



Aplicação da análise de cluster para avaliação do conforto térmico em salas de aula

Application of cluster analysis to evaluate thermal comfort in classrooms

Inaiele Mendes da Luz¹, Iasmin Lourenço Niza², Evandro Eduardo Broday³

RESUMO

O conforto térmico desempenha um papel crucial na saúde dos ocupantes, na produtividade e no desenvolvimento sustentável de edifícios. O presente estudo investigou as condições de conforto térmico em salas de aula universitárias na região sul do Brasil, com o objetivo de compreender as preferências dos alunos e as diferenças entre gêneros. Utilizou-se a técnica de análise de cluster para classificar os indivíduos com base em suas respostas relacionadas à Sensação Térmica (TSV), Preferência Térmica (PREF), Voto Médio Previsto (PMV) e Porcentagem Prevista de Insatisfeitos (PPD). Os dados foram coletados por meio de medições ambientais e questionários respondidos pelos alunos em salas de aula de uma universidade. Os resultados revelaram três clusters distintos, indicando diferentes níveis de insatisfação térmica e preferências térmicas. Não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os gêneros. O estudo reconhece limitações em relação à quantidade de medições e ao período de coleta, sugerindo análises discriminantes para pesquisas futuras.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de clusters, conforto térmico, salas de aula universitárias.

ABSTRACT

Thermal comfort plays a crucial role in the health of occupants, productivity, and sustainable building development. This study investigated thermal comfort conditions in university classrooms in the southern region of Brazil with the aim of understanding students' preferences and gender differences. The cluster analysis technique was employed to classify individuals based on their responses related to Thermal Sensation (TSV), Thermal Preference (PREF), Predicted Mean Vote (PMV), and Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD). Data were collected through environmental measurements and questionnaires completed by students in university classrooms. The results revealed three distinct clusters, indicating varying levels of thermal dissatisfaction and thermal preferences. No statistically significant differences were found between genders. However, the study acknowledges limitations in terms of the quantity of measurements and the data collection period, suggesting discriminant analyses for future research.

KEYWORDS: Cluster analysis, thermal comfort, university classrooms.

INTRODUÇÃO

A fim de compreender o que torna um ambiente considerado termicamente confortável, foram desenvolvidos vários modelos para verificar o conforto térmico sob aspectos ambientais e pessoais. O conforto térmico consiste num processo físico-fisiológico que descreve a sensação térmica das pessoas (Kim, Schiavon e Brager, 2018). Entre os

¹ Bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: inaiele@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 1450024913661804.

² Bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: niza@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 7008042115386175.

³ Docente no Departamento de Engenharia de Produção. Bolsista de Produtividade PQ2 do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: broday@utfpr.edu.br. ID Lattes: 3081993628696990.



modelos mais habituais, encontra-se o Voto médio previsto (PMV, do inglês Predicted Mean Vote) desenvolvido pela Fanger (1970). A realização de estudos de conforto térmico é de importância primordial para a saúde dos utilizadores do ambiente, melhoria da produtividade, e desenvolvimento sustentável. Neste contexto, o principal objetivo desta investigação é analisar as condições de conforto térmico em salas de aula universitárias no sul do Brasil utilizando a análise de cluster a fim de classificar os indivíduos de acordo com Thermal Sensation Vote (TSV), Predicted Mean Vote (PMV), Thermal Preference Votes (PREF) e percentage of dissatisfied (PPD), verificando as diferenças entre os gêneros.

METODOLOGIA

Os dados foram coletados em salas de aulas construídas em alvenaria tradicional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cada coleta se refere a uma medição de variáveis ambientais ao longo de uma aula, com aplicação de um questionário online aos alunos no final da mesma para obtenção de variáveis pessoais. A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética e os alunos assinaram termos de participação voluntária. Por meio do questionário foram obtidas 519 respostas válidas ao longo de 50 medições. A coleta de variáveis ambientais e pessoais foram conseguidas conforme apresentado no estudo de Pereira e Broday (2021) em que foi utilizado um equipamento que se assemelha a uma estação microclimática BABUC-A, produzida por Brüel e Kjaer.. No questionário, as variáveis pessoais obtidas a idade, peso (kg), altura (cm), sexo (feminino / male), vestimenta utilizada, Votos de Sensação Térmica (TSV, do inglês Thermal Sensation Vote) segundo a escala de sete pontos da ISO 7730 (2005) e preferência térmica (PREF) apresentada na ISO 10551 (2019). Quanto às variáveis ambientais, foram coletadas com equipamento de medição em campo a temperatura do ar (°C), temperatura radiante média (°C) e umidade relativa do ar (%) em cada uma das 50 medições realizadas.

