RELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS E SENSAÇÃO TÉRMICA: ESTUDO DE CASO EM UM AMBIENTE COMPARTILHADO

Natasha Hansen Gapski (1); Brenda Loeser (2); Mateus Vinícius Bavaresco (3); Liége Garlet (4); Ana Paula Melo (5); Roberto Lamberts (6)

(1) Mestra, Engenharia Civil, natasha.gapski@gmail.com, Universidade Federal de Santa Catarina
(2) Engenheira Civil, brenda.costa.loeser@gmail.com, Universidade Federal de Santa Catarina
(3) Doutor, Engenharia Civil, bavarescomateus@gmail.com, Universidade Federal de Santa Catarina
(4) Mestra, Engenharia Civil, liegegarlet@gmail.com, Universidade Federal de Santa Catarina
(5) Doutora, Engenharia Civil, a.p.melo@ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina
(6) PhD, Engenharia Civil, roberto.lamberts@ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina

RESUMO

A satisfação térmica em ambientes internos é essencial para a manutenção do bem-estar e qualidade de vida dos seus ocupantes. Nesse sentido, este trabalho observou a relação entre variáveis fisiológicas do corpo humano e a sensação térmica de um grupo de pessoas em um ambiente de escritório localizado na cidade de Florianópolis/SC. Foram realizadas medições de temperatura de pele em dez pontos do corpo dos participantes, e o monitoramento de batimentos cardíacos. Estas variáveis foram relacionadas aos votos de sensação térmica a cada meia hora, entre 9h e 16h. Os dados de temperatura superficial medidos foram organizados em quatro grupos corporais (cabeça, tronco, braços e pernas) para uma avaliar os pontos com melhor correlação com as respostas de sensações térmicas de frio, neutro e calor. Verificou-se que o grupo dos braços apresentou maior frequência de temperaturas elevadas em votos de sensação de calor e menores temperaturas em votos de sensação de frio. Em relação à frequência cardíaca, observou-se maior variabilidade entre os batimentos em votos de sensação de calor e frio, em comparação aos neutros. Por fim, a análise da frequência cardíaca e da temperatura da pele não apontou correlações diretas com as respostas de sensação térmica.

Palavras-chave: variáveis fisiológicas, sensação térmica, conforto térmico.

ABSTRACT

Indoor thermal comfort is essential for maintaining people's well-being and quality of life. This study aimed to understand the relationship between human physiological variables and a group of people's thermal sensations in an office environment in Florianópolis/SC. Skin temperature was measured at ten points on the participants' bodies, and their heart rate was monitored with wrist and chest devices. These variables were related to thermal sensation ratings every half hour, between 9 am and 4 pm. The measured skin temperature data were organized into four body groups (head, trunk, arms, and legs) to evaluate the parts with a higher correlation to cold, neutral, and hot thermal sensations. It was observed that the group of arms showed the best correlation between body temperature and perceived sensation, with a higher frequency of higher temperatures observed in votes for feeling hot and lower temperatures for feeling cold. When analyzing heart rate, greater variability between heart beats was observed for hot and cold responses than the neutral ones. Finally, no direct correlations were obtained between the two physiological variables and the participants' perceived sensations.

Keywords: physiological variables, thermal sensation, thermal comfort.

1. INTRODUÇÃO

Em ambientes internos, a satisfação térmica dos usuários é desejável pois está relacionada com a qualidade de vida dos seus ocupantes (LI et al., 2018; OMIDVAR; KIM, 2023). O conforto térmico é definido como a condição mental em que um indivíduo expressa satisfação com o ambiente térmico; já a sensação térmica, está relacionada ao equilíbrio entre ganhos e perdas de calor entre o corpo e o ambiente térmico, controlada pelos mecanismos de termorregulação do corpo humano (ASHRAE, 2020).

Quando se trata da avaliação de conforto térmico em espaços internos, a ASHRAE 55 (2020) define dois procedimentos para esta avaliação: o primeiro por meio dos índices de voto médio predito (PMV), e o segundo baseado em fundamentos de conforto adaptativo. Ambos os procedimentos desenvolvidos para avaliar um grupo médio da população. Entretanto, estes modelos desconsideram condições específicas de cada indivíduo; como sexo, idade e histórico térmico (CHEN et al., 2023a). Além disso, estes modelos se baseiam na estimativa de aspectos sensitivos e perceptivos dos indivíduos e não consideram variáveis fisiológicas nas suas avaliações (LI et al., 2018).

Porém, alguns estudos sobre a modelagem de conforto térmico pessoal indicam a viabilidade de prever condições de satisfação térmica baseadas na medição de variáveis fisiológicas, como a temperatura da pele e os batimentos cardíacos (LIU et al., 2019; CHEN et al., 2023a). Isso se verifica a partir do conhecimento sobre o sistema nervoso autônomo, responsável por regular os processos fisiológicos do corpo humano de forma espontânea, mais especificamente do sistema simpático, que controla alguns dos mecanismos termorreguladores do corpo humano como a sudorese, tremores e geração de calor (ZHU et al., 2018). Ou seja, quando ocorrem os mecanismos de termorregulação, é o momento em que o sujeito denota desconforto térmico. Demonstrando que a sensação térmica e a temperatura da pele apresentam uma relação linear, o que torna essa variável fisiológica um indicador de aspectos de conforto térmico (ZAINOL et al., 2019).

