

ANÁLISE DO DESCONFORTO TÉRMICO NO SUL DO BRASIL A PARTIR DE DADOS HISTÓRICOS E PROJEÇÕES FUTURAS

WELISON DE OLIVEIRA PRATA¹; FERNANDA CASAGRANDE²
ROSE ANE PEREIRA DE FREITAS³

¹*Universidade Federal de Pelotas – wellison.oliveira2016@gmail.com*

²*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - fe.casagrande2@gmail.com*

³*Universidade Federal de Pelotas – rosefreitas78@gmail.com*

1. INTRODUÇÃO

O conforto térmico é um elemento fundamental para a compreensão dos impactos climáticos sobre a saúde humana, especialmente em um contexto de mudanças climáticas globais (JENDRITZKY et al., 2012). Índices como o UTCI (Universal Thermal Climate Index) sintetizam efeitos combinados de temperatura do ar, umidade, radiação e vento, permitindo avaliar o estresse térmico de forma abrangente (BLAZEJCZYK et al., 2012).

Nesse cenário, fazer uso da variável água precipitável (PRW), (*precipitable water vapor*) é indispensável pois o PRW é um indicador-chave do conteúdo total de umidade atmosférica, possui influência direta nos processos de evaporação, condensação e transporte de calor latente (ALLAN et al., 2008). Alterações em PRW influenciam diretamente o conforto térmico, pois afetam a sensação de calor por meio da regulação da temperatura e umidade relativa (TRENBERTH et al 2005). A temperatura do ar a 2 metros (T2M), entra nesta relação pois é uma variável diretamente ligada à sensação térmica que influencia a umidade do ambiente em superfície tendo contato direto com os seres humanos (YAN et al 2020).

As reanálises atmosféricas, como o ECMWF/ERA5, fornecem dados consistentes e de alta resolução temporal e espacial, permitindo uma caracterização detalhada das condições atmosféricas no passado recente (HERSBACH, et al 2020). Enquanto os modelos climáticos do High Resolution Model Intercomparison Project (HighResMIP) fornecem projeções futuras em alta resolução, essenciais para estimar impactos regionais (Haarsma et al. 2016). A comparação entre reanálises e modelos constitui, portanto, uma ferramenta valiosa para avaliar a capacidade de representação dos padrões climáticos e projetar possíveis mudanças no conforto térmico.

Este trabalho tem como objetivo investigar as relações entre o conforto térmico, representado pelo índice Universal Thermal Climate Index (UTCI), e as variáveis PRW e T2M no Sul do Brasil, no período histórico de 1980–2014, a partir da reanálise ERA5. A análise busca identificar o grau de influência relativa de cada variável sobre o UTCI em diferentes estações do ano. Adicionalmente, são avaliadas projeções do HighResMIP para o PRW no período de 2015–2050, a fim de inferir potenciais mudanças futuras no conforto térmico regional. Ao articular ciência, ensino, pesquisa e extensão, o estudo reafirma o compromisso da UFPel com a produção de conhecimento aplicado à proteção da vida, ao enfrentamento das vulnerabilidades sociais diante das mudanças climáticas e à promoção da justiça ambiental, fortalecendo o diálogo entre universidade e sociedade na construção de um futuro mais equânime e sustentável.

2. METODOLOGIA

Foram utilizados dados mensais do ERA5 para PRW, T2M e UTCI, para a área de interesse compreendida entre (26°S a 34°S) e (48°W a 58°W), área que compete a região sul do Brasil. Para os modelos HighResMIP, foram selecionadas simulações históricas (1980–2014) e de cenário futuro (2015–2050) de PRW, abrangendo diferentes configurações de resolução espacial. Todos os dados foram convertidos para uma grade comum, garantindo comparabilidade espacial.

Analisa-se as climatologias sazonais e as relações estatísticas entre UTCI, T2M e TCWV nos períodos de DJF e JJA, com o objetivo de identificar padrões espaciais e quantificar em que medida a umidade do PRW e a temperatura próxima à superfície influenciam o estresse térmico. Como o CMIP6 não disponibiliza o UTCI de forma direta em seus experimentos, optamos por usar o PRW como variável de referência, dado que foi observada uma forte correlação com o UTCI. Assim, propomos analisar a média do período 2015–2050 a fim de avaliar as mudanças projetadas no vapor de água atmosférico e, por consequência, inferir a possível evolução do estresse térmico representado pelo UTCI.

