

QUALIDADE DOS DADOS DO ÍNDICE DE BULBO ÚMIDO-TERMÔMETRO DE GLOBO (IBUTG) COLETADOS COM INSTRUMENTOS AUTOMÁTICOS EM AMBIENTE EXTERNO¹

AMORIM, A. E. B., Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), email:adrianaeloa@gmail.com; LABAKI, L. C., UNICAMP, email: lucila@fec.unicamp.br; MAIA, P. A., Fundação Jorge Duprat de Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (FUNDACENTRO), email: palvesmaia@gmail.com; BARROS, T. M. S., FUNDACENTRO, email:thaismdsantiago@gmail.com; MONTEIRO, L. R., FUNDACENTRO, email:l Luiz.monteiro@fundacentro.gov.br

ABSTRACT

Excessive environmental heat can cause illnesses and deaths of construction workers. Environmental assessment specifies the preventive measures to avoid overload and its consequences on health. The most accepted method for occupational exposure is the Wet Bulb Globe Temperature Index (WBGT) comparison with permissible exposure limits. The traditional method is considered more accurate, by measuring natural wet-bulb temperature (T_{wb}), dry-bulb temperature (T_{db}) and black-globe temperature (T_g), from their respective mercury thermometers. Nowadays it is being replaced by automatic dataloggers that capture and record measured data. The aim of this work is to evaluate the quality of the so obtained data, by comparing them to those from mercury thermometers, as well as to develop more accurate mathematical algorithms for acquiring T_{wb}, T_{db} and T_g from measurements through QuestTemp36™ electronic equipment. Data from the two sets of equipment were collected on concrete slabs and grass, during six days in March 2017. The results for the WBGT with the two systems were tested statistically through linear regressions, which resulted in determination coefficients $R^2 \geq 78\%$ and p -values < 0.0001 . These results show that it is possible to improve the accuracy of the measurements performed with automatic instruments through equations of the linear regression method.

Keywords: Temperature measurement. Occupational heat. Thermal stress. WBGT Index.

1 INTRODUÇÃO

O Índice de Bulbo Úmido-Termômetro de Globo (IBUTG) obtido através da ponderação de três temperaturas: de bulbo úmido natural (T_{bn}), de bulbo seco (T_{bs}) e de globo (T_g), é internacionalmente aceito para expressar a exposição ao calor ocupacional (PARSONS, 2006, 2013), inclusive para a legislação brasileira de saúde e segurança no trabalho (BRASIL, 1978).

A instrumentação mais precisa de obtenção do IBUTG é composta de um conjunto de três termômetros de mercúrio, conhecido como Conjunto Convencional (CC) de termômetros. Porém, as normas que estabelecem os procedimentos de medição, como a ISO 7243 (1989), ISO 7726 (2001) e NHO 06 (FUNDACENTRO, 2002) permitem a utilização de equipamentos eletrônicos automáticos desde que, para quaisquer condições de trabalho avaliadas, apresentem resultados equivalentes e a mesma exatidão exigida para os

¹ AMORIM, A.E.B.; LABAKI, L. C.; MAIA, P.A.; BARROS, T. M. S.; MONTEIRO, L. R. Qualidade dos dados do Índice de Bulbo Úmido-Termômetro de Globo (IBUTG) coletados com instrumentos automáticos em ambiente externo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17. 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

termômetros de mercúrio do Conjunto Convencional. A norma NHO 06 (FUNDACENTRO, 2002) recomenda o uso do Conjunto Convencional (CC), considerando-o de maior precisão ($\pm 0,1^\circ \text{C}$) e utilizado por Maia, Ruas e Bitencourt (2015) no estudo sobre estresse térmico em áreas rurais no estado de São Paulo, Brasil. Porém, este instrumento necessita de operadores treinados para realizarem leituras precisas em pequenos intervalos de tempo (geralmente de 10 em 10 minutos) que, muitas vezes, devem ser feitas durante toda a jornada de trabalho; além de necessitarem de ampla vigilância, pois são mais frágeis a choques mecânicos e acidentes. Assim, equipamentos automáticos são cada vez mais utilizados por pesquisadores para a obtenção dos parâmetros de IBUTG (BERNARD; BARROW, 2013).

