

Trabalho a céu aberto e sua relação com a saúde dos trabalhadores: exposição ao calor e a radiação solar

Open-air work and its relationship with workers' health: exposure to heat and solar radiation

El trabajo al aire libre y su relación con la salud de los trabajadores: exposición al calor y la radiación solar

DOI: 10.54033/cadpedv21n5-130

Originals received: 04/16/2024

Acceptance for publication: 05/06/2024

Jelvis Santos Machado

Mestre em Ciências Florestais
Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
Endereço: Montes Claros, Minas Gerais, Brasil
E-mail: jelvismachado@gmail.com

Stanley Schettino

Doutor em Ciências Florestais
Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
Endereço: Montes Claros, Minas Gerais, Brasil
E-mail: schettino@ufmg.br

Christian Dias Cabacinha

Doutor em Ciências Florestais
Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
Endereço: Montes Claros, Minas Gerais, Brasil
E-mail: cabacinha@ica.ufmg.br

Denise Ransolin Soranso

Doutor em Ciências Florestais
Instituição: Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)
Endereço: Itajubá, Minas Gerais, Brasil
E-mail: denise_soranso@unifei.edu.br

Luciano José Minette

Doutor em Ciências Florestais
Instituição: Universidade Federal de Viçosas (UFV)
Endereço: Viçosa, Minas Gerais, Brasil
E-mail: minette@ufv.br

RESUMO

Este estudo objetivou avaliar, em diferentes regiões brasileiras e latinas, a existência de correlação entre o Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG) e o índice Ultravioleta (IUV), bem como a aplicabilidade desses índices para a determinação do risco de desenvolvimento distúrbios ocupacionais relacionados a esses agentes físicos em trabalhadores rurais que desenvolvem suas atividades laborais a céu aberto. Para abranger a maior variação possível de latitude, altitude e clima entre os pontos amostrais, foram coletados dados em cinco regiões localizadas no Brasil e em duas outras localizadas em países da América do Sul. Para cada um dos pontos amostrais, foram calculados os valores médios de IBUTG e IUV, tendo sido utilizados os seguintes dados meteorológicos: temperatura do ar, pressão do vapor de água, umidade relativa do ar e radiação solar global. Foi avaliado se, entre os pontos amostrais e considerando o total dos dados analisados, os valores de IBUTG e IUV apresentavam associação entre si e com os de temperatura ambiente, umidade relativa do ar, pressão de vapor e radiação solar. Para isso, foi obtido o grau de associação, efetuando-se a análise da matriz de coeficiente da correlação (r) de Pearson, pelo teste t a 5% de probabilidade. Os resultados demonstraram total ausência de correlação entre o índice IBUTG e índice IUV, sendo o primeiro um índice bem correlacionado com a temperatura local, já o segundo teve maior correlação com a radiação local, corroborando o fato de que, localidades que apresentam temperaturas abaixo dos limites de tolerância de exposição ocupacional, de acordo com o IBUTG, podem apresentar condições que exponham os trabalhadores aos riscos de insalubridade decorrentes da exposição a radiação ultravioleta (UV). Conclui-se que os índices IBUTG e IUV são índices com diferentes aplicabilidades, sendo o primeiro apropriado para a caracterização da exposição ocupacional ao calor e o segundo mais eficaz para caracterizar a exposição a radiação UV sendo, ambos, conjuntamente importantes ferramentas para a proposição de medidas preventivas capazes de evitar o adoecimento dos trabalhadores agroflorestais devido a exposição ao calor e a radiação UV.

Palavras-chave: Trabalho Florestal. Insalubridade. Saúde do Trabalhador. Doenças Ocupacionais. Riscos Físicos.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate, in different Brazilian and Latin regions, the existence of a correlation between the Globe Thermometer Wet Bulb Index (WGBT) and the Ultraviolet Index (UVI), as well as the applicability of these indices to determine the risk of developing disorders occupational hazards related to these physical agents in rural workers who develop their work activities in the open. To encompass the greatest possible variation in latitude, altitude and climate between the sampling points, data were collected in five regions located in Brazil and in two others located in South American countries. For each of the sampling points, the average values of WGBT and UVI were calculated, using the following meteorological data: air temperature, water vapor pressure, relative humidity and global solar radiation. It was evaluated whether, between the sampling points and considering the total of analyzed data, the values of WGBT

and UVI were associated with each other and with those of ambient temperature, relative air humidity, vapor pressure and solar radiation. For this, the degree of association was obtained, performing the analysis of Pearson's correlation coefficient matrix (r), using the t test at 5% probability. The results showed a total absence of correlation between the IBUTG index and the IUV index, the first being an index well correlated with the local temperature, the second had a greater correlation with the local radiation, corroborating the fact that, locations that present temperatures below the occupational exposure tolerance limits, according to the WGBT, may present conditions that expose workers to risks of insalubrity resulting from exposure to ultraviolet (UV) radiation. It's concluded that the WGBT and UVI indices are indices with different applicability, being the first appropriate for the characterization of occupational exposure to heat and the second more effective to characterize the exposure to UV radiation, both being together important tools for the proposition of preventive measures capable of preventing agroforestry workers from becoming ill due to exposure to heat and UV radiation.

