Tomada de decisão a partir da análise de dados do Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo: um estudo de caso numa panificadora

Daniel Augusto de Moura Pereira (UFCG) danielmoura@ufcg.edu.br

Antônio Carlos da Silva Vaz (UFMT) (a.carlosvaz1@gmail.com)

Resumo

A Norma Regulamentadora 15, do Ministério do Trabalho e Emprego, indica que trabalhadores que exerçam suas atividades em situação de insalubridade devem perceber um adicional de remuneração. Para o agente calor, o meio legal de se verificar a presença (ou não) de insalubridade é através do Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo. Este índice é calculado em função das temperaturas de bulbo seco, bulbo úmido e globo, que são coletadas através um equipamento digital chamado medidor de estresse térmico. Neste sentido, este artigo tem como objetivo apoiar o processo de decisão, a partir da análise de 855 dados de temperaturas de bulbo seco, bulbo úmido e globo para eliminar ou controlar a insalubridade pelo agente calor dentro uma panificadora.

Palavras-Chaves: Análise de dados, Tomada de decisão, Insalubridade, IBUTG.

1. Introdução

A Constituição Federal, em seu artigo 7º, inciso XXIII, garante que trabalhadores percebam um adicional de remuneração em virtude de execução de atividade insalubre. Por sua vez, a Norma Regulamentadora (NR) 15, do Ministério do Trabalho e Emprego, indica quais agentes são causadores da referida insalubridade, causando, portanto, danos à saúde do trabalhador ao longo do tempo, como, por exemplo à exposição ao calor.

No entanto, nos dias de hoje, na era da informação, da Indústria 4.0, do Big Data, é suficiente indicar se aquela atividade de trabalho faz jus a insalubridade? Com tanta oferta de dados é possível, a partir da análise dos mesmos, transformar os dados em informações úteis, para além do óbvio, e dar maior lastro à tomada de decisão.

A disponibilidade de dados de temperatura, seja através da avaliação pelo Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG), seja de maneira instantânea, por sensores embarcados em Equipamentos de Proteção Individual Inteligentes (EPIN), quando analisados,

permitem incrementar a gestão do sistema de saúde e segurança de uma organização, além de possibilitar novas perspectivas de eliminação, ou controle, com a eventual percepção de uma insalubridade em determinada atividade. Complementarmente, ainda é possível conhecer o perfil da carga térmica do ambiente laboral, bem como sua distribuição ao longo da jornada de trabalho.

Neste sentido, o processo de tomada de decisão sobre como agir numa caracterização de insalubridade pelo agente calor, pode ser otimizado, no sentido de como eliminar ou controlar o agente agressor, através da análise dos dados “brutos” das temperaturas medidas. Portanto, o objetivo deste trabalho foi auxiliar a tomada de decisão para controle ou eliminação da insalubridade, a partir da análise de dados do IBUTG, em uma panificadora.

2. Referencial Teórico

2.1 Temperatura de Bulbo Úmido, de Bulbo Seco e de Globo

Normalmente, as pesquisas sobre psicrometria são feitas utilizando-se de um instrumento denominado psicrômetro (Figura 1), o qual se trata, basicamente, de um conjunto de termômetros de bulbo seco e úmido (coberto por um tecido imerso em água) (DIAS, 2001). Quando o termômetro de bulbo úmido é colocado em uma corrente de ar, a água se evapora do tecido, até que atinja uma temperatura de equilíbrio, chamada temperatura do termômetro de bulbo úmido (T_u). Esse processo não é de saturação adiabática, a qual define a T_u em termos dinâmicos, mas trata-se de transferência de calor e massa simultâneos no bulbo úmido (BEYER, 1998, citado por DIAS, 2001).

Figura 1 - Funcionamento de um psicrômetro de bulbos úmido e seco.

