

MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

Jelvis Santos Machado

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

**Montes Claros
2022**

Jelvis Santos Machado

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

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Stanley Schettino.

Montes Claros
05 de setembro de 2022

Machado, Jelvis Santos.

M149t
2022

Trabalho a céu aberto e sua relação com a saúde dos trabalhadores [manuscrito]:
exposição ao calor e a radiação solar / Jelvis Santos Machado. Montes Claros, 2022.
47 f.: il.

Dissertação (mestrado) - Área de concentração em Ciências Florestais.
Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador: Stanley Schettino

Banca examinadora: Edy Eime Pereira Baraúna, Denise Ransolin Soranso.

Inclui referências: f. 17-21; 35-37

1. Trabalhadores florestais -- Teses. 2. Segurança do trabalho -- Teses. 3. Saúde
ambiental -- Teses. 4. Doenças profissionais -- Teses. I. Schettino, Stanley. II.
Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 630



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos 05 dias do mês de outubro do ano de dois mil e vinte e dois, às 08:30 horas, sob a Presidência do Professor Stanley Schettino, D. Sc. (Orientador - UFMG/ICA) e com a participação dos Professores Edy Eime Pereira Baraúna, D. Sc. (UFMG/ICA) e Denise Ransolin Soranso, D. Sc. (UNIFEI), reuniu-se, nas dependências do ICA/UFMG, a Banca de Defesa de Dissertação de **JELVIS SANTOS MACHADO**, aluno do Curso de Mestrado em Ciências Florestais. Após a avaliação do referido aluno, a Banca Examinadora procedeu à publicação do resultado da defesa da Dissertação intitulada: **“TRABALHO A CÉU ABERTO E SUA RELAÇÃO COM A SAÚDE DOS TRABALHADORES: EXPOSIÇÃO AO CALOR E A RADIAÇÃO SOLAR”**, sendo o aluno considerado **APROVADO**. E, para constar, eu, Professor Stanley Schettino, Presidente da Banca, lavrei a presente ata que depois de lida e aprovada, será assinada por mim e pelos demais membros da Banca Examinadora.

OBS.: O aluno somente receberá o título após cumprir as exigências do Artigo 74 do regulamento do Curso de Mestrado em Ciências Florestais, conforme apresentado a seguir:

Art. 74 – Para dar andamento ao processo de efetivação do grau obtido, o candidato deverá, após a aprovação de sua Dissertação e da realização das modificações propostas pela banca examinadora, se houver, encaminhar à secretaria do colegiado do Curso, com a anuência do orientador, no mínimo 3 (três) exemplares impressos e 1 (um) exemplar eletrônico da dissertação, no prazo de 60 (sessenta) dias.

Montes Claros, 05 de outubro de 2022.

Assinatura dos membros da banca examinadora:



Documento assinado eletronicamente por **Stanley Schettino, Professor do Magistério Superior**, em 05/10/2022, às 11:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Edy Eime Pereira Barauna, Membro de comitê**, em 05/10/2022, às 11:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Denise Ransolin Soranso, Usuário Externo**, em 05/10/2022, às 11:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1776399** e o código CRC **F10D3E3F**.

TRABALHO A CÉU ABERTO E SUA RELAÇÃO COM A SAÚDE DOS TRABALHADORES: EXPOSIÇÃO AO CALOR E A RADIAÇÃO SOLAR

RESUMO

Grande parte das atividades agroflorestais são desenvolvidas em campo, a céu aberto, sujeitas às intempéries climáticas, exposição ao calor e radiação ultravioleta (UV) e demais condições estressantes. No Brasil, somente o Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG) é normatizado para avaliações de exposição ocupacional ao calor e este não leva em consideração variáveis importantes e específicas para a mensuração da radiação UV, fator que pode ocasionar fragilidade na caracterização dos agentes ambientais nocivos presentes nas atividades rurais desenvolvidas a céu aberto. A região de radiação UV, embora classificada como não ionizante e não reconhecida na legislação brasileira, pode causar câncer de pele, envelhecimento precoce, catarata e queimaduras. Há que se considerar, ainda, que a radiação UV pode variar em sua intensidade a depender de fatores diversos como latitude, altitude, reflexão da superfície local (albedo), nebulosidade, dentre outros fatores que, nem sempre estarão relacionados diretamente com a temperatura ou sensação térmica local. Desta forma, este estudo objetivou avaliar, em diferentes regiões brasileiras e latinas, a existência de correlação entre o IBUTG e o índice Ultravioleta (IUV), bem como a aplicabilidade desses índices para a determinação do risco de desenvolvimento de 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 utilizados dados de cinco regiões localizadas no Brasil e em outras duas localizadas em países da América do Sul. Para cada uma das regiões amostradas, utilizando equações de regressão, foram estimados os valores médios de IBUTG e IUV, com base nos seguintes dados meteorológicos: temperatura do ar, pressão do vapor de água, umidade relativa do ar e radiação solar global. Os resultados demonstraram que não houve correlação entre o IBUTG e o 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 à radiação UV. Conclui-se que os índices IBUTG e IUV são índices com diferentes aplicabilidades, sendo o IBUTG apropriado para a caracterização da exposição ocupacional ao calor e o IUV 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.