Keywords: Forest Work. Noxiousness. Workers' Health. Occupational Diseases. Physical Risks.

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo evaluar, en diferentes regiones de Brasil y América Latina, la existencia de una correlación entre el Índice de Bulbo Húmedo Termómetro Globo (IBUTG) y el Índice Ultravioleta (IUV), así como la aplicabilidad de esos índices para determinar el riesgo de desarrollar Enfermedades profesionales relacionadas con estos agentes físicos en trabajadores rurales que desarrollan sus actividades laborales al aire libre. Para cubrir la mayor variación posible de latitud, altitud y clima entre los puntos de muestreo, se recolectaron datos en cinco regiones ubicadas en Brasil y en otras dos ubicadas en países de América del Sur. Para cada uno de los puntos de muestreo se calcularon los valores promedio de IBUTG e IUV, utilizando los siguientes datos meteorológicos: temperatura del aire, presión de vapor de agua, humedad relativa del aire y radiación solar global. Se evaluó si entre los puntos de muestreo y considerando el total de datos analizados, los valores de IBUTG e IUV estaban asociados entre sí y con los de temperatura ambiente, humedad relativa del aire, presión de vapor y radiación solar. Para ello, el grado de asociación se obtuvo analizando la matriz de coeficientes de correlación de Pearson (r), utilizando la prueba t al 5% de probabilidad. Los resultados demostraron una ausencia total de correlación entre el índice IBUTG y el índice UVI, siendo el primero un índice bien correlacionado con la temperatura local, mientras que el segundo tuvo una mayor correlación con la radiación local, corroborando que, lugares que tienen temperaturas por debajo de los límites de tolerancia de exposición laboral, según IBUTG, pueden presentar condiciones que expongan a los trabajadores a riesgos insalubres derivados de la exposición a la radiación ultravioleta (UV). Se concluye que los índices IBUTG y UVI son índices con diferente aplicabilidad, siendo el primero apropiado para caracterizar la exposición ocupacional al calor y el segundo más efectivo para caracterizar la exposición a la radiación UV, siendo ambos herramientas conjuntamente

importantes para proponer medidas preventivas capaces de prevenir la agroforestería. los trabajadores se enfermen debido a la exposición al calor y la radiación ultravioleta.

Palabras clave: Trabajo Forestal. Insalubridad. Salud del Trabajador. Enfermedades Profesionales. Riesgos Físicos.

1 INTRODUÇÃO

O trabalho a céu aberto ou ao ar livre, característico de inúmeras atividades, expõe os trabalhadores aos rigores das variações de temperatura e da radiação solar, dentre outros agentes insalubres. De modo geral, a legislação considera como operações ou atividades insalubres aquelas que, por sua natureza, condições ou métodos de trabalho, exponham os trabalhadores a agentes nocivos à saúde, acima dos limites de tolerância fixados em razão da natureza e da intensidade do agente e do tempo de exposição aos seus efeitos.

Sob essa ótica, Saliba (2016) estabelece que o trabalho insalubre é aquele que afeta ou causa danos à saúde, provocando doenças. No trabalho a céu aberto em regiões tropicais, o principal agente de insalubridade levado em consideração pela higiene ocupacional é o calor. No âmbito ocupacional, o calor pode ser compreendido como um agente de natureza física capaz de possibilitar a ocorrência de modificações no organismo e danos à saúde do trabalhador (SALIBA, 2014) em razão da violação dos limites de tolerância (sobrecarga térmica) fixados, no caso do Brasil, no Anexo nº 3 da Norma Regulamentadora nº 15 - NR-15 (BRASIL, 1978).

Essa mesma normativa legal estabelece limites do Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG) como parâmetro de análise para a quantificação do risco de sobrecarga térmica de acordo com o regime de trabalho e o tipo de atividade realizados (Roscani; Maia; Monteiro, 2019). Ainda, afirmam os autores, o índice é descrito pela norma ISO 7243 e sua utilização na análise de sobrecarga térmica laboral é usual em estudos de diversas regiões do mundo (ISO, 2014).

Decorre que o IBUTG nada mais é do que um índice de sobrecarga

térmica, definido por uma equação matemática que correlaciona alguns parâmetros medidos no ambiente de trabalho (temperatura, calor radiante umidade relativa do ar). Seu cálculo leva em consideração todos os fatores ambientais e fisiológicos do equilíbrio homeotérmico. Isso é suficiente para o entendimento dos riscos e a prevenção das doenças ocupacionais provocadas pela exposição ao calor, tais como a fadiga, estresse, cefaleia e enxaqueca e cefaleia do tipo tensional, corroborando para a falta de saúde mental do trabalhador (Saliba, 2014). Ainda, afirma o autor que, de acordo com a American Conference of Governmental Hygienists (ACGIH), o objetivo principal do gerenciamento da sobrecarga térmica é a prevenção da insolação, que pode ser fatal e é o mais grave dos danos à saúde causados pela exposição ao calor.