A análise considerou separadamente as estações de verão (DJF) e inverno (JJA). Foram calculadas climatologias sazonais, anomalias e métricas de desempenho dos modelos em relação ao ERA5. A relação entre PRW e conforto térmico foi explorada por meio de correlações ponto-a-ponto no tempo (sazonais anuais) entre PRW, UTCI e T2M.

Para o cenário futuro, as mudanças projetadas (PRW) foram obtidas pelas médias entre as climatologias de 2015–2050 e 1980–2014. Esses resultados foram interpretados para as condições médias de UTCI no período histórico, permitindo discutir a coerência física entre alterações de umidade atmosférica e variações na sensação térmica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise histórica das variáveis do ERA5 evidenciou uma forte correlação entre T2M, PRW e UTCI. Observou-se que essas variáveis estão diretamente relacionadas, de modo que o aumento tanto da T2M quanto do PRW exerce impacto significativo no UTCI.

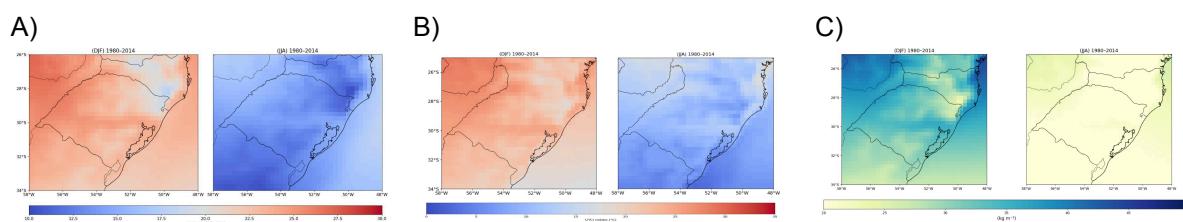


Figura 1. (A) Temperatura média do ar a 2 m ($^{\circ}\text{C}$) sobre o Rio Grande do Sul no período de 1980–2014: verão (DJF, à esquerda) e inverno (JJA, à direita). (B)Média do Universal Thermal Climate Index (UTCI) para o mesmo período e região, em DJF (à esquerda) e JJA (à direita). (C)Climatologia do conteúdo integrado de vapor d'água (PRW, kg m^{-2}) no Sul do Brasil entre 1980–2014, obtida a partir do ERA5, evidenciando maior disponibilidade no verão e valores reduzidos no inverno.

A análise histórica com dados do ERA5 evidenciou que o aumento do PRW está associado à elevação do índice UTCI, indicando maior desconforto térmico. Em

consonância, as projeções do HighResMIP apontam para uma tendência de aumento do PRW na região Sul do Brasil, sugerindo que esse processo poderá intensificar o desconforto térmico em áreas específicas no futuro.

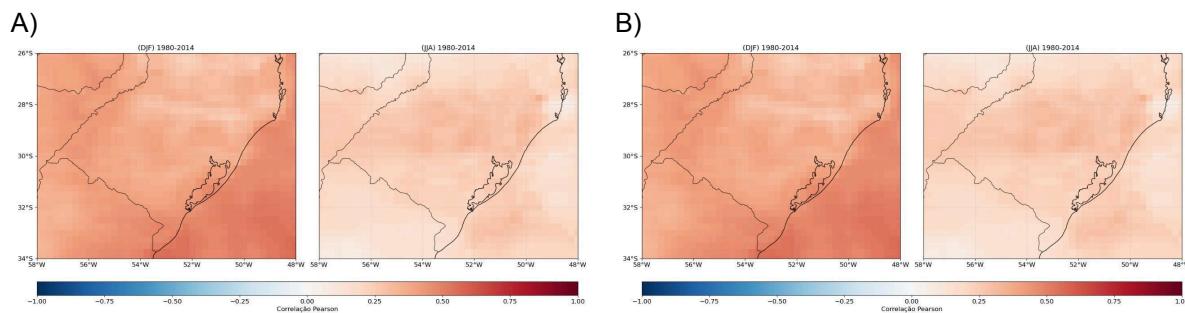


Figura 4. (A) Mapas de médias de Correlação de Pearson entre o UTCI e o PRW para o período de verão e inverno de 1980 a 2014. (B) Mapas de médias de correlação de Pearson entre o UTCI e a temperatura da superfície a 2m para o período de verão e inverno de 1980 a 2014.