Considerando a dificuldade de medições com o equipamento convencional (CC) em ambientes externos na construção civil optou-se por verificar a correlação desse instrumento com instrumentos automáticos QuesTemp36™ (precisão $0,5^\circ \text{C}$), que são de mais fácil manuseio.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver algoritmos matemáticos mais precisos de obtenção das T_{bn} , T_{bs} e T_g , a partir das medidas dos equipamentos eletrônicos.

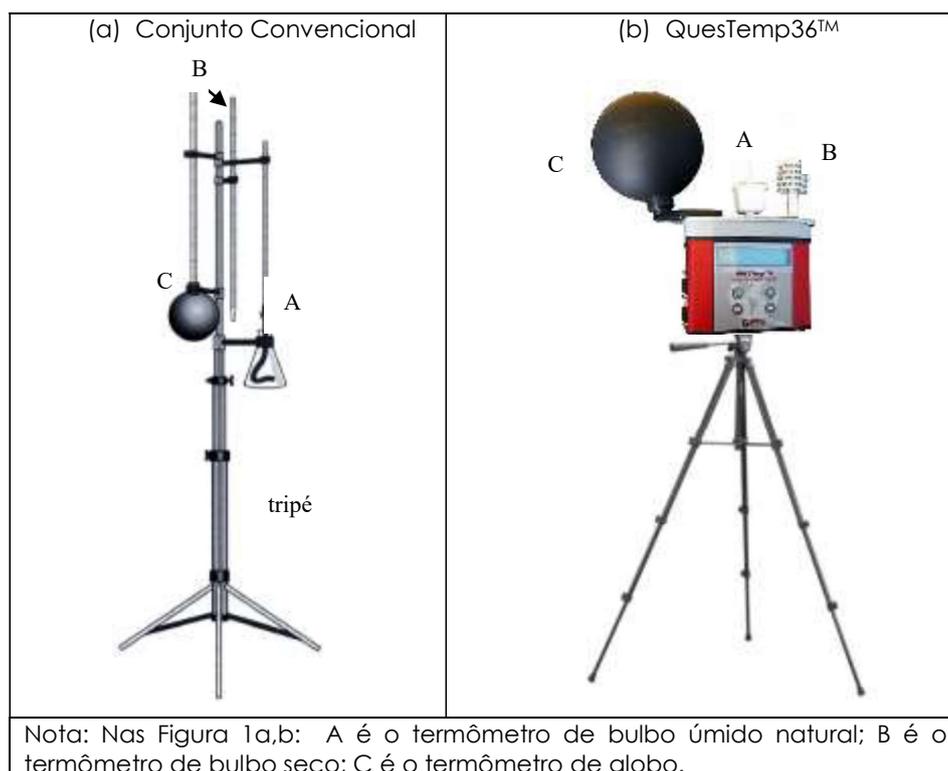
Para tanto, os resultados de dois sistemas de medição: um convencional e outro automático (QuesTemp36™) foram comparados em dois ambientes térmicos diferentes.

2 MATERIAIS E MÉTODO

Para a comparação foram instalados simultaneamente um par de equipamentos calibrados: o QuesTemp36™ e um Conjunto Convencional de termômetros sobre uma superfície de concreto ($22^\circ 49' 4,08'' \text{S}$; $44^\circ 03' 38,5'' \text{W}$; altitude de 632,9 m), e um par sobre uma área gramada ($22^\circ 49' 3,92'' \text{S}$; $47^\circ 03' 38,9'' \text{W}$; altitude de 635,5 m), distantes 15 m um do outro. Em cada local, os dois tipos de instrumentos foram posicionados numa área ampla a céu aberto, sem barreiras e distantes 2,0 m, para evitar o sombreamento entre eles, o bloqueio da radiação solar e fluxo de ar e outras interferências. Os sensores de temperatura foram fixados a 1,20 m do piso (Figura 1).

Os dados dos instrumentos automáticos foram registrados simultaneamente aos do convencional, tendo como base o horário de Brasília. Assim, uma série de cada temperatura (T_{bn} , T_{bs} , T_g) foi obtida simultaneamente em cada equipamento no intervalo de 9h às 17h, em 6 dias do mês de março de 2017. No Conjunto Convencional (CC) as leituras manuais foram registradas de 10 em 10 minutos, por uma equipe de quatro técnicos treinados. Os equipamentos eletrônicos foram configurados para registro de leituras automáticas de 1 em 1 minuto; e após a coleta foram formadas médias de 10 em 10 minutos, visando a comparação com o CC, resultando em 294 amostras de cada temperatura.