OUTDOOR WORK AND ITS RELATIONSHIP WITH THE WORKERS' HEALTH: EXPOSURE TO HEAT AND SOLAR RADIATION

ABSTRACT

A large part of agroforestry activities are carried out in the field, in the open, subject to weather conditions, exposure to heat and ultraviolet radiation (UV) and other stressful conditions. In Brazil, only the Globe Thermometer Wet Bulb Index (WGBT) is standardized for assessments of occupational exposure to heat and it does not take into account important and specific variables for the measurement of UV radiation, a factor that can cause fragility in the characterization of the agents. harmful environmental factors present in rural activities carried out in the open. The UV radiation region, although classified as non-ionizing and not recognized in Brazilian legislation, can cause skin cancer, premature aging, cataracts and burns. It should also be considered that UV radiation can vary in its intensity depending on several factors such as latitude, altitude, local surface reflection (albedo), cloud cover, among other factors that are not always directly related to temperature or temperature. local thermal sensation. Thus, this study aimed to evaluate, in different Brazilian and Latin regions, the existence of a correlation between the WGBT and the Ultraviolet Index (UVI), as well as the applicability of these indices to determine the risk of developing occupational disorders related to these physical agents. in rural workers who develop their work activities in the open. In order to encompass the greatest possible variation in latitude, altitude and climate between the sampling points, data from five regions located in Brazil and two other located in South American countries were used. For each of the sampled regions, using regression equations, the mean values of WGBT and UVI were estimated, based on the following meteorological data: air temperature, water vapor pressure, relative humidity and global solar radiation. The results showed that there was no correlation between the WGBT and the UVI, the first being an index well correlated with the local temperature, while the second had a greater correlation with the local radiation, corroborating the fact that, locations that present temperatures below the limits of occupational exposure tolerance, according to the WGBT, may present conditions that expose workers to the risks of insalubrity resulting from exposure to UV radiation. It is concluded that the WGBT and UVI indices are indices with different applicability, being the WGBT appropriate for the characterization of occupational exposure to heat and the IUV 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.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Máximo diário do Índice Ultravioleta para o Brasil	14
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de pele e reação conforme exposição à radiação UV	12
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pontos amostrais utilizados para a coleta de dados meteorológicos ...	26
Tabela 2 - Estatísticas descritivas dos resultados da compilação dos dados meteorológicos e dos cálculos de IBUTG e IUV, ao longo do ano de 2020 para cada região amostral (valores médios, mínimos e máximos)	30
Tabela 3 - Matriz de coeficientes de correlação linear de Pearson entre as variáveis de estudo, considerando as médias mensais do ano de 2020 em todas as regiões amostrais	31
Tabela 4 - Resultado do teste t para as médias de IUV, comparando os valores obtidos ao longo do ano de 2020 nas diferentes regiões amostrais	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo geral	13
2.2 Objetivos específicos	13
3 REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 Trabalho a céu aberto	14
3.2 Efeitos do trabalho a céu aberto na saúde do trabalhador	16
3.3 Avaliação da exposição ao calor	17
3.4 Radiação solar e índice ultravioleta.....	19
3.5 Legislação trabalhista.....	23
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
5 ARTIGO	31

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. A legislação brasileira 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 (BRASIL, 1978).

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 Anexo nº 3 da Norma Regulamentadora nº 15 - NR-15 (BRASIL, 1978). Cabe ressaltar que essa norma estabelece que a insalubridade não se aplica a atividades ocupacionais realizadas a céu aberto sem fonte artificial de calor.

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 realizadas (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 considera apenas os valores de temperatura (medida em termômetros de bulbo seco, de bulbo úmido e de globo) obtidos no ambiente de trabalho. Seu cálculo leva em consideração todos

os fatores ambientais e fisiológicos do equilíbrio homeotérmico, tais como a carga de trabalho, a taxa metabólica e o tipo de vestimenta utilizado pelo trabalhador. 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 melhoria da saúde 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), 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). Cabe destacar que as atividades realizadas nos setores florestal e agrícola são, predominantemente, realizadas a céu aberto e, ainda, no caso do Brasil e seu clima tropical, sob condições climáticas nem sempre favoráveis ao conforto térmico.

Trabalhadores que realizam suas atividades laborais ao ar livre apresentam maior risco de desenvolverem 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 à 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, ou seja, a capacidade de desenvolvimento de doenças decorrentes da exposição à 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.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

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 de distúrbios ocupacionais relacionados ao calor e a exposição à radiação solar, em trabalhadores a céu aberto.

2.2 Objetivos específicos

- Selecionar regiões que apresentem, entre elas, consideráveis variabilidades geográficas e climáticas e que apresentem significativo potencial agrícola e florestal.
- Criar banco de dados, a partir da coleta de dados meteorológicos de cada uma das regiões escolhidas, a partir de suas respectivas estações meteorológicas locais.
- Estimar o índice IBUTG e IUV para cada uma das regiões selecionadas
- Analisar a correlação entre os valores de IBUTG e IUV.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Trabalho a céu aberto

As mudanças climáticas, assim como as mudanças no meio ambiente, têm gerado consequências significativas para a saúde humana. Esses efeitos podem ser ainda mais impactantes para os trabalhadores que desenvolvem suas tarefas ao ar livre e passam a maior parte do tempo diretamente expostos às variáveis ambientais (DEAR et al., 2013).

Condições ambientais hostis, que apresentem temperaturas elevadas combinadas a atividades que demandam de significativo esforço físico, atrelados ainda, ao uso de vestimentas inadequadas, podem promover elevação inapropriada da temperatura interna do corpo humano (termorregulação). Este fenômeno, por sua vez, promoverá ativação das glândulas sudoríparas, vasodilatação, desidratação, câimbras, choque térmico ou insolação, entre outros. Esses sintomas de doenças são recorrentes quando a exposição ao calor atinge níveis críticos, ocasionando um estado de superaquecimento térmico do corpo humano, o que pode levar a uma série de sintomas e reações fisiológicas conhecidas como estresse térmico. (GUYTON, 1993; KROEMER; GRANDJEAN, 2005; ACGIH, 2010; CAMARGO; FURLAN, 2011).

Ao trabalhar nessas condições, o corpo do indivíduo é perturbado e pode sofrer uma sobrecarga fisiológica, pois, ao aumentar sua temperatura, os mecanismos fisiológicos de perda de calor (sudorese e vasodilatação periférica, principalmente) vão trabalhar para perder o excesso de calor (FEITOSA, 2019).

Devido ao fato do ser humano ser homeotérmico, ou seja, praticamente não há alteração da temperatura do seu sangue, o homem consegue tolerar bem variações de -50° até 100°C , desde que adequadamente protegido. No entanto, apesar dessa ampla faixa de tolerância, o ser humano não tem condições de tolerar variações de 4°C na sua temperatura interna sem que ocorram comprometimento da capacidade física e mental e risco de vida (ROSA; LIMA, 2019).

