

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**ANA MARIA BUENO**

**AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE INSATISFAÇÃO TÉRMICA E  
PRODUTIVIDADE EM SALAS DE AULA UNIVERSITÁRIAS: UMA ANÁLISE DE  
*CLUSTER***

**PONTA GROSSA**

**2023**

**ANA MARIA BUENO**

**AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE INSATISFAÇÃO TÉRMICA E  
PRODUTIVIDADE EM SALAS DE AULA UNIVERSITÁRIAS: UMA ANÁLISE DE  
*CLUSTER***

**Evaluation the relationship between thermal dissatisfaction and productivity in  
university classrooms: a cluster analysis**

Tese apresentada como requisito para obtenção do título de Doutora em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador(a): Prof. Dr. Evandro Eduardo Broday.

**PONTA GROSSA**

**2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



ANA MARIA BUENO

**AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE INSATISFAÇÃO TÉRMICA E  
PRODUTIVIDADE EM SALAS DE AULA UNIVERSITÁRIAS: UMA ANÁLISE DE  
CLUSTER**

Trabalho de pesquisa de doutorado apresentado como requisito para obtenção do título de Doutora Em Engenharia De Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Industrial.

Data de aprovação: 09 de Maio de 2023

Dr. Evandro Eduardo Broday, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Cláudia Tania Picinin, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Diogo Londero Da Silva, Doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina (Ufsc)

Dr. Joao Carlos Colmenero, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Manuel Carlos Gameiro Da Silva, Doutorado - Universidade de Coimbra

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 09/05/2023.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho é dedicado a todos aqueles que fizeram parte dessa jornada, mas especialmente ao meu Pai (*in memoriam*), minha Mãe e Irmãos, que sempre acreditaram em mim e me deram todo amor, incentivo e apoio incondicional para seguir em frente.

Agradeço ao Senhor por todas as oportunidades concedidas a mim e por toda força que colocou no meu coração para concluir esta etapa.

Ao professor Doutor Evandro Eduardo Broday pela amizade, confiança, orientação e dedicação prestados no desenvolvimento deste trabalho e por ter sido o maior colaborador durante todo este período, sem você nada teria sido possível.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná e aos professores do PPGEP por tudo que me ensinaram.

Agradeço especialmente às colegas do Grupo de Pesquisa IEQ (Iasmin e Inaiele) pelos artigos, colaboração, convivência, conversas e risadas.

Aos alunos que participaram voluntariamente da pesquisa e permitiram o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os amigos que direta ou indiretamente participaram da minha formação, pela presença, companheirismo e paciência.

**Apenas o meu muito obrigado!**

## RESUMO

O ambiente térmico é um dos principais fatores que influencia o conforto térmico e a produtividade dos ocupantes no interior das edificações. A relevância do estudo de conforto térmico em edificações de ensino configura o fato de que um ambiente termicamente confortável tende a proporcionar melhores níveis de atenção e concentração, além de que a má qualidade do ambiente interno nas salas de aula pode ser um risco para a saúde e produtividade dos alunos. Ao longo dos anos, pesquisas descreveram a relação entre conforto térmico e produtividade e modelos matemáticos foram estabelecidos na tentativa de prever mudanças na produtividade em função das variações térmicas do ambiente. Nesse contexto esta pesquisa teve como objetivo avaliar a relação entre a insatisfação térmica e a produtividade dos estudantes nas salas de aula universitárias através de uma análise de *clusters* por métodos hierárquicos e não hierárquicos (*k-means*). Para determinar a percentagem real de insatisfação (APD1 e APD2) e a produtividade (PROD1 e PROD2) foram adotados dois métodos e obtidos 4 *clusters*. Por meio do dendrograma constatou-se que as melhores soluções, com maior estabilidade são os *clusters* 2, 3 e 4. Por meio da análise dos *clusters* observou-se as relações entre os dois métodos de produtividade utilizados, além de outras variáveis, como a insatisfação térmica, sendo PROD2 a variável mais significativa. Observou-se por meio do teste *post-hoc* que PROD2 nos *clusters* 1 e 2 são estatisticamente iguais, com valores médios de 99,99% e 99,97%, respectivamente. Entretanto, para os mesmos *clusters*, a produtividade autopercebida, PROD1, é estatisticamente diferente, com valores médios de 70,81% e 45,28%, respectivamente. Para a confirmação da eficiência dos *clusters*, realizou-se uma análise discriminante, obtendo-se uma taxa de sucesso de 95,4%. Na comparação dos dois *clusters* mais populosos, a relação observada foi que se a produtividade autopercebida for a mais elevada, então a insatisfação térmica baseada nos votos de sensação térmica será a mais baixa. Além disso, os resultados sugerem que existe uma relação entre a hora do dia e a produtividade autopercebida. Observou-se uma menor produtividade autopercebida em relação à sensação de frio, enquanto a neutralidade térmica está relacionada com uma maior produtividade autopercebida.

Palavras-chave: conforto térmico; produtividade; insatisfação térmica; salas de aula; análise de *clusters*; *k-means*.

## ABSTRACT

The thermal environment is one of the main factors that influence the thermal comfort and productivity of occupants inside buildings. The relevance of the study of thermal comfort in educational buildings is configured by the fact that a thermally comfortable environment tends to provide better levels of attention and concentration, besides the fact that the poor quality of the indoor environment in classrooms can be a risk to the health and productivity of students. Over the years, research has described the relationship between thermal comfort and productivity, and mathematical models have been established to predict changes in productivity as a function of thermal variations in the environment. In this context this research aimed to evaluate the relationship between thermal dissatisfaction and student productivity in university classrooms through a cluster analysis by hierarchical and non-hierarchical methods (k-means). To determine the actual percentage of dissatisfaction (APD1 and APD2) and productivity (PROD1 and PROD2) two methods were adopted and 4 clusters were obtained. Through the dendrogram it was found that the best solutions, with greater stability are clusters 2, 3 and 4. Through the cluster analysis it was observed the relations between the two productivity methods used, besides other variables, such as thermal dissatisfaction, being PROD2 the most significant variable. It was observed through the post-hoc test that PROD2 in clusters 1 and 2 are statistically equal, with average values of 99.99% and 99.97%, respectively. However, for the same clusters, the self-perceived productivity, PROD1, is statistically different, with mean values of 70.81% and 45.28%, respectively. To confirm the efficiency of the clusters, a discriminant analysis was performed, obtaining a success rate of 95.4%. In comparing the two most populous clusters, the relationship observed was that if self-perceived productivity is the highest, then thermal dissatisfaction based on thermal sensation votes will be the lowest. Furthermore, the results suggest that there is a relationship between time of day and self-perceived productivity. Lower self-perceived productivity was observed in relation to cold sensation, while thermal neutrality is related to higher self-perceived productivity.

**Keywords:** thermal comfort; productivity; thermal dissatisfaction; classrooms; cluster analysis; k-means.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Isolamento térmico estimado em clo .....	26
Figura 2 - Percentual de pessoas insatisfeitas (PPD) em função do voto médio predito (PMV) .....	32
Figura 3 - Instrumento IAPT .....	52
Figura 4 - Representação da planta baixa das salas de aula .....	60
Figura 5 - Passos realizados na análise de <i>cluster</i> .....	68
Figura 6 - Resumo dos resultados .....	78

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Função e gráfico obtidos .....	70
Gráfico 2 - Dendrograma .....	71
Gráfico 3 - Médias do índice de silhueta para k <i>cluster</i> .....	71
Gráfico 4 - Número de casos por agrupamento e representação gráfica de cada agrupamento.....	74
Gráfico 5 - Percentagem de atribuição de casos ao longo dos períodos do dia .....	77
Gráfico 6 - Percentagens de votos de sensação térmica e de preferência térmica por <i>cluster</i> .....	78



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Escala sétima de PMV .....	29
Quadro 2 - Valores aceitáveis para o uso do PMV .....	30
Quadro 3 - Avaliação de desempenho / produtividade .....	40
Quadro 4 - Cálculo do Desempenho / Produtividade .....	46
Quadro 5 - Informações sobre a pesquisa .....	61
Quadro 6 - Métodos de cálculo de APD e produtividade .....	65
Quadro 7 - <i>Clusters</i> em termos de produtividade .....	76

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatística Descritiva .....	69
Tabela 2 - Histórico da Iteração .....	72
Tabela 3 - Centros do grupo final e ANOVA.....	72
Tabela 4 - Número de casos em cada <i>cluster</i> e medidas simétricas .....	73
Tabela 5 - Análise Discriminante .....	73
Tabela 6 - Características da solução final de quatro <i>clusters</i> .....	75

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASHRAE	<i>American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning</i>
AMV	<i>Actual Percentage of Dissatisfaction</i>
APD	<i>Real Thermal Dissatisfaction</i>
IEA	<i>International Ergonomics Association</i>
IEQ	<i>Indoor Environmental Quality</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LPPD	<i>Lowest Possible Percentage of Dissatisfied</i>
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i>
PPD	<i>Predicted Percentage of Dissatisfied</i>
PREF	Preferência Térmica
PROD 1	Produtividade 1
PROD 2	Produtividade 2
TSV	<i>Thermal Sensation Vote</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

$f_{cl}$	Razão entre a área da superfície corporal da vestimenta e do corpo nu
$h_c$	Coefficiente de troca de calor por convecção ( $W/m^2K$ )
$M$	Taxa metabólica ( $W/m^2$ )
$p_a$	Pressão parcial de vapor de água (Pa)
$t_a$	Temperatura do ar ( $^{\circ}C$ )
$t_{cl}$	Temperatura da superfície externa da roupa ( $^{\circ}C$ )
$T_{op}$	Temperatura operativa
$T_{cl}$	Temperatura da superfície externa da roupa ( $^{\circ}C$ )
$t_{rm}$	Temperatura radiante média ( $^{\circ}C$ )
$U_R$	Umidade relativa do ar
$V_{ar}$	Velocidade relativa do ar
$W$	Trabalho mecânico desenvolvido pelo corpo ( $W/m^2$ )

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Problema de pesquisa</b> .....	<b>17</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>17</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>21</b>
<b>1.4</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>21</b>
<b>1.5</b>	<b>Estrutura do trabalho</b> .....	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>22</b>
<b>2.1</b>	<b>Conforto térmico</b> .....	<b>22</b>
<b>2.2</b>	<b>Variáveis do conforto térmico</b> .....	<b>23</b>
2.2.1	Variáveis ambientais .....	24
2.2.2	Variáveis pessoais.....	25
<b>2.3</b>	<b>Avaliação do conforto térmico</b> .....	<b>26</b>
2.3.1	Índices do conforto térmico.....	27
2.3.2	Predicted Mean Vote (PMV) – Voto médio estimado .....	28
2.3.3	Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) .....	31
2.3.4	Índices AMV e APD .....	33
<b>2.4</b>	<b>Análise da produtividade e conforto térmico</b> .....	<b>35</b>
2.4.1	Produtividade.....	35
2.4.2	Produtividade em ambientes de ensino.....	37
2.4.3	Produtividade e conforto térmico.....	38
2.4.4	Formas de avaliação da produtividade.....	39
2.4.5	Condições térmicas para aumento da produtividade.....	41
2.4.6	Cálculo de produtividade .....	45
2.4.7	Instrumento Rápido para avaliação da produtividade de trabalhadores (IAPT) 51	
<b>2.5</b>	<b>Análise de <i>clusters</i></b> .....	<b>53</b>
2.5.1	Métodos hierárquicos .....	55
2.5.2	Métodos não-hierárquicos .....	56
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>59</b>
<b>3.1</b>	<b>Seleção, dimensionamento e caracterização da amostra</b> .....	<b>59</b>
<b>3.2</b>	<b>Técnicas de medição para a obtenção de variáveis pessoais e ambientais</b> .....	<b>61</b>
<b>3.3</b>	<b>Software e ferramentas utilizadas na análise de dados estatísticos</b> 62	

<b>3.4</b>	<b>Métodos para determinar a percentagem real de insatisfação (APD) e a produtividade.....</b>	<b>63</b>
<b>3.5</b>	<b>Análise de <i>cluster</i> para caracterizar a população estudada em termos de produtividade .....</b>	<b>65</b>
3.5.1	Agrupamento hierárquico .....	66
3.5.2	Agrupamento não-hierárquico ( <i>k-means</i> ): validação e caracterização de <i>clusters</i> .....	66
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>69</b>
<b>4.1</b>	<b>Estatística descritiva dos dados .....</b>	<b>69</b>
<b>4.2</b>	<b>Obtenção do modelo APD1 .....</b>	<b>69</b>
<b>4.3</b>	<b>Resultados obtidos na análise de <i>clusters</i> .....</b>	<b>70</b>
4.3.1	Resultados obtidos com o <i>cluster</i> hierárquico .....	70
4.3.2	Resultados obtidos na validação: cluster não hierárquico ( <i>k-means</i> )....	72
4.3.3	Resultados obtidos na caracterização: <i>cluster</i> hierárquico.....	74
<b>5</b>	<b>DISCUSSÕES .....</b>	<b>80</b>
<b>5.1</b>	<b>Aspectos gerais da pesquisa .....</b>	<b>80</b>
<b>5.2</b>	<b>Aspectos específicos da pesquisa .....</b>	<b>80</b>
<b>5.3</b>	<b>Limitações de estudo .....</b>	<b>82</b>
<b>5.4</b>	<b>Tendências futuras.....</b>	<b>83</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>85</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>87</b>
	<b>APÊNDICE A - Questionário sobre produtividade e conforto térmico aplicados a estudantes universitários.....</b>	<b>106</b>
	<b>APÊNDICE B – Súmula De Publicações .....</b>	<b>110</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A percepção do trabalhador sobre a influência do conforto térmico na produtividade mostra-se de extrema importância, pois pode contribuir para a melhoria das condições de trabalho e aumento da produtividade. De acordo com Wong *et al.* (2008) e Frontczak e Wargocki (2011) a aceitação dos ocupantes de um ambiente depende de um número de parâmetros ambientais. Quatro componentes básicos, a saber, conforto térmico, qualidade do ar interno (IAQ), conforto auditivo e visual, são identificados para determinar a qualidade ambiental interior (IEQ). Apesar de uma quantidade crescente de estudos, o impacto da IEQ no desempenho da aprendizagem em salas de aula ainda é muito escasso (PENG *et al.*, 2022).