Fonte: Adaptado de Schneider (2014)

A temperatura de bulbo seco (Tbs) nada mais é do que a temperatura do ar ambiente, podendo ser medida com um termômetro sem nenhuma adaptação. É chamada de temperatura de bulbo seco, porque o bulbo do termômetro não permanece em contato com nenhuma substância, a não ser o ar ambiente (BONTEMPI, 2013).

De acordo com Pablo et al., (2016), a Termômetro de Globo (Tg) é o instrumento mais comumente usado para medir a temperatura radiante média. Ela também é um bom preditor do efeito combinado da temperatura do ar, radiação de ondas longas e movimento do ar no estresse térmico humano. A temperatura do globo responde, portanto, às mudanças na temperatura do ar, temperatura radiante e velocidade do ar. Este termômetro pode ser usado, essencialmente, para duas funções: estimar a temperatura radiante média de um ambiente ou avaliar o calor, no que tange o conforto térmico para o ser humano (HUMPHREYS, 1977).

2.2 Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG)

Para a avaliação da exposição ao calor nos ambientes de trabalho, o IBUTG é o índice mais utilizado internacionalmente (OCCUPATIONAL, 1999; PARSONS, 2006, 2013), inclusive no Brasil. Para a determinação de condições de insalubridade, esses valores são comparados com limites de tolerância. Estes representam os limites de tolerância máximo e mínimo a que a maioria dos trabalhadores pode estar exposta ao agente ambiental sem que isso cause danos à saúde durante a vida laboral. (AMORIM, 2020)

As avaliações de calor efetuadas através do IBUTG estão sujeitas a variações climáticas que dependem das estações do ano. No entanto, para efeito da estipulação de medidas preventivas, devem ser consideradas sempre as piores condições ambientais (COX, 1973, p. 692). De acordo com a Norma de Higiene Ocupacional (NHO) 6, as equações que definem o IBUTG são as que seguem:

Para ambientes internos ou externos sem carga solar (sem radiação solar direta):

$$\text{IBUTG} = 0,7t_{bn} + 0,3t_g$$

Para ambientes externos com carga solar (com radiação solar direta):

$$IBUTG = 0,7t_{bn} + 0,3t_g + 0,1t_a$$

Onde: t_{bn} = temperatura de bulbo úmido natural

t_g = temperatura de globo

t_a = temperatura de bulbo seco

2.3 Aspectos Legais Relativos à Insalubre

Segundo Pereira et al (1998, p. 14), “a palavra insalubre é originária do latim e significa tudo aquilo que não é salubre, que não é saudável, que é doentio, que pode causar uma doença ao longo do tempo” (grifo nosso). Continuando, o mesmo autor conceitua insalubridade como sendo o caráter ou a qualidade de insalubre.

No Brasil, e de acordo com a Norma Regulamentadora Nº 15 (NR-15), uma atividade ou operação é considerada insalubre se o seu desenvolvimento se processa, dentre outros fatores, “acima dos limites de tolerância previstos nos anexos nºs 1, 2, 3, 5, 11 e 12” (SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO, 2000, p. 133).

De acordo com Infoseg (2004), são vários os fatores ambientais que prejudicam a saúde do trabalhador que se expõe ao calor excessivo durante suas atividades laborais: temperatura, umidade, calor radiante e velocidade do ar.

Em relação ao fator fisiológico, a termorregulação humana faz com que o corpo humano mantenha a temperatura estável, em torno de 37°C, utilizando-se de mecanismos neurais e cardiovasculares (MAYO, 2019).

O agente físico calor passa a causar problemas quando se encontra acima do Limite de Tolerância (LT), definido através da Norma Regulamentadora Nº15 (NR-15) como sendo: “a concentração ou intensidade máxima ou mínima, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará danos à saúde do trabalhador, durante a vida laboral” (BRASIL, 1998).