Em outra vertente, a preocupação com a ameaça do aumento da taxa de incidência de câncer de pele, danos aos olhos e alterações no sistema imunológico dos trabalhadores que laboram a céu aberto (Greinert et al., 2015; Sena et al., 2016), têm trazido à tona a necessidade de serem levados em conta os efeitos da exposição ocupacional à radiação solar (Oliveira, 2013; Farias et al., 2021). A radiação solar é um fator natural de grande importância visto que modula o clima da superfície terrestre. A região ultravioleta (UV) do espectro solar tem um papel determinante em diversos processos da biosfera, apresentando vários efeitos benéficos e, também, outros tantos capazes de causar danos aos seres humanos, caso não sejam considerados os limites de exposição e segurança (Rojas, 2011).

Trabalhadores que desenvolvem suas atividades ao ar livre apresentam maior risco de câncer de pele, visto que as doses de radiação UV recebidas por esse grupo podem ser de seis a oito vezes maiores do que as recebidas por trabalhadores que exercem suas funções em ambientes fechados (Saraiya et al., 2004). No Brasil, somente no ano de 2020, foram pagos benefícios do tipo auxílio-doença previdenciários a mais de 3.000 trabalhadores decorrentes de neoplasias de pele (MTP, 2020), sendo latente a necessidade do entendimento da exposição a radiação UV e a adoção de medidas preventivas visando evitar a elevada incidência de câncer de pele nos trabalhadores que desenvolvem suas atividades a céu aberto.

Para tanto, diferentes organismos mundiais, sob a coordenação da Organização Mundial da Saúde - OMS, formularam um índice solar mundial de incidência de radiação ultravioleta, denominado Índice Ultravioleta (IUV). Este índice consiste em uma medida simples da intensidade da radiação UV, descrevendo a capacidade desta radiação em produzir queimaduras ou eritemas sobre a pele dos indivíduos expostos (WHO, 2002), ou seja, a capacidade de desenvolvimento de doenças decorrentes da exposição a radiação solar.

Vale ressaltar que a maior ou menor incidência de radiação UV sobre a superfície terrestre está condicionada a diferentes fatores, quais sejam, a hora do dia, a data do ano e a latitude. Ainda, para um dado local, combinam-se a esses fatores a altitude em relação ao nível do mar, a taxa de reflexão da superfície (albedo), a nebulosidade e o nível de contaminação do ar por material particulado (Rojas, 2011). Todos esses fatores são combinados para compor o IUV o qual, em momento algum, leva em consideração a temperatura ambiente, como no caso do IBUTG.

Desta forma, este estudo objetivou verificar a existência de correlação entre o IBUTG e o IUV, bem como verificar a aplicabilidade desses índices para a determinação do risco de desenvolvimento distúrbios ocupacionais relacionados ao calor e a exposição à radiação solar, em trabalhadores a céu aberto.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDOS E DADOS METEOROLÓGICOS

De forma a abranger a maior variação possível de latitude, altitude e clima entre os pontos amostrais, fatores que interferem diretamente nas variáveis de estudo, foram coletados dados em cinco regiões localizadas no Brasil e em duas outras localizadas em países da América do Sul, descritos na Tabela 1. A escolha dessas regiões brasileiras levou em consideração a importância da produção agroflorestal que estas representam e, as demais regiões, para efeito de comparação devido suas características singulares de altitude e latitude.

Tabela 1. Pontos amostrais utilizados para a coleta de dados meteorológicos

Local	Altitude (m)	Coordenadas	Clima ^{1/}
São Mateus - ES	36	18° 43' S - 39° 51' W	Tropical semiúmido (Aw)
Caçador - SC	920	26° 43' S - 51° 00' W	Temperado oceânico (Cfb)
Dom Eliseu - PA	180	04° 17' S - 47° 30' W	Tropical semiúmido (Aw)
Capelinha - MG	1.100	17° 41' S - 42° 30' W	Subtropical úmido (Cfa)
São Joaquim - SC	1.354	28° 17' S - 49° 55' W	Temperado oceânico (Cfb)
La Paz -Bolívia	3.700	16° 29' S - 68° 08' W	Oceânico subpolar (Cwc)
Santiago - Chile	570	33° 26' S - 70° 39' W	Verão seco (Csa)

^{1/} De acordo com a classificação de Köppen-Geiger (Peel et al., 2007).

Fonte: Elaborado pelos Autores.

