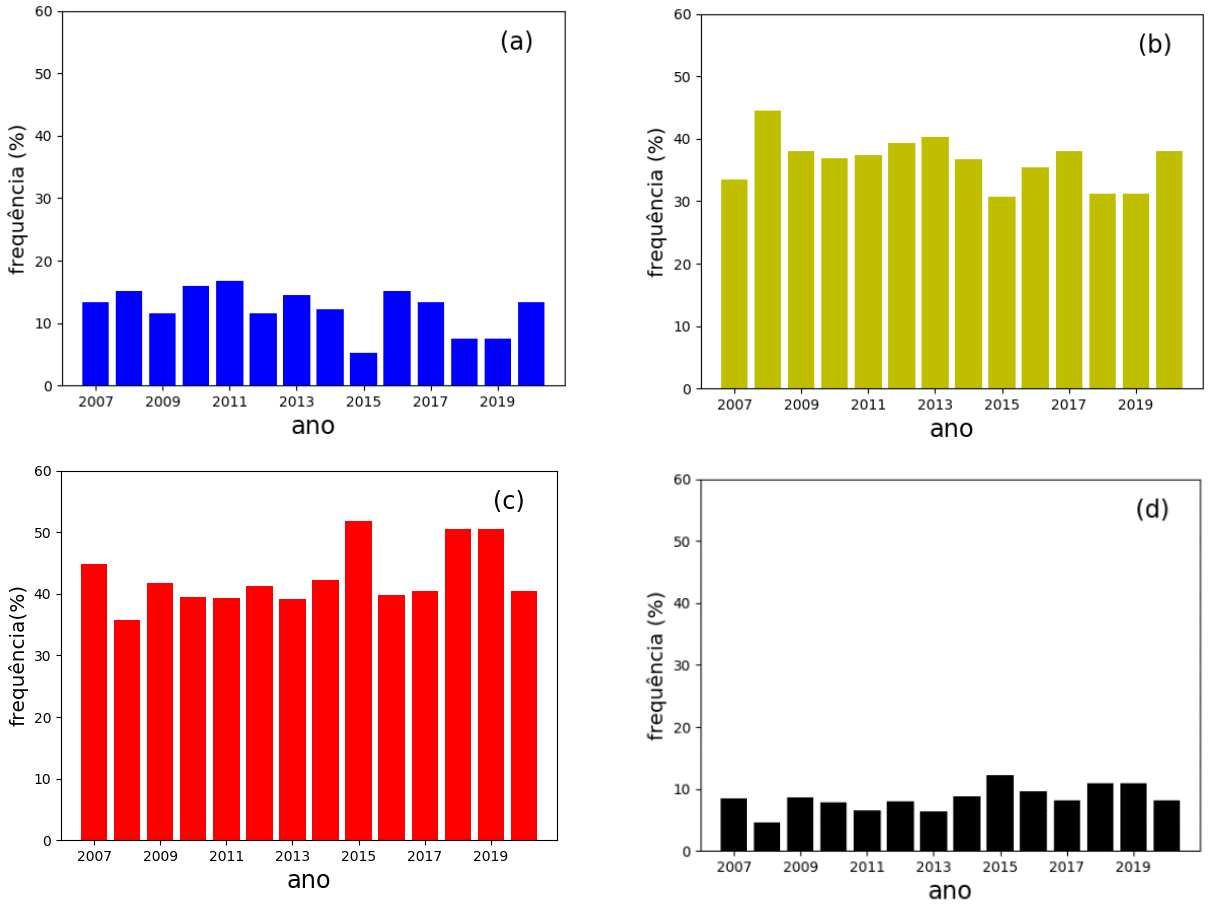
Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Embora não tenha sido feita nenhuma comparação, por ausência de dados observacionais, é de se esperar que Sorocaba sofra influência das recentes alterações de superfície, com supressão da vegetação e substituição por superfícies impermeabilizadas, caracterizando assim, especialmente a região central do município, como uma ilha de calor urbana (ZHAO *et al.*, 2018) e, portanto, com temperaturas mais altas do que as registradas na Flona Ipanema.