O Anexo Nº 3 da NR-15 trata dos limites de tolerância para exposição ao calor. Segundo esse Anexo, a exposição ao calor deve ser avaliada através do Índice de Bulbo Úmido – Termômetro de Globo (IBUTG), índice esse que “representa o efeito combinado da radiação térmica, da temperatura de bulbo seco, da umidade e da velocidade do ar” (COUTINHO, 1998, p. 176 – 177).

3. Metodologia

Trata-se de um trabalho quantitativo, descritivo e exploratório. O trabalho foi realizado entre os meses de março e setembro de 2021. O esquema metodológico da pesquisa pode ser visualizado na Figura 2.

Figura 2 – Esquema metodológico da pesquisa

Fonte: Autores (2021)

Inicialmente foi realizada a análise de insalubridade pelo agente calor no ambiente de trabalho objeto de estudo. Para tanto, foram seguidas, como instrumento de caracterização da insalubridade, a NR-15, em seu anexo 3, e a NHO – 06, conforme legislação em vigor do Ministério do Trabalho e Emprego.

A seguir, com os dados das Temperaturas de Bulbo Seco, Bulbo Úmido e Globo, extraídos do software do Medidor de Estresse Térmico, gerou-se uma planilha que foi processada pelo software Minitab. Com estes dados foram geradas estatísticas descritivas básicas, gráficos de Pareto, séries temporais, gráficos de dispersão e correlações de Pearson, com o objetivo de analisar a carga térmica do ambiente avaliado.

O terceiro passo foi, a partir dos outputs gerados pelo software Minitab, tomar a decisão sobre o que deve ser realizado para eliminar a insalubridade pelo agente calor no ambiente em questão. A partir daí a solução sugerida foi implantada na empresa e, realizou-se, uma vez

mais, nova rodada de medições para caracterização da insalubridade pelo agente calor. De maneira análoga, foi realizada ainda nova análise da carga térmica pós intervenção para melhor compreensão dos resultados obtidos.

4. Resultados e Discussões

A Tabela 1 mostra o sumário da estatística descritiva dos dados coletados em março de 2021. Nela é possível verificar médias, medidas de variância e quartis das temperaturas de bulbo úmido, bulbo seco e globo. Importante pontuar as (altas) médias das Temperaturas de Bulbo Úmido, Seco e Globo: 30,8° C, 30,6° C e 31,2° C respectivamente.

Tabela 1 – Sumário estatística descritiva temperaturas 1

Variável	N	N*	Média	EP	Média	DesvPad	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Bulbo úmido [°C]	263	0	30,846		0,0410	0,666	27,900	30,600	31,000	31,300	31,900
Bulbo seco [°C]	263	0	30,679		0,0299	0,485	29,000	30,400	30,800	31,000	31,800
Globo [°C]	263	0	31,203		0,0320	0,518	29,800	30,900	31,300	31,600	32,100
Variável	Amplitude										
Bulbo úmido [°C]	4,000										
Bulbo seco [°C]	2,800										
Globo [°C]	2,300										

Fonte: Autores (2021)

Do início da jornada de trabalho até o final das 273 medições, houve uma variação de 4° C, 2,8° C e 2,3° C, das temperaturas de bulbo úmido, seco e globo, respectivamente, indicando um delta de carga térmica ao longo do dia. O Gráfico 1 ilustra esta variação da carga térmica ao longo do dia.

Gráfico 1 – Séries Temporais das Temperaturas

Fonte: Autores (2021)

A seguir, foi realizada a definição dos níveis de ação, em função do metabolismo médio dos trabalhadores avaliados. Essa definição tomou como base os Quadros 1 e 2 do Anexo 3 da NR 15. O metabolismo médio para as atividades realizadas para os padeiros foi de “ em pé, trabalho leve com dois braços”, o que equivale a 243 W. Por sua vez, este valor representa um valor de IBUTG ponderado máximo de 29,2° C. Portanto, para o caso em tela, as os níveis de ação foram definidos da seguinte maneira: temperaturas entre 27° e 28,9° C – situação ideal; temperaturas entre 29° e 29,2° C – alerta; temperaturas maiores que 29,3° C – perigo.