A Qualidade Ambiental Interior (IEQ) inclui fatores como iluminação, conforto térmico, ruídos e qualidade do ar e possuem grande relevância no interior das edificações, tendo em vista que as pessoas passam grande parte do seu dia nestes ambientes (GANI; ZAMBERI; TENI, 2018). Como grande parte deste tempo se refere ao desenvolvimento das atividades referentes ao trabalho, verifica-se que a produtividade está relacionada aos parâmetros do IEQ (ROELOFSEN, 2002; LORSCH; OSSAMA, 1994).

Estudos mostram evidências de que a Qualidade Ambiental Interna (IEQ) inadequada pode causar doenças, afetar negativamente o bem-estar e reduzir a produtividade do trabalhador ( BROADBENT, 1971; CLAUSEN; WYON, 2008; CUI *et al.*; 2013, HYGGE; KNEZ, 2001; LAN *et al.*, 2010; WITTERSEH *et al.*, 2004; LAMB; KWOK, 2016). Fisk e Rosenfeld (1997) e Lamb e Kwok (2016) estimam que melhorar o IEQ pode aumentar a produtividade entre 0,5% e 5%.

A temperatura do ar é o indicador comumente usado de ambiente térmico no IEQ e na pesquisa de desempenho (CUI *et al.*, 2013). Para Roelofsen (2002), investigações de campo e de laboratório realizadas relataram a relação entre a temperatura do ar e o desempenho dos ocupantes. Os efeitos físicos obtidos no ambiente térmico podem variar e afetar o desempenho dos trabalhadores, afetando a produtividade dos mesmos. A temperatura do ar é uma das variáveis ambientais do conforto térmico, sendo desta forma relevante o seu estudo.

De acordo com Tarantini *et al.*, (2017) os resultados indicam que as condições térmicas internas confortáveis podem ter impactos benéficos no bem-estar e na produtividade dos trabalhadores, como maiores taxas operacionais, menores perdas

de produção, menos licenças médicas e redução dos custos relacionados à saúde. Os efeitos físicos obtidos no ambiente térmico podem variar e afetar o desempenho dos trabalhadores, afetando a produtividade dos mesmos.

Para Kosonen e Tan (2004) a relação entre ambiente térmico e produtividade tem atraído a atenção de pesquisadores. Estudos analisaram a estreita relação entre desempenho e conforto térmico dos ocupantes nos locais de trabalho com resultados consideráveis sobre a relação do nível de produtividade (NGARMPORNPRASERT; KOETSINCHAI, 2010; BOGDAN *et al.*, 2012; CUI *et al.*, 2013; NICO; LIUZZI; STEFANIZZI, 2015; RASHEED; BYRD, 2017; CHANG; KAJACKAITE, 2019; KAUSHIK *et al.*, 2020).

Melhores condições de conforto interno se correlacionam mais do que apenas o melhor resultado em termos de produtividade no trabalho, porque o conforto térmico está relacionado a vários fatores. Além disso, a falta de conforto provoca um “estresse ambiental”, produzindo uma tendência negativa (OSSAMA *et al.*, 2006; NICO; LIUZZI ; STEFANIZZI, 2015).

Estudos também comprovam a importância de um ambiente termicamente confortável para o desempenho cognitivo, contribuindo para a aprendizagem em ambientes escolares (CORGNATI *et al.*, 2007; HWANG *et al.*, 2007; LEE *et al.*, 2012; de DEAR *et al.*, 2013). O efeito de aprendizagem foi avaliado e os resultados mostram que a taxa de aprendizagem diminui com o aumento da temperatura (CUI *et al.*, 2013; HOQUE e WEIL, 2016; ZHANG; de DEAR, 2017; BAJC *et al.*, 2019; WANG *et al.*, 2020).

Entretanto, há uma limitação em estudos que determinem modelos e relações matemáticas entre produtividade e fatores físicos do ambiente interno, como conforto térmico, visual, acústico e qualidade do ar, desse modo, melhorar o ambiente interno permite aumentar a produtividade dos ocupantes e o lucro da organização (SEPPÄNEN; FISK, 2006). Alguns estudos analisados relacionam a produtividade com PMV (*Predicted Mean Vote*) ou TSV (*Thermal Sansation Vote*), (SRINAVIN; MOHAMED 2003; KOSONEN; TAN, 2004; FAHED *et al.*, 2018; MOHAMED; SRINAVIN; 2005), mas ainda existem lacunas que podem ser analisadas para um melhor entendimento, como estudos que mostrem como a produtividade se relaciona com sujeitos reais insatisfeitos termicamente.

Para Jiang *et al.* (2018) o ambiente interno em sala de aula é vital para a percepção, saúde e desempenho de aprendizagem dos alunos, especialmente o



conforto. Para o autor o desconforto térmico causado por temperaturas altas ou baixas tiveram um impacto negativo no desempenho de aprendizagem dos alunos. A variação de temperatura afetou não apenas o conforto térmico, mas também o bem-estar dos alunos.

O principal objetivo em se criar Conforto Térmico em um ambiente é para satisfazer o desejo dos ocupantes em se sentirem confortáveis termicamente. O Conforto Térmico representa o estado da mente que expressa satisfação térmica com o ambiente e é avaliado subjetivamente (ASHRAE, 2017). De acordo com a norma ASHRAE 55 (2004) esta definição deixa em aberto o que se entende por estado da mente ou satisfação, mas enfatiza corretamente que o conforto é um processo que envolve muitos insumos cognitivos, influenciados por processos físicos, fisiológicos, psicológicos e outros. Assim, a sensação térmica do ser humano é principalmente relacionada ao equilíbrio térmico do seu corpo como um todo. Este equilíbrio é influenciado pela atividade física e pelo vestuário, bem como pelos parâmetros ambientais. Os fatores pessoais também influenciam nas condições de conforto térmico do ser humano.

Ambientes inadequados, sem ventilação e ou desconfortáveis, além de baixar a produtividade, podem ser prejudiciais à saúde humana. Deste modo, tendo em vista a relevância dos temas de conforto térmico e produtividade, este trabalho se propõe a analisar se existe relação entre os votos de insatisfação térmica real (APD) com o nível de produtividade de estudantes universitários no Brasil, por meio de uma análise de *cluster*, a fim de agrupar os casos de acordo com o nível de produtividade ao longo do dia, demonstrando se existe variância entre eles.

### **1.1 Problema de pesquisa**

Como o nível de insatisfação térmica real (APD) influencia na produtividade de estudantes em salas de aula universitárias?

### **1.2 Justificativa**

A busca por condições ambientais adequadas que satisfaçam termicamente o homem desafia os estudos de conforto térmico. O estudo do conforto térmico é um método de análise ambiental que pode fornecer informações importantes em relação ao ambiente. Quando expostas a um mesmo ambiente, sob as mesmas condições

climáticas, as pessoas podem relatar sensações térmicas diferentes, portanto, compreender o ambiente térmico para que as pessoas possam sentir-se termicamente confortáveis passa a ser fundamental.

Estudos de conforto térmico têm sido realizados no Brasil e no mundo, com diferentes abordagens quanto às condições ambientais internas e obedecendo métodos distintos de avaliação, visando avaliar as condições climáticas internas das salas de aula (BAJC *et al.*, 2019; SHAN *et al.*, 2016; SARBU; PACURAR, 2015; de DEAR *et al.*, 2014; DE VECCHI, CÂNDIDO, LAMBERTS; 2013). Os estudos trazem abordagens objetivas, através da coleta de dados climáticos, índices de avaliação e simulações, e avaliações subjetivas, que envolvem as opiniões dos usuários, obtidas a partir de questionários ou entrevistas. Observou-se a existência de estudos que utilizam diferentes modelos para o cálculo da produtividade. Esses modelos por sua vez, consideram fatores ambientais e pessoais distintos.

De acordo com Kim *et al.*, (2018), o conforto térmico consiste em um processo físico-fisiológico que descreve a sensação térmica das pessoas, representando uma condição mental que expressa a satisfação dos indivíduos com o meio ambiente. Nas sociedades modernas, as pessoas passam mais de 90% de seu tempo dentro de casa, destacando assim a importância de proporcionar condições favoráveis aos usuários destes edifícios (ZOMORODIAN *et al.*, 2016).

Projetar um ambiente com conforto térmico é essencial para satisfazer o desejo dos ocupantes; neste sentido, vários modelos foram desenvolvidos para entender como um ambiente pode ser considerado termicamente confortável. O *Predicted Mean Vote* (PMV) desenvolvido pela Fanger (1970) é o mais utilizado entre os modelos. Entretanto, o PMV tem uma precisão de apenas 34% em seus resultados e apresenta algumas discrepâncias, tais como subestimar ou superestimar as sensações térmicas das pessoas (CHEUNG *et al.*, 2019). Assim, modelos adaptativos começaram a ser desenvolvidos e utilizados para melhorar esta previsão (APARICIO-RUIZ *et al.*, 2021), além de contribuir para estabelecer faixas de conforto térmico adequadas e medir o desempenho energético (ALGHAMDI *et al.*, 2023).

Proporcionar um bom ambiente térmico dentro das salas de aula é uma questão essencial, pois há muitos alunos diariamente no mundo todo nestes ambientes. Se a sala de aula for termicamente desconfortável, pode causar uma perda de produtividade nos alunos, como sensação de fadiga, diminuição da atenção, probabilidade de erros e redução do processo de aprendizagem, entre outros

aspectos que, no final, tornam-se difíceis de quantificar (ZHANG *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2022); portanto, a melhoria dos ambientes das salas de aula é relevante, uma vez que más condições podem afetar o conforto e a produtividade dos alunos.

Uma das primeiras investigações em salas de aula foi realizada por Auliciems em 1969. Neste estudo, os alunos do ensino médio na Inglaterra foram convidados a avaliar as condições térmicas no inverno de acordo com as sensações subjetivas de calor. Desde então, várias relações entre conforto térmico com produtividade, bem-estar e conservação de energia nas escolas foram identificadas. Algumas salas de aula não têm condições térmicas adequadas, apresentando problemas de alta temperatura, má qualidade ambiental interna e desconforto térmico localizado (BAKÓ-BIRÓ *et al.*, 2012), sendo estas algumas das questões críticas a serem melhoradas (JING *et al.*, 2019). Além disso, a má ventilação e altos níveis de concentração de CO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub> podem afetar indiretamente a produtividade (RUGGIERI, *et al.*, 2019).

Em edificações escolares na Turquia, Kükrer e Eskin, (2021) descobriram que a combinação de estratégias operacionais e de projeto térmico aumentou a produtividade em 46% e reduziu o consumo de energia em 11,7%. Em outro estudo na Dinamarca, Warcocki e Wyon (2017) identificaram que em ambientes escolares e de escritório, a má qualidade do ar e as condições térmicas deficientes afetam o desempenho das crianças em 15 a 30% e dos adultos em 5 a 10%. Em escolas na Colômbia, Rodríguez, Coronado e Medina *et al.* (2021) identificaram uma relação entre desempenho cognitivo e conforto térmico; as crianças perdem cerca de 43% de concentração quando o ambiente é termicamente desconfortável.

Não há evidências de estudos que mostram como a produtividade se relaciona com sujeitos reais insatisfeitos termicamente. Desta forma, esta pesquisa vai estudar a conexão “Produtividade = f (TSV, APD)” para verificar como as condições reais afetam a produtividade, verificando o número de sujeitos insatisfeitos que melhor representa um ambiente ao considerar seus votos reais sobre a sensação térmica relatada pelos usuários.

Para avaliar estes ambientes, vários métodos estatísticos têm sido aplicados para analisar o conforto térmico, tais como regressão logística em escolas infantis no Reino Unido (KORSAVI *et al.*, 2020); análise discriminante e estatísticas Bayesianas em edifícios residenciais na China (CHANG *et al.*, 2018; TSANG *et al.*, 2021); equações estruturais em escritórios na Alemanha (RISSETTO *et al.*, 2022) e método Griffiths em edifícios de bibliotecas em Gana (MOHAMMADPOURKARBASI *et al.*,

2022). Outro método apropriado é a análise de agrupamento, que procura realizar agrupamentos de observações ou variáveis de acordo com o nível de proximidade entre elas (YANG *et al.*, 2021).

Alguns exemplos de agrupamento hierárquico e não-hierárquico (*k-means*) podem ser encontrados na literatura. Nikolaou *et al.* (2012) compararam várias técnicas de agrupamento (método não-hierárquico, *fuzzy*, *k-means*, algoritmos neurais e modelos de mistura Gaussiana) para investigar qual seria a melhor metodologia para realizar classificação de conforto térmico e energético de edificações para propor melhorias de acordo com os padrões europeus; Sadeghi *et al.* (2022) usaram *k-means* para personalizar ferramentas de avaliação em edificações verdes sob diferentes climas e regiões. Pan *et al.* (2017) utilizaram a análise de *clusters* (*k-means*) e análise de correlação para investigar padrões de carga elétrica baseados no comportamento dos ocupantes em edificações em Xangai. Em outro estudo, Xu *et al.* (2021) realizaram um agrupamento em duas etapas (*k-means*) baseado em curvas de uso de eletricidade doméstica, simulando curvas de eletricidade em edificações.