Nesse sentido, Choi e Loftness (2012) relacionaram as sensações relatadas por participantes de um estudo, com as temperaturas de pele medidas em dez pontos do corpo em experimentos em uma câmara climática. Entre as partes do corpo avaliadas, os sensores colocados no pulso dos participantes apresentaram os dados mais impactantes nas variáveis dependentes (CHOI; LOFTNESS, 2012). Ainda, os autores observaram que participantes sob condições similares de temperatura de pele tinham respostas diferentes de sensação térmica, devido aos mecanismos de termorregulação individuais.

Além dos efeitos sobre a temperatura da pele, a termorregulação também reflete na excitação corporal e afeta a frequência cardíaca, tornando possível a representação de sensações de conforto térmico a partir da avaliação de parâmetros de frequência cardíaca (ZHU et al., 2018). Chen et al. (2023b) salientam que a frequência cardíaca é afetada dadas às condições térmicas, elevando-se quando do aumento da temperatura e elevando-se ainda mais quando o indivíduo é exposto a situações de extrema temperatura e umidade, ou seja, estresse térmico.

Deste modo, compreender e avaliar as correlações entre as variáveis fisiológicas somadas às percepções dos usuários demonstra ser de grande relevância para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de modelos preditivos de conforto térmico humano. Estes avanços podem minimizar a necessidade de avaliações subjetivas dos usuários a partir de coletas de dados objetivos que apresentem correlações com seus níveis de conforto e preferências. Essa abordagem pode fornecer informações mais precisas e individualizadas sobre o conforto térmico, promovendo ajustes mais adequados e personalizados do ambiente interno.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é compreender a relação entre variáveis fisiológicas do corpo humano (temperatura da pele e frequência cardíaca) e a sensação térmica de um grupo de pessoas em um ambiente de escritório localizado na cidade de Florianópolis/SC.

3. MÉTODO

Esta pesquisa foi desenvolvida com base em quatro etapas: caracterização do ambiente de acordo com o *layout* de trabalho existente; aplicação do questionário de percepção ambiental; medição de variáveis ambientais e fisiológicas; e análise dos dados coletados. O experimento foi realizado com um grupo de participantes de 16 pessoas, sendo 10 participantes do sexo feminino e 6 do masculino, com idades entre 22 e 49 anos.

3.1. Ambiente analisado

O ambiente avaliado é um laboratório de pesquisas, localizado na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em Florianópolis/SC, com área de aproximadamente 250 m². O ambiente é composto por uma área de trabalho compartilhada com 36 postos de trabalho, duas salas de professores, duas salas de reunião e uma copa, identificados no *layout* conforme a Figura 1. O estudo se restringiu ao ambiente compartilhado, o qual possui cinco condicionadores de ar do tipo cassete, e a sala de professor 1, com apenas um condicionador de ar. Ambos os espaços foram ocupados normalmente pelos participantes em relação às atividades realizadas, vestimentas utilizadas, e a operação dos condicionadores de ar e sistemas personalizados de condicionamento (PCS). Ressalta-se que neste ambiente são realizadas atividades típicas de escritório.

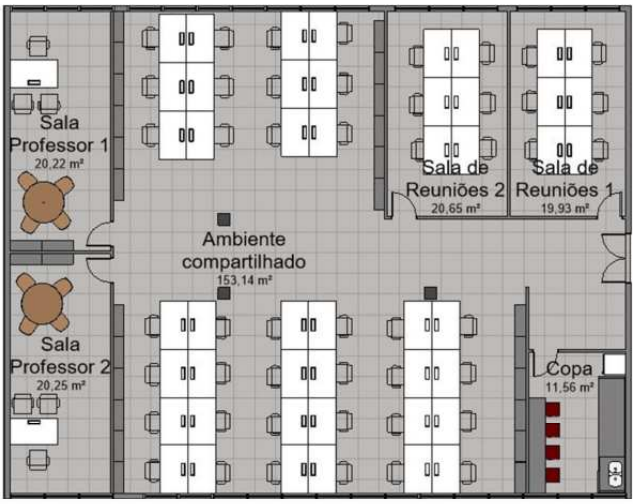

Figura 1 – Planta baixa do ambiente analisado

3.2. Variáveis fisiológicas medidas

Para a medição das variáveis fisiológicas humanas foram consideradas as medições de temperatura superficial da pele e batimentos cardíacos. Foram utilizados medidores de temperatura do tipo *thermochron Ibutton,* com acurácia de 0,0625 °C e registro a cada 60 segundos, posicionados na superfície da pele. O método escolhido definido por Liu (2011) e chamado de MST-10, considera 10 pontos de medição distribuídos em diferentes regiões do corpo humano, identificados com letras na Figura 2. Para a medição dos batimentos cardíacos foram utilizados medidores de batimentos cardíacos Polar A370 no pulso esquerdo de cada participante, com registro de batimentos por minuto (BPM) a cada segundo, e uma cinta peitoral cardíaca Polar H10, ambos identificados na Figura 2.