Para melhor ilustrar a situação supracitada, foram gerados Gráficos de Pareto, para cada uma das temperaturas componentes do IBUTG, com a codificação dos níveis de ação aqui definidos.

O Gráfico 2 mostra os valores recodificados relativos a temperatura de bulbo úmido. Dele pode-se inferir que 92% das temperaturas estão na situação de perigo, 5,3% em alerta e apenas 2,7% estão na situação ideal.

Gráfico 2 – Pareto Recodificado – Temperaturas de Bulbo Úmido

Fonte: Autores (2021)

O Gráfico 3 mostra os valores recodificados relativos a Temperatura de bulbo seco. Dele pode-se inferir que 92,4% das temperaturas estão na situação de perigo e 7,6% em alerta. Não houve situação ideal para esta medida.

Gráfico 3 – Pareto Recodificado – Temperaturas de Bulbo Seco

Fonte: Autores (2021)

O Gráfico 4 mostra os valores recodificados relativos à Temperatura de Globo. Dele pode-se inferir que 100% das temperaturas estão na situação de perigo.

Gráfico 4 – Pareto Recodificado – Temperaturas de Globo

Fonte: Autores (2021)

Vale salientar que o valor do IBUTG médio na primeira rodada de medições foi de 30,9°C, caracterizando, portanto, o ambiente como insalubre pelo agente calor. A variação do IBUTG ao longo do dia comparado com o limite de tolerância para o caso em tela pode ser visto no Gráfico 5. Destaque para o início da jornada de trabalho, em que os valores de IBUTG estavam, ainda, abaixo do limite de tolerância estabelecido pela NR 15.

Gráfico 5 – Séries Temporais IBUTG x Limite de Tolerância

Fonte: Autores (2021)

Para fins de tomada de decisão sobre a eliminação da insalubridade pelo agente calor, foi verificada se há correlação ou não entre as temperaturas de bulbo úmido, bulbo seco e globo. Foram gerados gráficos de dispersão e correlações de Pearson, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 – Matriz de Dispersão de Temperaturas e Correção de Pearson

Fonte: Autores (2021)

Da Figura 3 é possível inferir que os gráficos de dispersão apresentam uma relação positiva, linear e crescente. Complementarmente, a correlação de Pearson indica também que as variáveis avaliadas apresentam uma correlação forte e linear. Ou seja, a Temperatura de Bulbo Seco influencia a Temperatura de Bulbo Úmido. Assim como a Temperatura de Bulbo Úmido tem impacto na temperatura de Globo e a Temperatura de Bulbo Seco influencia a Temperatura de Globo.

Desta feita, para eliminar a insalubridade pelo calor dentro do ambiente de trabalho avaliado, pode-se abaixar a temperatura de bulbo seco, uma vez que ela irá refletir, também nas temperaturas de globo e de bulbo úmido. Portanto, foi sugerida a troca da principal fonte de calor interna da padaria: o forno. Trocou-se o forno a gás por um forno elétrico. Complementarmente, foram instalados novos exaustores industriais e consertados os que estavam quebrados, com o objetivo de aumentar a dissipação de calor dentro do ambiente.

Após a implantação das medidas sugeridas, foi realizada uma nova rodada de medições de temperatura, conforme pode ser visualizado na Tabela 2.