De acordo com Couto (2002), atividades laborais desenvolvidas em ambientes com altas temperaturas fazem com que o organismo passa a ter como

prioridade a dissipação de calor corpóreo, reduzindo significativamente sua capacidade de trabalho físico. O autor cita, ainda, que quanto mais intenso for o trabalho físico, tanto menor será a tolerância do trabalhador ao ambiente quente; quanto mais quente o ambiente de trabalho, tanto menor a tolerância do trabalhador à atividade física e mental.

Indiretamente, essa exposição ao calor excessivo pode resultar em acidentes do trabalho, devido a níveis mais altos de fadiga, lapsos de concentração e tomadas de decisão erradas (MORABITO et al., 2014; JIA; ROWLINSON; CICCARELLI, 2016).

Além dos problemas relacionados a elevação da temperatura corporal os trabalhos que são realizados, em sua maior parte, a céu aberto, estão condicionados a expor seus trabalhadores à radiação ultravioleta (R-UV) e, portanto, submete-os a demais riscos à saúde. A exposição à radiação UV sem proteção adequada é cancerígena à pele, está associada a diversas neoplasias cutâneas e pode causar depressão imunológica, além de lesões oculares. Carteiros, trabalhadores da construção civil, jardineiros, garis, trabalhadores rurais, mineradores, pescadores, entre outros, fazem parte dessa população de risco, que podem ser classificados como classes de maior vulnerabilidade, como discutido por Oliveira (2013). O eritema ou queimadura solar, o bronzeamento ou melanogênese e a indução à imunossupressão, são os efeitos mais notados a curto prazo. Já as exposições a longo prazo podem ocasionar efeitos relacionados ao fotoenvelhecimento e à fotocarcinogênese (OKUNO; VILELA, 2005).

Os efeitos das temperaturas extremas e da radiação UV sobre os trabalhadores são frequentemente discutidos em diversos estudos, em várias regiões do mundo e em diferentes atividades laborais. Complicações renais foram relacionados a trabalhos a céu aberto em meio rural na Tailândia (TAWATSUPA et al., 2012). Em trabalhadores de fazendas do estado do Oregon, nos EUA, foram descritos diversos sintomas relacionados ao calor, como erupções cutâneas, cãibras, espasmos musculares, tontura, desmaio, dor de cabeça, sudorese severa, fadiga e extrema fraqueza, náuseas, vômito e estado de confusão (BETHEL, HARGER, 2014). Barbosa (2011) observou as consequências cardiovasculares em cortadores de cana-de-açúcar no Brasil, tendo encontrado alterações na saúde dos trabalhadores associadas a

sobrecarga térmica. Há ainda registros de casos extremos no estado da Carolina do Norte, EUA, entre 1977 e 2001, onde foram relatadas 40 mortes relacionadas ao calor no local de trabalho, das quais 16 ocorreram em propriedades rurais (MIRABELLI, RICHARDSON, 2005).

3.2 Efeitos do trabalho a céu aberto na saúde do trabalhador

Entre todos os tipos de neoplasias malignas diagnosticadas em toda parte do mundo, o câncer de pele não melanoma é a neoplasia com maior frequência de manifestação encontrada, sendo para ambos os sexos (BRAY et al., 2018)

Classes ocupacionais que exercem suas atividades em meio a exposição solar, como é o caso dos trabalhadores rurais, têm apresentado maiores taxas de desenvolvimento de câncer de pele não melanoma se comparado a classes que não são expostas a luz solar (DIEPGEN et al., 2014).

Os dados do Instituto Nacional do Câncer (INCA, 2020) estimaram o quantitativo de novos casos de câncer de pele não melanoma esperados, para cada ano do triênio 2020-2022, sendo no Brasil 83.770 novos casos de câncer de pele não melanoma entre homens e 93.160 em mulheres. Esses valores correspondem a um risco estimado de 80,12 casos novos a cada 100 mil homens e 86,65 para cada 100 mil mulheres.

Ainda, segundo INCA, 2020), o câncer de pele não melanoma em homens é mais incidente nas Regiões Sul, Centro-Oeste e Sudeste, com um risco estimado de 123,67/100 mil, 89,68/100 mil e 85,55/100 mil, 50 respectivamente. Nas Regiões Nordeste e Norte, ocupa a segunda posição, com um risco estimado de 65,59/100 mil e 21,28/100 mil, respectivamente. No que diz respeito às mulheres, o câncer de pele não melanoma é mais incidente em todas as Regiões brasileiras, com um risco estimado de 125,13/100 mil (Centro-Oeste), 100,85/100 mil (Sudeste), 98,49/100 mil (Sul), 63,02/100 mil (Nordeste) e 39,24/100 mil (Norte)

Os trabalhadores que laboram em atividades a céu aberto quando expostos sem proteção adequada ou sem medidas de controle dos níveis de radiação solar UV, possivelmente estarão submetidos a limites de exposição excedidos (INCA, 2020).

Há que se considerar que atividades agrícolas, florestais, da construção civil, dentre outras, desenvolvidas em campo, a céu aberto, sujeitas às intempéries climáticas, radiação ultravioleta e demais condições estressantes, são desenvolvidas em sua grande maioria por trabalhadores com baixo grau de instrução, fator esse que diminui sua capacidade cognitiva e dificulta a percepção dos problemas ocupacionais e riscos ambientais a que os mesmos ficam expostos durante a execução de suas atividades, dificultando assim a aplicação de medidas de proteção que possam eliminar os riscos de acidentes e desenvolvimento de doenças ocupacionais (SCHETTINO et al., 2020).

3.3 Avaliação da exposição ao calor

Existem vários índices para avaliação da exposição ao calor, dentre os quais se destacam os Índice de Temperatura Efetiva Corrigida, Índice de Sobrecarga Térmica, Índice do Termômetro de Globo Úmido, Índice de Bulbo Úmido e o Termômetro de Globo (IBUTG); no entanto, a Norma Regulamentadora (NR) 15 - Anexo 3 (BRASIL, 1978), prescreve o uso do IBUTG para avaliação da exposição ao calor.