Apesar da ênfase neste trabalho ser o risco associado ao calor, foi possível, com o índice WBGT estimar também o risco de hipotermia, em que o WBGT ≤ 10º C. Esta é também uma informação importante para gestores, considerando-se que grande número de pessoas vive nas ruas ("sem-tetos") e estão sujeitas a exposição às baixas temperaturas, geralmente mal nutridos e mal agasalhados, agravando assim a situação de vulnerabilidade. Embora a frequência seja muito baixa (inferior a 0,3%), o WBGT atingiu valores inferiores a 10º C em quase todos os anos, exceto em 2015. 2011 e 2016 tiveram maior ocorrência de WBGT ≤ 10º C (0,29% e 0,23%). Uma análise detalhada desses eventos pode ajudar as autoridades a antecipar situações potenciais para a ocorrência de hipotermia e dessa forma prevenir a ocorrência de mortes por hipotermia com ações mitigadoras.

Nos anos analisados, o WBGT indicou alta incidência de risco moderado (18º C < WBGT ≤ 23º C) e alto (23º < WBGT ≤ 28º C). Na categoria de risco moderado, a frequência anual varia entre 30 e 45% (figura 4b). Na categoria de risco alto (figura 4c), a frequência é ainda maior e chega a 50% em alguns anos, como 2015, 2018 e 2019. Juntos, a frequência do risco moderado e alto respondem a aproximadamente 80% das ocorrências. Em frequência menor, mas não desprezível, aparece os eventos com risco extremo (figura 4d), em que é recomendado paralisar as atividades, pois o risco à complicações aumenta quando as pessoas exercem atividades físicas de alta intensidade ou extenuantes por mais de 1 hora, combinadas com vestimentas e hidratação inadequadas, privação de sono e desnutrição (ARMSTRONG *et al.*, 2007).

Figura 4 - Frequência anual do índice WBGT. (a) risco baixo, (b) risco moderado, (c) risco alto e (d) risco extremo.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

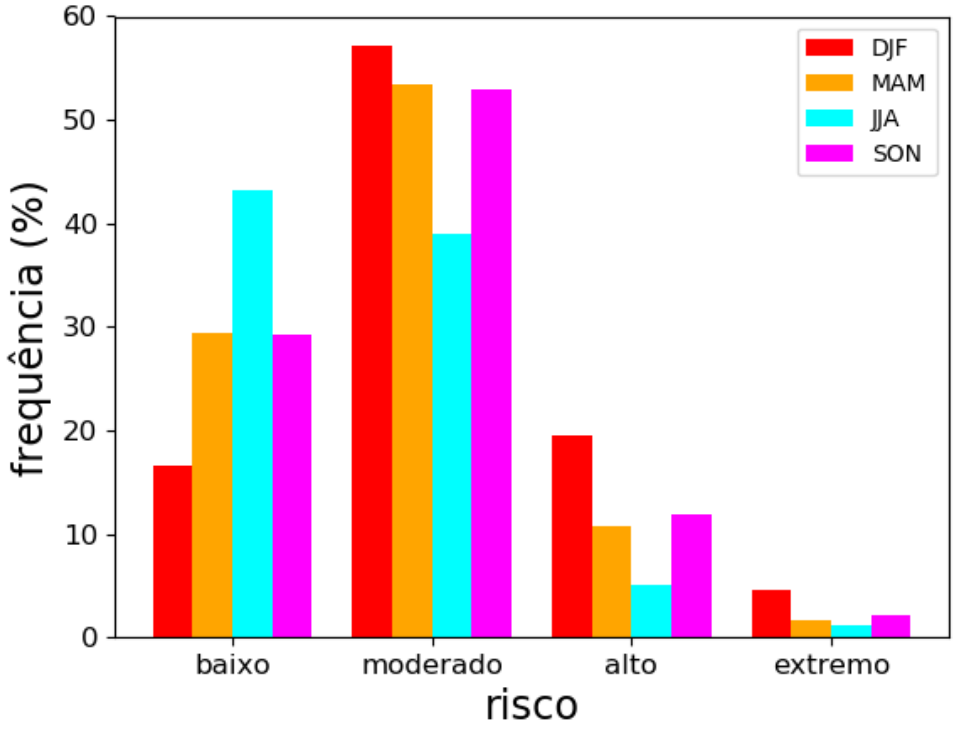
Os valores variam entre 5 e 10%, mas ocorreram em todos os anos entre 2007 e 2020. Na figura 5a é mostrada a frequência em que o WBGT apresentou baixo risco, cujos valores estão abaixo de 20%. Estes resultados indicam que o WBGT deve ser usado para o planejamento das atividades, adotando por exemplo, alternância entre trabalho e intervalos para descanso e hidratação, principalmente em atividades de alta intensidade física, como por exemplo, construção civil (MISTRY, 2020).