Figura 1- Em (a), o Conjunto Convencional de termômetros; e em (b), o equipamento automático QuesTemp36™



Fonte: FUNDACENTRO (2002), 3M-QUEST Technologies (2016)

A análise dos dados foi realizada através de estatística descritiva e inferencial, com uso do *Software R Project* (2017). O nível de significância adotado foi de 5%.

As equações para prever T_{bn} , T_{bs} e T_g do método convencional a partir do QuesTemp36™ foram obtidas por regressão linear robusta. O cálculo do IBUTG, a partir dos valores destas temperaturas ajustadas foi feito aplicando-se a Equação 1, para ambientes com carga solar direta (BRASIL, 1978; ISO 7243, 1989). Os resultados podem ser vistos na Figura 2.

$$IBUTG = 0,7 T_{bn} + 0,2 T_g + 0,1 T_{bs} \quad (1)$$

A eficiência dos ajustes foi verificada através das médias das diferenças, desvio padrão e coeficiente de determinação (R^2) antes e após o ajuste.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 mostra os parâmetros observados entre os dois instrumentos de medição: Conjunto Convencional e QuesTemp36™.

Tabela 1– Dados estatísticos dos dois tipos de instrumentos

Variável	C. Convencional		QuesTemp36™		Viés médio	Erro Padrão (viés)	LC	ICC
	Média (° C)	DP	Média (° C)	DP				
$T_{bn_{Grama}}$	23,30	1,40	24,07	1,37	-0,77	0,04	[-2,10; 0,57]	0,131

Tbn _{Laje}	23,94	1,53	24,24	1,62	-0,30	0,04	[-1,56; 0,95]	0,015
Tbs _{Gramma}	30,11	2,63	29,78	2,51	0,33	0,04	[-0,90; 1,57]	< 0,01
Tbs _{Laje}	30,96	3,16	30,22	3,01	0,74	0,04	[-0,75; 2,22]	0,025
Tg _{Gramma}	39,55	5,38	39,37	4,99	0,18	0,12	[-3,86; 4,21]	< 0,01
Tg _{Laje}	42,27	6,64	42,07	6,48	0,20	0,13	[-4,27; 4,67]	< 0,01

Fonte: Os autores (2017)

A média e desvio padrão entre as temperaturas do Conjunto Convencional (CC) e do QuesTemp36TM, o viés médio entre os dois sistemas, o erro padrão do viés (EP), os limites de concordância (LC) de Bland e Altman (1999) e o coeficiente de concordância intraclassa (ICC < 0,131) mostraram que há diferença significativa entre os resultados dos dois tipos de instrumentos, razão pela qual aplicou-se o método de regressão linear múltipla para obter curvas de aferição ou de relação entre eles.

A Tabela 2 apresenta as equações dessas curvas obtidas no gramado e sobre a laje de concreto.

Tabela 2 – Equações para prever a temperatura no sistema Convencional a partir do QUESTemp36TM

Variável	Equação preditiva	R ²	p-valor
Na laje			
Tbn _{LajeCC}	= 2,906 + 0,868 *TbnLajeQuesTemp	85,1%	< 0,0001
Tbs _{LajeCC}	= 1,024* TbsLajeQuesTemp	99,9%	< 0,0001
Tg _{LajeCC}	= 1,667 + 0,965 * TgLajeQuesTemp	88,7%	< 0,0001
No gramado			
Tbn _{GrammaCC}	= 1,563 + 0,903* TbnGrammaQuesTemp	78,0%	< 0,0001
Tbs _{GrammaCC}	= 1,011*TbsGrammaQuesTemp	99,9%	< 0,0001
Tg _{GrammaCC}	= 1,004 * TgGrammaQuesTemp	99,7%	< 0,0001

Fonte: Os autores (2017)

Na Tabela 3 observa-se que as médias das diferenças dos valores observados e ajustados para Tbn, Tbs, Tg e IBUTG obtidas com o equipamento Convencional são muito pequenas, inferiores a 0,02° C. Bernard e Barrow (2013) compararam valores de IBUTG obtidos com método padrão (conjunto de termômetros) e um equipamento eletrônico (HS-3700, também da 3M), obtendo-se uma diferença de +0,3° C no instrumento padrão. Observa-se também que os desvios padrão são menores que os apresentados na Tabela 1 entre os dois tipos de equipamentos, o que demonstra que os resultados obtidos pelo método aplicado se aproximaram muito dos resultados do Conjunto Convencional de termômetros, que são mais precisos.