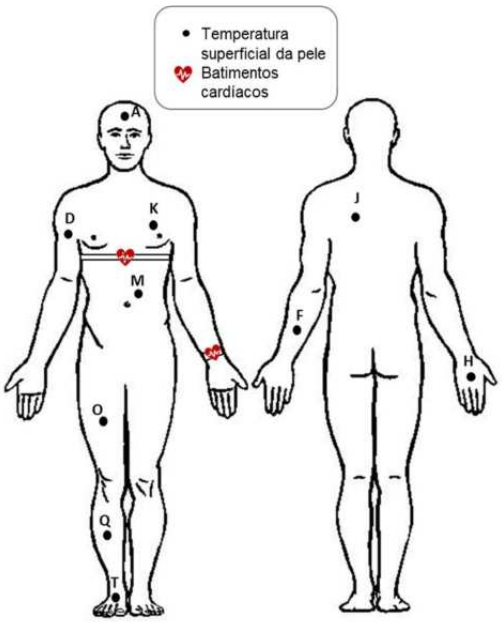

Figura 2 - Pontos de medições no corpo humano

3.3. Procedimento experimental

O procedimento adotado definiu o monitoramento dos participantes das 9h às 12h e 13h30 às 16h, visando englobar horários habituais de trabalho tanto no período matutino quanto no período vespertino. Os monitoramentos foram realizados em 13 dias, entre 08/02 e 02/03. Por se tratar de um ambiente com postos de trabalho compartilhados, os experimentos foram realizados com diferentes grupos de pessoas distribuídos em postos próximos. Os grupos compreenderam três ou quatro pessoas próximas, e essa estratégia foi definida a fim de utilizar um único confortímetro nas medições diárias e garantir que as variáveis ambientais monitoradas representassem o microclima mais próximo às estações de trabalho dos participantes. Os participantes foram orientados a utilizar roupas de sua preferência e se alimentar conforme sua rotina habitual. Além disso, cada voluntário participou, no mínimo, em duas rodadas do experimento.

O protocolo experimental definiu o início do teste após o posicionamento dos equipamentos e dos sensores em cada um dos participantes. A aplicação dos questionários ocorreu a cada 30 minutos e foram preenchidos, de forma online, pelos participantes até o final do experimento, de acordo com a Figura 3.

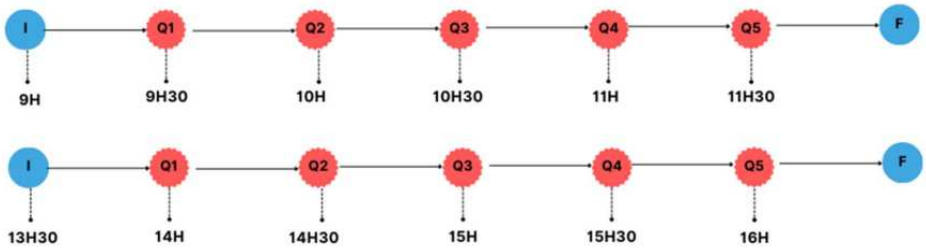

Figura 3 - Procedimento experimental

O questionário foi dividido em seções, com números distintos de questionamentos: Questões antropométricas e padrão de comportamento (14); Questões de conforto (03) e Questões de percepção e preferências térmicas (12). Ressalta-se que o conjunto de questões iniciais sobre antropometria e comportamento foram respondidas apenas na primeira participação do dia, e as demais respostas englobam apenas as avaliações de conforto e percepção térmica. Neste estudo, apenas as respostas referentes à sensação térmica estão sendo avaliadas, definidas em uma escala de: 01 – Com muito frio, 02 – Com frio, 03 – Levemente com frio, 04 - Neutro, 05 – Levemente com calor, 06 – Com calor e 07 – Com muito calor.

3.4. Método de Análise

A análise dos resultados divide-se em quatro partes. Primeiramente, realizou-se a caracterização do grupo de participantes, apresentando a distribuição das respostas referentes à sensação térmica. Nesta primeira etapa, também foi incluído o número de respostas por gênero (masculino, feminino) e a faixa de idade dos participantes, uma vez que são fatores que têm influência na sensação térmica.

Os dados da temperatura superficial da pele foram organizados de acordo com a subdivisão do corpo em 4 grupos: pernas (O, Q, T), braços (F, H), tronco (D, J, K, M) e cabeça (A). A primeira análise de dados relacionou a média da temperatura da pele encontrada em cada grupo e a resposta dada por cada participante referente à sua sensação. As temperaturas médias foram analisadas em diferentes intervalos, anteriores à resposta do questionário (5 min, 10 min e 20 min), a fim de verificar o intervalo que resulta em melhor correlação das variáveis com os votos de sensação. Em relação às temperaturas superficiais, espera-se que quanto maior a temperatura, maior a sensação de calor nos participantes. Assim, fez-se uma regressão linear entre respostas e a média de temperatura de cada grupo corporal. A partir desses resultados, analisou-se as correlações entre essas variáveis por meio do coeficiente de determinação (R-quadrado).

Em seguida, para nivelar a quantidade de votos de cada resposta de sensação para as análises posteriores, agruparam-se os votos de todos os participantes em três classificações: frio (01, 02 e 03), neutro (04) e quente (05, 06 e 07). De posse desses resultados, foi realizada uma segunda análise com o grupo do corpo que melhor representou a correlação entre temperatura corporal e sensação relatada, ou seja, o maior coeficiente de determinação. A partir daí, foram construídas análises de distribuição das temperaturas referentes às sensações frio, neutro e calor para os dados desse grupo.