As medições se deram conforme o calendário letivo, durante uma aula que durava em torno de 1h40min. O equipamento foi posicionado no meio da sala na parte superior de uma mesa estudantil próximo de 0,6m acima do solo conforme a recomendação da ISO 7726 (1998) para atividades sedentárias como em sala de aula. Por meio do questionário, os estudantes indicaram as roupas que utilizavam para que pudesse ser calculado o isolamento da vestimenta conforme os parâmetros da ASHRAE 55 (2021) e ISO 9920 (2007), além disso, a velocidade do ar foi tida com 0,1 m/s em conformidade com os estudos de Zhou et al. (2022) e Singh, Gupta e Sharma (2022), por fim, a taxa metabólica foi considerada 1,2 met de acordo com apresentado na ISO 8996 (2004) para atividades sedentárias.

O *Center for the Built Environment* (CBE) da Universidade de Berkeley desenvolveu uma ferramenta de conforto térmico para calcular o PMV e o PPD (Porcentagem prevista de insatisfeitos, do inglês Predicted Percentage of Dissatisfied), desse modo, estes cálculos foram realizados. Na sequência, os dados conseguidos através do equipamento e questionário foram organizados no MS Excel® para que pudesse ser efetuada a análise estatística no IBM SPSS Statistics, versão 23. Para se obter a temperatura operativa em cada uma das medições, calculou-se a média simples entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média (Mičko et al., 2021). Para analisar os dados individuais referentes às 519 respostas, precisou ser realizada uma média com os valores de cada medição que correspondem ao TSV, PREF, PMV e PPD para cada gênero. Em outros termos, para cada uma das 50 medições realizadas em sala de aula esperava-se conseguir



um valor médio de cada variável para mulheres e outro para os homens, ou seja, 100 valores médios. Entretanto, em seis destas medições haviam somente alunos de um único gênero, dessa forma, totalizaram 94 valores médios, sendo 45 para o gênero feminino e 49 para o gênero masculino.

Assim, fez-se possível a realização da análise de Cluster k-means para classificar respostas individuais que possuíam maior similaridade térmica entre elas. A princípio é realizada a padronização das variáveis para que contribuam de maneira uniforme aos resultados. Logo após a padronização, a análise de cluster é iniciada gerando diversos resultados como as variações nos centros dos Clusters ao longo das iterações e a ANOVA, que permite descobrir qual variável contribuiu mais para separação dos grupos. Na sequência é apresentada a quantidade de casos agrupados, além de sua representação gráfica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 é mostrada a ANOVA, pela qual demonstrou-se que a variável PPD é aquela que possui a melhor discriminação entre os clusters ($F. = 74.305$) e a PREF a que possui pior discriminação ($F. = 43.701$). Assim, através dos valores de F verificou-se o quão significativa eram as variáveis para a formação dos agrupamentos. Na figura 1, é apresentada a representação gráfica dos centros dos clusters.

Tabela 1 – ANOVA

Variáveis	Cluster		Erro		F. *	Valor p
	Quadrado médio	gl.	Quadrado médio	gl.		
Zscore (TSV)	23.752	2	0.500	91	47.506	<0.001
Zscore (PREF)	22.781	2	0.521	91	43.701	<0.001
Zscore (PMV)	28.781	2	0.389	91	73.903	<0.001
Zscore (PPD)	28.840	2	0.388	91	74.305	<0.001

Fonte: os autores.