Com o software Bioklima, é possível extrair ainda informações como: média e mediana, valores mínimos e máximos. A média dos 14 anos é de 22,7º C, que classifica a região em risco moderado quando todo o período de dados é considerado. A mediana esteve sempre acima de 22º C, tendo alcançado 24º C em 2018 e 2019 e 24,2º C em 2015, o que classificaria em risco alto, de acordo com o critério do índice WBGT. Em todos anos, o máximo valor estimado do WBGT foi superior a 31º C e chegou a 32,4º C em 2010.

Obviamente, os resultados se alteram quando somente o horário com incidência de radiação solar é considerado. É também durante o dia (na presença de radiação solar) que a maior parte das atividades econômicas e laborais são desenvolvidas. Por esse ponto de vista, faz sentido então, estimar o WBGT considerando somente o intervalo de tempo com incidência de radiação solar. Para esta análise, foram consideradas as quatro estações do ano: DFJ (dezembro, janeiro e fevereiro), MAM (março, abril e maio), JJA (junho, julho e agosto) e SON (setembro, outubro, novembro), separadamente.

O valor médio do WBGT, foi: 25,6º C para DJF;24,1º C para MAM, 22,3º C para JJA e 24,4º C para SON. Dessa forma, tem-se que o trimestre JJA classifica-se na categoria de risco moderado, enquanto DJF e as estações de transição classificam-se na categoria de risco alto para o índice WBGT. O Bioklima indicou que em 4,5% das vezes as atividades deveriam ser interrompidas no trimestre DJF do período analisado, visto que o WBGT ultrapassou 28º C. A figura 5 ilustra a frequência de eventos com relação ao risco para cada estação do ano. Os eventos classificados como extremos são mais frequentes no verão e primavera, estações em que Bitencourt et al. (2016) identificaram maior frequência de ondas de calor.

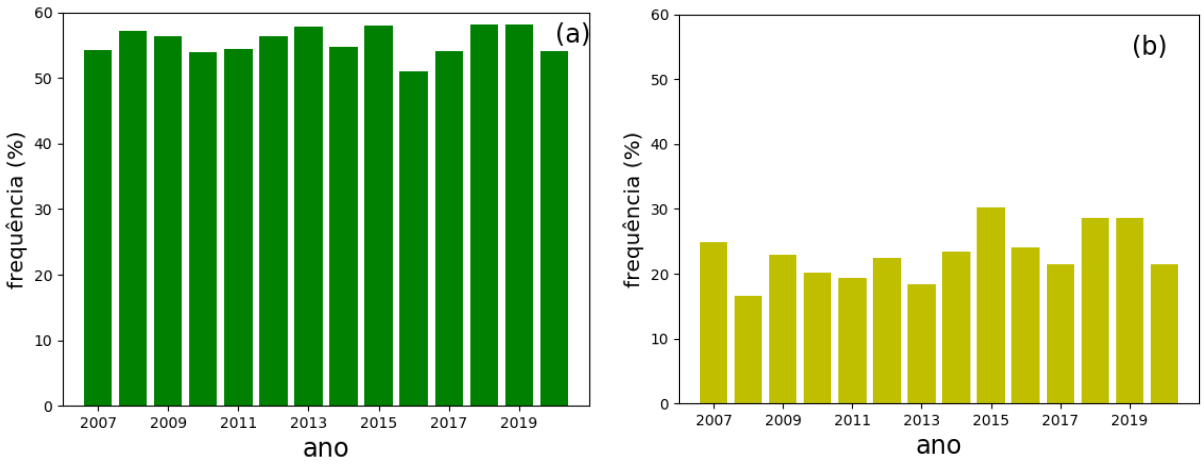
Figura 5 - Frequência em relação ao risco estimada para o índice WBGT para cada estação do ano.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A estimativa do índice HUMIDEX indica que aproximadamente 80% da frequência responde por condições que variam entre levemente desconfortável a desconfortável, conforme figura 6. Neste índice, valores inferiores a 20 não são classificados e por isso, a soma das frequências é inferior a 100%. HUMIDEX classificado como levemente desconfortável (Figura 6a) teve frequência anual entre 50 e 60%, enquanto para a condição desconfortável (Figura 6b), a frequência anual varia entre 20 e 30%, aproximadamente. A frequência para a categoria grande desconforto foi baixa no período analisado (inferior a 0,2%) e não houve registro de eventos na categoria perigo. O valor médio do índice HUMIDEX para todo o período é 23,4, que classifica a região como levemente desconfortável e a mediana variou entre 24 e 27,2 ao longo dos anos.