Além da área de conforto térmico, a análise de *clusters* é amplamente utilizada na medicina (DEEPACHANDI *et al.*, 2023), agricultura (KAYA *et al.*, 2022) e tecnologia da informação (HNATUSHENKO *et al.*, 2023). Apesar de todas estas pesquisas em diferentes áreas, os estudos envolvendo conforto térmico são poucos, e não há estudos aplicando análise de agrupamento correlacionando a insatisfação térmica com a produtividade. Com base neste contexto, o principal objetivo desta pesquisa foi avaliar a relação entre insatisfação térmica e produtividade em salas de aula universitárias através de uma análise de *cluster* por métodos hierárquicos e não hierárquicos (*k-means*) para verificar como a insatisfação térmica influencia a produtividade dos estudantes e se existe uma diferença estatística entre estes métodos de avaliação de *clusters*. Neste sentido, esta pesquisa procura preencher esta lacuna encontrada na literatura sobre a relação entre a insatisfação térmica e a produtividade em sala de aula através da análise de *clusters*, visto que não foram encontrados estudos com essa abordagem.

### 1.3 Objetivo geral

Avaliar a relação entre insatisfação térmica real (APD) e nível de produtividade de estudantes em salas de aula universitárias por meio da análise de *cluster*.

### 1.4 Objetivos específicos

- a) Determinar as condições ambientais internas das salas de aula, obtidas pelas medições ambientais dos estudantes;
- b) Determinar a percentagem real de insatisfação térmica (APD) nas salas de aula;
- c) Determinar o nível de produtividade dos estudantes;
- d) Caracterizar, por meio da análise de *cluster* a população estudada em termos de produtividade;
- e) Validar os *clusters* obtidos por meio de análise discriminante;
- f) Categorizar os níveis de produtividade em função dos diferentes períodos do dia;
- g) Formar um banco de dados para pesquisas futuras.

### 1.5 Estrutura do trabalho

No primeiro capítulo são apresentadas as características introdutórias da pesquisa, incluindo os objetivos (geral e específicos), as suas limitações, além de expor a contextualização e a justificativa do tema proposto, evidenciando sua relevância.

O capítulo 2 “fundamentação teórica” apresenta uma revisão com assuntos pertinentes ao desenvolvimento deste estudo, oriundo de fontes nacionais e internacionais, abrangendo uma análise geral do conforto térmico e da produtividade.

O capítulo 3 “metodologia” detalha a metodologia de pesquisa utilizada para a realização do trabalho, abordando as fases da pesquisa, os equipamentos e ferramentas utilizados, bem como os procedimentos de medição, cálculos e análises adotados ao ambiente interno de salas de aula, para avaliação de conforto térmico, mais especificamente o nível de insatisfeitos e a relação com a produtividade.

O capítulo 4 “resultados e discussões” apresenta os resultados e discussão dos assuntos tratados no trabalho.

Por fim, o capítulo 5 “conclusão” traz as conclusões da pesquisa.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Conforto térmico

O conforto térmico é definido por Fanger (1970) como “aquela condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico.” Segundo Frota e Schiffer (2001), um indivíduo está sujeito ao conforto térmico quando são atendidas as seguintes considerações: estado de neutralidade térmica; quando a temperatura da pele e taxa de secreção de suor atendem aos limites estabelecidos para a atividade executada; e ausência de desconforto térmico localizado.

De acordo com Xavier (1999) o conforto térmico pode ser visto e analisado, sob dois aspectos: do ponto de vista pessoal e do ponto de vista ambiental. Do ponto de vista pessoal, isto é, aquele onde uma determinada pessoa que se encontre em um determinado ambiente esteja em estado confortável com relação à sua sensação térmica e do ponto de vista ambiental, onde os estudos de conforto propõem o estabelecimento de um estado térmico para determinado ambiente, com relação às suas variáveis físicas, a fim de que um menor número de pessoas estejam insatisfeitas com o mesmo.

Os estudos em conforto térmico visam principalmente analisar e estabelecer as condições necessárias para a avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupação humanas, bem como estabelecer métodos e princípios para uma detalhada análise térmica de um ambiente. A importância do estudo de conforto térmico está baseada principalmente em 3 fatores: na satisfação do homem ou seu bem-estar em se sentir termicamente confortável; na performance humana, e na conservação de energia, pois devido à crescente mecanização e industrialização da sociedade, as pessoas passam grande parte de suas vidas em ambientes condicionados artificialmente (LAMBERTS; XAVIER, 2002).

Segundo Fanger (1970) o conforto térmico pode ser conseguido por diferentes combinações de variáveis ambientais e pessoais e pelo uso de diferentes sistemas técnicos para satisfazer o desejo dos ocupantes em se sentirem confortáveis termicamente. De acordo com Broday (2015) quando um ambiente não possui características adequadas ao uso, ocorrem condições adversas, como qualidade do ar insalubre, desconforto térmico localizado, problemas de saúde e queda de produtividade. Para Taylor *et al.* (2008), o conforto térmico é uma variável essencial para um ambiente de trabalho produtivo.

A partir da década de 1920, houve um salto na quantidade de estudos e experimentos acerca da relação entre o corpo humano e as condições térmicas do ambiente que o circunda, quando, então, começaram a surgir os métodos de determinação das zonas de conforto térmico de ambientes confinados (ARAÚJO, 1996). Estudos estão em andamento para apoiar modelos adaptativos em avaliações de conforto térmico interno e estabelecer índices quantitativos para permitir que o indivíduo otimize suas condições de conforto (BURATTI; RICCIARDI, 2009).

Com o objetivo de avaliar as condições climáticas internas das salas de aula, diversas pesquisas têm sido realizadas em ambientes escolares (SADICK *et al*, 2020; SONG *et al*, 2020; SARBU; PACURAR, 2015; de DEAR *et al*, 2014). Os estudos agregam abordagens objetivas, através da coleta de dados climáticos, índices de avaliação e simulações, com avaliações subjetivas, que envolvem as opiniões dos usuários, obtidas a partir de questionários ou entrevistas.

De acordo com Wong e Khoo (2003) a qualidade interna do ambiente nas salas de aula, incluindo o ambiente térmico, a qualidade do ar interno, o ambiente acústico e de iluminação, está intimamente relacionada à saúde e desempenho dos alunos, sendo o ambiente térmico particularmente importante. Apesar disso, ambientes térmicos ruins são bem comuns em salas de aula (BAKÓ-BIRÓ *et al.*, 2012).

Conforme Mendell (2005) um ambiente térmico que causa desconforto pode afetar o desempenho de aprendizagem dos alunos, sendo a temperatura identificada como indicador comum. A condição térmica nas salas de aula deve ser cuidadosamente considerada, principalmente devido à alta densidade de ocupantes e por causa das influências negativas que um ambiente térmico insatisfatório tem na aprendizagem e desempenho (WONG; KHOO, 2003).

## **2.2 Variáveis do conforto térmico**

Para um ambiente em conforto térmico é necessária uma combinação de variáveis físicas e pessoais de modo a estabelecer um estado térmico confortável para a maioria dos usuários, pois, existem variações fisiológicas e psicológicas de pessoa para pessoa, e é difícil que, em um grupo de indivíduos sujeitos ao mesmo ambiente ao mesmo tempo, estejam todos satisfeitos com as condições térmicas presentes (FANGER, 1970).

De acordo com Ruas (1999), o conforto térmico em um dado ambiente pode ser definido como “a sensação de bem-estar experimentada por uma pessoa, como resultado satisfatório, neste ambiente, da temperatura radiante média, umidade relativa do ar, temperatura do ambiente e velocidade relativa do ar, com a atividade lá desenvolvida e com a vestimenta usada pelas pessoas”. No entanto, sabe-se que as sensações térmicas são subjetivas, ou seja, cada indivíduo a percebe de seu próprio modo, sendo assim, um ambiente pode ser confortável para uma pessoa e para outra não, uma pessoa pode alegar sentir-se com frio enquanto a outra com calor, no mesmo ambiente. Deste modo, têm-se como as condições ambientais de conforto térmico, as que proporcionam o bem-estar ao maior número de pessoas (RUAS, 1999).

Existem seis variáveis importantes no conforto térmico, sendo duas variáveis pessoais (taxa metabólica e isolamento da vestimenta) e quatro ambientais (temperatura do ar, velocidade do ar, temperatura radiante média e umidade relativa) (JANG; KOH; MOON, 2007).

### 2.2.1 Variáveis ambientais

As variáveis ambientais são a temperatura do ar, a temperatura radiante média, a velocidade relativa do ar e a umidade relativa do ar. A Temperatura do ar ( $t_a$ , °C) é a temperatura do ar ao redor do corpo humano e é uma das variáveis mais importantes na determinação do conforto térmico. Sua determinação é importante uma vez que participa da troca de calor por convecção entre o indivíduo e o meio. A temperatura do ar representa a temperatura de bulbo seco e pode ser medida através de sensores de expansão de líquidos ou sólidos, termômetros elétricos e termopares. Deve ser considerada na determinação da transferência de calor por convecção entre o corpo humano e o ambiente térmico (ISO 7726, 1998).

A Temperatura radiante média ( $t_{rm}$ , °C) é definida como sendo a temperatura uniforme superficial de um espaço imaginário negro no qual um ocupante troca a mesma quantidade de calor por radiação que no espaço real não uniforme (ASHRAE 55, 2010). A mesma pode ser medida através de equipamentos específicos ou determinada por cálculos. Segundo a ISO 7726 (1998), como instrumentos de medição, pode-se utilizar um termômetro de globo negro, um radiômetro de duas esferas, ou um sensor (esférico ou elipsoidal) à temperatura do ar constante. Dentre



estes, o equipamento mais frequentemente usado é o termômetro de globo negro, o qual deriva com aproximação o valor da temperatura média radiante através da observação simultânea dos valores da temperatura do globo ( $t_g$ ), temperatura do ar ( $t_a$ ) e velocidade do ar ( $V_a$ ) ao redor do globo.

A Velocidade Relativa do Ar ( $V_{ar}$ ) é outro parâmetro importante a ser considerado no cálculo da sensação térmica. Conforme a ISO 7726 (1998), a velocidade do ar é uma variável física definida por uma magnitude e uma direção. No caso de ambientes térmicos, é considerada a magnitude do vetor velocidade do fluxo de ar no ponto de medição. Sua determinação é importante nos estudos de conforto térmico, uma vez que participa da transferência de calor por convecção e evaporação do indivíduo. Os instrumentos mais usuais para medição da velocidade do ar são os anemômetros de fio quente (direcionais) e os anemômetros de esfera aquecida (omnidirecionais). A velocidade do ar necessária para o conforto térmico aos ocupantes de um ambiente é determinada pela condição de equilíbrio das trocas de calor entre o homem e o ambiente. Esse parâmetro é calculado em função dos demais parâmetros de conforto como: temperatura e umidade relativa do ar, temperatura radiante média, taxa metabólica e vestimenta.

A Umidade Relativa (RH) é definida como sendo a quantidade de vapor de água contida dentro de um volume de ar úmido, em relação ao total de vapor de água contido dentro deste volume de ar. De acordo com a ISO 7726 (1998), é calculada pela razão entre a pressão parcial de vapor no ar úmido e a pressão de saturação de vapor de água.

### 2.2.2 Variáveis pessoais

As variáveis pessoais influenciam fortemente no conforto térmico e possuem valores tabelados nas normas ISO 7730 (2005) e ASHRAE 55 (2010). Segundo Fanger (1970) são definidos pelas seguintes variáveis: taxa metabólica do indivíduo, atividade física exercida pela pessoa; resistência térmica da vestimenta e taxa de isolamento térmico.

De acordo com Coelho (2014) a atividade metabólica ( $M$ ), (também expressa como taxa de metabolismo) de um indivíduo representa a taxa de produção de energia do seu organismo quando está a realizar uma determinada atividade. O corpo humano

é capaz de realizar atividades e produzir calor para a regulação da sua temperatura interna através da energia. Assim, o desempenho no trabalho está diretamente relacionado com a produção metabólica de calor, uma vez que, aumentando o nível de atividade, mais calor o corpo produz (PARSONS, 2001). Esta taxa varia de acordo com a atividade desenvolvida, sendo o seu aumento diretamente proporcional ao aumento da atividade física (COELHO, 2014). A taxa metabólica possui grande influência na sensação térmica, pois através dela se define a intensidade de calor produzida pelo corpo. Depende ainda do sexo e idade.

O Isolamento térmico da vestimenta (Icl) é uma propriedade das roupas, que representa a resistência que a vestimenta impõe às trocas de calor entre o homem e o ambiente (FANGER, 1970). As vestimentas usadas pelas pessoas, se utilizadas de forma adequada à temperatura e ao local, podem colaborar para a sensação de bem-estar com o ambiente. Para a ASHRAE (2005) o conforto depende de ações comportamentais que são iniciadas inconscientemente ou pela mente consciente e orientado por sensações térmicas, (frio ou calor) e da umidade (sudação) para reduzir o desconforto. A Figura 1 indica valores para o isolamento térmico, adaptadas da ISO 9920 (2007):



**Fonte: Monteiro e Alucci (2012)**

A vestimenta é uma das seis variáveis utilizadas no método estático para a determinação dos índices PMV e PPD. Além disso, em relação ao método adaptativo, o vestuário utilizado pelo usuário é considerado um dos fatores fundamentais para a adaptação dos indivíduos ao ambiente interno (de DEAR; BRAGER; COOPER, 1997).

### **2.3 Avaliação do conforto térmico**

Entender a relação térmica existente entre um indivíduo e um ambiente é importante quando se deseja entender como as condições existentes influenciam as

atividades a serem executadas. A avaliação do conforto térmico é um processo cognitivo que envolve muitos dados influenciados por aspectos físicos, fisiológicos, psicológicos e outros (ASHRAE, 2001).

As pesquisas relacionadas ao tema de conforto térmico são conduzidas por duas metodologias; as que se baseiam em resultados obtidos em pesquisas desenvolvidas em câmaras climatizadas, e que são realizados no interior de ambientes totalmente controlados pelo pesquisador e outra a partir de pesquisas de campo, sob influência da situação climática local (LAMBERTS; XAVIER, 2002).