As análises das variáveis e os cálculos do IBUTG e do IUV para este estudo utilizaram os seguintes dados meteorológicos: temperatura do ar, pressão do vapor de água, umidade relativa do ar e radiação solar global. Para os pontos amostrais localizados no território brasileiro, esses dados foram coletados pela rede de estações meteorológicas de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As estações meteorológicas automáticas fornecem dados atmosféricos históricos coletados a cada hora, sendo estes disponibilizados publicamente.

Para os pontos amostrais localizados fora do território brasileiro, foram utilizados, por sua vez, dados igualmente disponibilizados publicamente, pelos respectivos serviços meteorológicos nacionais (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Bolivia - SENAMBI e Dirección Meteorológica de Chile - METEOCHILE).

Foram consideradas as observações diárias ao longo do ano de 2022 (desde 1º de janeiro até 31 de dezembro), tendo sido levados a efeito para os cálculos os valores médios mensais de temperatura máxima e umidade relativa do ar e os valores médios mensais de radiação solar diária, para cada ponto amostral.

2.2 ESTIMATIVA DO IBUTG

O IBUTG para ambientes externos com carga solar é mensurado por instrumentos específicos, denominados medidores de stress térmico, sendo o resultado das medições, para um determinado local, data e horário, obtido a partir da combinação dos valores de temperatura de bulbo úmido natural, temperatura de globo e a temperatura do ar.

Os medidores de stress térmico estão disponíveis comercialmente, mas são bastante caros e requerem manutenção constante para produzir valores precisos. O Instituto Nacional de Meteorologia não possui medidores de stress térmico em nenhuma de suas estações meteorológicas; as quais medem, dentre outras variáveis, a temperatura e a umidade do ar através de instrumentos meteorológicos padrão.

Desta forma, é possível a estimativa dos valores de IBUTG, calculados a partir de outras variáveis ambientais observadas, operacionalmente, por redes de estações meteorológicas. Neste estudo, foi utilizado o método proposto pelo Australian Bureau of Meteorology (ABM, 2009), conforme apresentado na Equação 1.

$$\text{IBUTG} = 0,567 \times T_a + 0,393 \times P_v + 3,94 \quad (1)$$

onde:

T_a é a temperatura do ar (em °C)

P_v a pressão de vapor (em hPa)

Por sua vez, seguindo outra metodologia proposta por ABM (2009), a pressão de vapor foi calculada a partir da temperatura e da umidade relativa do ar, conforme apresentado na Equação 2

$$P_v = \text{UR} / 100 \times 6,105 \times \exp (17,27 \times T_a / (237,7 + T_a)) \quad (2)$$

onde:

UR é a umidade relativa do ar (em %)

2.3 ESTIMATIVA DO IUV

Para este estudo, os valores de IUV foram estimados a partir dos dados de radiação solar fornecidos pelos respectivos serviços meteorológicos, tendo sido utilizada a metodologia proposta por Foyo-Moreno et al. (1999), descrita na Equação 3.

$$\text{IUV} = ((\text{Rad} / 1000) / 0,0864)) \times 0,04 \quad (3)$$

onde:

Rad é a Radiação Solar diária incidente em um ponto amostral (em KJ/m²)

O IUV parte do princípio de que a dose efetiva acumulada durante o período de uma hora em um metro quadrado de pele varia entre 0 e 1.500 J, o que foi acordado internacionalmente para atribuir o número "1" a 100 J/m².hora, até atingir 16, que corresponderia ao topo da escala em 1.600 J/m².hora, sendo utilizado para informar e prevenir a população sobre os riscos da radiação ultravioleta e propor ações para preservar sua saúde (Butron et al., 2015).

2.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Foi avaliado se, entre os pontos amostrais e considerando o total dos dados analisados, os valores de IBUTG e IUV apresentavam associação entre si e com os de temperatura ambiente, umidade relativa do ar, pressão de vapor e radiação solar. Para isso, foi obtido o grau de associação, efetuando-se a análise da matriz de coeficiente da correlação (r) de Pearson, pelo teste t a 5% de probabilidade; sendo considerada correlação nula quando $r = 0$, fraca quando $0 < r \leq |0,3|$, moderada quando $|0,3| < r \leq |0,6|$, forte quando $|0,6| < r \leq |0,9|$, muito

forte quando $|0,9| < r < |1|$ e perfeita quando $r = 1$, de acordo com Callegari-Jacques (2003). A hipótese de o coeficiente de correlação Pearson ser igual à zero foi avaliada pelo teste t.

Ainda, visando avaliar a existência de diferenças significativas dos valores médios de IUV entre os pontos amostrais, dadas as diferenças de latitude, longitude, altitude e clima entre esses, foi utilizado o teste t de *Student*. Adotado o intervalo de confiança de 95%, os valores foram considerados significativos quando $p > 0,05$.

3 RESULTADOS

Após coletados os dados meteorológicos das sete regiões amostrais, no período de janeiro a dezembro de 2022, os mesmos foram compilados e, então, estimados os valores de IBUTG e IUV, sendo as estatísticas descritivas dos resultados apresentadas na Tabela 2.