Tabela 2 – Sumária estatística descritiva temperaturas 2

Variável	N	N*	Média	EP	Média	DesvPad	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Bulbo úmido [°C]	592	0	28,463		0,0222	0,541	27,300	27,900	28,400	28,900	29,800
Bulbo seco [°C]	592	0	28,573		0,0194	0,471	27,800	28,100	28,500	28,975	29,700
Globo [°C]	592	0	29,196		0,0277	0,674	28,100	28,600	29,100	29,800	30,400
Variável	Amplitude										
Bulbo úmido [°C]	2,500										
Bulbo seco [°C]	1,900										
Globo [°C]	2,300										

Fonte: Autores (2021)

Da Tabela 2 pode-se atestar que houve redução da carga térmica a que os trabalhadores estavam submetidos. Para tanto, basta comparar medianas da Tabela 2 com as medianas da Tabela 1, bem como as amplitudes das temperaturas. Os valores de mediana de Temperatura de Bulbo Úmido reduziram em 2,6°C, os de Temperatura de Bulbo Seco reduziram em 2,025°C e os de Temperatura de Globo reduziram em 1,8° C. As amplitudes das Temperatura de Bulbo Úmido e Seco caíram: 1,5° C e 0,9° C respectivamente. Já a variação da Temperatura de Globo manteve-se igual. O Gráfico 6 mostra a variação das Temperaturas ao longo da jornada de trabalho após a implantação das soluções sugeridas.

Gráfico 6 – Séries Temporais 2 das Temperaturas

O IBUTG médio para o período foi calculado como sendo 28,6° C, portanto abaixo do limite de tolerância especificado pela NR 15, eliminando, portanto, a insalubridade pelo agente calor. O Gráfico 7 mostra a variação do IBUTG ao longo da jornada de trabalho.

Gráfico 7 – Séries Temporais 2 IBUTG x Limite de Tolerância

Fonte: Autores (2021)

Com relação ao enquadramento nos níveis de ação de cada uma das temperaturas componentes do IBUTG, os Gráficos 8, 9 e 10 mostram a nova realidade pós intervenção. Na análise para as novas Temperaturas de Bulbo Úmido, 76,5% dos valores estão enquadrados como ideias, 15,9% como alertas e 7,6% como perigo. Vale salientar que, para ambientes sem radiação solar direta, 70% do IBUTG é calculado em função desta Temperatura.

Gráfico 8 – Pareto Recodificado 2 – Temperaturas de Bulbo Úmido

Fonte: Autores (2021)

No que tange os valores de Temperatura de Bulbo Seco, 75% estão em níveis ideais, 14,7% em estado de alerta e 10,3% em situação de perigo.

Gráfico 9 – Pareto Recodificado 2 – Temperaturas de Bulbo Seco

Fonte: Autores (2021)

Para os valores de Temperatura de Globo, 48% estavam em situação de perigo, 39,5% em situação ideal e 12,5% em situação de alerta.

Gráfico 10 – Pareto Recodificado 2 – Temperaturas de Globo

Fonte: Autores (2021)

Quando comparada com os índices dos níveis de ação antes da intervenção, os atuais índices tiveram um grande incremento. Para melhor ilustrar o texto supracitado, a Tabela 3 mostra um comparativo dos níveis de ação por temperatura antes e depois da intervenção.

Tabela 3 – Comparativo de níveis de ação por temperatura antes e depois da intervenção

ANTES DA INTERVENÇÃO			
	Ideal (%)	Alerta (%)	Perigo (%)
Temperatura de Bulbo Úmido	2,70%	92,00%	5,30%
Temperatura de Bulbo Seco	-	7,60%	92,40%
Temperatura de Globo	-	-	100%
DEPOIS DA INTERVENÇÃO			
	Ideal (%)	Alerta (%)	Perigo (%)
Temperatura de Bulbo Úmido	76,50%	15,90%	7,60%
Temperatura de Bulbo Seco	75,00%	14,70%	10,30%
Temperatura de Globo	39,50%	12,50%	48,00%

Fonte: Autores (2021)

Pode-se perceber grandes reduções nas Temperaturas de Bulbo Úmido e Seco, uma vez que em mais de 75% da jornada de trabalho, aquelas temperaturas estão dentro do nível de ação considerado “ideal”. Por sua vez, houve ainda uma melhora significativa na Temperatura de Globo, indicando que 52% dos casos estão entre ideal e alerta. Esses incrementos nas temperaturas explicam a eliminação da insalubridade pelo agente calor no ambiente de trabalho avaliado.