Os valores dos coeficientes de determinação R² ≥ 0,78 indicam que o modelo matemático obtido foi capaz de explicar, pelo menos, 78% dos dados, e há

forte relação entre as variáveis calculadas para o sistema convencional a partir dos instrumentos automáticos (Tabela 2).

Conforme Tabela 3, os maiores desvios são encontrados para Tg (tanto na laje de concreto como no gramado), o que também foi destacado por Bernard e Barrow (2013). No entanto, a contribuição do termômetro de globo no IBUTG é apenas de 20%, como se pode observar dos coeficientes de ponderação da Equação 1.

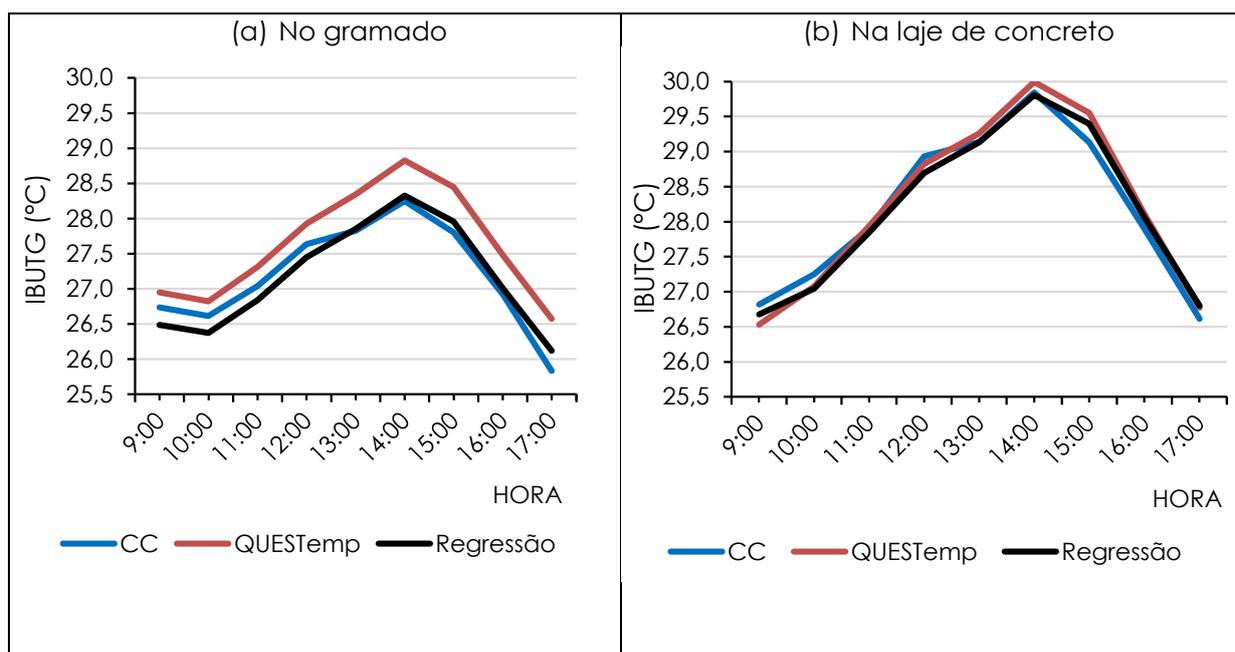
Tabela 3 – Média das diferenças e desvio padrão para Tbn, Tbs, Tg e IBUTG entre valores ajustados e observados para o equipamento Convencional sobre a laje de concreto e no gramado

Variáveis	Média das diferenças (° C)	Desvio padrão (° C)
Na laje de concreto		
TbnLaje(a) – TbnLaje(o)	0,007	0,589
TbsLaje(a) – TbsLaje(o)	-0,005	0,751
TgLaje(a) – TgLaje(o)	0,004	2,223
IBUTGLaje(a) – IBUTGLaje(o)	0,005	0,742
No gramado		
TbnGrama(a) – TbnGrama(o)	-0,004	0,653
TbsGrama(a) – TbsGrama(o)	-0,004	0,615
Tg(Grama(a) – TgGrama(o)	-0,018	2,016
IBUTGGrama(a) – IBUTGGrama(o)	-0,007	0,682

Fonte: Os autores (2017)

A Figura 2 mostra as médias horárias de IBUTG (calculadas com parâmetros horários de seis dias de medição) no Conjunto Convencional de termômetros (CC), no equipamento eletrônico QUESTemp36™, e os obtidos a partir das equações de regressão linear para as superfícies de gramado e laje de concreto.