Esses resultados demonstram haver grandes variações entre as variáveis climáticas e os índices avaliados quando comparados os diferentes pontos amostrais. Tais variações são inerentes as diferenças de localização geográfica, altitude e clima entre estes locais, as quais interferem diretamente na temperatura ambiente, nos índices de umidade relativa do ar, da pressão de vapor e da radiação solar e, indiretamente, nos índices avaliados.

De forma a verificar a associação entre os índices avaliados (IUV e IBUTG), os valores de temperatura do ar, umidade relativa e radiação solar incidente em cada ponto amostral, durante o período de estudo, foi efetuada a análise da matriz de coeficiente da correlação (r) de Pearson, pelo teste t a 5% de probabilidade, sendo os resultados apresentados na Tabela 3.

Os resultados dessas análises indicaram a ausência de correlação entre os índices avaliados (IUV e IBUTG), denotando a importância do tratamento em separado desses índices, quando de sua utilização em programas de higiene ocupacional. Ainda, a forte correlação positiva entre IUV e a radiação solar demonstra a íntima relação desse índice com o incremento dessa última. Em outra vertente, o IBUTG apresentou forte correlação positiva com a temperatura

ambiente e com a pressão de vapor (relacionada a umidade relativa do ar), indicando que acréscimos em seus valores contribuem significativamente para a elevação do IBUTG e, conseqüentemente, para tornar o ambiente laboral cada vez mais insalubre sob a ótica da exposição ao calor.

Tabela 2. Estatísticas descritivas dos resultados da compilação dos dados meteorológicos e dos cálculos de IBUTG e IUV, ao longo do ano de 2022 para cada região amostral (valores médios, mínimos e máximos)

Ponto Amostrai	Temperatura do Ar (°C)	Umidade Relativa (%)	Pressão de Vapor (hPa)	Radiação Solar (KJ/m ²)	IBUTG (°C)	IUV
São Mateus (ES)	29,3 (26,7 - 32,5)	85,2 (82,0 - 88,4)	34,7 (29,6 - 40,9)	18.238 (14.069 - 23.797)	34,2 (30,7 - 38,5)	8 (7 - 12)
Caçador (SC)	17,5 (13,2 - 21,2)	76,1 (70,7 - 85,0)	15,3 (12,0 - 19,1)	13.797 (6.459 - 17.575)	19,9 (16,2 - 23,4)	6 (3 - 8)
Dom Eliseu (PA)	26,8 (25,6 - 28,2)	81,5 (69,5 - 92,1)	28,5 (25,2 - 30,4)	17.719 (15.668 - 20.684)	30,3 (29,2 - 31,2)	8 (7 - 10)
Capelinha (MG)	21,0 (17,5 - 24,0)	80,1 (67,3 - 87,6)	19,9 (16,4 - 23,3)	16.764 (13.852 - 22.429)	23,7 (20,3 - 26,3)	8 (6 - 10)
São Joaquim (SC)	19,8 (14,8 - 23,5)	76,8 (62,8 - 82,6)	18,0 (12,8 - 22,7)	18.110 (9.897 - 23.449)	22,2 (17,4 - 26,1)	8 (5 - 11)
La Paz (Bolívia)	7,4 (5,1 - 8,9)	53,9 (42,0 - 72,0)	5,6 (3,8 - 7,8)	20.760 (10.440 - 30.960)	10,3 (8,3 - 11,7)	10 (5 - 14)
Santiago (Chile)	15,7 (8,3 - 22,6)	77,2 (53,0 - 94,0)	13,6 (10,3 - 18,9)	21.930 (10.080 - 33.840)	18,2 (12,7 - 23,0)	10 (5 - 16)

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Tabela 3. Matriz de coeficientes de correlação linear de Pearson entre as variáveis de estudo, considerando as médias mensais do ano de 2022 em todas as regiões amostrais

Variáveis	IUV	IBUTG	T	UR	RAD
IBUTG	0,064 ^{ns}				
T	0,113*	0,990*			
UR	- 0,318*	0,576*	0,518*		
RAD	1,000*	0,059 ^{ns}	0,111*	- 0,297*	
PV	0,006 ^{ns}	0,987*	0,953*	0,628*	0,006 ^{ns}

* Significativo em 5% de probabilidade de erro, pelo teste t. ^{ns} Não significativo.

Legenda: IUV = Índice Ultravioleta; IBUTG = Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo; T = Temperatura do ar; UR = Umidade relativa do ar; RAD = Radiação solar; PV = Pressão de vapor.

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Na Tabela 4, estão apresentados os resultados do teste t para as comparações de IUV médio entre os diferentes pontos amostrais durante o ano de 2022. Pela aplicação do teste t, verificou-se a existência de diferença significativa, a 95% de probabilidade, entre os valores de IUV para a maioria dos pontos amostrais, quando comparados mutuamente, indicando se tratar de um

índice capaz de representar as especificidades geográficas e climáticas de cada local quando se considera a exposição dos trabalhadores a radiação solar.