De acordo com Zhu et al. (2018), a termorregulação humana reflete em frequências cardíacas mais altas e mais baixas, a variação dessas frequências e a correlação entre elas podem ser consideradas como um parâmetro potencial em estudos de conforto térmico. Assim, para identificar uma possível relação da frequência cardíaca com a sensação térmica percebida, analisou-se a média dos batimentos e a variabilidade, calculada pelo desvio padrão no intervalo de tempo definido. Nesta análise, os dados de cada participante foram tratados considerando o mesmo intervalo de tempo adotado para a variável de temperatura da pele.

4. RESULTADOS

4.1. Respostas

Durante o período de 13 dias de experimento, obtiveram-se 444 respostas sobre a percepção térmica dos participantes. A Figura 4 apresenta a distribuição de respostas da população avaliada, representada por uma maior proporção de respostas do sexo feminino, com 60% das respostas. Também é possível observar a distribuição de votos de sensação, destacando-se a maior proporção em votos de sensação neutra, seguido de levemente frio e levemente calor.

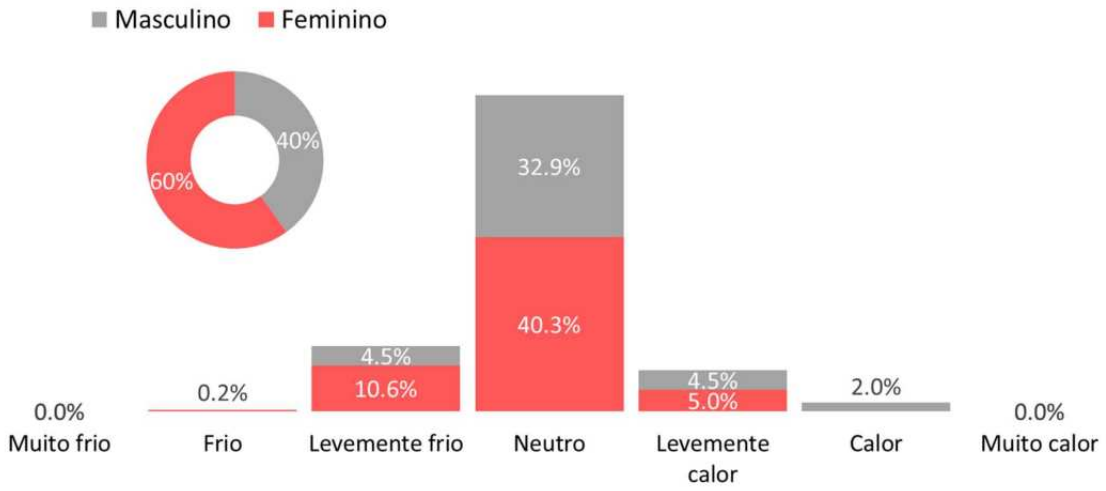

Figura 4 – Distribuição de respostas por sexo

Ressalta-se que os participantes seguiram suas atividades de escritório normalmente. Deste modo, não houve controle da vestimenta utilizada, do consumo de comidas e bebidas, do nível de atividade metabólica ou quaisquer variáveis que pudessem influenciar a percepção térmica dos participantes. Além disso, as análises foram realizadas sem diferenciar sexo e faixa etária dos participantes, mas considerando um grupo único.

4.2. Temperatura da pele por grupo corporal

A média da temperatura da pele foi avaliada para os intervalos de 5 min, 10 min e 20 min anteriores às avaliações subjetivas indicadas no questionário. O intervalo de 5 minutos apresentou melhor correlação (maiores valores de R-quadrado) entre a temperatura da pele e votos de sensação térmica, sendo assim definido como o intervalo de tempo de avaliação desse estudo. A temperatura da pele encontrada em cada grupo do corpo foi relacionada à sensação térmica respondida no questionário conforme observado na Figura 5.

Ao analisarmos o conjunto de temperaturas corporais medido, pode-se observar diferentes faixas de temperatura para uma mesma sensação térmica, sendo esse intervalo mais expressivo nos votos classificados como neutros, tal fato decorre da maior quantidade de votos nesta sensação. Apesar dessa variação ser recorrente em todos os grupos corporais, os grupos tronco e pernas, Figuras 5b e 5d, apresentaram menor correlação entre as variáveis, expressa por menores valores de R-quadrado, 0,0006 e 0,0921, respectivamente. Esses grupos demonstram uma menor correspondência da temperatura da pele com a percepção de sensação térmica, o que pode ser justificado pela maior proteção das vestimentas e maior fluxo sanguíneo nessas regiões corporais.

Os grupos cabeça e braços, Figuras 5a e 5c, apresentaram maior correlação entre as temperaturas superficiais médias e a sensação percebida dos participantes, com R-quadrado de 0,1052 e 0,1994 respectivamente. Portanto, é possível inferir desta análise que o grupo braços apresenta uma melhor correlação entre a variável fisiológica de temperatura da pele e sensação térmica percebida, se comparado aos demais grupos avaliados, considerando que a maioria dos votos se referem às sensações neutras, em encontro ao estudo de Choi e Loftness (2012). E por isso, teve sua análise aprofundada em relação à distribuição das temperaturas referentes às sensações de frio, neutro e calor, conforme a Figura 6.