5. Considerações Finais

Este artigo teve como objetivo auxiliar a tomada de decisão sobre controle ou eliminação da insalubridade pelo agente calor, a partir da análise de dados do IBUTG, em uma panificadora.

Após a coleta dos dados, os resultados indicaram que os trabalhadores presentes na área do objeto de estudo estavam sujeitos a insalubridade pelo agente calor. Neste sentido, foram analisados 855 dados sobre as Temperaturas de Bulbo Seco, Úmido e Globo a fim de se buscar uma solução que controlasse ou eliminasse a insalubridade pelo agente supracitado.

As Temperaturas de Bulbo Seco, Bulbo Úmido e Globo analisadas apresentaram forte correlação de Pearson, o que indicou a possibilidade de intervenção na principal fonte de calor da panificadora, ou forno a gás. Complementarmente, foram colocados mais exaustores no ambiente avaliado, além do conserto dos que estavam quebrados. Após a intervenção, a Temperatura de Bulbo Seco teve uma redução de 2,1°C, a de Bulbo Úmido caiu 2,3°C e a de Globo diminuiu 2°C. Como resultado, a insalubridade pelo agente calor foi eliminada do ambiente de trabalho objeto de estudo.

Referências

AMORIM, Adriana Eloá Bento et al. Exposição ocupacional ao calor em atividades a céu aberto na construção de estruturas de edifícios. *Ambiente Construído* [online]. 2020, v. 20, n. 1 [Acessado 18 Outubro 2021], pp. 231-245. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000100371>>. Epub 05 Dez 2019. ISSN 1678-8621. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000100371>.

APARICIO, Pablo et al. The globe thermometer in comfort and environmental studies in buildings. *Revista de la Construcción*, Santiago, v. 15, n. 3, p. 57-66, dic. 2016. Disponible en <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2016000300006&lng=es&nrm=iso>. accedido en 03 nov. 2021. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2016000300006>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE HIGIENISTAS OCUPACIONAIS – ABHO. TLVs e BEIs. Tradução dos limites de exposição (TLVs) para substâncias químicas e agentes físicos e índices biológicos de exposição (BEIs) da ACGIH. São Paulo, 1998.

BONTEMPi, A.; FUJII, A. T.; ANÁLISE EXPERIMENTAL DO CONCEITO DE UMIDADE RELATIVA DO AR, 2013.

COUTINHO, Antonio Souto. Conforto e Insalubridade Térmica em Ambientes de Trabalho. João Pessoa: Edições PPGEP, 1998.

COX, Joe W. Temperaturas Extremas. In: FUNDACENTRO. Curso para Engenheiros de Segurança do Trabalho. São Paulo, 1973. v. 3, p. 684 – 711.

DIAS, J.B. Construção e validação de uma bancada para calibração de sensores para determinação da umidade relativa do ar 2001. 153 f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

HUMPHREYS, M. A. (1977). The optimum diameter for a globe thermometer for use indoors. *Annals of Occupational Hygiene*, 20(2), 135–140.

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

INFOSEG. O calor excessivo no ambiente de trabalho. RACCOBRASIL. 10ª Ed. P. 02- 04. Disponível em: <http://www.raccosafety.com.br/Edicao10_calor_excessivo_ambiente_trabalho.pdf>. Acesso 18 out . 2021.

MAYO, Paulo. “Controle da temperatura corporal durante exercício físico.” *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, Junho de 2019.

PEREIRA, Fernandes José; FILHO, Orlando Castello. Manual prático: como elaborar uma perícia de insalubridade e de periculosidade. São Paulo: LTr, 1998.

SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO. 47. ed. São Paulo: Atlas, 2000.