Todos os clusters apresentaram uma quantia de casos distintos, sendo:

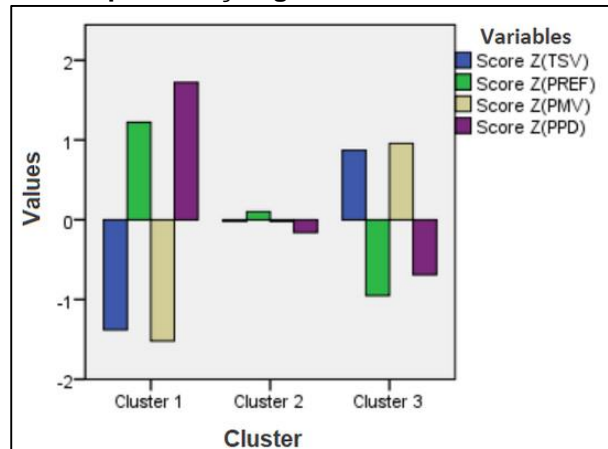
- No cluster 1, a variável PPD foi a mais significativa, se referindo ao maior nível de insatisfação térmica das pessoas nesta sala de aula. Portanto, neste cluster concentraram-se os casos com maior insatisfação térmica, além dos menores votos de sensação tanto preditos (PMV) quanto informados (TSV), ou seja, mais próximos à sensação de resfriamento. Neste cluster foram alocados 15 casos.

- No cluster 2, os valores intermediários são predominantes para todas as variáveis, mostrando que a maior parte dos casos se concentrou em sensações térmicas mais neutras em relação aos casos dos demais clusters e um nível de insatisfação intermediário. Neste cluster foram alocados 54 casos.

- No cluster 3, a variável PMV esteve em evidência, onde em torno de 26.6% dos casos apresentaram valores que se assemelham ao modelo de Fanger, estando próximos dos votos médios preditos, ambos indicando os maiores valores de votos de sensação, ou seja, mais próximos à sensação de aquecimento. Neste cluster foram alocados 25 casos.



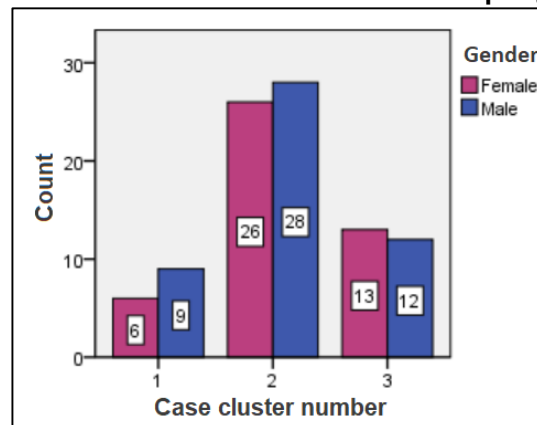
Figura 1 – Representação gráfica dos centros dos clusters



Fonte: os autores.

Na Figura 2, o número de casos em cada cluster foi demonstrado de acordo com o gênero.

Figura 2 – Número de casos em cada cluster por gênero



Fonte: os autores.

Desse modo, viu-se nos agrupamentos que a quantidade de homens e mulheres são parecidas, revelando que PREF, PMV, TSV e PPD são semelhantes e que existe pouca diferença entre os gêneros, muito provável que isso aconteça devido aos diferentes isolamentos térmicos das vestimentas das pessoas. Já para o cluster 1 e 2, os homens estavam em maior quantidade, entretanto, esse valor não era significativamente superior ao do gênero oposto, ressaltando que os intragrupos possuíam características térmicas em comum.

O comportamento da maioria dos indivíduos teve destaque no segundo cluster, onde apesar de estarem concentrados os valores intermediários de sensação térmica, o nível de insatisfação não era o menor, e sim no cluster 3, que continha aproximadamente um quarto dos casos apenas. Desse modo, fica visível a necessidade de compreender a demanda dos alunos para que possam ter conforto térmico nesse ambiente. Em consonância com o segundo cluster, o PPD foi mais relevante para a formação do primeiro agrupamento, demonstrando que apenas uma parcela se dizia satisfeita com o ambiente, ressaltando uma visão crítica sobre suas preferências.