As pesquisas sobre conforto térmico atendem os dispostos internacionais ISO 7730 (2005). A ISO 7730 (2005) utiliza o modelo desenvolvido por Fanger em câmara climática, onde se admitiu que o corpo humano em dado ambiente, em estado de equilíbrio térmico ou sem acumular calor em seu interior, está dessa forma muito próximo da condição de neutralidade térmica. Para avaliação através da norma ISO 7730 (2005) é necessário conhecer as variáveis ambientais, tais como: temperatura e velocidade relativa do ar, umidade relativa e temperatura radiante média, e as variáveis pessoais que são relacionadas ao metabolismo e vestimenta (isolamento térmico). Para complementar a ISO 7730 (2005), os métodos e critérios do manuseio adequado dos instrumentos são especificados de acordo com a ISO 7726 (1998), contribuindo com a precisão das variáveis ambientais levantadas. Para variáveis pessoais em campo onde as medições são mais difíceis, utiliza-se valores estimados das tabelas e anexos da ISO 7730 (2005).

### 2.3.1 Índices do conforto térmico

Segundo Humphreys (1975), os estudos em conforto térmico têm dois propósitos: encontrar uma forma de descrever o ambiente térmico que se correlacione com a resposta humana, permitindo assim que sejam realizadas previsões confiáveis; e definir a série de condições consideradas agradáveis ou toleráveis para a população envolvida.

De acordo com Pereira e Assis (2010) os índices de conforto térmico procuram englobar as variáveis do microclima às respostas adaptativas dos indivíduos, em repouso ou exercendo atividades, de modo a verificar as condições psicrométricas de conforto térmico para indivíduos aclimatados.

Muitos modelos surgiram com o objetivo de padronizar a teoria adaptativa às ideias de Fanger existem 3 tipos de modelos distintos para quantificar os limites de conforto térmico: Modelos apoiados em “estudos de condições controladas”, que têm por base ensaios em câmaras climatizadas; Modelos “fisiológicos”, estabelecidos tendo como base o balanço térmico do corpo humano; e Modelos apoiados em “estudos de campo”, estabelecidos em ambientes correntes de utilização. Os modelos de conforto adaptativo enquadram-se nos modelos de “estudo de campo” (COELHO, 2014).

Dentre os índices de conforto térmico, o que mais se destaca, utilizado no Brasil e no mundo é o modelo Voto Médio Predito/Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PMV/PPD, siglas em inglês de *Predicted Mean Vote*) de Fanger, criados na década de 1970. Baseado em estudos na América do Norte e Dinamarca no inverno e outono, respectivamente, realizados em câmaras climatizadas, avaliou as opiniões de grupos de pessoas, vestidas de forma padronizada e em atividade sedentária, submetidas a diversas condições térmicas. O PMV e o PPD foram desenvolvidos para ambientes internos, com o propósito de auxiliar nos sistemas de ar-condicionado e aquecimento.

Também teve muita influência no Brasil outros trabalhos como o modelo da carta bioclimática (GIVONI, 1976). Segundo o autor, este índice é um modelo biofísico desenvolvido a partir da descrição dos mecanismos de trocas de calor entre o corpo e o meio, computando a tensão térmica total, tanto metabólica como ambiental. A carta bioclimática da edificação é um método de representação da zona de conforto térmico do índice e do efeito de algumas estratégias de controle ambiental, como a massa térmica da edificação, o vento, o esfriamento evaporativo, a umidificação etc., todos traçados sobre uma carta psicrométrica.

Os índices de conforto térmico utilizados nessa pesquisa serão apresentados a seguir.

### 2.3.2 Predicted Mean Vote (PMV) – Voto médio estimado

De acordo com a ISO 7730 (2005), devido às diferenças individuais dos seres humanos, especificar um ambiente térmico que irá satisfazer a todos consiste em uma tarefa supostamente impossível pois sempre haverá uma porcentagem de indivíduos

insatisfeitos, por menor que seja. Entretanto, é possível estabelecer ambientes aceitáveis para uma porcentagem de ocupantes.

O *Predicted Mean Vote* (PMV) – Voto Médio Estimado – é um índice que mostra a média de sensação térmica de um grande grupo de pessoas expostas a um mesmo ambiente. Este índice varia de -3 a +3, em uma escala de sete pontos, na qual cada resposta representa como a pessoa se sente em relação ao ambiente em que se encontra, conforme Quadro 1.

**Quadro 1 - Escala sétima de PMV**

PMV	Escala de sensação térmica
+ 3	Muito quente
+ 2	Quente
+ 1	Levemente quente
0	Neutro
- 1	Levemente frio
- 2	Frio
- 3	Muito frio

Fonte: ISO 7730 (2005)

Se o valor PMV é mais perto de zero, a sensação de conforto térmico dos ocupantes é melhor. Em um ambiente confortável, pessoas irão expressar um valor próximo de 0 para o PMV (ENESCU, 2017).

Fanger (1970) formulou o modelo PMV, atualmente normalizado pela ISO 7730 (2005) e ASHRAE (2004) a partir de seus estudos em câmaras climatizadas. O PMV se destaca entre os índices de avaliação térmica teórica e é amplamente utilizado nos estudos de conforto.

A satisfação da equação do conforto térmico é a condição ideal do conforto térmico (FANGER, 1970). O autor formulou a equação do balanço térmico (ou equação de conforto térmico) que correlaciona a sensação térmica das pessoas com as variáveis ambientais e pessoais afirma que.

A equação proposta para o PMV por Fanger é apresentada conforme a equação 1:

$$\begin{aligned}
 PMV = & (0,303 \cdot e^{-0,036M} + 0,028) \cdot [M - 3,05 \cdot (5,73 - 0,007 \cdot M - p_a) - 0,42 \cdot (M \\
 & - 58,15) - (0,0173 \cdot M \cdot (5,87 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \\
 & - 3,96 \cdot 10^{(-8)} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)]
 \end{aligned} \quad (1)$$

onde:

$M$  = Taxa metabólica ( $W/m^2$ );

$W$  = Trabalho mecânico ( $W/m^2$ ), sendo nulo para a maioria das atividades;

$f_{cl}$  = Razão entre a área superficial do corpo vestido, pela área do corpo nu;

$t_a$  = Temperatura do ar (°C);

$t_{rm}$  = Temperatura radiante média (°C);

$p_a$  = Pressão parcial do vapor de água, (Pa);

$h_c$  = Coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m<sup>2</sup> °C);

$t_{cl}$  = Temperatura superficial das roupas (°C).

Para se determinar  $h_c$  e  $f_{cl}$ , são utilizadas a  $V_{ar}$  (velocidade relativa do ar, em m/s) e a  $I_{cl}$  (resistência térmica das roupas, em m<sup>2</sup>. °C/W). Como a equação é muito complexa, o autor recomenda o uso de recursos computacionais, ou diagramas.

A equação foi desenvolvida com base no balanço térmico entre o corpo e o ambiente, considerando o metabolismo “M”, no estado estacionário, bem como a carga térmica atualmente sobre o corpo (ZHAO *et al.*, 2017). De acordo com a ISO 7730 (2005), o índice PMV só deve ser utilizado respeitando os limites de cada uma das variáveis como apresentado no Quadro 2:

**Quadro 2 - Valores aceitáveis para o uso do PMV**

Variável	Faixa de valores aceitáveis para uso do PMV
Taxa metabólica	46 a 232 W/m <sup>2</sup>
Isolamento da vestimenta	0 a 0,310 m <sup>2</sup> .KW
Temperatura radiante média	10 a 40 °C
Velocidade relativa do ar	0 a 1 m/s
Pressão parcial de vapor de água	0 a 2700 Pa
Temperatura do ar	10 a 30 °C

Fonte: ISO 7730 (2005)

Entretanto, a equação apenas fornece informações de como as variáveis devem ser combinadas com o objetivo de criar uma situação ideal de conforto térmico e, portanto, não é diretamente adequada para determinar a sensação térmica de pessoas num clima arbitrário onde não se pode esperar que as variáveis satisfaçam a equação.

Inúmeros autores questionam a aplicação generalizada do método do índice de conforto do PMV e PPD de Fanger (1970), pois consideram que esse índice de conforto não seria adequado aos ambientes naturalmente ventilados, devido ao fato de não considerar medidas que poderiam ser tomadas para melhorar a adaptação aos ambientes. Portanto, de acordo com estes trabalhos, um determinado grau de adaptação das pessoas ao ambiente não é considerado pelo método do PMV, dando origem ao chamado “Modelo Adaptativo” (DE DEAR; BRAGER; COOPER, 1997).

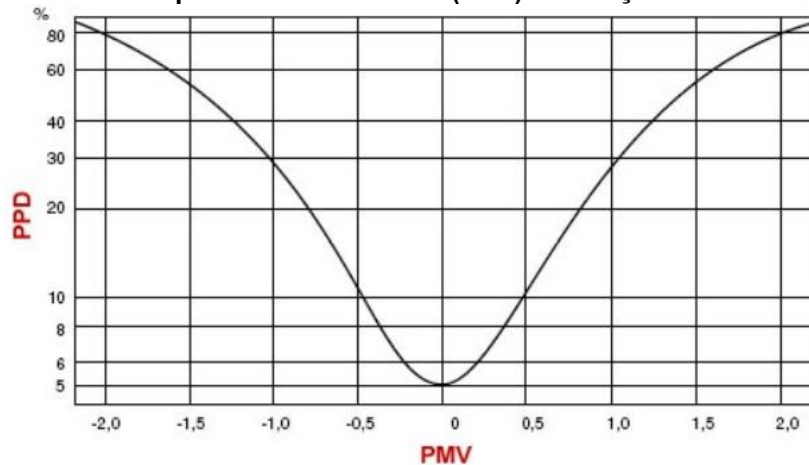
De acordo com Broday, (2015) muitas das pesquisas mostraram que as variáveis pessoais do conforto térmico são as que mais apresentam subjetividade para avaliação de um ambiente, levando desta forma a uma discrepância no modelo do PMV. Um dos possíveis fatores para esta discrepância é a determinação da taxa metabólica. De acordo com Havenith *et al.* (2002) e Katavoutas *et al.* (2009), a taxa metabólica estimada para pessoas, desempenhando uma mesma atividade, não deve ser utilizada de forma generalizada, devido às diferenças individuais e às possíveis influências psicológicas ou sociológicas no ambiente de trabalho.

### 2.3.3 Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)

Conforme Fanger (1970), através do PMV é possível obter a percentagem de pessoas insatisfeitas - *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD). De acordo com a ISO 7730 (2005), são considerados insatisfeitos com o ambiente todos aqueles que votam na escala de sensação térmica votos diferentes de 0, +1 e -1. De acordo com Fanger (1970) quanto menos uniforme for um campo térmico em uma sala, maior é o número de pessoas insatisfeitas.

O índice PPD prediz o percentual de pessoas que possam estar termicamente insatisfeitas em um ambiente. Após o cálculo do PMV, o PPD pode ser obtido por meio do gráfico presente na ISO 7730 (2005), ou analiticamente. De acordo com essa norma, um ambiente é considerado confortável termicamente quando ele satisfaz pelo menos 80% dos seus usuários, ou seja, quando expressar um valor médio para o PPD menor do que 10% por calor e menor do que 10% por frio. A relação PMV/PPD resulta em um mesmo percentual de insatisfeitos tanto para situação de calor, quanto para situação de frio de acordo com a Figura 2:

**Figura 2 - Percentual de pessoas insatisfeitas (PPD) em função do voto médio predito (PMV)**



Fonte: S. Low.Energy (2016)

É possível observar que a curva que representa a relação entre PPD e PMV tem um valor mínimo de PPD = 5% correspondente à PMV = 0 (Neutralidade térmica), o que significa a condição de conforto ótima, onde 5% dos ocupantes estão insatisfeitos com o ambiente, perante 95% de satisfeitos (ISO 7730, 2005). Com base no Modelo de Fanger, a ISO 7730 (2005) considera que um ambiente está termicamente confortável se pelo menos 90% de seus ocupantes se sentirem termicamente satisfeitos, ou seja, quando PPD ≤ 10%. Isto implica que o PMV deve estar no intervalo:  $-0,5 < PMV < +0,5$  (NEGREIROS, 2010). Este índice pode ser determinado em função do PMV, conforme a equação 2:

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2)} \quad (2)$$

onde:

PPD = *Predicted Percentage of Dissatisfied* (Percentagem de pessoas insatisfeitas);

Com base em medições feitas na prática, pode-se calcular o *Lowest Possible Percentage of Dissatisfied* (LPPD) – Menor Percentagem possível de Insatisfeitos – que é possível de se obter no ambiente, alterando-se o nível de temperatura (FANGER, 1970).

Humphreys e Nicol (1998) questionam o PMV adotado pela ISO 7730 (2005) quanto aos resultados obtidos em laboratórios e nos ambientes reais, uma vez que expectativas, motivação e situação social dos participantes podem influenciar na percepção de um ambiente térmico. Nos estudos comparativos de pesquisas de



campo, os autores apontam que as pessoas aceitam como confortáveis ambientes considerados desconfortáveis pela ISO 7730 (2005).

#### 2.3.4 Índices AMV e APD

Para realizar uma comparação entre os resultados obtidos para os índices do modelo estático (PMV e PPD) e o conforto térmico real experimentado pelos usuários, podem ser utilizados dois índices: sensação térmica real das pessoas (*Actual Mean Vote* – AMV) e a porcentagem real de pessoas insatisfeitas (*Actual Percentage of Dissatisfaction* – APD).