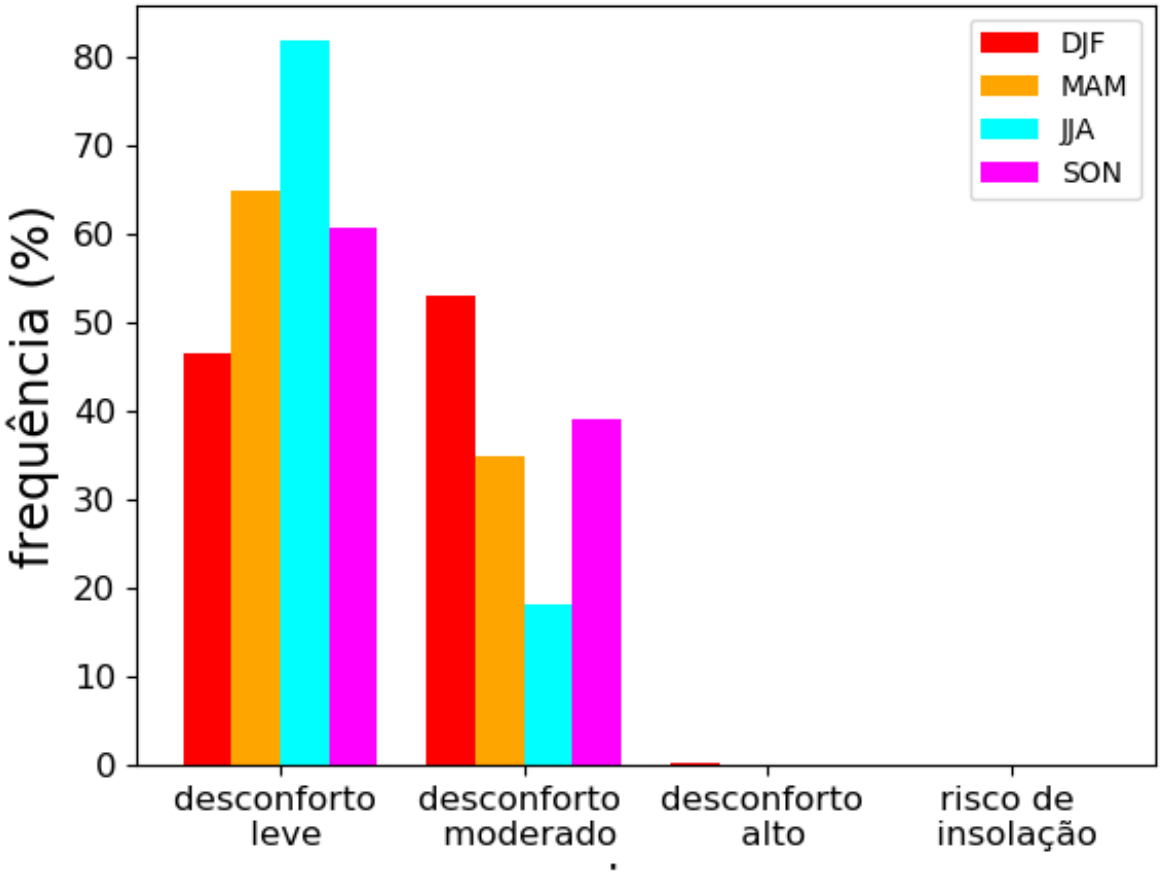
Figura 6 - Frequência anual do índice HUMIDEX. (a) levemente desconfortável e (b) desconfortável



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Quando o intervalo de tempo considerado é reduzido para os horários com incidência de Sol, os valores médios sobem consideravelmente. Em DJF, o valor médio foi 29,9 e o número de eventos é quase que igualmente distribuído entre as categorias desconforto leve e desconforto moderado (Figura 7). Neste trimestre, o valor máximo atingiu 41,8 (categoria de grande desconforto). As médias são 28 e 27,5 para SON e MAM, respectivamente, sendo que aproximadamente 60% dos eventos são classificados na categoria levemente desconfortável (Figura 7). Para JJA a média foi 24,7, com 80% dos eventos contribuindo para a categoria levemente desconfortável.

Figura 7 - Frequência sazonal do índice HUMIDEX



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

3.2. Discussão

As mudanças climáticas estão produzindo aumento da frequência de ondas de calor (BITENCOURT *et al.*, 2016; RUSSO *et al.*, 2014) que por sua vez, trazem impactos para a saúde humana. Esses impactos dependem do tipo de evento e sua velocidade de formação, da localização geográfica, da sensibilidade da população, da efetividade das medidas de mitigação, da capacidade do sistema de saúde e seus profissionais, da velocidade de intervenção, entre outros fatores (HAVENITH, 2005).