Tabela 4. Resultado do teste t para as médias de IUV, comparando os valores obtidos ao longo do ano de 2022 nas diferentes regiões amostrais

Pontos Amostrais	São Mateus (ES)	Caçador (SC)	Dom Eliseu (PA)	Capelinha (MG)	São Joaquim (SC)	La Paz (Bolívia)
Caçador (SC)	0,499*					
Dom Eliseu (PA)	0,722*	0,051*				
Capelinha (MG)	0,044 ^{ns}	0,231*	0,364*			
São Joaquim (SC)	0,915*	< 0,001 ^{ns}	0,829*	0,370*		
La Paz (Bolívia)	0,123*	< 0,001 ^{ns}	0,249*	0,065*	0,019 ^{ns}	
Santiago (Chile)	0,071*	0,001 ^{ns}	0,174*	0,147*	0,016 ^{ns}	0,023 ^{ns}

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste t com 18 graus de liberdade.

^{ns} Não significativo.

Fonte: Elaborado pelos Autores.

4 DISCUSSÃO

A partir dos resultados apresentados, verifica-se que o IBUTG não apresenta correlação com o IUV, isto é, devem ser analisados separadamente. Posto isso, conforme normatizado, o IBUTG é indicado somente para estudar as consequências do calor nas respostas fisiológicas do corpo humano, possuindo relação direta com a temperatura média e máxima dos ambientes ocupacionais (Nascimento; Higuchi; Emmet, 2018; Ramiro et al., 2021).

A mensuração dos valores de IBUTG indicam os potenciais riscos decorrentes da exposição ao calor oriundo da carga solar, além das doenças resultantes desta exposição (Monteiro, Pereira; Rios, 2018). O estresse causado pelo calor acarreta em fadiga mental e física, afeta o humor, a concentração, cujas alterações psicofisiológicas levam ao aumento do risco de acidentes do trabalho (Slappendel et al., 1993; Wasterlund, 1998; Kjellstrom; Crowe, 2011). A perda de água e sais minerais por meio do suor é outro fator que causa fadiga e aumenta a possibilidade de ocorrência de estresse térmico (Maeda et al., 2006; Kjellstrom, 2009).

Sob essa ótica, o IBUTG constitui-se em uma importante ferramenta para a gestão da organização do trabalho sob temperaturas extremas, como no caso do trabalho a céu aberto, sendo essencial para o conhecimento do risco existente

para os trabalhadores que laboram sob tal condição. A razão básica para determinar esse limite de tolerância é que em ambientes extremamente quentes, as respostas fisiológicas e outras respostas sensoriais podem ser elevadas a ponto de os humanos serem incapazes de manter a temperatura corporal dentro de uma faixa razoável (Nag; Nag; Ashtekar, 2007).

As estruturas celulares, sistemas enzimáticos e outros processos químicos e físicos podem ser afetados, culminando em doenças ou distúrbios hipertérmicos. As atividades agroflorestais a céu aberto classificadas como trabalho moderadamente pesado cobrem quase dois terços do total de horas-homem, e o trabalho pesado leva cerca de 12% do total de horas-homem envolvido nessas atividades (Nag; Sebastian; Malvankar, 1980). Com um nível tão alto de carga metabólica e ambiental sustentada, mesmo os trabalhadores naturalmente aclimatados podem estar em risco de diminuição da capacidade de recrutar unidades motoras e motivação para o trabalho, o que contribui sobremaneira para o adoecimento dos trabalhadores e para a ocorrência de acidentes.

Entretanto, somente a temperatura não se caracterizou como variável competente para identificar e prevenir doenças associadas à exposição à radiação ultravioleta, especialmente o câncer de pele (Sur; MondaL; Kanoria, 2019; Vargas et al., 2021), visto apresentar correlação praticamente nula com os níveis de radiação solar e com o IUV.

Em contrapartida, o IUV se apresenta como uma medida simples do nível de radiação UV na superfície da terra e um indicador do potencial de danos à pele, os primeiros sintomas adversos que ocorrem devido à exposição dos trabalhadores a essa radiação (Fioletov; Kerr; Fergusson, 2010).

Todos estão expostos à radiação UV do sol e muitas pessoas estão expostas à radiação UV também durante suas atividades de trabalho. Os trabalhadores expostos ocupacionalmente podem ser classificados em dois grupos: os potencialmente altamente expostos e os que recebem baixa exposição. Grupos altamente expostos incluem trabalhadores ao ar livre na indústria da construção, trabalhadores agroflorestais e pescadores. Grupos ocupacionais que passam uma pequena proporção de seu tempo laboral ao ar

livre pertencem à categoria de baixa exposição e incluem professores e trabalhadores da indústria e comércio, dentre outros (Leccesi, et al., 2018). Desta forma, estimativas diárias de radiação UV são necessárias no âmbito ocupacional para avaliar o risco fotobiológico e proteger a saúde do trabalhador.