O índice AMV caracteriza o conforto térmico em função do comportamento e estado psicológico do usuário. O índice PMV pode ser considerado como uma predição de conforto térmico percebido pelos ocupantes de um edifício, enquanto o índice AMV é o conforto térmico percebido pelos ocupantes durante seus votos de sensação térmica (ENESCU, 2017). O AMV é obtido mediante respostas dos usuários em relação à sensação térmica. Assim como no índice PMV, as respostas são distribuídas em uma escala de sete pontos: -3 muito frio; -2 frio; -1 levemente com frio; 0 neutro; +1 levemente com calor; +2 calor; +3 com muito calor. São considerados confortáveis os indivíduos que votarem +1, 0 ou -1. O índice APD pode ser obtido por meio da equação 3:

$$APD=100-95.e^{(-0,03353.AMV^4-0,2179.AMV^2)} \quad (3)$$

Alguns estudos realizados utilizam equações alternativas de percentual de insatisfeitos obtidas em estudos de campo baseadas no voto de sensação térmica real ou temperatura operativa, propondo novas curvas de PPD com base na porcentagem real de insatisfeitos (APD), com intuito de corrigir o modelo de Fanger (PEREIRA, 2021).

Hwang *et al.* (2009) realizaram um estudo em Taiwan com 22 estudantes universitários. Todos os 27 tratamentos foram realizados na câmara de laboratório da China Medical University, Taiwan. Esse estudo lança uma dúvida sobre se o modelo PMV – PPD é ou não adequado para o calor e umidade de Taiwan. Verificou-se que apenas os efeitos principais dos quatro fatores ambientais contribuem significativamente para o TSV com sua importância relativa no TSV em ordem

decrecente de temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e temperatura radiante média. Os principais efeitos dos quatro fatores também têm influência significativa no APD em ordem decrescente de temperatura, velocidade do ar, temperatura média radiante e umidade relativa. Além dos efeitos principais, os efeitos de interação de temperatura e umidade, temperatura e velocidade do ar, e temperatura contribuem significativamente para influenciar o APD.

Hwang e Chen (2010) foram motivados pela dúvida de que o modelo preditivo era qualificado para prever satisfatoriamente a resposta de um público específico, no caso idosos de Taiwan, com mais de 60 anos, em microclima interno em casa, e suas necessidades para o estabelecimento de conforto térmico. A modelagem *probit* regredida logisticamente na porcentagem de insatisfeitos previstos (PPD) contra a média dos votos de sensação térmica revelou que os votos de sensação correspondentes a um PPD de 20% foram  $\pm 0,75$  para idosos, cerca de  $\pm 0,10$  a menos que os níveis projetados pelo modelo ISO 7730 (2005). A faixa de temperatura operacional para aceitabilidade térmica de 80% para idosos no verão foi de 23,2–27,1°C, mais estreita do que a faixa de 23,0–28,6°C relatada para não idosos.

Zhang *et al.* (2016) testaram ciclos de temperatura induzidos por estratégias de controle de carga direta e propôs uma curva de insatisfeitos térmicos. A zona de conforto térmico dos participantes durante eventos é mais ampla do que o previsto pelo modelo PMV/PPD de Fanger, pois o primeiro é mais tolerante a temperaturas mais baixas. Os resultados deste estudo sugerem que a ASHRAE 55 (2013) é excessivamente conservadora na definição dos limites para ciclos de temperatura.

Pereira (2021) buscou relacionar o desconforto térmico, por meio da variável APD, com as variáveis dos parâmetros do conforto térmico por meio da construção de modelos de regressão. Por último, foi verificada a discrepância entre o PMV/PPD calculado com o real questionado junto aos alunos quando os mesmos respondem quanto a sua sensação e avaliação térmica. A predição de porcentagem de insatisfação real (APD) em cada medição foi calculada.

Piasecki *et al.* (2019) apresentam os resultados de um estudo de conforto térmico baseado em medições e testes sensoriais térmicos. O principal objetivo do experimento foi comparar o método de medição de conforto térmico baseado no modelo ISO-Fanger com os resultados reais de conforto obtidos pelos provadores na condição de escritório modelo. Os testes permitiram determinar a menor temperatura operacional que proporciona conforto térmico (voto médio previsto (PMV) = 0 e

-0,5). Observou-se que os provadores apresentaram melhor sensação de conforto térmico em temperaturas mais baixas do que resultaria da distribuição tradicional de Fanger, então os autores propuseram a função experimental de porcentagem de insatisfeitos (PPD) =  $f(\text{PMV})$ .

Segundo Humphreys e Nicol (2002), o modelo do PMV não considera as ações adaptativas que as pessoas realizam em ambientes internos para manter seu conforto, levando o PMV a subestimar ou superestimar a real sensação térmica sentida pelas pessoas nos ambientes, sendo então fundamental realização de pesquisas de campo para determinar os parâmetros reais de conforto e ajuste do ambiente térmico.

## **2.4 Análise da produtividade e conforto térmico**

### **2.4.1 Produtividade**

De acordo com Jackson (2011), produtividade é a razão entre as tarefas assumidas pelo tempo dedicado ao trabalho. Teoricamente, quanto menos tempo um trabalho demora para ser entregue com sucesso, mais produtivo ele se torna. A produtividade também pode ser definida como o agregado de performance em um grupo de trabalhadores que reflete o quão eficiente ele é esse grupo (STANG *et al.*, 2001). Por um bom tempo, a produtividade era medida pela razão entre produção e número de trabalhadores. Essa forma de abordagem estimulava o aumento da produção por empregado de forma massacrante (THIRY-CHERQUES, 2009).

O conceito de produtividade é definido genericamente como uma relação entre os bens produzidos e os fatores utilizados na sua produção, designadamente, tempo, trabalho, matérias-primas, e significando a quantidade de produto, enquanto resultado do processo de produção, que é gerada por uma unidade de fator produtivo, isto é, a relação entre o que se obtém por unidade económica (fator, organização, região, país) e os recursos que essa produção consumiu (CAPUL; GARNIER, 1996).

Para Ukko; Tenhunen; Rantanen, (2007) o conceito de produtividade foi introduzido e desenvolvido dentro das organizações com o objetivo de avaliar e melhorar o seu desempenho. De acordo com os autores, inicialmente, a produtividade era calculada pela razão entre o resultado da produção e o número de empregados para aumentar a produção por empregado utilizado. Outras formas de medir a

produtividade surgiram ao longo do tempo, relacionando o resultado da produção com a utilização de outros recursos como, por exemplo, energia, matéria-prima, insumos, entre outros.

Produtividade por sua vez não apresenta uma definição comum. A produtividade está relacionada ao desempenho dos indivíduos em relação aos seus objetivos e pode ser mais bem caracterizada e quantificada em escritórios ou edifícios comerciais. Oseland (1999) afirma que a produtividade pode ser expressa em termos de *eficiência*, ou seja, uma razão de entrada para saída. De acordo com Ilgen e Schneider (1991), a produtividade do ocupante pode ser medida de três formas: fisiologicamente, objetivamente ou subjetivamente.

Em termos operacionais e organizacionais, a produtividade pode ser descrita como a razão entre a rotatividade da empresa e o custo do funcionário (OSELAND; BARTLETT, 1999). No caso de ambientes de escritório, desempenho / produtividade podem ser medidos usando diferentes critérios, como desempenho individual, desempenho da equipe e desempenho organizacional (OSELAND, 1999; HEERWAGEN, 2000; FEIGE *et al.*, 2013; AL HERR, 2020). Diferentes dimensões podem afetar a produtividade, como fatores sociais, ambientais, organizacionais e pessoais.

Como a definição de produtividade pode variar, dependendo do contexto, torna-se importante diferenciar os conceitos relacionados: atividade, desempenho e produtividade. Parsons (2014) sugere que atividade abrange atividades gerais e pode envolver componentes psicológicos e fisiológicos, mas não é direcionada a nenhum objetivo operacional específico, já o desempenho é o resultado de uma atividade direcionada a um objetivo onde os executantes regulam deliberadamente seu comportamento para atingir aquele objetivo. De acordo com Bailey (1982), o desempenho humano é a conclusão do trabalho realizado por um operador humano ou uma equipe. O trabalho pode estar em diferentes níveis, de simples a complexo, manual ou automatizado, o desempenho humano em geral, pode ser medido pela velocidade ou tempo, precisão ou erro, carga de trabalho ou capacidade de demanda; e preferência. A seleção de medição dessas quatro categorias deve ser adaptada ao tipo de trabalho a ser medido e seu ambiente (WICKENS; HOLLANDS, 2000).

Muitos são os estudos realizados onde os autores avaliam e constatarem que os fatores ambientais influenciam as ações do ser humano e, assim, podem alterar sua produtividade e desempenho no ambiente de trabalho (TORRES, 2016).

#### 2.4.2 Produtividade em ambientes de ensino

O cenário em ambiente escolar é extremamente amplo e envolve caminhos diferentes e complexos. No caso específico da aplicação do conceito de produtividade à escola, Gómez Dacal (1992) sustenta que a relação resultados/tempo é, de todas as relações, a de mais fácil aplicação. Na verdade, a utilização desta relação como indicador de produtividade escolar, parece levantar menos problemas metodológicos, já que grandezas como o custo ou o benefício não são facilmente mensuráveis, quer pelas evidentes dificuldades inerentes à operacionalização dos próprios conceitos, quer por questões de horizontalidade temporal, quer ainda porque ao longo do processo formativo e educativo do aluno estão envolvidos fatores internos à própria escola, mas também fatores externos, ou pelo menos, fatores que escapam de alguma forma ao seu controle.

A produtividade nos ambientes de ensino pode ser entendida sob dois aspectos: um diz respeito à conclusão dos estudos pelo aluno e outro se amplia para abranger o próprio resultado da apropriação do saber em seu sentido mais amplo, capaz de levar o aluno a se constituir como cidadão e sujeito histórico (VASCONCELLOS, 1995). Pode ser tomada como “faculdade de realizar um produto”, que, no caso da escola, não se resume a aprovação em testes ou vestibulares nem à preparação para o mercado de trabalho, mas abarca o “próprio resultado da apropriação do saber em seu sentido mais amplo, capaz de concorrer para a constituição do educando como cidadão e sujeito histórico” (PARO, 2003).

Com significado alheio aos objetivos educacionais, a ideia de produtividade do trabalho se sustenta sobre a suposta objetividade dos sistemas de avaliação utilizados para aferir um produto do trabalho educativo. Conforme Paro (2012), os resultados da educação do ser humano tornam-se mais expressivos em sua convivência em sociedade. Por isso, a avaliação realizada durante o processo educativo escolar tem um fim mediador – de possibilitar a reorientação desse próprio processo educativo; e não de aferir um produto pronto, como na produção de objetos.

A “Avaliação da Aprendizagem” é atribuído originalmente a Ralph Tyler (1930), educador norte-americano. Já se afirmava então que “O processo de avaliação servia para determinar em que medidas os objetivos educacionais estavam sendo alcançados, porém a prática continuou a ser baseada em provas e exames” (LUCKESI, 1996). A “medida” limita-se a constatação da realidade, por meio da

obtenção de dados e informações. Para termos a avaliação no sentido que defendemos aqui, necessitamos de instrumentos de coleta e registro.

Em se tratando da relação do ambiente escolar e produtividade, Wong e Khoo (2003) afirmam que a qualidade interna do ambiente nas salas de aula, incluindo o ambiente térmico, a qualidade do ar interno, o ambiente acústico e de iluminação, está intimamente relacionada à saúde e desempenho dos alunos, sendo o ambiente térmico particularmente importante. Apesar disso, ambientes térmicos ruins são bem comuns em salas de aula (BAKÓ-BIRÓ *et al.*, 2012).

Condições precárias que levam a uma qualidade do ar interno (IAQ) nas salas de aula têm sido frequentemente citadas na literatura nas últimas décadas. Considerando que um IAQ ruim resulta na redução de escolaridade e potencial de aprendizagem, e conseqüente mau desempenho dos alunos, essa hipótese torna-se um desafio nos dias de hoje (SHAUGHNESSY *et al.*, 2006).

Conforme Mendell (2005) um ambiente térmico que causa desconforto pode afetar o desempenho de aprendizagem dos alunos, sendo a temperatura identificada como indicador comum. A condição térmica nas salas de aula deve ser considerada cuidadosa, principalmente devido à alta densidade de ocupantes e por causa das influências negativas que um ambiente térmico insatisfatório tem na aprendizagem e desempenho (WONG; KHOO, 2003).

Para Clements-Croome *et al.* (2012) o estudo realizado em oito escolas primárias na Inglaterra forneceu fortes evidências de que baixas taxas de ventilação nas salas de aula reduzem consideravelmente a atenção e vigilância dos alunos e afetam a memória e a concentração. O ambiente físico, portanto, pode afetar o ensino e a aprendizagem.

#### 2.4.3 Produtividade e conforto térmico

A relação de conforto térmico e produtividade em locais de trabalho é explorada Tarantini *et al.* (2017); os resultados indicam que as condições térmicas internas confortáveis podem ter impactos benéficos no bem-estar e na produtividade dos trabalhadores, como maiores taxas operacionais, menores perdas de produção, menos licenças médicas e redução dos custos relacionados à saúde. Mujan *et al.* (2019) estabelecem uma conexão entre os fatores que influenciam a saúde e a produtividade na qualidade do ambiente interno que é amplamente separada em até

oito fatores principais, a ênfase é dada apenas aos fatores que podem ser medidos e controlados ativamente: conforto térmico, qualidade do ar interior e ventilação, conforto visual e conforto acústico.

O estudo de Kosonen e Tan (2004) mostra que o desempenho relacionado à tarefa está associado com a percepção humana do ambiente térmico que é dependente das temperaturas. Várias combinações dos fatores térmicos como a velocidade do ar, isolamento térmico da roupa, taxa metabólica, entre outros, podem levar a valores semelhantes de PMV, sendo útil utilizar a equação do PMV para prever a perda de produtividade em função das mudanças nas condições térmicas. Publicado em 2005, o trabalho de Mohamed e Srinavin, além de destacar as deficiências dos modelos apresenta um quarto modelo de previsão de produtividade, desenvolvido pelos autores, onde a produtividade pode ser prevista em função do índice PMV. O estudo de Jin *et al.* (2012) enfoca as bases para estabelecer as relações entre produtividade e os aspectos do IEQ e mostra uma abordagem e uma relação para quantificar a qualidade do ambiente interior. Publicado em 2016, Roelofsen além de apresentar uma visão geral das diferentes pesquisas apresenta um único modelo de computador e ferramenta de projeto gerenciável para uma variedade de áreas. O artigo de Rasheed e Byrd (2017) revisa e identifica as várias restrições à adequação na medição da produtividade e fornece uma visão sobre as insuficiências e vieses prevalentes na autoavaliação.