O IBUTG é o principal parâmetro de análise para a quantificação do estresse térmico. Esse índice foi desenvolvido por Yaglou; Minard (1957), inicialmente, para estudar as relações entre o calor e suas consequências fisiológicas durante treinamentos militares, sendo o índice adotado pela *International Organization for Standardization*, tendo aprovação mínima de 75% dos países membros dessa organização.

Este índice funciona como um indicador que engloba os principais fatores causadores da sobrecarga térmica (alta temperatura, calor radiante e alta umidade relativa do ar) e, também, os principais fatores atenuadores da mesma (ventilação do ambiente, baixa umidade relativa do ar e baixa temperatura) fornecendo uma escala de tempo de trabalho e de tempo de repouso para aquela situação (COUTO, 2002).

De acordo com Batista (2010) conforme as temperaturas identificadas no ambiente de estudo são possíveis calcular os índices das sensações térmicas e correlacionar a carga térmica a atividade que o trabalhador está desenvolvendo.

No cálculo do IBUTG são levados em conta três medições: temperatura de bulbo seco (Tbs) ou temperatura do ambiente; temperatura de bulbo úmido natural (Tbn), que representa o efeito das trocas de calor por evaporação e convecção; e temperatura de globo (Tg), que representa o efeito das trocas de calor por radiação e convecção. O IBUTG em ambiente externo com carga solar é dado pela equação a seguir (FUNDACENTRO, 2017):

$$\text{IBUTG} = 0,7 \text{ tbn} + 0,2 \text{ tg} + 0,1 \text{ tbs}$$

sendo:

tbn = temperatura de bulbo úmido natural em °C

tg = temperatura de globo em °C

tbs = temperatura de bulbo seco (temperatura do ar) em °C

A Coordenação de Higiene do Trabalho da FUNDACENTRO publicou, em 1985, uma série de normas técnicas denominadas Normas de Higiene do Trabalho (NHT), hoje intituladas Normas de Higiene Ocupacional (NHO). A NHO 06 traz como tema central os procedimentos técnicos para a avaliação da exposição ocupacional ao calor (FUNDACENTRO, 2017). Esta norma, preconiza a correlação do IBUTG com a taxa metabólica (M, em kcal/hora), de diferentes atividades, para estimar se as condições de exposição ao calor está ou não acima dos limites tidos como aceitáveis, e caso não, a partir de quais valores já devem ser adotadas medidas preventivas. Vale destacar que a própria NHO 06 disponibiliza, para consulta, um referencial de taxa metabólica para diferentes atividades.

Usualmente o índice IBUTG é medido em campo por meio de um aparelho denominado medidor de stress térmico, esse tipo de instrumentação ocupacional está disponível comercialmente, mas apresenta considerável valor de aquisição e requer manutenção constante para produzir valores precisos. Uma alternativa para se chegar no resultado desse índice, sem utilizar de medidores de stress térmico, seria a de utilizar modelos de equações meteorológicas a partir de dados captados por estações meteorológicas, como já demonstrado por Grundstein; Cooper (2018).

O IBUTG pode ser estimado a partir de dados de estações meteorológicas com modelos de vários níveis de sofisticação (LEMKE; KJELLSTROM, 2012). Um modelo simples e comumente usado está disponível no *Australian Bureau of*

Meteorology, referido como modelo ABM (ABM 2018). Este modelo baseia-se na temperatura e umidade do ar, o ABM fornece um gráfico onde um usuário pode determinar o IBUTG aproximado da temperatura e umidade relativa. Como pode ser calculado a partir de dados meteorológicos ou campos de modelo comumente disponíveis, tem sido frequentemente usado em estudos de pesquisa de atletas e trabalhadores onde os dados do IBUTG não foram coletados em campo (SMITH et al., 2018; KAKAMU et al., 2017; COOPER et al., 2016; ALTINSOY; YILDIRIM, 2015; BRITO et al., 2014; WILLET; SHERWOOD, 2012; GRIMMER et al., 2006).

O modelo ABM observa que a aproximação IBUTG pode subestimar ou superestimar em condições meteorológicas adversas, particularmente se o tempo estiver nublado ou durante períodos como o início da manhã ou a noite, quando o sol está baixo ou abaixo do horizonte (ABM, 2018).

O método proposto pelo *Australian Bureau of Meteorology*, se comparado com outros métodos de estimativa de IBUTG, apresenta-se como um método de fácil utilização pois utiliza de dados meteorológicos menos complexos e mais acessível ao público geral. O método ABM utiliza da seguinte equação.

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

Onde: T_a é a temperatura do ar (em °C); P_v a pressão de vapor (em hPa).

Por sua vez, a pressão de vapor pode ser calculada a partir da temperatura e da umidade relativa do ar, conforme apresentado a seguir:

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

Onde: UR é a umidade relativa do ar (em %).

3.4 Radiação solar e índice ultravioleta

A Radiação solar corresponde à emissão de energia sob a forma de ondas eletromagnéticas compreendidas em sua maior parte entre 100 nanômetros (nm) e acima de 800 nm que se propagam à velocidade da luz (KIRCHHOFF, 1995).

Todo o quantitativo da radiação solar pode ser compreendido e dividido entre faixas espectrais, a depender do intervalo de comprimento. Os intervalos

ficam distribuídos entre as faixas espectrais de radiação infravermelha ($4000 > \lambda > 780$ nm), visível ($400 < \lambda < 780$ nm) e UV ($100 < \lambda < 400$ nm). Cada faixa tem particularidades distintas em relação à interação com a atmosfera terrestre, assim como na interação com a biosfera. No caso particular da R-UV, a Comissão Internacional de Iluminação (CIE) subdivide o espectro UV, em função de seus efeitos fotoquímicos e fotobiológicos, da seguinte forma (SLINEY, 2007):

Radiação UV-A ($315 < \lambda < 400$ nm), representa a maior parte da radiação UV que atinge a superfície terrestre, é pouco absorvida pelos componentes atmosféricos.