A Figura 6 apresenta as frequências da média dos 5 minutos anteriores ao questionário das temperaturas do grupo de membros superiores conforme às sensações de frio (azul), neutra (cinza) e calor (vermelho) relatadas no questionário. Ressalta-se que nesta representação a frequência foi ajustada para os valores percentuais de cada grupo separadamente. No histograma para sensação de neutralidade, em que houve uma maior ocorrência das respostas dos participantes (ver seção 4.1), nota-se uma distribuição próxima da normal, com média e mediana de 31,7 ºC e assimetria de -0,20.

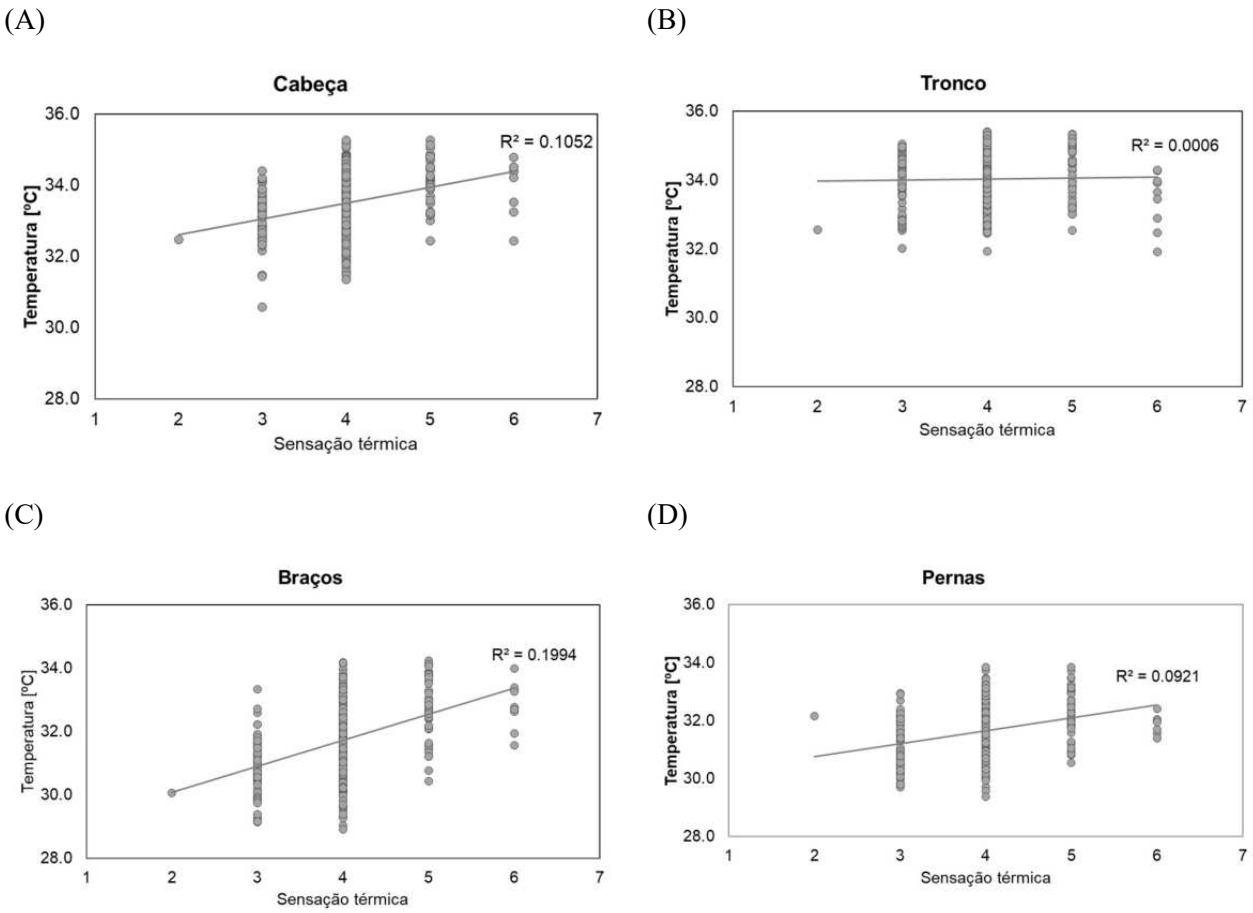

Figura 5 – Média da temperatura da pele dos grupos (A) cabeça, (B) tronco, (C) braços e (D) pernas pelos votos de sensação térmica

Quando relacionadas às frequências de temperatura de pele para as sensações de frio, observa-se que a temperatura média dos braços apresenta mais ocorrências em uma faixa de temperaturas menores, com 75% dos dados abaixo de 31,4 °C, segundo a medida do terceiro quartil. Este grupo apresentou média de 30,9 °C e baixo valor de assimetria, de 0,15.

A sensação de calor denota maior ocorrência quando a temperatura dos braços se encontra acima de 32,1 °C, segundo os valores do primeiro quartil. Além disso, observa-se que não houve respostas sobre a sensação de calor para temperaturas médias dos braços abaixo de 30 °C (Figura 6), indicando que existe um valor mínimo de temperatura média dos braços associado a sensação de calor. A média de temperatura nos votos de sensação de calor foi mais elevada que os demais, 32,5 °C, bem como a mediana, de 32,7 °C. Em relação à assimetria deste grupo de respostas, encontrou-se o valor de -1,37, revelando uma assimetria à esquerda.