#### 2.4.4 Formas de avaliação da produtividade

A produtividade do ocupante pode ser medida: fisiologicamente, objetivamente ou subjetivamente (ILGEN; SCHNEIDER, 1991). As medições fisiológicas envolvem monitorar os indicadores do sistema cardiovascular, do sistema respiratório, do sistema nervoso e da bioquímica. As principais limitações são: (1) a sensibilidade dos indicadores fisiológicos, como pressão arterial, a possíveis condições de contaminação, por exemplo, temperatura ambiente, é muito alta. Portanto, um ambiente experimental extremamente estável e bem controlado é necessário para obter dados confiáveis; e (2) as próprias medições são intrusivas e tendem a afetar o desempenho normal do sujeito. O Quadro 3 apresenta o tipo de pesquisa utilizada nos estudos analisados (BUENO; DE PAULA XAVIER; BRODAY, 2021).

**Quadro 3 - Avaliação de desempenho / produtividade**

<b>Autores</b>	<b>Avaliação do desempenho / produtividade</b>
Koehn e Brown (1985)	Avaliações físicas
Thomas e Yakoumis (1987); Jensen <i>et al.</i> (2009)	Análise de dados
Srinavin e Mohamed (2003); Tanabe <i>et al.</i> (2007); Kekäläinen <i>et al.</i> (2010); Ngarnpornprasert e Koetsinchai (2010); Schellen <i>et al.</i> (2010); Cui <i>et al.</i> (2013); Lamb e Kwok (2016); Maula <i>et al.</i> (2016); Kang <i>et al.</i> (2017); Mallawaarachchi e Rameezdeen (2017); Andargie e Azar (2019); Bajc <i>et al.</i> (2019); Chang e Kajackaite (2019); Kaushik <i>et al.</i> (2020);	Avaliação subjetiva
Shan <i>et al.</i> (2016); Kaczmarczyk <i>et al.</i> (2004); Tsutsumi <i>et al.</i> (2007); Bogdan <i>et al.</i> (2012); Asere <i>et al.</i> (2016); Bogdan, <i>et al.</i> (2017); Geng <i>et al.</i> (2017); Vilcekova <i>et al.</i> (2017); D'Oca <i>et al.</i> (2018); Hong <i>et al.</i> (2018)	Avaliação subjetiva /objetiva (testes)
Tse e So (2007)	Redução na produtividade / perda financeira
Tanabe <i>et al.</i> (2009); Valančius e Jurelionis (2013); Suzianti <i>et al.</i> (2017)	Avaliação objetiva (testes de desempenho)
Wong e Mui (2009)	Avaliação subjetiva/ produtividade estimada
Zhao <i>et al.</i> (2009); Lan <i>et al.</i> , (2011); Barbic <i>et al.</i> (2019); Sadick <i>et al.</i> (2020)	Avaliação fisiológica / objetiva (desempenho)
Lan <i>et al.</i> (2010); Sarbu e Pacurar (2015); De Brito <i>et al.</i> (2019)	Avaliação fisiológica / subjetiva/objetiva (testes)
Tanabe <i>et al.</i> (2013); Zhang e de Dear (2017); Wu <i>et al.</i> (2020)	Avaliação subjetiva / fisiológica / produtividade autorrelatada
Sarbu e Pacurar (2015); Sun <i>et al.</i> (2020)	Avaliação subjetiva / experimental
Hoque e Weil (2016); Liu <i>et al.</i> (2017); Fahed <i>et al.</i> (2018); Nematchoua <i>et al.</i> (2019); Wang <i>et al.</i> (2020)	Avaliação subjetiva / psicológica
Wang <i>et al.</i> (2016)	Medidas físicas / medidas fisiológicas / avaliação subjetiva / objetiva (testes de desempenho)
Jiang <i>et al.</i> (2018)	Medidas físicas/avaliação subjetiva
Lipczynska <i>et al.</i> (2018); Sadick <i>et al.</i> (2020)	Avaliação subjetiva / Produtividade autorrelatada
Elnaklah (2020)	Avaliação subjetiva / Absenteísmo e Presenteísmo
Koteswara <i>et al.</i> (2020)	Medidas de campo

**Fonte: Bueno; De Paula Xavier; Broday, (2021)**

Nas avaliações subjetivas o feedback dos ocupantes sobre as mudanças no ambiente físico pode ser coletado por meio de uma pesquisa de campo (entrevistas e questionário) e avaliações objetivas (contas e métricas). As medidas objetivas são geralmente uma medida de desempenho da tarefa, incluindo o desempenho da tarefa primária (uma única tarefa é realizada e a produtividade é registrada como seu valor absoluto) e desempenho comparativo de tarefas (duas ou mais tarefas são realizadas consequentemente e as variações de produtividade entre as tarefas são registradas (CLEMENS-CROOME; KALUARACHCHI, 1999).



As medidas de produtividade comumente adotadas incluem tarefas de desempenho, produtividade autopercebida e absenteísmo (SENSHARMA, *et al.*, 1998; OSELAND, 1999; ZHANG *et al.*, 2019; RASHEED; BYRD, 2017; WYON, 1996; ONYEIZU, 2014; HAYNES, 2007; LEAMAN, 1999; BYRD; RASHEED, 2016). A validade dessas medidas foi questionada, uma vez que tarefas de desempenho simuladas podem não refletir de forma realista o trabalho real nos locais de trabalho (ONYEIZU, 2014; BYRD; RASHEED, 2016), ZHANG *et al.*, 2019); a produtividade autopercebida pode não refletir a produtividade real (SENSHARMA, 1998; ONYEIZU, 2014; RASHEED; BYRD, 2017).

Medidas subjetivas, que visam obter a percepção dos ocupantes sobre o nível de produtividade através de entrevistas e questionários, vêm ganhando força pois as pessoas tendem a atuar de acordo com os seus sentimentos (HAYNES, 2008).

A maioria dos estudos analisados utiliza medidas subjetivas e/ou uma combinação, além de medições fisiológicas e físicas para avaliação da produtividade. Cerca de 70 % dos estudos utilizam avaliação subjetiva e aproximadamente 10% autoavaliação de desempenho. A maior parte dos estudos são baseados em hipóteses e as pesquisas feitas através de experimentos que são relativamente limitadas devido as amostras serem muito pequenas ou por fatores ambientais e pessoais insuficientes (BUENO; DE PAULA XAVIER; BRODAY, 2021).

Menezes (2017) avaliou a influência das Condições Psicofisiológicas Individuais de Trabalhadores de uma Instituição de Ensino Superior na sua produtividade laboral. Todos os dados foram associados aos valores de Produtividade que foi obtido através do Instrumento Rápido para Avaliação da Produtividade de Trabalhadores (IAPT). Os dados demonstraram uma produtividade abaixo do que é considerado o ideal pela literatura e que houve variação significativa da mesma entre os períodos do dia e entre os dias da semana.

#### 2.4.5 Condições térmicas para aumento da produtividade

Diferentes níveis de atividade requerem condições ambientais específicas para as pessoas, a fim de alcançar conforto térmico, que geralmente é aceito quando houver uma temperatura ideal ou, mais precisamente, uma faixa aceitável de temperatura para desempenho.

O conforto térmico tem uma forte influência na produtividade dos ocupantes que relatam queixas de desconforto térmico e baixa produtividade (ROELOFSEN, 2015; LAN *et al.*, 2011; AKIMOTO *et al.*, 2010; SEPPÄNEN; FISK, 2006)\_estudaram a relação entre temperatura e produtividade, e mostraram que o desempenho máximo foi observado em 21,6°C. Por outro lado, a teoria do conforto adaptativo de Dear e Brager, (1998) sugere que a produtividade ideal pode ser alcançada em uma faixa mais ampla de temperaturas internas.

A qualidade do ambiente interno e o conforto térmico têm sido associados a redução de desempenho/produtividade. Entretanto tem havido discussão sobre qual é a faixa de temperatura que tem um impacto significativo no desempenho do trabalho.

Muitos estudos têm sido realizados mostrando que a temperatura tem um efeito significativo no desempenho (KOSONEN; TAN, 2004); (SEPPÄNEN; FISK, 2006); (LAN *et al.*, 2011); (CUI *et al.*, 2013); (MAULA *et al.*, 2016) entre outros.

Kosonen e Tan (2004) relataram que o desempenho máximo ocorre quando o valor do voto médio previsto (PMV) é -0,21 a uma temperatura de 20 °C com um valor clo relativamente pesado (1,16 clo). Seppanen; Fisk; Lei (2006) analisaram dados obtidos de estudos com medidas objetivas de produtividade, como velocidade e precisão em diferentes tarefas. Os dados obtidos nesses estudos foram usados para avaliar a mudança na produtividade com a mudança na temperatura. Os resultados mostram que o desempenho aumenta até 22°C e começa a diminuir acima de 24–26 °C. Além disso, o estudo relata a redução percentual no desempenho à medida que a temperatura aumenta. Os efeitos positivos da baixa umidade na agradabilidade subjetiva foram encontrados em condições transitórias em baixa umidade devido a mais evaporação do corpo humano, enquanto nenhuma diferença significativa na sensação térmica e na sensação de umidade entre 4 níveis de umidade relativa foi obtida. O desempenho subjetivo foi encontrado no mesmo nível em todas as condições (TSUTSUMI *et al.*, 2007).

Uma condição de conforto térmico satisfatória para trabalhadores de escritório pode ser alcançada com temperaturas de sistemas de ar-condicionado em (26°C – 28°C) nos períodos da manhã e em (24°C - 26°C) nos períodos da tarde e da noite. Essas faixas de configurações de temperatura ajudam a manter e melhorar a produtividade dos funcionários de escritório durante os períodos da manhã, tarde e noite em 18 %, 1% a 15% e 7%, respectivamente (NGARMPORNPRASERT; KOETSINCHAI, 2010).

Lan *et al.* (2011) realizaram um estudo sob três níveis de temperatura (17°C, 21°C e 28°C) e descobriram que o desempenho neurocomportamental reduziu quando o ambiente térmico se desviou da condição neutra, e as pessoas tiveram mais emoções negativas e precisaram despender mais esforço para manter o desempenho em ambiente de desconforto térmico. Recomenda-se que a faixa PMV (*Predicted Mean Vote*) para conforto geral seja de -0,5 a 0,5 no padrão ASHRAE 55, 2010. Lan *et al.* (2011) sugerem que a faixa de zona de conforto em locais de trabalho deve estar entre -0,5 e 0 para evitar perda de desempenho.

Cui *et al.* (2013) avaliou o desempenho humano em ambientes dinâmicos com fluxo de ar de neutro a ligeiramente quente e não relatou nenhuma mudança significativa de desempenho em todas as três tarefas simuladas (correspondência de padrões, adição e digitação de memória). O desempenho na tarefa de memória de trabalho a 29°C em comparação com 23°C foi afetado negativamente, enquanto as capacidades psicomotoras, de memória de trabalho, atenção e memória de longo prazo não foram afetadas. O desempenho percebido também não foi afetado pela temperatura (MAULA *et al.*, 2016). O desempenho máximo é obtido a uma temperatura do ar de 27°C na estação de resfriamento. O desempenho do aluno tem uma diminuição insignificante de 0,6%, mesmo com o aumento do CO<sub>2</sub> (SARBU; PACURAR, 2015). A exposição a 35°C aumentou os sintomas de saúde e desconforto e reduziu o desempenho (LIU *et al.*, 2017).

Resultados dos estudos de Zangh e Dear (2017) confirmaram que tarefas cognitivas mais simples são menos vulneráveis ao calor do que tarefas mais complexas. De acordo com Geng *et al.* (2017), a produtividade ideal foi obtida quando as pessoas se sentiram “neutras” ou “ligeiramente frias”. O aumento da satisfação térmica teve um efeito positivo na produtividade. A perda de produtividade surgiu junto com o desconforto térmico causado pela temperatura do ar muito alta ou muito baixa. A maioria dos participantes se sentiu “neutra” e ficou satisfeita com o ambiente térmico de 24°C no escritório. Hong *et al.* (2018) constatou que se a temperatura operacional fosse alterada de 18,70 °C (frio) para 25°C (neutro), poderia melhorar o desempenho da tarefa.

Em um ambiente de escritório real nos trópicos aumentando o ponto de ajuste de temperatura de 23°C para 26°C, ao mesmo tempo em que fornecemos aos ocupantes controle compartilhado sobre ventiladores de teto, podemos obter um grande aumento no conforto térmico (ou seja, aceitabilidade térmica aumentando 59%

- 92%), mantendo alto estado de alerta, capacidade de concentração e produtividade autorrelatada (LIPCZYNSKA *et al.*, 2018).

A influência da temperatura no teste de desempenho de aprendizagem variou significativamente para diferentes tarefas, com resultados que mostraram que altas e baixas temperaturas causam desconforto térmico que impactam negativamente na aprendizagem dos alunos e que o desempenho ideal foi quando a temperatura era de aproximadamente 14°C, com desempenho relativo médio de 99,4% (JIANG *et al.*, 2018). Entretanto, Wang *et al.*, (2018) identificaram que a temperatura do ar de desempenho ideal seria 28°C e com desempenho de aprendizagem relativo de 104,8%, sendo confirmado na pesquisa de Nematchoua *et al.* (2019).