CONCLUSÃO

Por meio da análise de cluster, os casos foram classificados com base em suas semelhanças nos votos de sensação térmica (TSV), preferência térmica (PREF), *Predicted mean Vote* (PMV) e *percentage of dissatisfied* (PPD). Concluiu-se que a diferença de casos por gênero em cada cluster não foi estatisticamente significativa. Embora a diferença na percepção térmica entre gêneros já foi observada em outros estudos, que concluíram que mulheres preferem um ambiente mais quente (Nico, Liuzzi e Stefanizzi, 2015), e que mulheres frequentemente sentem-se desconfortáveis devido à sensação de frio (Rupp *et al.*, 2018), estes estudos se referem à percepção e preferência térmica. No contexto deste estudo, a variável que mais influenciou a diferenciação nos clusters foi a insatisfação térmica, enquanto a preferência térmica teve uma influência menor. Assim, não foi surpreendente a falta de evidência de diferenças entre os gêneros nos clusters, uma vez que a preferência térmica foi o aspecto menos determinante na formação desses agrupamentos. Entre as limitações encontradas na pesquisa, tem-se a quantidade de medições realizadas e o período de coleta, portanto, se ambas tivessem uma maior quantidade e um período maior para a realização, seria possível aprimorar a acurácia dos resultados, com uma maior proximidade com a realidade. Sugere-se para trabalhos futuros, a realização de uma análise discriminante para trazer uma fundamentação ainda maior aos resultados (Maroco, 2007). Com a realização da análise discriminante consegue ser possível mensurar a razão de sucesso para a separação dos grupos.

Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento, além de todos os estudantes que disponibilizaram seu tempo para participar voluntariamente da pesquisa.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

- American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. **Ashrae standard 55-2020 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**, Atlanta, 2021.
- FANGER, O. P. **Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering**. Nova York: McGraw-Hill Book Company, 1970.
- International Organization for Standardization. **ISO 7726 Ergonomics of the Thermal Environments - Instruments for Measuring Physical Quantities**, Genebra, Suíça, 1998.
- International Organization for Standardization. **ISO 7730 Ergonomics of the Thermal Environment - Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using**



Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria, Genebra, Suíça, 2005.

International Organization for Standardization. **ISO 8996 Ergonomics of the Thermal Environment - Determination of Metabolic Rate**, Genebra, Suíça, 2004.

International Organization for Standardization. **ISO 10551 Ergonomics of the Physical Environment - Subjective Judgment Scales for Assessing Physical Environments**, Genebra, Suíça, 2019.

International Organization for Standardization. **ISO 9920 Ergonomics of the Thermal Environment - Estimation of Thermal Insulation and Water Vapour Resistance of a Clothing Ensemble**, Genebra, Suíça, 2007.

JIAO, Y. et al. Adaptive thermal comfort models for homes for older people in Shanghai, China. **Energy and Buildings**, v. 215, p. 109918, 1 mar. 2020.

KIM, J.; SCHIAVON, S.; BRAGER, G. Personal Comfort Models – A New Paradigm in Thermal Comfort for Occupant-Centric Environmental Control. **Building and Environment**, v. 132, p.114-124, 15 mar. 2018.

MAROCO, J. **Análise Estatística com Utilização do SPSS**. 3ª ed. Lisboa: Edições Sílabo, 2007.

MIČKO, P. et al. Experimental Verification of CFD Simulation When Evaluating the Operative Temperature and Mean Radiation Temperature for Radiator Heating and Floor Heating. **Processes**, v. 9, n. 6, p. 1041, jun. 2021.

NICO, M. A.; LIUZZI, S.; STEFANIZZI, P. Evaluation of thermal comfort in university classrooms through objective approach and subjective preference analysis. **Applied Ergonomics**, v. 48, p. 111–120, 1 maio 2015.

PEREIRA, P. F. DA C.; BRODAY, E. E. Determination of Thermal Comfort Zones through Comparative Analysis between Different Characterization Methods of Thermally Dissatisfied People. **Buildings**, v. 11, n. 8, p. 320, ago. 2021.

RUPP, R. F. et al. Associations of occupant demographics, thermal history and obesity variables with their thermal comfort in air-conditioned and mixed-mode ventilation office buildings. **Building and Environment**, v. 135, p. 1–9, 1 maio 2018.

SINGH, L. K.; GUPTA, A. K.; SHARMA, A. K. Hybrid thermal management system for a lithium-ion battery module: Effect of cell arrangement, discharge rate, phase change material thickness and air velocity. **Journal of Energy Storage**, v. 52, p. 104907, 15 ago. 2022.

ZHOU, M. et al. Effects of increasing air temperature on skin and respiration heat loss from dairy cows at different relative humidity and air velocity levels. **Journal of Dairy Science**, v. 105, n. 8, p. 7061–7078, ago. 2022.