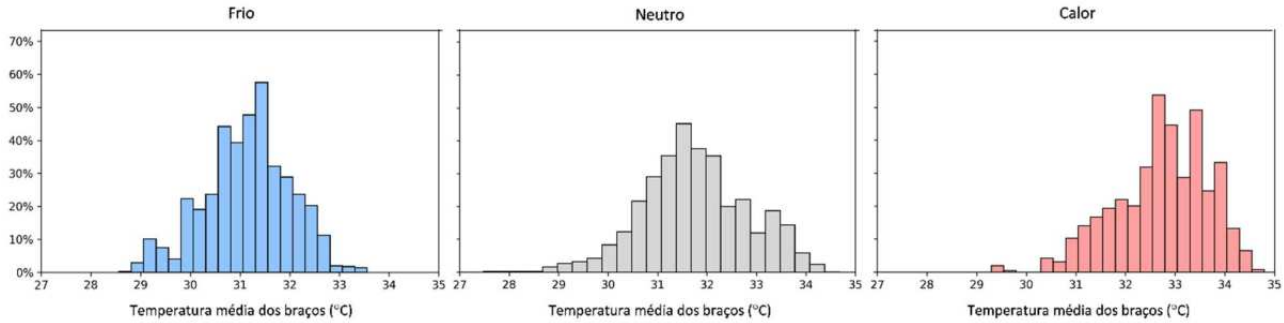

Figura 6 - Histograma da frequência de temperatura de pele no grupo de membros superiores de acordo com as sensações térmicas relatadas pelos participantes

De maneira geral, enquanto as sensações térmicas de calor estiveram associadas a um maior deslocamento da temperatura dos braços, as situações de neutralidade e de frio apresentaram distribuições de temperatura mais semelhantes. Ainda que tenham sido observadas diferenças entre a temperatura média dos braços conforme a sensação térmica relatada, houve respostas de frio para temperaturas mais elevadas e respostas de calor para temperaturas mais baixas em relação à população total. Este comportamento sugere que a temperatura da pele não é suficiente para aferir a sensação térmica, podendo estar também relacionada com o nível de atividade metabólica, por exemplo. Outra hipótese, a ser testada em estudos futuros, é que as diferenças individuais apresentam impactos não negligenciáveis, e as relações entre variáveis fisiológicas e percepções térmicas devem ser analisadas para cada participante.

4.3. Batimentos cardíacos

Os batimentos cardíacos de uma pessoa podem variar de acordo com a idade, sexo, nível de atividade física, estado emocional e condições de saúde. Nesta seção é verificada a relação entre as respostas de sensação térmica agrupadas em frio, neutralidade e calor. Com o objetivo de manter o intervalo temporal definido nas análises da temperatura corporal, as medidas de média e desvio padrão calculadas para os batimentos cardíacos foram baseadas nos 5 minutos anteriores às respostas dos participantes. Estes dados foram registrados em batimentos por minuto (BPM) em um intervalo de 1 segundo, portanto, os cálculos das variáveis no intervalo de 5 minutos envolveram 300 segundos de registros.

A Figura 10 apresenta os diagramas de caixa para as médias e desvios padrão dos batimentos cardíacos segundo as sensações térmicas relatadas. Em relação à média, as respostas de frio apresentaram média de 74 BPM e mediana de 73 BPM. As respostas de neutralidade mostram média semelhante, com 75 BPM, e mediana de 74 BPM. Para a sensação de calor, a média foi mais elevada que os outros dois grupos de respostas, 77 BPM, valor que se manteve na mediana.

Para verificar se as diferenças das médias são estatisticamente diferentes, aplicou-se o "teste t de Student" para comparar as médias das respostas de sensação de frio e calor. Nesta análise, a resposta de neutralidade foi desconsiderada devido ao seu tamanho, que é muito maior que as demais. O teste de hipótese aplicado leva em consideração o valor crítico de t para o nível de significância de 95%, baseado no número de graus de liberdade, calculado pela soma do tamanho das amostras subtraído de 2, e o valor de t calculado para os grupos. Se o valor t calculado for maior que o valor crítico, é possível concluir que as médias das amostras são estatisticamente diferentes. Para os dados de média dos batimentos cardíacos, encontrou-se um valor t de 1,54, valor menor que o crítico (1,98), logo, não há diferença estatística entre as médias dos grupos de frio e calor.