Minimizar os impactos dos extremos de calor à saúde humana é uma importante contribuição para o bem estar da população, em especial, àqueles expostos ao calor excessivo em suas atividades laborais. Para mensurar os impactos do calor na saúde, lança-se mão de índices biometeorológicos. Como enfatizou (CAMPBELL *et al.*, 2018), ainda é pequeno o número de trabalhos que avaliam o impacto do calor na saúde humana em latitudes tropicais e subtropicais, com destaque para a África e a América do Sul, apesar do potencial para produzir riscos devido às temperaturas elevadas características das baixas

latitudes combinadas com altos índices de umidade do ar característicos das florestas tropicais e áreas litorâneas.

Raymond, Matthews e Horton (2020) acrescentam que essas áreas litorâneas são banhadas por águas com temperaturas também elevadas, que por sua vez favorecem a evaporação e aumento da umidade. A umidade do ar, por sua vez, é redistribuída pelas correntes atmosféricas e apresenta alta variabilidade espacial e temporal. A variabilidade das variáveis ambientais (temperatura, umidade, emissões antropogênicas) produz diferentes efeitos na saúde para diferentes localidades. Como concluíram Anjos *et al*. (2020), o senso comum não pode ser generalizado e as características locais devem ser avaliadas.

Linares e Díaz (2008) acrescentam ainda o fator aclimatização do indivíduo como um fator decisivo para a definição de limiares de temperatura como causa de mortalidade. McMichael *et al.* (2008) analisaram 12 cidades de países em desenvolvimento e verificaram diferentes tendências de mortalidade associadas ao frio e ao calor, indicando que a análise deve ser regionalizada. Esse trabalhou indicou que nas cidades de São Paulo (SP) e de Salvador (BA) ocorre aumento da mortalidade por doenças respiratórias associadas ao calor, embora a taxa de mortalidade seja diferente para a mesma variação de temperatura (maior taxa de mortalidade em São Paulo).

Em outro trabalho que analisou a mortalidade na cidade de São Paulo, Son *et al.* (2016) também identificaram uma correlação positiva entre calor e mortalidade, sendo o risco maior para mulheres, idosos (acima de 75 anos) e população com menor nível de instrução. A análise de Pinheiro e*t al.* (2014) para a cidade de São Paulo, considerando um intervalo de 11 anos, identificou que o risco de mortalidade por doenças cardiovasculares aumenta tanto para baixas temperaturas como para temperaturas elevadas (curva em forma de U), sendo a temperatura média diária entre 19 e 24º C (aproximadamente), o intervalo com menor risco relativo.

Já para mortalidade respiratória, o risco aumenta para temperaturas altas (curva em forma de J, com aumento do risco para temperaturas médias diárias acima de 20º C, aproximadamente). Nesse trabalho, os autores verificaram que a inclusão de fatores como a qualidade do ar (neste caso, concentração de material particulado), adiciona complexidade à relação temperatura X mortalidade. Os resultados de Costa *et al.* (2021) também indicaram diferenças para as cidades de Santa Maria (RS) e São Paulo. Na região de Santa Maria, a

média diária de internações hospitalares por doenças cardiovasculares aumenta em ondas de calor em comparação aos chamados “dias normais” (ausência de extremos de temperatura).

Da mesma forma que as análises devem ser específicas para cada região, a implementação de ações para mitigar os impactos do calor também devem ser regionalizadas (ILO, 2019). Há situações em que implementações relativamente simples, como a alteração do início e final da jornada de trabalho (como foi feito no Catar), hidratação e adequação dos uniformes, especialmente de trabalhadores que exercem suas atividades expostos ao Sol pode contribuir para amenizar o desgaste produzido pelo calor.

O índice WBGT indicou alta incidência de condições com risco moderado (30 a 40%) e alto (40 a 50%) em Sorocaba. Também não é desprezível a ocorrência de situações com risco extremo (cerca de 10% ao ano), ocasiões em que as atividades laborais deveriam ser interrompidas. De acordo com o WBGT, o verão e as estações de transição classificam-se como risco alto e que até mesmo no inverno, em que o WBGT apresentou classificação de risco moderado, é preciso precaução quanto à exposição ao calor excessivo, especialmente em atividades laborais.

O resultado do HUMIDEX também indicou que mesmo nos meses de inverno, existe desconforto térmico provocado por temperaturas elevadas, embora, com uma frequência bem menor do que no verão. Até onde se tem conhecimento, não há na região a implementação de medidas protetivas contra a exposição ao calor excessivo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram usados dados meteorológicos de uma unidade de conservação. A análise mostrou que apesar da variabilidade interanual da temperatura, nos 14 anos entre 2007 e 2020, não se observou tendência de aumento da temperatura e que a média do período permanece praticamente inalterada se comparada com a normal climatológica do INMET do período entre 1981 a 2010. Possivelmente, esta similaridade entre o período de 2007 a 2020 e 1981 a 2010 deve-se à localização da estação meteorológica em uma unidade de conservação, porém, estima-se que as temperaturas na região central de Sorocaba venham sofrendo alterações, devido à urbanização. Por falta de dados meteorológicos na

região urbana, as observações da Flona Ipanema foram extrapoladas para a região central de Sorocaba, no entanto, entende-se que dados observacionais na região urbana possam produzir informações mais realistas acerca do conforto térmico.

Apesar da considerável população concentrada no município de Sorocaba (9º município mais populoso do estado de São Paulo, de acordo com o censo do IBGE 2010), não se tem conhecimento de nenhum outro trabalho de estimativa de índices biometeorológicos para o município, dessa forma, este trabalho tem por objetivo impulsionar uma discussão relacionada aos extremos de calor na região e estimular outras análises para outras cidades do País.

Os resultados indicaram alta incidência de risco moderado e alto para o WBGT e desconforto térmico para o HUMIDEX. Diante desses resultados, recomenda-se continuidade dos trabalhos, com investigação da relação entre os extremos de calor e procura pelos serviços de saúde, por exemplo. Deve-se também investigar os efeitos do calor combinado com a qualidade do ar, considerando-se que Sorocaba possui indústrias consideradas prioritárias para o controle da poluição atmosférica (CETESB, 2020), conta com uma frota estimada de mais de 480 mil veículos automotores (DETRAN, 2021) e é cortada por 2 importantes rodovias (Rod. Castello Branco e Raposo Tavares) de intenso fluxo de veículos leves e pesados que fazem a ligação do interior com a capital. A região sofre ainda a influência de queimadas da cana-de-açúcar e da remoção da vegetação para posterior plantio. Em 2019 houve redução da qualidade do ar em comparação com 2018, com diminuição dos eventos classificados como bons e aumento dos eventos considerados como moderados, de acordo com o último relatório anual da CETESB disponível (CETESB, 2020). Soma-se à esse conjunto de características locais, os fatores sociais mencionados por (CAMPBELL *et al.*, 2018).

Existem algumas medidas simples que podem contribuir para reduzir o stress térmico e melhorar a qualidade de vida da população. Observa-se na cidade uma deficiência de abrigo nos pontos de ônibus, de forma que a população que faz uso do transporte público fica diretamente exposta ao Sol enquanto espera. Sendo assim, a construção de abrigos nos pontos de ônibus, climatização dos ônibus, arborização das vias públicas são ações simples, mas que certamente contribuirão com resultados positivos. Há ações não tão simples, mas possíveis, como por exemplo, alterar o início e final da jornada de trabalho de algumas

atividades, tais como: carteiros, operários da construção civil, varredores de rua, coletores de lixo, pois são atividades associadas à exposição ao Sol e esforço físico. Outra medida que pode beneficiar os trabalhadores é a adoção de uniforme adequados para o calor, com tecidos que facilitam a transpiração e a evaporação, como aqueles usados para confeccionar uniforme de atletas. Outras medidas podem ser propostas quando houver resultados da investigação da relação extremos de calor X hospitalizações/mortes.

Vemos atualmente os serviços de meteorologia e previsão do tempo alertar a população com relação à sensação de frio, radiação ultravioleta e baixa umidade do ar. Considerando a alta frequência de risco moderado e alto do índice WBGT e desconforto térmico do HUMIDEX, como indicou este trabalho para a região de Sorocaba, e considerando também que municípios localizados em latitudes mais baixas e em posições mais afastadas do oceano apresentam temperaturas mais altas, informar e instruir a população com algum índice biometeorológico para condições extremas de calor é de grande contribuição para a sociedade. Ainda, para a finalidade de monitorar os efeitos da temperatura (seja frio ou calor) na saúde humana, que as observações meteorológicas sejam feitas próximas aos locais em que as pessoas vivem e desempenham suas atividades.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Instituto Nacional de Meteorologia pela disponibilização dos dados.

REFERÊNCIAS

AHMED, Kazi Rifat *et al.* A First Assessment of the 2018 European Drought Impact on Ecosystem Evapotranspiration. **Remote Sens**, Basel, v. 13, n. 1, 16 p., jan. 2021.

ANJOS, Max *et al.* Sea Breeze Front and Outdoor Thermal Comfort during Summer in Northeastern Brazil. **Atmosphere**, Basel, v. 11, n. 9, 18 p., sept. 2020.

ANTUNES, Karyn Ferreira *et al.* Análise do índice UTCI em diferentes tipos de cobertura na cidade de Cuiabá, Mato Grosso. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 28, 19 p., jan./jun. 2021.

ARMSTRONG, Lawrence *et al.* Exertional Heat Illness during Training and Competition. **Medicine & Science in Sport & Exercise**, Indianapolis, v. 39, n.3, p. 556-572, mar. 2007.

BASARIN, Biljana; LUKIC, Tin; MATZARAKIS, Andreas. Review of Biometeorology of Heatwaves and Warm Extremes in Europe. **Atmosphere**, Basel, v. 11, n. 11, nov. 2020, 21 p.

BITENCOURT, Daniel Pires *et al.* Frequência, Duração, Abrangência Espacial e Intensidade das Ondas de Calor no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 4, 17 p., out./dez. 2016.

CAMPBELL, S. *et al.* Heatwave and health impact research: A global review. **Health & Place**, [s. l.], v. 53, 210-218., sept. 2018.

Canadian Centre for Ocupational Health and Safety. **Humidex rating and work.** [S. l.]: CCOHS, 2019. Disponivel em: https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/humidex.html. Acesso em: 09 abr. 2021.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do ar no Estado de São Paulo - 2019**. São Paulo: CETESB, 2020.

COSTA, Iago Turba *et al.* Extreme Weather Conditions and Cardiovascular Hospitalizations in Southern Brazil. **Sustainability**, Basel, v. 13, n. 21., 17 p., nov. 2021.

Departamento Estadual de Trânsito. **Estatísticas de trânsito**. São Paulo: Detran, 2021. Disponivel em: https://www.detran.sp.gov.br. Acesso em: 23 nov. 2021.

DUBE, Anumeha; SINGH, Harvir.; ASHRIT, Raghavendra. Heat Waves in India during MAM 2019: Verification of ensemble based probabilistic forecasts and impact of bias correction. **Atmospheric research**, [s. l.], v. 246, 251, 19 p., apr. 2021.

FITCHETT, Jeniffer. Exploring extreme warm temperature trends in South Africa: 1960–2016. **Theoretical and Applied Climatology**, [s.l.], v. 143, n. 7, p. 1341 – 1360, 2021.

FONTAN, Silvia; RUSTICUCCI, Matilde. Climate and Health in Buenos Aires: A Review on Climate Impact on Human Health Studies Between 1995 and 2015. **Front. Environ. Sci.**, Lausanne, v. 8, 8 p., feb. 2021.

FREITAS, Chris de; GRIGORIEVA, Elena. A comprehensive catalogue and classification of huma thermal climate indices. **Int. J. Biometeorol**, [s. l.], v. 59, p. 109 - 120, jan. 2015.

GUIGMA, Kiswendsida; GUICHARD, Françoise; MARTIN, Todd; PEYRILLE, PHILIPPE; WANG, Yi. Atmospheric tropical modes are important drivers of Sahelian springtime heatwaves. **Climate Dynamics**, [s. l.], v. 56, n. 5-6, 21 p., mar. 2021.

HAVENITH, George. Temperature Regulation, Heat Balance and Climatic Stress. In: KIRCH, W.; BERTOLLINI, R.; MENNE, B. **Extreme Weather Events and Public Health Responses**. Berlin: Springer, 2005. cap 7, p. 69 – 80.

Institute of Geography and Spatial Organization. **Bioklima – Univeral tool for bioclimatic and thermophysiological studies.** Warsaw**:** IGSO, 2011. Disponivel em: https://www.igipz.pan.pl/bioklima.html. Acesso em: 01 abr. 2021.

International Labor Organization. **Assessment of occupational heat strain and mitigation strategies in Qatar**. Thessaly: ILO, 2019.

Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados Meteorológicos**. Brasília: INMET, 2021. Disponivel em: https://portal.inmet.gov.br/. Acesso em: 15 jan. 2021.

KING, Malcolm; REEDER, Michael. Extreme heat events from an object viewpoint with application to south-east Australia. **International journal of climatology**, [s. l.], v. 41, p. 2693 – 2709, jan. 2021.

LINARES, Cristina; DÍAZ, Julio. Temperaturas extremadamente elevadas y su impacto sobre la mortalidad diaria según diferentes grupos de edad. **Gac Sanit.**, Alicante, v. 22, n.2, p. 115-119, mar. 2008.

LÓPEZ-BUENO, José Antonio *et al*. Analysis of the impact of heat waves on daily mortality in urban and rural areas in Madrid. **Environmental research**, [s.l.], v. 195, 18p., apr. 2021.

MANN, Janet *et al.* Elevated Calf Mortality and Long-Term Responses of Wild Bottlenose Dolphins to Extreme Climate Events: Impacts of Foraging Specialization and Provisioning. **Front. Mar. Sci.**, Lausane, 8, 18 p., mar. 2021.

MCGREGOR, Glenn; VANOS, Jennifer. Heat: a primer for public health researchers. **Public Health**, [s. l.], v. 161, p. 138-146, Aug 2018.

MCMICHAEL, Anthony *et al*. International study of temperature, heat, and urban mortality: the 'ISOTHUM' project. **International Journal of Epidemiology**, [s. l.], v. 37, n. 5, p. 1121-1131, oct. 2008.

MENDES, Lidiana Pinho; TOMMASELLI, José Tadeu Garcia. Varredoras(es) de rua de Presidente Prudente/SP/BR: um estudo sobre a insalubridade térmica. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 27, jul./dez. 2020.

MISTRY, Malcolm. A high spatiotemporal resolution global gridded dataset of historical huma disconfort indices. **Atmosphere**, Basel, v. 11, n. 8, 22 p., aug. 2020.

NAIRN, John; FAWCETT, Robert. The excess heat factor: a metric for heatwave intensity and its use in classifying heatwave severity. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, Basel, v. 12, n. 1, p. 227-253, jan. 2015.

OLIVEIRA, Ana. *et al.* Heatwaves and summer urban heat islands: a daily cycle approach to unveil the urban thermal signal changes in Lisbon, Portugal. **Atmosphere**, Basel, v. 12, n. 3, 23 p., mar. 2021.

PASCAL, Mathilde *et al.* Extreme heat and acute air pollution episodes: A need for joint public health warnings? **Atmospheric environment**, [s. l.], v. 249, n.1, 18 p., mar. 2021.

PINHEIRO, Samya de Lara. Lins de Araújo *et al.* Efeitos isolados e sinérgicos do MP10 e da temperatura média na mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias. **Rev. Saúde Pública**, São Paulo, v. 48, n. 6, p. 881-888, dez. 2014.

RAYMOND, Colin; MATTHEWS, Tom; HORTON, Radley. The emergene of heat and humidity too severe for human tolerance. **Science Advances**, [s. l.], v. 6, n. 19, 9 p., may. 2020.

RUAS, Alvaro Cesar *et al.* Heat stress monitoring based on heart rate measurements. **Rev. Bras. Med. Trab.**, São Paulo, v. 18, n.2, p. 232 – 240, fev. 2020.

RUSSO, Simone *et al.* Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world. **J. Geophys. Res. Atmos.**, Hoboken, v. 119, n. 22, p. 500-512, oct. 2014.

SARÀ, Gianluca *et al.* Multiple climate-driven cascading ecosystem effects after the loss of a foundation species. **Science of the total environment**, [s. l.], v. 770, 12 p., may. 2021.

SON, Ji-Young *et al.* The impact of temperature on mortality in a subtropical city: effects of cold, heat, and heat waves in São Paulo, Brazil. **Int. J. Biometeorol.**, [s. l.], v. 60, n.1, p. 113-121, jan. 2016.

World Meteorological Organization. **Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development,** Geneva**:** WMO, 2015.

WU, Xiaojun *et al.* Identifying the dominant driving factors of heat waves in the North China Plain. **Atmospheric research**, [s. l.], v. 252, n. 7, 17 p., jan. 2021.

WU, Yuting; GRAW, Kathrin; MATZARAKIS, Andreas. Comparison of thermal confort between Sapporo and Tokyo - The case of the Olympics 2020. **Atmosphere**, Basel, v. 11, n. 5, 13 p., may. 2020.

ZHANG, Yi *et al.* Temperature of Paved Streets in Urban Mockups and Its Implication of Reflective Cool Pavements. **Atmosphere**, Basel, v. 12, n. 5, 12 p., may. 2021.

ZHAO, Lei *et al.* Interactions between urban heat islands and heat waves. **Environmental Research Letters**, [s. l.], v. 13, n. 3, 11 p., mar. 2018.