Radiação UV-B ($280 < \lambda < 315$ nm), é intensamente absorvida pela camada de ozônio e oxigênio presente na estratosfera e atinge a superfície em níveis muito tênues, porém suficientes para desencadear processos fotoquímicos e fotobiológicos relevantes;

Radiação UV-C ($100 < \lambda < 280$ nm) é completamente absorvida pelo ozônio e oxigênio presentes nas camadas mais altas da atmosfera.

Os gases atmosféricos absorvem muito pouca radiação UV-A. O oxigênio atmosférico e o ozônio absorvem toda a radiação UV-C e impedem que ela atinja a troposfera e a superfície da Terra. A absorção pelo ozônio aumenta rapidamente com a diminuição do comprimento de onda na faixa UV-B e faz com que a radiação da superfície caia acentuadamente com a diminuição do comprimento de onda. A radiação em comprimentos de onda progressivamente mais curtos na faixa UV aumenta energeticamente e se torna cada vez mais prejudicial para a maioria das espécies biológicas (KIRCHHOFF, 1995; SLINEY, 2007).

Os elementos que integram a atmosfera e a superfície terrestre fazem grande interação com a radiação solar. A depender da do comprimento de onda da radiação incidente, estas interações se dão principalmente por meio de absorção, espalhamento e reflexão de sua intensidade (LISBOA FILHO, 2000).

A absorção resulta na erradicação de energia radiativa do feixe incidente transformando-a em outras formas de energia. Este fenômeno de dispersão

acontece quando a energia que incide em uma direção é desviada para outras direções, havendo a produção de radiação difusa nos mesmos comprimentos de onda. A reflexão ocorre quando a energia muda de direção em relação àquela na qual foi emitida, voltando ao semiplano de origem. (LIOU, 2002; CORRÊA, 2003).

Na atmosfera a radiação UV sofre interações que dependem de fatores como: geográficos (altitude, latitude e o tipo de superfície); temporais (hora do dia e época do ano); atmosféricos (concentração de ozônio, aerossóis e nuvens); astronômicos (declinação solar, distância ao Sol) (SILVA, 2008).

As faixas dos comprimentos de onda da radiação UV mais preocupantes, do ponto de vista a nocividade a saúde, correspondem ao feixe entre 290 nm e 320 nm, sendo que o espectro de ação eritêmica corresponde a faixa 297 nm. A possibilidade para que a radiação solar influencie num determinado processo fotobiológico, depende tanto da quantidade de energia disponível no seu comprimento de onda (medido pela irradiância espectral F_λ), assim como da sensibilidade do processo ao comprimento de onda (médio pelo espectro de ação B_λ). Portanto, os efeitos fotobiológicos são representados pelo produto $F_\lambda \cdot B_\lambda$, uma medida útil da efetividade da radiação UV para produzir um determinado efeito biológico é a irradiância biologicamente ativa (SLINEY, 2007). A equação a seguir corresponde à irradiância biologicamente ativa com respeito ao eritema UV_{eri} (ZIMMERMANN et al., 2005)

$$UV_{eri}(t) = \int_{280nm}^{400nm} F_\lambda(t) B_\lambda d\lambda$$

Onde t corresponde à variável tempo.

A unidade de $UV_{eri}(t)$ é $[W/m^2]$ e sua integração no tempo constitui a dose eritêmica (ZIMMERMANN et al., 2005).

O termo “Dose Eritematosa Mínima” é compreendido como à dose de radiação UV para produzir eritema, após período de 24h, para determinado tipo de pele. Geralmente expressa em unidades mJ/cm^2 (KIRCHHOFF, 1995; CORREA, 2003; ZAMORANO, 2003). Como diferentes tipos de pele são sensibilizados de modo diferente, Fitzpatrick (1998) sugeriu uma classificação

de acordo com a cor da pele, resposta à exposição ao sol e lesões que são originadas pela radiação UV, atualmente utilizada como padrão e apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 - Tipos de pele e reação conforme exposição à radiação UV

Cor da pele (Sem exposição)	Tipo de pele	Queimadura	Bronzeamento	DEM (mJ/cm²)
Branca	I	Sim	Não	20-30
	II	Sim	Mínimo	25-35
	III	Sim	Sim	30-50
	IV	Não	Sim	45-60
Mulata	V	Não	Sim	60-100
Negra	VI	Não	Sim	100-200

Fonte: Fitzpatrick, 1998

Devido às crescentes preocupações a respeito do potencial aumento da radiação ultravioleta (UV), devido à destruição da camada de ozônio, foi adotado como um indicador padrão dos níveis de UV pela Organização Meteorológica Mundial e Organização Mundial da Saúde em 1994. O Índice UV foi projetado para representar o quantitativo de eritemas provenientes da radiação UV ponderada de forma simples, como um único número (HECKMAN; LIANG; RILEY, 2019).

O Índice UV é uma escala de irradiância calculada multiplicando a irradiância eritemal. A Organização Mundial da Saúde (OMS), em colaboração com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP), a Organização Meteorológica Internacional (OMM) e a Comissão Internacional de Proteção às Radiações Não-Ionizantes (IC-NIRP), decidiu desenvolver um projeto conjunto de proteção da população contra os efeitos danosos da radiação UV. Com propósito de associar uma escala, Índice Ultravioleta (IUV), aos níveis de radiação UV relevantes aos efeitos biológicos no ser humano, adotado e divulgado diariamente em boletins meteorológicos (FIOLETOV; KERR; FERGUSON, 2010).

De acordo com Carter; Donovan (2007), o IUV representa o valor de máxima intensidade diária da R-UV referente ao meio-dia solar. Como a cobertura de nuvens é algo muito dinâmico e variável, o IUV é sempre

apresentado para uma condição de céu claro. Isto é, para ausência de nuvens que, na maioria dos casos, representa a máxima intensidade de radiação. É apresentado como um número inteiro e, de acordo com recomendações da OMS, os valores do IUV são divididos nas seguintes categorias de intensidade: Baixo ($IUV < 2$); Moderado ($3 < IUV < 5$); Alto ($6 < IUV < 7$); Muito Alto ($8 < IUV < 10$) e Extremo ($IUV > 11$).

O Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) em conjunto com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) disponibiliza diariamente o IUV para a América do Sul, Brasil e suas regiões, conforme modelo apresentado na Figura 1.

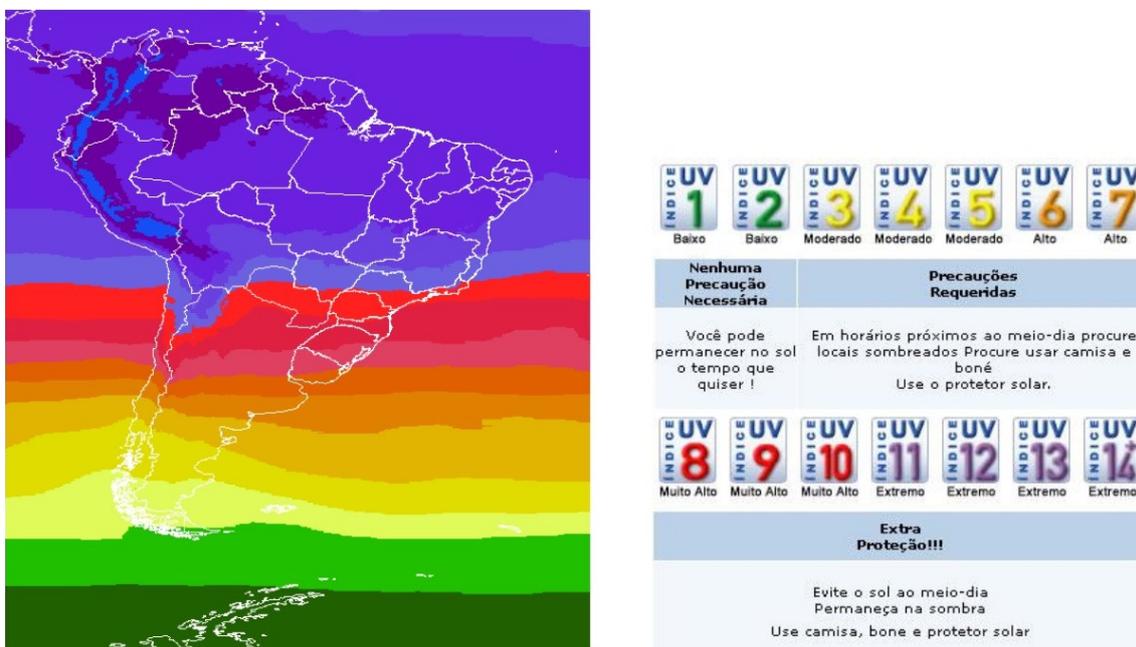


Figura 1 – Representação do máximo diário do Índice Ultravioleta para o Brasil.
Fonte: <http://satelite.cptec.inpe.br/uv/>.

3.5 Legislação trabalhista

Más condições do trabalho, inadequações do ambiente ou forma irregular de como a atividade laboral é conduzida, favorece a perdas humanas e materiais. A Organização Internacional do Trabalho (OIT, 2016) calcula prejuízos próximos a 4% do Produto Interno Bruto (PIB) mundial com custos referentes a

lesões, mortes e doenças relacionadas ao trabalho, principalmente nos países que não investem em prevenção.

Com objetivo de assegurar a saúde e segurança dos trabalhadores, foram criadas, e continuam sendo editadas, as normas brasileiras de segurança e saúde do trabalho (normas Regulamentadoras, ou NRs). Estas normas determinam a obrigatoriedade de medidas protetivas contra a exposição aos riscos presentes nos locais de trabalho. Sob essa ótica, merecem destaque a NR-09 (BRASIL, 1978), que estabelece os requisitos para a avaliação das exposições ocupacionais a agentes físicos, a NR-15 (BRASIL, 1978), que trata de atividades e operações insalubres, a NR-21 (BRASIL, 1978), referente às condições de trabalho a céu aberto e a NR-31 (BRASIL, 2005) que trata da segurança e saúde nas atividades laborais na agricultura, pecuária, silvicultura, exploração florestal e aquicultura.

De acordo com a NR 31 o empregador deve garantir aos trabalhadores rurais, adequadas condições de trabalho, higiene e conforto, segundo as especificidades de cada atividade e as características de cada região. Ainda, estabelece essa norma, que o empregador deve realizar avaliações dos riscos para a segurança e saúde dos trabalhadores e, com base nos resultados, adotar medidas de prevenção e proteção para garantir que todas as atividades, lugares de trabalho, máquinas, equipamentos, ferramentas e processos produtivos sejam seguros e em conformidade com as normas de segurança e saúde (BRASIL 2021).

Segundo o item 21.2 da NR-21 (BRASIL, 1978) para atender os trabalhadores que exercem suas atividades em céu aberto, o empregador deverá adotar medidas especiais que protejam os trabalhadores contra insolação excessiva. Dentre outros riscos.

Consultando a NR 09, que trata da avaliação das exposições ocupacionais aos agentes físicos químicos e biológicos, é possível identificar qual a metodologia sugerida pelo ministério do trabalho quando se quer avaliar o nível de exposição ao calor no ambiente de trabalho, conforme explicitado em seu item 3.3:

A avaliação quantitativa do calor deverá ser realizada com base na metodologia e procedimentos descritos na Norma de Higiene Ocupacional nº 06 - NHO 06 (2ª edição - 2017) da Fundacentro, nos seguintes aspectos:

- a) Determinação de sobrecarga térmica por meio do índice IBUTG - Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo;
- b) Equipamentos de medição e formas de montagem, posicionamento e procedimentos de uso dos mesmos nos locais avaliados;
- c) Procedimentos quanto à conduta do avaliador; e
- d) Medições e cálculos.