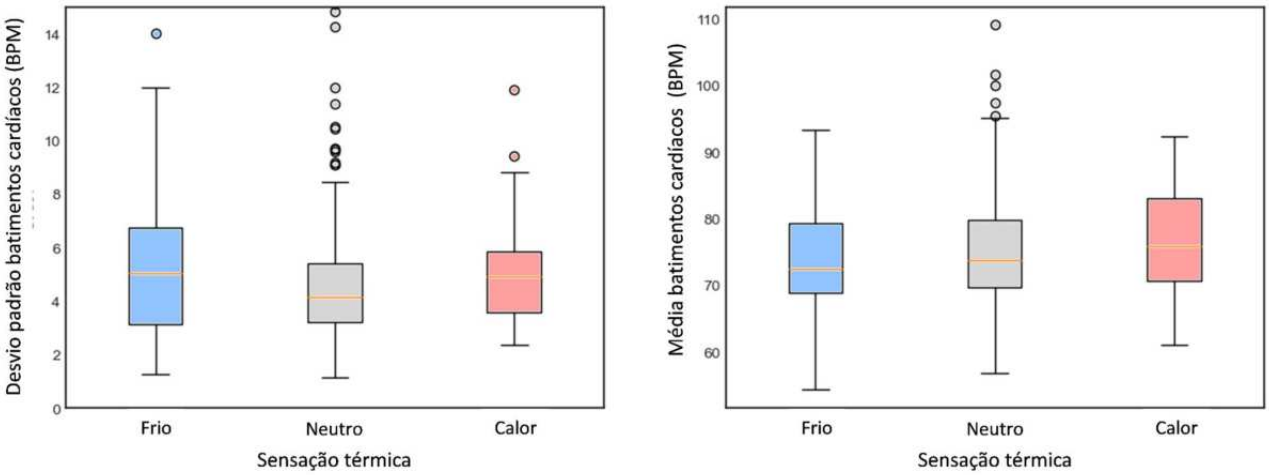

Figura 7 - Diagramas de caixa de batimentos cardíacos por sensação térmica

O desvio padrão também foi avaliado como modo de representar a variabilidade dos batimentos cardíacos. A Figura 7 expõe a distribuição dos desvios padrão para os batimentos cardíacos. É possível observar uma maior mediana nas sensações térmicas de frio e calor em comparação com a resposta de neutralidade, com 5 BPM nas primeiras e 4 BPM na última. Embora uma maior variabilidade nos batimentos seja indiretamente associada a reações do corpo às sensações de frio ou calor, estes valores são muito próximos. Além disso, o tamanho desigual de cada grupo de respostas pode levar a análises enviesadas, uma vez que pode não ser representativa da população.

4.4. Temperatura da pele X Batimentos cardíacos

Por fim, analisou-se a relação entre as temperaturas médias dos membros superiores e as frequências cardíacas médias considerando-se o intervalo de 5 minutos anteriores à resposta subjetiva ao questionário de sensação térmica. Baseando-se nos resultados obtidos nas análises anteriores, essa avaliação confirmou que as temperaturas da pele apresentaram maior relação com as sensações térmicas, especialmente as mais contrastantes (frio e calor). Os gráficos de dispersão, expostos na Figura 8, apresentam grupos claros de pontos representando cada uma das sensações térmicas. Apesar de pouca correlação ter sido encontrada com a combinação dos dois índices fisiológicos utilizados neste estudo, ressalta-se que mais estudos são necessários para aprofundar o conhecimento neste tópico.

Neste sentido, o experimento relatado será repetido nas próximas estações ao longo de 2023 (outono, inverno e primavera) a fim de obter uma base de dados mais robusta e representativa para o cenário avaliado. Considerando que diferenças individuais impactam significativamente nas percepções de conforto térmico (WANG et al. 2018), espera-se que a coleta de dados adicionais nas demais estações permitirá realizar análises mais personalizadas. Por análises mais personalizadas, entende-se estratificações por grupos de idade, gênero, exposições prévias a sistemas de condicionamento artificial, ingestão de alimentos ou bebidas nos intervalos entre os questionários, movimentação no ambiente interno, etc.

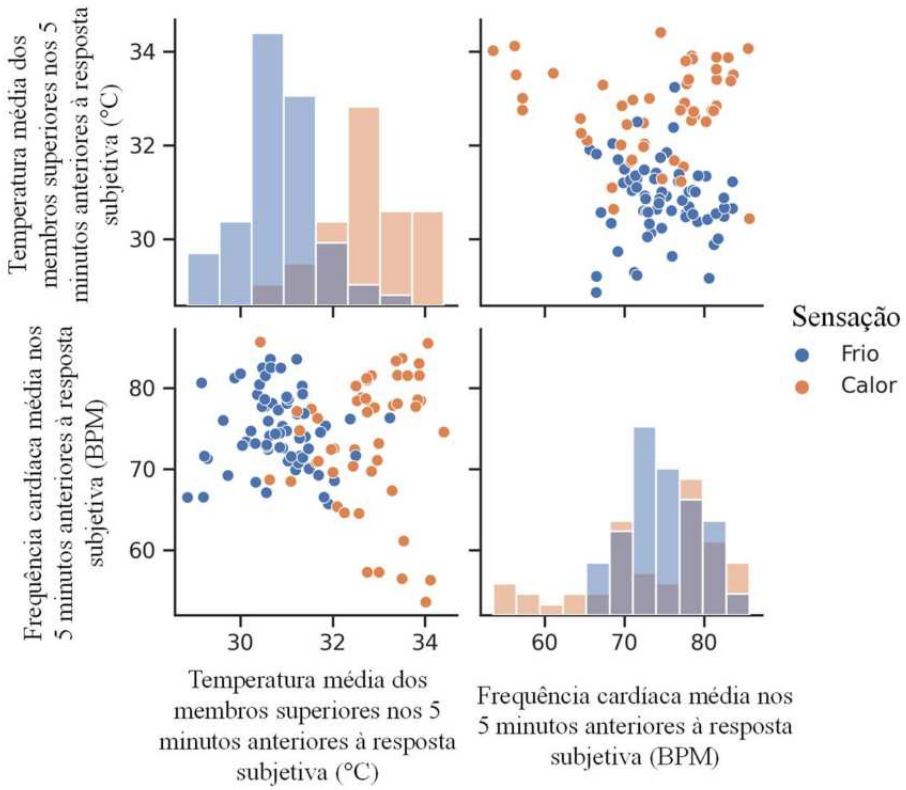

Figura 8 - Relação entre as temperaturas médias dos membros superiores e das frequências cardíacas médias nos cinco minutos anteriores à resposta subjetiva