A análise das correlações sazonais entre o UTCI, a temperatura do ar a 2 m (T2M) e o vapor d'água precipitável (TCWV) evidencia diferenças marcantes entre verão (DJF) e inverno (JJA) no período de 1980–2014. No verão, observou-se uma correlação moderada entre UTCI e T2M ($r = 0,38$; $p < 0,001$), enquanto a associação entre UTCI e TCWV foi mais expressiva ($r = 0,52$; $p < 0,001$), indicando que a umidade atmosférica exerce papel relevante na modulação do estresse térmico durante os meses mais quentes. Já no inverno, tanto UTCI × T2M ($r = 0,23$; $p = 0,017$) quanto UTCI × TCWV ($r = 0,28$; $p = 0,004$) apresentaram correlações mais fracas, embora estatisticamente significativas. Esses resultados sugerem que, no verão, a variabilidade do UTCI está mais fortemente condicionada à disponibilidade de vapor d'água, enquanto no inverno a influência conjunta da temperatura e da umidade é mais limitada, mas ainda detectável.

Estação	UTCI × T2M (r , p)	UTCI × TCWV (r , p)
Verão (DJF)	$0,384, 5,3 \times 10^{-5}$	$0,524, 9,5 \times 10^{-9}$
Inverno (JJA)	$0,233, 1,7 \times 10^{-2}$	$0,278, 4,1 \times 10^{-3}$

Tabela 1. Coeficientes de correlação de Pearson (r) e valores de significância (p) o Índice Universal de Conforto Térmico (UTCI), a temperatura do ar a 2 m (T2M) e o vapor d'água precipitável (TCWV) para as estações de verão (DJF) e inverno (JJA), no período de 1980–2014.

4. CONCLUSÕES

A análise realizada a partir da reanálise ERA5 mostrou que o conforto térmico, representado pelo UTCI, apresenta correlação direta com o PRW e a T2M. O aumento dessas variáveis está diretamente associado ao incremento do desconforto térmico, destacando-se o papel do vapor d'água atmosférico, cuja influência foi mais expressiva no período histórico analisado. Essa relação confirma a importância combinada da temperatura e da umidade na determinação das condições de conforto humano.

Adicionalmente, as projeções do HighResMIP indicam uma intensificação do PRW sobre a região Sul do Brasil nas próximas décadas, sobretudo nos meses de

verão, o que tende a agravar o desconforto térmico. Esses resultados reforçam a necessidade de monitoramento contínuo dessas variáveis e do uso integrado de reanálises e modelos climáticos para antecipar impactos e subsidiar estratégias de adaptação.

Por fim, ao revelar os riscos associados ao aumento do desconforto térmico, este estudo contribui para a compreensão das vulnerabilidades sociais frente às mudanças climáticas. Em consonância com a perspectiva da UFPel Afirmativa, este estudo contribui com o papel da ciência, ensino, pesquisa e extensão na defesa da vida, na promoção da justiça ambiental e na construção de uma sociedade mais equânime e sustentável.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLAN, Richard P.; SODEN, Brian J. Atmospheric warming and the amplification of precipitation extremes. *Science*, v. 321, n. 5895, p. 1481-1484, 2008.
- BLAZEJCZYK, Krzysztof et al. Comparação do UTCI com índices térmicos selecionados. *International Journal of Biometeorology* , v. 56, n. 3, p. 515-535, 2012.
- HERSBACH, Hans et al. The ERA5 global reanalysis. *Quarterly journal of the royal meteorological society*, v. 146, n. 730, p. 1999-2049, 2020.
- JENDRITZKY, Gerd; DE DEAR, Richard; HAVENITH, George. UTCI—why another thermal index?. *International journal of biometeorology*, v. 56, n. 3, p. 421-428, 2012.
- TRENBERTH, Kevin E.; FASULLO, John; SMITH, Lesley. Trends and variability in column-integrated atmospheric water vapor. *Climate dynamics*, v. 24, n. 7, p. 741-758, 2005.
- YAN, Haiyan et al. O efeito combinado da temperatura, umidade e movimento do ar na resposta térmica humana em climas quente-úmidos e quente-áridos no verão na China. *Building and Environment* , v. 177, p. 106898, 2020.
- Haarsma, R. J., et al.: High Resolution Model Intercomparison Project (HighResMIP v1.0) for CMIP6, *Geosci. Model Dev.*, 9, 4185–4208, 10.5194/gmd-9-4185-2016, 2016.).