Como demonstrado, o IUV não possuiu relação com a temperatura do ambiente, ou seja, locais com valores baixos de temperatura média podem apresentar IUV elevado, a exemplo das cidades andinas de Santiago e La Paz, ou seja, trata-se de um índice capaz de incorporar outras variáveis edafoclimáticas além da temperatura, na avaliação da exposição ocupacional a radiação solar (Moran et al., 2004; Fioletov; Kerr; Fergusson, 2010). Estas variáveis são determinantes para a caracterização da exposição ocupacional a radiação solar em cada localidade e mesmo os riscos de danos de IUV entre 8 e 10, pela exposição desprotegida ao sol, são considerados muito altos, e devem ser adotadas precauções extras com a pele e os olhos dos trabalhadores (Vanicek et al., 1999).

Desta forma, para os trabalhadores que desenvolvem suas atividades a céu aberto em ambientes predominantemente rurais, em locais classificados como de alto risco pelo histórico climático-ambiental e pelo IUV, é indicada, de antemão, a adoção de medidas de prevenção visando evitar o surgimento de doenças de olhos e pele, neste caso principalmente o câncer de pele (Roscani; Maia; Monteiro, 2019). Ainda, afirmam os autores, além dos aspectos relativos ao trabalho propriamente dito, em perspectiva futura, de maneira global, espera-se o agravamento das condições de risco relacionadas à sobrecarga térmica dos trabalhadores a céu aberto em função das mudanças climáticas que vêm sendo apontadas por diversos estudos e reconhecidas pela Organização das Nações Unidas (ONU)..

5 CONCLUSÕES

Os índices IBUTG e IUV não apresentam correlação entre si sendo, portanto, índices com diferentes aplicabilidades, embora complementares quanto ao entendimento dos agentes físicos aos quais estão submetidos os

trabalhadores em condições de trabalho a céu aberto.

O IBUTG se mostra apropriado para a caracterização da exposição ocupacional ao calor em condições de trabalho a céu aberto, sendo eficaz para a determinação de medidas de prevenção de doenças relacionadas à sobrecarga térmica nos trabalhadores.

Por sua vez, o IUV apresenta suficiente eficácia para caracterizar a exposição a radiação solar, em se tratando de trabalho a céu aberto, sendo uma importante ferramenta para a proposição de medidas preventivas capazes de evitar o surgimento de doenças de olhos e pele, neste caso principalmente o câncer de pele.

Os resultados desta pesquisa fornecem percepções cruciais para a saúde e segurança ocupacional dos trabalhadores rurais, demonstrando a falta de correlação entre o IBUTG e o IUV. Essa descoberta destaca a necessidade de abordagens distintas para lidar com os riscos de calor e radiação UV no local de trabalho, permitindo a implementação de medidas específicas de proteção contra os efeitos do calor e da radiação UV.

Além disso, os achados têm implicações para o planejamento urbano e rural, destacando a importância da colaboração interdisciplinar entre meteorologia, saúde ocupacional e ergonomia para promover ambientes de trabalho mais seguros e saudáveis. Por fim, essa pesquisa fornece uma base sólida para futuras investigações e políticas destinadas a proteger os trabalhadores e melhorar as condições de trabalho em regiões agrícolas do Brasil e da América Latina.

Entretanto, o estudo apresenta algumas limitações, como a dependência de dados coletados em um período específico, a exclusão de outras ocupações afetadas pela exposição ao calor e à radiação UV, a metodologia de correlação de Pearson que pode não capturar totalmente a relação entre os índices, a representatividade limitada das regiões estudadas e a necessidade de pesquisas futuras para abordar essas lacunas e melhorar a compreensão dos riscos ocupacionais em diferentes contextos geográficos e ocupacionais.