Figura 2 – Médias horárias do IBUTG obtidas a partir dos dois instrumentos e por regressão: em (a), no gramado; em (b), na laje de concreto



Fonte: Os autores (2017)

Na Figura 2a observa-se que o IBUTG obtido no gramado pelo modelo da regressão apresentou diferenças de até $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ em relação ao CC, e de até $- 0,5^{\circ}\text{C}$ em relação ao QuesTemp36TM. Já na laje de concreto (Figura 2b), observa-se que o IBUTG apresentou diferenças de $-0,2^{\circ}\text{C}$ a $+0,3^{\circ}\text{C}$ em relação ao CC, e de $-0,2^{\circ}\text{C}$ a $+0,1^{\circ}\text{C}$ em relação ao QuesTemp36TM.

Portanto, o modelo obtido por regressão linear robusta se aproximou mais das medidas obtidas pelo Conjunto Convencional (precisão $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$), em relação ao CC do que das obtidas pelo equipamento eletrônico ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$). Isto ocorreu para as duas superfícies, embora de uma forma mais evidente no gramado (Figura 2).

4 CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que é possível melhorar a precisão das medidas feitas com instrumentos automáticos utilizando-se equações obtidas pelo método de regressão linear, tanto em superfícies vegetadas como em superfícies concretadas ($R^2 \geq 78\%$ e $p\text{-valores} < 0,0001$). Esse método poderá ser utilizado para tornar mais preciso o monitoramento da exposição ao calor de trabalhadores que exercem atividades a céu aberto em superfícies de concreto. O método poderá também ser utilizado em trabalhos de pesquisa acerca da exposição ao calor e as doenças relacionadas às atividades laborais executadas a céu aberto, em locais onde não é viável a utilização do conjunto convencional ou quando o experimento for de grande duração.

REFERÊNCIAS

BERNARD, T. E; BARROW, C. A. Empirical Approach to Outdoor WBGT from Meteorological Data and Performance of Two Different Instrument Designs. **Industrial Health**, 2013, v.51, p.79–85.

BLAND, J.M.; ALTMAN, D.G. Measuring Agreement in Method Comparison Studies. **Statistical Methods in Medical Research**, 1999, v.8, p.35-160.

BRASIL. **Portaria n.º 3.214**, de 8 de junho de 1978: “Aprova as Normas Regulamentadoras- NR do cap. V, Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas à Segurança e Medicina do Trabalho”. Brasília, 1978. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br>>. Acesso em: 18 out. 2017.

FUNDACENTRO FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO. **Norma de Higiene Ocupacional n. 06 (NHO 06)**: Avaliação da exposição ao calor. Procedimentos técnicos. Brasília: Ministério do Trabalho e Previdência Social, 2002, 50p.

ISO INTERNATIONAL STANDARDIZATION FOR ORGANIZATION. **ISO 7243**: Hot environments - Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (Wet Bulb Globe Temperature). British Standard. Genebra, Suíça, 1989. 26p.

_____. **ISO 7726**: Ergonomics of the thermal environment -- Instruments for measuring physical quantities. British Standard. Genève, Switzerland, 2001, 62p.

MAIA, P. A.; RUAS, A. C.; BITENCOURT, D. P. Wet-bulb globe temperature index estimation using meteorological data from São Paulo State, Brazil. **International Journal of Biometeorology**, 2015, v. 59, n. 10, p. 1395–1403.

3M™ QUEST TECHNOLOGIES. PERSONAL SAFETY DIVISION. QUESTemp™ Heat Stress Monitors. **QuesTemp User's Manual**, 2006. 37p. Disponível em:<https://www.3m.com/3M/en_US/company-us/all-3m-products/~/3M-QUESTemp-36-Heat-Stress-Monitor>. Acesso em: 17 maio 2016.

PARSONS, Ken. Heat stress standard ISO 7243 and its global application. **Industrial Health**, 2006, v. 44, n. 3, p. 368–379.

_____. Occupational health impacts of climate change: current and future ISO standards for the assessment of heat stress. **Industrial Health**, 2013, v. 51, n. 1, p. 86–100.

R PROJECT for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Copyright (©) 2017. versão 3.4.0. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 13 ago. 2017.