De acordo com a NR-15, em seu anexo 03, que trata dos limites de tolerância para exposição ao calor, as avaliações de exposição ao calor também devem ser de acordo com a Norma de Higiene Ocupacional NHO 06 da FUNDACENTRO (BRASIL, 1978). Esta NHO estabelece a utilização do Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG) correlacionando-o à Taxa Metabólica da atividade, a qual poderá ser encontrada no quadro 1 da própria NHO 06, assim como os limites de tolerância para a exposição ocupacional ao calor conforme as combinações de IBUTG e taxa metabólica (FUNDACENTRO, 2017).

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABM - AUSTRALIAN BUREAU OF METEOROLOGY. **Thermal comfort observations**. Melbourne: ABM, 2018.

ACGIH - AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNAMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. **TLV'S e BEI'S**: limites de exposição ocupacional (TLV's) para substâncias químicas e agentes físicos e índices biológicos de exposição. Cincinnati: ACGIH, 2010.

ALTINSOY, H.; YILDIRIM, H.A. Labor productivity losses over western Turkey in the twenty-first century as a result of alteration in WBGT. **International Journal of Biometeorology**, v. 59, p. 463-471, 2015.

BARBOSA, C.M.G. **Avaliação cardiovascular e respiratória em um grupo de trabalhadores cortadores de cana-de-açúcar queimada no estado de São Paulo**. São Paulo: Universidade de São Paulo (Tese Doutorado). 2011. 144 p.

BATISTA, J.B.V. **Síndrome de *Burnout* em professores do ensino fundamental**: um problema de saúde pública não percebido. Recife: Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães, Fundação Oswaldo Cruz (Tese Doutorado). 2010. 192 p.

BETHEL, J.W.; HARGER, R. Heat-related illness among Oregon farmworkers. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 11, n. 9, p. 9273-9285, 2014.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Portaria nº 3.214, de 8 de junho de 1978**. Aprova as Normas Regulamentadoras - NR - do Capítulo V, Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas a Segurança e Medicina do Trabalho. Brasília: MTE, 1978.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Portaria nº 86, de 3 de março de 2005**. Aprova a Norma Regulamentadora de Segurança e Saúde no Trabalho na Agricultura, Pecuária, Silvicultura, Exploração Florestal e Aquicultura. Brasília: MTE, 2005.

BRAY, F.; FERLAY, J.; SOERJOMATARAM, I.; SIEGEL, R.L.; TORRE, L.A.; JEMAL, A. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. **CA: A cancer journal for clinicians**, v. 68, n. 6, p. 394-424, 2018.

BRITO, J.; RACINAIS, S.; NASSIS, G.P. The second summer youth Olympic Games in Nanjing, People's Republic of china: preparing youth athletes to compete in the heat. **Open Access Journal of Sports Medicine**, v. 5: p. 205–207, 2014.

CAMARGO, M.G.; FURLAN, M.M.D.P. Resposta fisiológica do corpo às temperaturas elevadas: exercício, extremos de temperatura e doenças térmicas. **Saúde e Pesquisa**, v. 4, n. 2, p. 278-288, 2011.

CARTER, O.B.J.; DONOVAN, R.J. Public (Mis)understanding of the UV Index. **Journal of Health Communication**, v. 12, n.1, p. 41-52, 2007.

COOPER, E.R.; FERRARA, M.S.; CASA, D.J.; POWELL, J.W.; BROGLIO, S.P.; RESCH, J.E.; COURSON, R.W. Exertional heat illness in American football players: when is the risk greatest? **Journal of Athletic Training**, v. 51, n. 8, p. 593-600, 2016.

CORRÊA, M.P. **Índice Ultravioleta: Avaliações e Aplicações**. São Paulo: Universidade de São Paulo (Dissertação Mestrado). 2003. 243 p.

COUTO, H.A. **Ergonomia aplicada ao trabalho em 18 lições**. Belo Horizonte: ERGO, 2002. 202 p.

DEAR, R.J.; AKIMOTO, T.; ARENS, E.A.; BRAGER, G.; CANDIDO, C.; CHEONG, K.W.; LI, B.; NISHIHARA, N.; SEKHAR, S. C.; TANABE, S.; TOFTUM, J.; ZHANG, H.; ZHU, Y. Progress in thermal comfort research over the last twenty years. **Indoor Air**, v. 23, p. 442-461, 2013.

DIEPGEN, T.L.; FARTASCH, M.; DREXLER, H.; SCHMITT, J. Occupational skin cancer induced by ultraviolet radiation and its prevention. **British Journal of Dermatology**, v. 167, Suppl. 2, p. 76-84, 2012.

FEITOSA, R. C. Uso de sistemas modulares vegetados para promoção da saúde urbana e atenuação do estresse térmico. **Saúde em Debate**, v. 43, n. 3, p. 109-120, 2019.

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.

FITZPATRICK, T.B. The validity and practicality of sunreactive skin types I through VI. **Archives of Dermatology**, v. 124, p. 868-871, 1998.

FUNDACENTRO - FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO. **Procedimento técnico** – Avaliação da exposição ocupacional ao calor. Rio de Janeiro: FUNDACENTRO, 2017. 50 p. (Norma de Higiene Ocupacional, no 6).

GRIMMER, K.; KING, E.; LARSEN, T.; FARQUHARSON, T.; POTTER, A.; SHARPE, P. WITH, H. Prevalence of hot weather conditions related to sports participation guidelines: a south Australian investigation. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 9, p. 72–80, 2006.

GRUNDSTEIN, A; COOPER, E. Assessment of the Australian Bureau of Meteorology wet bulb globe temperature model using weather station data. **International Journal of Biometeorology**, v. 62, p. 2205-2213, 2018.

GUYTON A.C. **Fisiologia humana e mecanismos das doenças**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1993.

HECKMAN, C.J.; LIANG, K.; RILEY, M. Awareness, understanding, use, and impact of the UV index: A systematic review of over two decades of international research. **Preventive Medicine**, v. 123, p. 71-83, 2019.