5. CONCLUSÕES

Este trabalho permitiu compreender a relação entre variáveis fisiológicas do corpo humano e a sensação térmica de um grupo de participantes que compartilham um mesmo local de trabalho. O experimento realizado mediu 10 pontos de temperatura superficial da pele e batimentos cardíacos dos participantes no período diurno, com aplicação de questionário a cada 30 minutos. O que totalizou em 444 respostas sobre a percepção térmica dos participantes, das quais 73,2% foram em votos de sensação neutra, e o restante dividiu-se nas sensações de calor e frio.

De maneira geral, ao agrupar os pontos de medição de temperaturas em cabeça, tronco, braços e pernas obteve-se que a temperatura média da pele na região dos braços reflete em maior correspondência com as sensações térmicas dos participantes avaliados, que em sua maioria relataram sensações neutras. Este resultado pode beneficiar estudos de desenvolvimento de modelos de conforto pessoal. Além disso, as relações dessas temperaturas e sensação térmica corroboram com o comportamento esperado, de que temperaturas maiores possuem maior frequência em sensações de calor e de que temperaturas menores em sensações de frio. Tais resultados indicam correlações entre a temperatura superficial da pele e sensações térmicas, porém de forma

isolada esta variável não é suficiente para aferir a sensação térmica, precisando ser associada a outras características individuais.

Ao se avaliar a relação entre batimentos cardíacos e sensação térmica percebida, não se observou diferença estatística entre as médias de batimento segundo a sensação térmica. Quanto à variabilidade, medida pelo desvio padrão, observou-se que as sensações de frio e calor apresentaram maior desvio do que a neutra, o que pode representar as variações de frequência ocasionadas pela termorregulação corporal. Por fim, ao se analisar a temperatura média da pele dos braços e os batimentos cardíacos constatou-se que a temperatura da pele apresenta uma relação mais evidente com a sensação térmica, além disso, não foi possível estabelecer relação direta entre as duas variáveis. Ressalta-se a limitação referente ao equipamento de medição dos batimentos cardíacos, não sendo possível aplicar os métodos de cálculo de variabilidade da frequência cardíaca indicados para estudos de conforto térmico.

Os resultados deste estudo indicam que variáveis fisiológicas apresentam correlações com as avaliações subjetivas de conforto térmico em ambientes de escritório. Entretanto, é importante ressaltar que características individuais também impactam os níveis de satisfação e conforto térmico dos ocupantes e que não foram abordadas neste estudo. Este estudo foi baseado em dados coletados durante o verão de 2023, e a replicação do experimento nas próximas estações permitirá análises mais específicas e personalizadas sobre os resultados obtidos. Desse modo, as próximas análises devem ser relacionadas à temperatura do ambiente e às respostas de sensação térmica, assim como serão contempladas análises das características individuais dos membros desse grupo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSI/ASHRAE Standard 55-2020. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. 2020.

CHEN, K. et al. Personal thermal comfort models based on physiological measurements – A design of experiments based review. **Building and Environment**, v. 228, p. 109919, 15 jan. 2023a.

CHEN, Y.; WANG, Z.; TIAN, X.; LIU, W. Evaluation of cognitive performance in high temperature with heart rate: A pilot study. **Building and Environment**, v. 228.2023b.

CHOI, J.-H.; LOFTNESS, V. Investigation of human body skin temperatures as a bio-signal to indicate overall thermal sensations. **Building and Environment**, v. 58, p. 258–269, 1 dez. 2012.

CHOI, J-H.; LOFTNESS, V. Investigation of human body skin temperatures as a bio-signal to indicate overall thermal sensations. **Building and Environment**, v.58, 258-269, 2012.

LI, W. et al. Experimental research of online monitoring and evaluation method of human thermal sensation in different active states based on wristband device. **Energy and Buildings**, v. 173, p. 613–622, 15 ago. 2018.

LIU, S. et al. Personal thermal comfort models with wearable sensors. **Building and Environment**, v. 162, p. 106281, 1 set. 2019.

LIU, W.; LIAN, Z.; DENG, Q.; LIU, Y. **Evaluation of calculation methods of mean skin temperature for use in thermal comfort study**, v. p. 478-488, feb 2011.

OMIDVAR, A.; KIM, J. A novel theoretical model for predicting the individuals' thermal sensations based on air temperature and biomarkers measured by wearable devices. **Building and Environment**, v. 232, p. 110050, 15 mar. 2023.

WANG, Z.; DE DEAR, R.; LUO, M.; LIN, B.; HE, Y.; GHAHRAMANI, A.; ZHU, Y. Individual differences in thermal comfort: A literature review. Building and Environment, v. 138, 181-193, 2018.

ZAINOL, Z. N. et al. Heat Transfer Model to Predict Human Skin Temperature under Comfort Level by using Bioheat Equation. **International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)**, v. 15, n. 10, p. 52–64, 27 jun. 2019.

ZHU, H. et al. **Experimental study on the human thermal comfort based on the heart rate variability (HRV) analysis under different environments**, v. 616–617, p.1124-1133, mar 2018.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil.