



Estudo de Índices Biometeorológicos e suas Correlações com Hospitalizações em Campinas

João Luís C. de Abreu*, Ana Maria Heuminski de Avila[†], Eliana Cotta de Faria[‡], Paula Dornhofer Paro Costa*

*Depto. Eng. de Computação e Automação (DCA), Faculdade de Eng. Elétrica e de Computação (FEEC)

[†]Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI)

[‡]Depto. de Patologia Clínica, Faculdade de Ciências Médicas (FCM)

Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)

Campinas, Brasil

e-mail: j175997@dac.unicamp.br, paulad@unicamp.br

Resumo—Este estudo busca consolidar a utilização de biomarcadores como métricas para a análise de variáveis climáticas em um contexto de impacto nos indicadores de saúde. Uma biblioteca computacional foi desenvolvida em *python*, através da qual é possível realizar o cálculo de diferentes índices biometeorológicos a partir de seus respectivos parâmetros. Além disso, a partir de um estudo mais detalhado dos índices Humidex e WBGT, foi possível verificar a baixa ocorrência de eventos climáticos considerados críticos ou extremos na região de Campinas.

Palavras-chave—Índices biometeorológicos, Humidex, WBGT, óbitos, hospitalizações.

I. INTRODUÇÃO

Índices biometeorológicos são modelos teóricos que buscam entender uma possível relação existente entre parâmetros climáticos e os aspectos atrelados aos sistemas e funções que compõem a fisiologia do corpo humano.

Muitos índices são amplamente implementados internacionalmente com o intuito de reforçar os modelos climáticos preditivos já existentes, assim como amparar as recomendações aos aspectos atrelados à saúde humana.

Nesse contexto, o presente trabalho realizou um estudo detalhado de determinados índices biometeorológicos com modelos já consolidados a fim de implementá-los computacionalmente e avaliá-los no contexto climático da cidade de Campinas. Vale ressaltar que o clima de Campinas é caracterizado como subtropical úmido de inverno seco [1].

O objetivo é avaliar o comportamento destes diferentes índices com base nos achados da literatura, no contexto regional da cidade Campinas. Posteriormente, este estudo se estenderá para uma abordagem estatística que contemplará o impacto deste biomarcadores climáticos nos aspectos de saúde da população, principalmente diante de alguns indicadores como óbitos e internações na cidade ao longo do período de análise.

II. MÉTODO

A biblioteca *biometeo* [2] foi desenvolvida em *python* e possibilita a computação de diversos índices biometeorológicos, a partir de parâmetros de entrada tais como temperatura, umidade relativa do ar, nível de radiação solar, entre outros. A biblioteca inclui descrições, referências e funções de cálculo para cada um dos índices especificados. Além disso, também inclui fórmulas de conversão de unidades de temperatura, pressão e umidade que ampliam a aplicabilidade da biblioteca em um sentido mais amplo. Os índices incluídos na biblioteca até o presente momento são:

- Apparent Temperature (AT) [3];
- Wind Chill (WC) [4];
- Wind Chill Canada (WCC) [5];
- Heat Index (HI) [6];
- Thom Discomfort Index (DI) [7];
- Humid Index (Humidex) [5], [8];
- Relative Strain Index (RST) [9];
- Wet-Bulb Globe Temperature (WBGT) [10].

Os índices Humidex e WBGT são constantemente utilizados em análises relacionadas ao impacto do clima nos indicadores de saúde ([5], [7], [8], [11], [12]) e, por conta disso, recebem destaque neste estudo.

A. Humidex

O Humidex corresponde a um índice desenvolvido originalmente no Canadá e visa estimar o calor sentido por uma pessoa ao combinar os efeitos de temperatura e umidade relativa do ar. A partir do modelo teórico, este índice indica e estima o grau de desconforto sentido pela população em geral. Apesar da simplicidade, o índice possui a limitação de não considerar outros aspectos e variáveis climáticas importantes

como pressão, velocidade do vento, precipitação e radiação solar.

O modelo teórico utilizado na determinação do Humidex segue a seguinte expressão, em que T corresponde à temperatura em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$) e e à pressão de vapor em hectopascal (hPa) calculada a partir da umidade relativa do ar:

$$\text{Humidex} = T + 0.5555 \cdot (e - 10)$$

Arelado ao modelo teórico, a literatura também disponibiliza uma tabela indicativa que compara os intervalos e limites de valores do índice com o grau de conforto e os riscos associados. A Tabela I evidencia esta relação comparativa.

Tabela I
LIMITES DE HUMIDEX [5]

Intervalos de Humidex	Grau de Conforto
20-29	Confortável
30-39	Algum Desconforto
40-45	Grande Desconforto: Evitar Esforço
Acima de 45	Perigoso: Possibilidade de Insolação

No contexto de estudo do Humidex, é de grande interesse utilizar o valor 40 como limiar de criticidade para eventuais estudos e análises estatísticas. Assim, todos os valores que apresentam um cenário de grande desconforto ou de perigo podem ser considerados como valores críticos. Todos os valores abaixo deste limiar, por sua vez, apontam para um indicador climático sob controle.

B. WBGT

O WBGT é um índice desenvolvido e inicialmente aplicado nos Estados Unidos. Este índice é adotado para estimar o estresse e o conforto térmico sentido por um indivíduo e é constantemente utilizado em saúde ocupacional bem como em diretrizes de segurança para trabalhos em ambientes quentes e para esportes que exigem esforço contínuo.

Embora existam métodos mais específicos com base em medições fisiológicas individuais para determinar a tensão de calor em um trabalhador individual, o WBGT é especialmente utilizado em padrões nacionais e internacionais para especificar os riscos de estresse por calor em diferentes locais de trabalho.

Tendo em vista diferentes cenários climáticos, o WBGT é subdividido em WBGT Indoors, indicador do índice em ambientes fechados sem exposição à radiação solar e em WBGT Outdoors, indicador do índice em ambientes abertos com influência da radiação solar incidente.

As Equações 1 e 2 representam, respectivamente, os modelos teóricos utilizados no cálculo do WBGT Indoors e do WBGT Outdoors, em que T corresponde à temperatura do ar em $^{\circ}\text{C}$, T_w à temperatura natural de bulbo úmido em $^{\circ}\text{C}$, T_g à temperatura de globo negro em $^{\circ}\text{C}$ e v à velocidade do vento em m/s [10]:

$$\text{WBGT} = 0,67 \cdot T_w + 0,33 \cdot T - 0,048 \cdot \log(v) \cdot (T - T_w) \quad (1)$$

$$\text{WBGT} = 0,7 \cdot T_w + 0,2 \cdot T_g + 0,1 \cdot T \quad (2)$$

Alguns pontos surgem quanto à determinação das variáveis T_g e T_{nwb} . A temperatura de bulbo negro (T_g) é um parâmetro climático que exige de equipamentos especiais para que seja medida. A literatura propõe alguns modelos teóricos para o cálculo desta variável, mas são fórmulas que acabam apresentando um grau de divergência quanto ao valor esperado para o índice. Por conta disso e tendo em vista que as principais estações meteorológicas da região de Campinas não incluem este equipamento, um estudo do WBGT Indoors torna-se uma abordagem inicial mais viável. Com relação à temperatura natural de bulbo úmido (T_{nwb}), esta corresponde a uma variável calculável, sendo obtida a partir de um processo iterativo a partir da temperatura do ponto de orvalho (parâmetro climático de umidade) e da pressão de vapor do ar.

Assim como no caso do Humidex, o WBGT também possui uma tabela indicativa dos riscos atrelados aos diferentes intervalos de valor deste índice. A Tabela II evidencia este estudo comparativo.

Tabela II
LIMITES DE WBGT [13]

Intervalos de WBGT	Grau de Risco
16-22	Baixo
23-27	Moderado
28-32	Alto
Acima de 32	Muito Alto

Semelhante ao Humidex, tendo em vista o contexto climático da cidade de Campinas, recomenda-se utilizar o valor 28 como limiar de criticidade para eventuais estudos e análises estatísticas. Neste caso, valores com grau de risco alto ou muito alto podem ser considerados valores críticos, enquanto que valores com grau de risco moderado ou baixo apontam para o indicador sob controle.

C. Dados

Utilizou-se como base de estudo os dados climáticos disponibilizado pelo Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI). Este banco de dados inclui a descrição dos registros realizados a cada 10 minutos dentro de um período que vai de 1 de janeiro de 1997 a 31 de dezembro de 2018. Além disso, contempla a medição de diferentes parâmetros climáticos como temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão de vapor, radiação solar incidente, velocidade do ar, dentre outros.

A partir dos parâmetros climáticos deste banco de dados, calculou-se os índices biometeorológicos Humidex e WBGT para cada um dos registros obtidos. Vale ressaltar que para os valores calculados foi ainda realizado um tratamento dos outliers tendo em vista um intervalo de confiança de dois desvios padrões da distribuição normal dos valores. Assim, valores abaixo do percentil 2,5% e acima do percentil 97,5% foram desconsiderados.

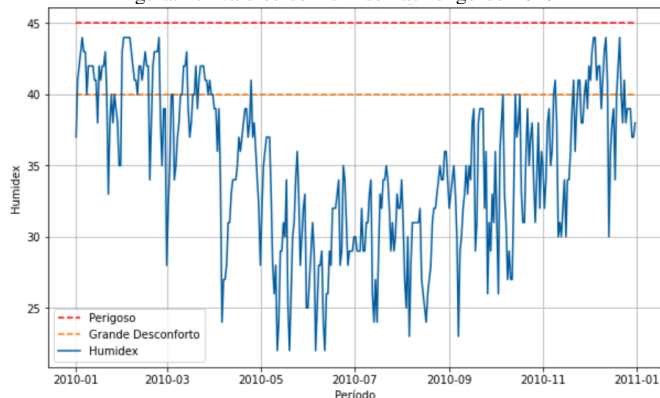
III. RESULTADOS

Diante do período de medições, pontua-se que o maior valor de Humidex calculado foi 44, registrado pela última vez no dia 05 de dezembro de 2010. Este valor máximo demonstra que não houve, em 21 anos de registros, um dia em que o Humidex apresentou caráter perigoso quanto ao seu grau de conforto em Campinas. O maior valor obtido para o WBGT, por sua vez, foi 28, com último registro datado de 13 de dezembro de 2006. Neste caso, dentro do mesmo período de análise, observa-se que não houve dias em que o WBGT apresentou caráter de risco alto ou muito alto em Campinas.

Tomando como base o ano de 2010, as Figuras 1 e 2 apresentam o comportamento de cada um dos dois índices ao longo deste período. Nos dois casos, é possível verificar o aumento do valor absoluto dos índices especialmente no início e final do ano com a transição para a estação verão.

No caso do Humidex, mais uma vez verifica-se que o comportamento da curva não ultrapassa o limiar 45 referente a um grau de conforto perigoso. Apesar disso, é possível ainda constatar que houve vários dias em que o índice apresentou um grau de grande desconforto.

Figura 1. Valores de Humidex ao longo de 2010



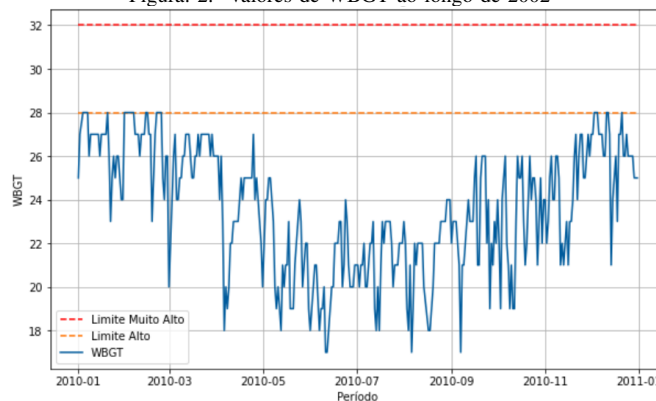
A curva do WBGT em 2010, por sua vez, mais uma vez reforça a inexistência de ocorrências de fenômeno climático crítico, visto que os valores não ultrapassam os limiares de risco alto e de risco muito alto.

IV. CONCLUSÃO

Como abordado ao longo deste artigo, índices biometeorológicos são modelos teóricos que podem e devem ser utilizados como abordagens alternativas e complementares aos modelos já utilizados, especialmente com o intuito de amparar sistemas de alerta e de previsões climáticas já existentes. Apesar disso, é necessário salientar que muitos desses índices foram desenvolvidos em contextos e países com climas distintos do observado na cidade de Campinas.

No caso do Humidex, por exemplo, é válido traçar um comparativo entre a cidade de Campinas, com clima subtropical úmido de inverno seco, e a cidade de Quebec no Canadá a qual apresenta clima continental úmido. No contexto

Figura 2. Valores de WBGT ao longo de 2002



brasileiro, as médias de temperatura registradas ao longo do ano apresentam uma amplitude que varia de aproximadamente 11,7°C a 28°C [14]. No contexto canadense, por sua vez, verifica-se uma amplitude com mínimas de -17,6°C e máximas de 25°C [14] ao longo do ano. Essa distinção demonstra a complexidade de introduzir e aplicar métricas em um local que apresenta condições meteorológicas distintas do local no qual foram desenvolvidas.

Os resultados obtidos por este estudo, principalmente a verificação de não ocorrências de dias de Humidex perigoso e de WBGT com risco muito alto ao longo dos 21 anos de período de análise, reforçam a raridade de fenômenos climáticos críticos e extremos e refletem a necessidade de adaptarmos estes modelos para cada região, levando-se em consideração as características de adaptação das populações locais.

Campinas demonstra apresentar relativo conforto térmico quando comparado com outras cidades e países. Porém, esta conclusão está baseada em métricas e em intervalos de valores que foram desenvolvidos para outras regiões do globo.

Portanto, implementar análises estatísticas com o intuito de estabelecer o impacto de determinados índices, como o Humidex e o WBGT, nos indicadores de saúde é uma abordagem essencial para dar continuidade aos estudos de biomarcadores. Contudo, é necessário ter em mente que a raridade de eventos climáticos extremos em concomitância com a ausência de uma adaptação regionalizada dos modelos teóricos dos índices pode levar a respostas pouco conclusivas no que diz respeito à relação clima e saúde.

REFERÊNCIAS

- [1] H. E. Beck, N. E. Zimmermann, T. R. McVicar, N. Vergopolan, A. Berg, and E. F. Wood, "Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution," *Scientific data*, vol. 5, p. 180214, 2018.
- [2] J. L. C. de Abreu and P. D. P. Costa, "Biometeo: Biometeorological indices computation module," 2020. [Online]. Available: <https://github.com/climate-and-health-datasci-Unicamp/py-climate-health-toolbox/blob/master/climahe/biometeo.py>
- [3] R. G. Steadman, "A universal scale of apparent temperature," *Journal of Climate and Applied Meteorology*, vol. 23, no. 12, pp. 1674-1687, 1984.

- [4] R. G. Quayle and R. G. Steadman, "The steadman wind chill: An improvement over present scales," *Weather and Forecasting*, vol. 13, no. 4, pp. 1187–1193, 1998.
- [5] E. Canada, "Technical documentation: Climate normals," 2019. [Online]. Available: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/climate-change/canadian-centre-climate-services/display-download/technical-documentation-climate-normals.html#toc1>
- [6] G. B. Anderson, M. L. Bell, and R. D. Peng, "Methods to calculate the heat index as an exposure metric in environmental health research," *Environmental health perspectives*, vol. 121, no. 10, pp. 1111–1119, 2013.
- [7] P. Vaneckova, G. Neville, V. Tippett, P. Aitken, G. FitzGerald, and S. Tong, "Do biometeorological indices improve modeling outcomes of heat-related mortality?" *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol. 50, no. 6, pp. 1165–1176, 2011.
- [8] J. Masterton and F. Richardson, "A method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity. report cli 1-79," *Atmospheric Environment Service, Environment Canada, Downsview*, 1979.
- [9] A. de Garín and R. Bejarán, "Mortality rate and relative strain index in buenos aires city," *International journal of biometeorology*, vol. 48, no. 1, pp. 31–36, 2003.
- [10] B. Lemke and T. Kjellstrom, "Calculating workplace wbgt from meteorological data: a tool for climate change assessment," *Industrial Health*, vol. 50, no. 4, pp. 267–278, 2012.
- [11] G. M. Budd, "Wet-bulb globe temperature (wbgt)—its history and its limitations," *Journal of Science and Medicine in Sport*, vol. 11, no. 1, pp. 20–32, 2008.
- [12] C. Yaglou, D. Minaed *et al.*, "Control of heat casualties at military training centers." *Arch. Indust. Health*, vol. 16, no. 4, pp. 302–16, 1957.
- [13] S. S. Cheung, J. K. Lee, and J. Oksa, "Thermal stress, human performance, and physical employment standards," *Applied physiology, nutrition, and metabolism*, vol. 41, no. 6, pp. S148–S164, 2016.
- [14] W. W. Organization, "World weather information service," 2021. [Online]. Available: <https://worldweather.wmo.int/en/city.html?cityId=635>