INCA - INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER. **Estimativa 2020**: incidência de câncer no Brasil. Rio de Janeiro: INCA. 2020.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARDIZATION. **ISO DIS 7243**: ergonomics of thermal environment – assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index. Geneve: International Organization Standardization. 2014.

JIA, Y. A.; ROWLINSON, S.; CICCARELLI, M. Climatic and psychosocial risks of heat illness incidentes on construction site. **Applied Ergonomics**, v. 53, p. 25-35, 2016.

KAKAMU, T.; WADA, K.; SMITH, D.R.; ENDO, S.; FUKUSHIMA, T. Preventing heat illness in the anticipated hot climate of the Tokyo 2020 summer Olympic games. **Environmental Health and Preventive Medicine**, v. 22, n. 68, 2017.

KIRCHHOFF, H.J.W.V. **Ozônio e Radiação UV-B**. São José dos Campos/SP: Transitec Editorial. 1995.

KROEMER, K.H.E.; GRANDJEAN, E. **Manual de ergonomia**: adaptando o trabalho ao homem. 5. ed. São Paulo: Bookman, 2005.

LEMKE, B.; KJELLSTROM T. Calculating workplace WBGT from meteorological data: a tool for climate change assessment. **Industrial Health**, v. 50, n. 4, p. 267-278, 2012.

LIOU. K.N. **An Introduction to Atmospheric Radiation**. London: Academic Press, 2002. 582 p.

LISBOA FILHO, J. **Projeto de Banco de Dados para Sistemas de Informação Geográfica**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Informática. 2000.

MIRABELLI, M.C.; RICHARDSON, D.B. Heat-related fatalities in North Carolina. **American Journal of Public Health**, v. 5, n. 4, p. 635-637, 2005.

MORABITO, M.; GRIFONI, D.; CRISCI, A.; FIBBI, L.; ORLANDINI, S.; GENSINI, G.F.; ZIPOLI, G. Might outdoor heat stress be considered a proxy for the unperceivable effect of the ultraviolet-induced risk of erythema in Florence? **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 130, p. 338-348, 2014.

OIT - ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO. **Occupational injuries**: Database of labour statistics. Genebra: OIT, 2016. Disponível em: <<http://www.ilo.org/ilostat/faces/home/statisticaldata>>. Acesso em 22 mai. 2022.

OLIVEIRA, M.M. Radiação ultravioleta / Índice ultravioleta e câncer de pele no Brasil: condições ambientais e vulnerabilidade social. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.13, p. 60–73, 2013.

OKUNO, E.; VILELA, M.A.C. **Radiação ultravioleta**: Características e efeitos. 1. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005.

ROSA, V.C.; LIMA, L.E.M. O estresse térmico visto como um risco ocupacional. **Rev. Gestão Industrial**, v. 15, n. 2, p. 53-73, 2019.

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.

SCHETTINO, S.; GUIMARÃES, N.V.; SILVA, D.L.; SOUZA, C.L.L.; MINETTE, L.J.; PAULA JUNIOR, J.D.; SCHETTINO, C.F. Relação entre a ocorrência de acidentes de trabalho e a baixa escolaridade dos trabalhadores no setor florestal. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 22567-22589, 2020.

SLINEY, D.H. Radiometric Quantities and Units Used in Photobiology and Photochemistry: Recommendations of the Commission Internationale de l'Eclairage (International Commission on Illumination). **Photochemistry and Photobiology**, v. 83, n. 2, p. 425-432, 2007.

SMITH, M.T.; REID, M.; KOVALCHIK, S.; WOODS, T.O. Heat stress incident prevalence and tennis matchplay performance at the Australian Open. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 21, n. 5, p. 467-472, 2018.

SILVA, A.A. Medidas de Radiação Solar Ultravioleta em Belo Horizonte e Saúde Pública. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 26, n. 4, 2008.

TAWATSUPA, B.; LIM, L.L.; KJELLSTROM, T.; SEUBSMAN, S.A.; SLEIGH, A. Association between occupational heat stress and kidney disease among 37,816 workers in the Thai Cohort Study (TCS). **Journal of Epidemiology**, v. 22, n. 3, p. 251-260.

WILLET, K.M.; SHERWOOD, S. Exceedance of heat index thresholds for 15 regions under a warming climate using the wet-bulb globe temperature. **International Journal of Climatology**, v. 32, p. 161-177, 2012.

YAGLOU, C.P.; MINARD, D. Control of heat casualties at military training centers. **Archives of Industrial Health**, v.16, n.4, p. 302-316, 1957.

ZAMORANO, M.P. **Índice Determinação do Espectro UV-B utilizando o Radiômetro GUV**: Aplicação a medidas realizadas em Punta Arenas. São José dos Campos: Instituto de Pesquisas Espaciais (Tese Doutorado). 2006. 243 p.

ZIMMERMANN, P.A.M.; CRINÓ, E.; VALLADARES, D.L. Measurements of biological solar irradiance over San Luis lat: 33.263° S long: 66.35° O, 730 msnm. **Anales AFA**, v. 17, p. 99-104, 2005.

5 ARTIGO

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

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.

Outdoor work and its relationship with the workers' health: exposure to heat and solar radiation

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.

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. A legislação brasileira 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 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. 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 estudo 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).

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

forneem 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 2020 (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.

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

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.

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

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.

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

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 2020, 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.

Tabela 2 - Estatísticas descritivas dos resultados da compilação dos dados meteorológicos e dos cálculos de IBUTG e IUV, ao longo do ano de 2020 para cada região amostral (valores médios, mínimos e máximos)

Ponto Amostral	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)

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 3 - Matriz de coeficientes de correlação linear de Pearson entre as variáveis de estudo, considerando as médias mensais do ano de 2020 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.

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 2020. 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.

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 conseqüências 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).

Tabela 4 - Resultado do teste t para as médias de IUV, comparando os valores obtidos ao longo do ano de 2020 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.

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 possui 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).

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.

BIBLIOGRAFIA

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.; FERGUSSON, 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, supl 1, p. S75-S83, 2015.

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 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.

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.