REFERÊNCIAS

- ABM - AUSTRALIAN BUREAU OF METEOROLOGY. **Thermal comfort observations**. 2009. Disponível em: <http://www.bom.gov.au/info/thermal_stress/>. Acesso em 09 Nov 2021.
- BRASIL. Norma Regulamentadora Nº 15: atividades e operações insalubres. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, **Diário Oficial da União**, 1978. Disponível em: <<https://cutt.ly/3OtY1Kr>>. Acesso em 13 Dez 2021.
- BUTRON, F.J.H.; HUÁNUCO, E.L.; REYES, K.B.; FARROÑAY, C.P.; ROJAS, J.M.G. Comportamiento de la radiación ultravioleta y la temperatura ambiental en el distrito de Chimbote, el 2014. **Conocimiento para el Desarrollo**, v. 6, n. 2, p.: 9-16. 2015.
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística**: princípios e aplicações (1. Ed.). Artmed Editora, 2003. 264 p.
- FARIAS, M.B.; TOCANTINS, L.B.C.; SANTOS, L.S.; COSTA, T.; GALLES, C.B.; BRAZ, F.R. Risco de Câncer de pele devido à exposição solar ocupacional: uma Revisão Sistemática. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 4, n. 6, p. 26365-26376, 2021.
- FIOLETOV, V.; KERR, J. B.; FERGUSON, A. The UV index: definition, distribution and factors affecting it. **Canadian Journal of Public Health**, v. 101, p. 15-19, 2010.
- FOYO-MORENO, I.; VIDA, J.; ALADOS-ARBOLEDAS, L. A Simple all weather model to estimate ultraviolet solar radiation (290–385 nm). **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 38, n. 7, p. 1020-1026. 1999.
- GREINERT, R.; DE VRIES, F.; ESPINA, C.; AUVINEN, A.; KESMINIENE, A.; SCHÜZ, J. European Code against cancer 4th edition: ultraviolet radiation and cancer. **Cancer Epidemiology**, v. 39, suppl 1, p. S75-S83, 2015.
- IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), p. 1-6, 2018.
- KJELLSTROM, T. Climate change, direct heat exposure, health and well-being in low and middle-income countries. **Global Health Action**, n. 2, p. 1-3, 2009.
- KJELLSTROM, T.; CROWE, J. Climate change, workplace heat exposure, and occupational health and productivity in Central America. **Climate International Journal of Occupational & Environmental Health**, v. 17, n. 3, p. 270-281, 2011.

LECCESE, F.; SALVADORI, G.; LISTA, D.; BURATTINI, C. Outdoor workers exposed to UV radiation: comparison of UV index forecasting methods. 2018

MAEDA, T.; KANEKO, S.; OHTA, M.; TANAKA, K.; SASAKI, A.; FUKUSHIMA, T. Risk factors for heat stroke among Japanese forestry workers. **Journal of Occupational Health**, v. 48, p. 223-229, 2006.

MONTEIRO, E. N.; PEREIRA, C. M.; RIOS, E. N. Avaliação da exposição ocupacional ao calor experimentada por operadores de caldeiras a lenha: estudo de caso. **UNESC em Revista**, v. 2, n. 1, p. 34-50, 2018.

MORAN, D. S.; PANDOLF, K. B.; VITALIS, A.; HELED, Y.; PARKER, R.; GONZALEZ, R. R. The role of solar and UV radiation in environmental stress assessment. **Journal of Thermal Biology**, v. 29, p. 529-533, 2004.

MTP - Ministério do Trabalho e Previdência. **Dados estatísticos** - Saúde e segurança do trabalhador - Benefícios Previdenciários e Acidentários. 2020. Disponível em: <<https://cutt.ly/xYc403c>>. Acesso em 12 Nov 2021.

NAG, P. K.; NAG, A.; ASHTEKAR, S.P. Thermal limits of men in moderate to heavy work in tropical farming. **Industrial Health**, v. 45, p. 107-117, 2007.

NAG, P. K.; SEBASTIAN, N. C.; MALVANKAR, M. G. Occupational workload in Indian agricultural workers. **Ergonomics**, v. 23, p. 91-102, 1980.

NASCIMENTO, K. A. O.; HIGUCHI, N.; EMMET, F. A exposição de trabalhadores florestais ao calor durante o fenômeno *El Niño Godzilla* na Amazônia. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, n. 1, p. 84-90, 2018.

OLIVEIRA, M. M. F. Radiação ultravioleta/índice ultravioleta e câncer de pele no Brasil: condições ambientais e vulnerabilidades sociais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 13, n. 2, p. 60-73. 2013.

PEEL, M.C.; FINLAYSON, B.L.; McMAHON, T.A. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, p. 1633-1644, 2007.

RAMIRO, L. D.; SABINO, P. H. S.; OLIVEIRA JÚNIOR, G. G.; SILVA, A. B. Workers' exposure to occupational heat during manual coffee harvesting. **Ciência Rural**, v. 51, n. 11, e20200556, 2021.

ROJAS, J.E.P. (Coord.) **Guía técnica radiación ultravioleta de origen solar**. Santiago: Gobierno de Chile. 2011. 46 p. Disponível em: <<https://cutt.ly/rk4paW0>>. Acesso em 08 Jan 2021.

ROSCANI, R. C.; MAIA, P. A.; MONTEIRO, M. I. Sobrecarga térmica em áreas rurais: a influência da intensidade do trabalho. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 44, e14, p. 1-9, 2019.

SALIBA, T.M. **Manual Prático de Avaliação e Controle de Calor**. PPRA. São Paulo: LTr. 2014. 80 p.

SALIBA, T.M. **Curso básico de segurança e higiene ocupacional**. São Paulo: LTr. 2016. 496 p.

SARAIYA, M.; GLANZ, K.; BRISS, P.A.; et al. Interventions to prevent skin cancer by reducing exposure to ultraviolet radiation. A systematic review. **American Journal of Preventive Medicine**, v. 27, n. 5, p. 422-466, 2004.