Ambas as temperaturas, baixas e altas (18°C e 28°C) podem causar uma perda no desempenho do trabalho. Em comparação com 18°C e 28°C, na temperatura de 20°C a 26°C, mais pessoas indicaram que seu desempenho no trabalho era neutro (0); menos pessoas indicaram baixo desempenho nessas condições (-2). Embora a temperatura não tenha influenciado significativamente o desempenho dos três testes de percepção, ela teve um efeito significativo no desempenho geral das tarefas de percepção (SUN *et al.*, 2020). Com o aumento da velocidade do ar, o desempenho de aprendizagem diminuiu e diminuiu a uma taxa mais rápida em um ambiente de 26°C do que em um ambiente de 29°C (WANG *et al.*, 2020). A temperatura tem um efeito muito positivo sobre os ocupantes quando varia de 22 a 24,5°C e um efeito positivo quando varia de 21 a 25°C (KAUSHIK *et al.*, 2020).

Foram observadas muitas divergências sobre o efeito da temperatura no desempenho/produzividade dos ocupantes. Os estudos são bastante diversos pois avaliam tanto trabalhos em indústrias de manufatura como trabalhos manuais. Além disso o desempenho/produzividade nesses ambientes é bastante distinto pois envolve tipos de desempenho distintos; desempenho profissional e cognitivo que necessitam de métodos diferentes de avaliação (SUN *et al.*, 2020) .

A análise da existência de uma condição térmica mais produtiva com base nos estudos selecionados parece confirmar que o desempenho/ produzividade pode ser obtido em uma faixa mais ampla de temperatura e depende de outros fatores como o tipo de atividade e fatores pessoais (BUENO; DE PAULA XAVIER; BRODAY, 2021).

#### 2.4.6 Cálculo de produtividade

Até agora, não existe um padrão para medir a produtividade e não é fácil avaliar o efeito térmico sobre o desempenho humano nos locais de trabalho porque existem muitas variáveis relacionadas a tarefas específicas em contextos específicos que não podem ser adequadamente contabilizados (ZHANG *et al.*, 2019). É necessário combinar métodos objetivos e subjetivos para avaliar o desempenho no trabalho (SUN, *et. al.*, 2020) .

Relações aritméticas têm sido propostas por diferentes pesquisadores para quantificar o decréscimo de produtividade em termos percentuais conforme a temperatura ambiente (ou sensação térmica) se desvia da temperatura ótima. A fim de exemplificar alguns desses métodos para calcular a produtividade, o Quadro 4 contém fórmulas matemáticas, os autores e uma breve descrição.

Quadro 4 - Cálculo do Desempenho / Produtividade

Autor/Ano	Descrição	Cálculo da produtividade
Koehn e Brown (1985)	Equação onde $P_c$ é o fator de produtividade para frio e frio relacionado à produtividade com temperatura do ar ( $T_a$ ) e umidade relativa ( $R_h$ ), para ser usado em climas frios e aplicável de $-29$ a $10$ ° C.	$P_c = 0.0144 \cdot T_a - 0.00313 \cdot R_h - 0.000107 \cdot (T_a)^2 - 0.000029 \cdot (R_h)^2 - 0.0000357 \cdot (T_a \cdot R_h) + 0.647.$
	Equação onde $P_w$ é o fator de produtividade para aquecimento ou quente, a temperatura do ar em graus Fahrenheit, e $R_h$ é a umidade relativa, expressa em porcentagens, para ser usado em climas quentes e é aplicável de $21$ a $49$ ° C.	$P_w = 0.0517 \cdot T_a + 0.0173 \cdot R_h - 0.00032 \cdot (T_a)^2 - 0.0000985 \cdot (R_h)^2 - 0.0000911 \cdot (R_h) - 1.459.$
Thomas e Yakoumis (1987)	Equação onde $PR$ é a relação de desempenho diário previsto (real / esperado), $T_a$ é a temperatura do ar às 13 h expressa em porcentagem. A equação é limitada e para deduzir os efeitos do clima, é necessário reconhecer que a eficiência prevista da tripulação está inversamente relacionada à $PR$ .	$PR = 9.448 + 0.0518 \cdot T_a - 2.819 \cdot \ln(T_a) + 3.89 \times 10^{-37} \cdot e^{R_h}$ Predict efficiency (E) = 1/PR.
Srinavin e Mohamed (2003)	Usa o modelo de Toftum e Friis-Hansen (2009) onde $RP$ = desempenho relativo, $tsv$ = sensação térmica média de acordo com a escala de sete pontos ASHRAE (ASHRAE 1997).	$RP = 0.9945 - 0.0123 \cdot tsv - 0.0069 \cdot tsv^2.$
Wong e Mui (2009)	O percentual de perda de produtividade $D$ de um funcionário de escritório pode ser expresso pela combinação de perdas de produtividade em tarefas de raciocínio $T_k$ e tarefas de digitação $T_p$ com uma taxa de raciocínio para tarefas gerais $\alpha$ , onde $T_k$ e $T_p$ medidos em ambientes de laboratório foram correlacionados com os preferidos do ocupante voto de sensação térmica média $\gamma_1$ variando entre $-0,21$ e $1,28$ .	$D = \alpha \cdot T_k + (1 - \alpha) \cdot T_p,$ $T_k = 1.5928 \cdot \gamma_{15} - 1.5526 \cdot \gamma_{14} - 10.401 \cdot \gamma_{13} + 19.226 \cdot \gamma_{12} + 13.389 \cdot \gamma_1 + 1.8763$ $T_p = -60.543 \cdot \gamma_{16} + 198.41 \cdot \gamma_{15} - 183.75 \cdot \gamma_{14} - 8.1178 \cdot \gamma_{13} + 50.24 \cdot \gamma_{12} + 32.123 \cdot \gamma_1 + 4.8988$
	Usando a expressão matemática da perda de produtividade, $y = c_0$ (PMV) + $c_1$ (PMV) <sup>2</sup> + $c_2$ (PMV) <sup>3</sup> + $c_3$ (PMV) <sup>4</sup> + ... + $c_n$ (PMV) <sup>n</sup> , as Equações são derivadas de tarefas de digitação e raciocínio, respectivamente.	$y = -0.543 \cdot x^6 + 198.41 \cdot x^5 - 183.75 \cdot x^4 - 8.1178 \cdot x^3 + 50.24 \cdot x^2 + 32.123 \cdot x + 4.8988.$ $y = 1.5928 \cdot x^5 - 1.5526 \cdot x^4 - 10.401 \cdot x^3 + 19.226 \cdot 2x^2 + 13.389 \cdot x + 1.8763.$
Kosonen e Tan (2004)	Kosonen e Tan (2004) publicaram duas conexões para perda de desempenho de digitação e raciocínio devido à sensação de temperatura média com base na pesquisa de Wyon <i>et al.</i> (1975), onde: $P$ = perda de desempenho (%); $P \geq 0$ $tsv$ = sensação térmica média de acordo com a escala de sete pontos ASHRAE (ASHRAE 1997).	$\text{Digitação } P = 4.8988 + 32.123 \cdot tsv + 50.24 \cdot tsv^2 - 8.1178 \cdot tsv^3 - 183.75 \cdot tsv^4 + 198.41 \cdot tsv^5 - 60.543 \cdot tsv^6$ $\text{Raciocínio } P = 1.8763 + 13.389 + 19.226 \cdot tsv^2 - 10.401 \cdot tsv^3 - 1.5526 \cdot tsv^4 + 1.5928 \cdot tsv^5$
Mohamed e Srinavin (2005)	Três modelos de regressão matemática diferentes representados pelas Equações (10) - (12) para prever a produtividade para tarefas de construção leves, moderadas e pesadas, respectivamente (Srinavin, 2002). As equações da árvore são aplicáveis à faixa de temperatura de $5$ a $45$ ° C.	$PL = 102 - 0.80 \cdot PMV - 1.84 \cdot (PMV)^2$ $PM = 102 + 1.19 \cdot PMV - 2.17 \cdot (PMV)^2.$
	$PH = 83 + 21.64 \cdot PMV - 9.53 \cdot (PMV)^2 + 0.91 \cdot (PMV)^3.$	

Tse e So (2007)	A perda de produtividade média anual de um ocupante de escritório é determinada pela Equação onde $P_{-}$ (avg, j) é a perda de produtividade média anual de um ocupante j onde j vai de 1 a 19, representando todos os ocupantes de escritório. A proporção de uma tarefa mecânica e a proporção de uma tarefa puramente mental estão associadas ao grau i, denotado por $\alpha_{-}$ (i, typ) e $(1 - \alpha_{-}$ (i, typ)), respectivamente. $P_{-}$ (m, t) é o PMV para o ocupante em um instante de tempo t em um mês m. A duração do tempo T1 e T2 representa o tempo comercial.	$P_{avg,j} = \frac{1}{365} \sum_{m=5}^{10} \left\{ \frac{Lm}{T2-T1} \int_{T1}^{T2} [\alpha_{i,typ} PL_{typ} P_{(mt)} + (1 - \alpha_{i,typ}) PL_{think} P_{m,t}] dt \right\}$
Tanabe <i>et al.</i> (2007)	O desempenho normal foi calculado, onde $x_{A,i}$ = número de respostas corretas durante a sessão i para o sujeito; A = número médio de respostas corretas do sujeito A ao longo de todas as sessões	$S_{A,i} = \frac{(x_{A,i} - \bar{x}_A)}{S_A} \cdot 10 + 50$
Jensen <i>et al.</i> (2009)	O Índice de Desempenho é calculado usando Redes Bayesianas (BN) como plataforma para que quaisquer incertezas associadas ao desempenho e percepção humana possam ser incluídas nas estimativas do Índice de Desempenho geral. Em uma determinada hora de trabalho (i), o efeito da temperatura no desempenho mental é calculado usando o BN. Esse desempenho é então ponderado pelo número total de horas de trabalho e cada desempenho ponderado é calculado ao longo de um ano.	<p><math>\Pi</math> pode ser calculado usando a equação:</p> $\Pi = \sum_i w \cdot BN(temp_i)$ <p>onde w é o fator de ponderação, i o segmento de tempo quando o desempenho é calculado, BN a saída de desempenho do BN em função da temperatura, <math>temp_i</math> a temperatura do ar no segmento de tempo i e <math>\Pi</math> é o índice de desempenho.</p>
Zhao <i>et al.</i> (2009)	Equações por categoria de trabalho para a situação WBGT $\geq 34$ . De acordo com a pesquisa de Zhao, Zhu e Lu (2009), o conceito de 'tempo de tolerância ao calor' é importante apenas no caso de WBGT $\geq 34$ onde Thht = tempo de tolerância ao calor ( h), Pwbgt = desempenho (%); $t \leq$ Thht.	<p><i>Carga de trabalho pesada</i></p> $Thht = 0.0519 \cdot WBGT^3 - 5.6694 \cdot WBGT^2 + 206.04 \cdot WBGT - 2490.3 \text{ (h)}$ $P_{wbgt} = -0.5963 \cdot t^2 + 0.9115 \cdot t - 0.0676 \cdot WBGT + 2.44 \text{ (\%)}$ <p><i>Carga de trabalho média</i></p> $Thht = 0.1508 \cdot WBGT^3 - 16.0601 \cdot WBGT^2 + 608.11 \cdot WBGT - 7411.8 \text{ (h)}$ $P_{wbgt} = -0.364 \cdot t^2 + 0.7476 \cdot t - 0.05301 \cdot WBGT + 2.09 \text{ (\%)}$ <p><i>Carga de trabalho leve</i></p> $Thht = 0.0869 \cdot WBGT^3 - 9.3769 \cdot WBGT^2 + 336.24 \cdot WBGT - 4004.5 \text{ (h)}$ $P_{wbgt} = -0.286 \cdot t^2 + 0.6256 \cdot t - 0.07 \cdot WBGT + 2.94 \text{ (\%)}$
Ngarpornprasert e Koetsinchai (2010)	A porcentagem de mudança na produtividade de um tópico em implementação de cada tarefa foi calculada, onde: $Change_{ijk}$ : mudança de produtividade de uma tarefa j realizada pelo sujeito i (%), $\bar{x}_{ij}$ : quantidade de trabalho realizado pelo sujeito i para a tarefa j, $x_{ij}$ : desempenho médio do sujeito i para a tarefa j.	$Mudanca_{ijk} = (x_{ijk} - \bar{x}_{ij}) / \bar{x}_{ij} \cdot 100$ <p>i: sujeito 1. sujeito 2. Sujeito 3 e sujeito 4 j: tarefa de digitação. tarefa de cálculo. tarefa de revisão. tarefa de reação simples e reação a estímulos de cor k: número de experimento</p>

Sarbu e Pacurar (2015)	Correlação entre desempenho escolar $\eta_t$ , K e temperatura do ar interior. Utilizando a média dos resultados obtidos por todos os alunos em cada um dos 12 testes P, correlação Gaussiana entre desempenho $\eta_t$ , P e temperatura do ar $t_i$ , foi deduzido. A correlação para estimar o desempenho parcial $\eta_{RH}$ em função da umidade relativa RH $i$ foi obtida de forma semelhante :	$\eta_{tK} = 88.1 \cdot \exp\left(-\frac{(t_i - 25.685)^2}{516.554}\right)$ $\eta_{tP} = 93.5 \cdot \exp\left(-\frac{(t_i - 27.902)^2}{743.591}\right)$ $\eta_{RH} = 90.33 \cdot \exp\left(-\frac{(RH_i - 60.79)^2}{7504.75}\right)$
Fahed <i>et al.</i> (2018)	A perda de produtividade foi estimada usando o método Kjellstrom <i>et al.</i> (2009) método. Para determinar as condições de conforto térmico, a Equação (19) representa o percentual de produtividade da carga de trabalho pesada, onde PH significa o valor da produtividade para carga de trabalho pesada.	$P_H = 83 + 21.64 \cdot PMV - 9.53 \cdot (PMV)^2 + 0.91 \cdot (PMV)^3$
Hong <i>et al.</i> (2018)	O desempenho das tarefas pelos ocupantes do edifício foi dividido em seis tarefas. Nesse caso, a padronização dos valores correspondentes a cada atributo foi realizada onde $S_A$ é o valor padronizado para $Z_A$ , e $Z_A$ é cada atributo.	$S_A = (Z_A - Z_{Amin}) / (Z_{Amax} - Z_{Amin})$
De Brito <i>et al.</i> (2019)	Modelo matemático usando o modelo linear (GLM) para examinar o comportamento de (tg - ta) e trm no desempenho cognitivo (índice Dt - desempenho geral em função do tempo) da Equação dos alunos, onde: Distribuição de probabilidade de Y (Dt), $Y \sim N(\sigma^2)$ ; 2. A função que conecta o valor esperado Y (Dt) com uma combinação linear da variante explicativa.	$E(Dt) = \beta_0 + \beta_1 \cdot T_{trm} + \beta_2 \cdot tg - ta$
Chang e Kajackaite (2019)	Regressão de mínimos quadrados ordinária (OLS) para mapear a ligação entre temperatura e desempenho, onde i se refere a um indivíduo, j se refere a uma sessão experimental, Temp j é a temperatura ambiente durante a sessão j e $X_{ij}$ é um vetor de características observáveis do indivíduo e da sessão que podem influenciar o desempenho. A variável dependente $Y_{ij}$ é uma medida do desempenho do indivíduo i na tarefa matemática, tarefa verbal, CRT e uma medida da quantidade total de respostas tentadas	$Y_{ij} = \alpha + \beta \cdot Temp_j + X_{ij} \gamma + \epsilon_{ij}$
Bajc <i>et al.</i> (2019)	A relação entre produtividade, concentração de CO2 e fatores pessoais, combinados, onde z representa a produtividade, x representa PMV e y representa a concentração de CO2; os coeficientes a, b, c, d, e, f, g, h, i, j e k são obtidos por meio de um software	$\text{Produtividade} = f(PMV, CO_2)$ $Z = a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3 + e \cdot x^4 + f \cdot x^5 + g \cdot y + h \cdot y^2 + i \cdot y^3 + j \cdot y^4 + k \cdot y^5$
Koteswara <i>et al.</i> (2020)	A equação para estimar o declínio de desempenho no trabalho pode ser escrita como:	$P(\%) = 2 \cdot (\text{Thermal stress. } ^\circ\text{C}) - 50$
Wu <i>et al.</i> (2020)	O desempenho absoluto pode ser calculado com base na precisão (% de respostas corretas) e na velocidade (tempo gasto para responder) das tarefas da Equação (26). Foi calculado o índice de desempenho de todos	$PI = (\text{precision of }^{0.5} \text{ speed }^{0.5})^2 = \text{speed precision}$ $RP = PI_i / PI_{ax} \cdot 100$



---

os indivíduos em cada condição (Pli). O desempenho relativo de cada condição foi obtido de acordo com a Equação onde: RP - desempenho relativo; Pli - Desempenho absoluto em cada condição; PImax – Desempenho máximo em todas as condições.

---

**Fonte: Bueno; De Paula Xavier; Broday, (2021)**

Um dos pontos críticos inevitáveis é justamente a falta de protocolos de mensuração da produtividade. É praticamente impossível comparar resultados de diferentes pesquisas devido às diferentes condições internas e externas em que são realizadas. A produtividade pode envolver muitas dimensões além do desempenho em si, por exemplo, fatores sociais como negócios e sociais, o relacionamento com os colegas; fatores organizacionais, como estrutura organizacional, segurança no trabalho, carga de trabalho, gestão; e fatores pessoais, como lesões, perda de sono, eventos na vida de alguém, saúde / bem-estar e estresse financeiro, apenas para mencionar alguns (ROELOFSEN, 2002; HAYNES, 2007; CLEMENTS-CROOME, 2006).

Dada a importância do assunto, é necessário que pesquisas desta natureza sejam realizadas a fim de definir padrões para a determinação da produtividade do ocupante, com diferentes tipos de atividades que levem em consideração todos os fatores envolvidos. Nos artigos analisados, percebeu-se que ainda existem fatores térmicos e pessoais que não foram estudados de forma satisfatória. Da análise dos artigos, esta pesquisa acrescenta que (a) a maioria dos estudos analisados são subjetivos e / ou uma combinação de métodos de avaliação da produtividade; e (b) a maioria dos artigos trata de poucos fatores para entender essa lacuna. A complexidade do trabalho também deve ser avaliada. Portanto, todos os aspectos devem ser considerados: pessoal, social, ambiental ou organizacional. Além dos fatores do IEQ, observou-se que em alguns estudos analisados, as características demográficas (por exemplo, nacionalidade, idade e sexo) são motivadores importantes das características pessoais dos ocupantes na forma como percebem seu ambiente e relatam seus níveis de satisfação, influenciando conforto, satisfação e produtividade. Andargie *et al.* (2019) aponta que fatores demográficos, como sexo, são determinantes significativos da maioria das medidas de conforto e desempenho estudadas.

É importante considerar todos os fatores do IEQ e mapear os perfis dos ocupantes (nacionalidade, idade e sexo) para ajudar na compreensão do perfil de conforto ocupantes (detalhes térmicos dos ocupantes, que ainda não foram suficientemente estudados. A análise dos fatores pessoais apresentados no estudo pode afetar o desempenho / produtividade, bem como as habilidades cognitivas. Existem fatores, como nível de escolaridade, habilidades e estados emocionais, entre outros, que devem ser considerados.

Uma nova forma viável de relacionar o conforto térmico à produtividade é por meio do índice APD (Percentual Real de Insatisfeitos), que considera os reais sujeitos insatisfeitos termicamente com seu ambiente. O modelo original PMV / PPD proposto por Fanger considera que quando as pessoas votarem 0 em uma escala de 7 pontos (neutro), haverá um total de 5% de insatisfeitos termicamente com o meio ambiente. Pesquisas, no entanto, mostraram que o índice PMV subestima ou superestima a sensação térmica das pessoas. Se, em um ambiente, muitas pessoas votarem +3 e -3 em uma escala de sete pontos, a média será 0, e isso não apresentará o aspecto real desse ambiente. Outras pesquisas já usam o APD em vez do PPD tradicional (WANG HU, 2016; YAU; CHEW, 2014).

Brodoy e Xavier (2020) verificaram que os reais insatisfeitos podem atingir até 50% das pessoas com atividades sedentárias em um escritório, mesmo que a média de votos seja 0, o que difere de 5% do modelo original de Fanger. Por meio da análise estatística PROBIT, todos os que votaram de forma diferente a 0 em uma escala de 7 pontos foram considerados insatisfeitos com o meio ambiente. Alguns estudos mostrados na Tabela 2 relacionam a produtividade com PMV ou TSV.

#### 2.4.7 Instrumento Rápido para avaliação da produtividade de trabalhadores (IAPT)

Sabe-se que a produtividade é algo muito individual e que as percepções sobre ela variam muito, pois fatores diferentes no dia do trabalho podem influenciar a produtividade de forma positiva ou negativa (MEYER *et al.*, 2017).

O IAPT é um instrumento específico para avaliar as flutuações da produtividade em diferentes momentos da jornada de trabalho e foi desenvolvido para avaliar trabalhadores, todos funcionários de um Centro Universitário da cidade de São José-SC. O instrumento apresenta dez perguntas seguidas das 5 colunas para marcação da percepção autopercebida em relação àquela pergunta e em relação às últimas duas horas de trabalho. No cabeçalho do instrumento há instruções para que o pesquisado responda assinalando com um “X” apenas um dos campos por pergunta e para que não deixe nenhuma pergunta em branco o que garante que haja um retorno máximo do instrumento (MENEZES, 2017). O instrumento completo pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3 - Instrumento IAPT

INSTRUMENTO RÁPIDO PARA AVALIAÇÃO SUBJETIVA DE PRODUTIVIDADE LABORAL INTRAJORNADA					
<p>Você está sendo convidado a responder perguntas referentes ao seu desempenho produtivo durante sua jornada de trabalho. Esse instrumento é individual e autoaplicável e refere-se ao seu desempenho comparativo nas <b>ÚLTIMAS DUAS HORAS DE TRABALHO</b>. Ao final das avaliações você será questionado sobre sua idade e outros dados referentes a você, estes servirão para entendermos melhor suas respostas.</p> <p>Você deve preencher com um "X" o campo que mais expressa sua percepção durante a avaliação. Lembrando que todas as questões devem ser respondidas. <b>NÃO EXISTEM ALTERNATIVAS CERTAS OU ERRADAS</b>, o instrumento é subjetivo, portanto fique confortável para responder às questões. Queremos apenas saber sua opinião pessoal.</p> <p>Fique à vontade para retirar-se da pesquisa se sentir-se constrangido ou desconfortável.</p> <p><b>Obrigado pela Colaboração!</b></p>					
QUESTÕES	Nada	Pouco	Regular	Muito	Totalmente
O quão <b>concentrado e eficiente</b> me senti nas últimas 2 horas?					
O quão <b>cansado ou sonolento</b> me senti nas últimas 2 horas?					
O quão <b>produtivo</b> me senti para trabalhar nas últimas 2 horas?					
O quão <b>apto (capaz)</b> me senti para <b>tomar decisões</b> no trabalho nas últimas 2 horas?					
O quão <b>seguro (certo)</b> estive de minhas ações no trabalho nas últimas 2 horas?					
O quão <b>irritado ou chateado</b> durante o trabalho estive nas últimas 2 horas?					
O quão <b>difícil</b> (física ou mentalmente) foi a realização do trabalho nas últimas 2 horas?					
O quanto de <b>vigor</b> tive para trabalhar nas últimas 2 horas?					
O quanto de <b>sintomas físicos</b> (dor, vertigem, tontura, etc.) tive nas últimas 2 horas?					
O quão <b>satisfeito</b> estou com meu desempenho no trabalho realizado nas últimas 2 horas?					

Fonte: Menezes (2017)

De acordo com Menezes (2017), para pontuar o instrumento utiliza-se a medida progressiva de Lickert usando os valores de 0 à 4. Como algumas perguntas têm conotações "positivas" à produtividade e outras "negativas" alterna-se os adjetivos e a pontuação de forma a evitar que haja "vício de preenchimento" em um campo de pontuação único em todas as perguntas. A somatória das 10 perguntas permite um escore final onde 0 (zero) é o menor valor possível e 40 (quarenta) o maior. Ao final, para facilitar a análise, propõe-se um Percentual Subjetivo de Produtividade dos trabalhadores pesquisados conforme a equação 4:

$$\text{Percentual de produtividade (\%)} = \left( \frac{\text{Escore Final}}{40} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

Buscou-se por meio do instrumento proposto, baseado em poucas questões, com compreensão simples e preenchimento ágil que não houvesse

grandes interrupções na jornada de trabalho (MENEZES, 2017). Por isso, optou-se por poucas perguntas simples e escalas de Lickert, as quais possuem compreensão e preenchimento fáceis. Segundo Czerwinski; Horvitz; Wilhite, (2004), as interrupções e perturbações na jornada por agentes externos como músicas, telefonemas ou contato interpessoal constituem-se numa das principais causas de queda de produtividade e falta de concentração nas tarefas.

O IAPT também se mostrou válido e consistente para avaliações das propriedades psicométricas.

## **2.5 Análise de *clusters***

A análise de agrupamentos, análise de *cluster* ou análise de aglomerados, é um método estatístico que permite agrupar elementos, indivíduos, produtos e até mesmo comportamentos de elementos de uma amostra, com base nas similaridades e diferenças das características que estes itens possuem (YANG *et al.*, 2019); (ZHOU *et al.*, 2021) ;(LAU; CHUNG; REN, 2019); (CORRAR; PAULO; DIAS FILHO 2007).

A análise de *cluster* tem como objetivo estudar as relações de interdependência entre um conjunto de variáveis interdependentes, permitindo agrupar elementos segundo suas similaridades e proximidades, em relação a esse conjunto de variáveis (HAIR *et al.*, 2009). Com a análise de agrupamentos, é possível classificar objetos de modo que cada objeto seja semelhante aos outros no agrupamento de acordo com o conjunto de características escolhidas. Assim, a homogeneidade dos objetos dentro dos grupos e a heterogeneidade entre os demais grupos são maximizadas (HAIR *et al.*, 2005).

De acordo com Mingoti (2005) o *cluster* é um método exploratório no qual se objetiva dividir em grupos uma população (ou amostra) sendo que em muitos casos o número de grupos não é conhecido à priori, mas precisa ser estimado via dados amostrais observados. Se a análise de agrupamentos for usada apropriadamente ela pode acrescentar muitas informações que poderiam não ser descobertas por outros métodos (DIAS FILHO; CORRAR, 2007).

Segundo Reis (1997) na análise de *clusters* é fundamental ter particular cuidado na seleção das variáveis de partida (mensuradas) que vão caracterizar cada elemento (objeto), e determinar qual o grupo em que esse deve ser inscrito. Nesta análise não existe qualquer tipo de dependência entre as variáveis, isto é, os grupos se configuram por si mesmo sem necessidade de ser definida uma

relação causal entre as variáveis utilizadas, sobretudo gerar hipóteses, mais do que testá-las, sendo necessário à validação posterior dos resultados encontrados através da aplicação de outros métodos estatísticos.

De acordo com Aaker *et al.*, (2001), a análise de *cluster* compreende cinco etapas:

- A seleção de elementos ou de uma amostra de elementos a serem agrupados;
- A definição de um conjunto de variáveis a partir das quais serão obtidas informações necessárias ao agrupamento dos elementos;
- A definição de uma medida de semelhança ou distância entre os elementos;
- 4. A escolha de um algoritmo estatístico de partição/classificação;
- Por último, a validação dos resultados encontrados.

As etapas supracitadas podem ser resolvidas de formas diferentes onde a ocorrência mais comum é de que se tenha uma técnica de agrupamento diferente para cada tarefa de agrupamento específica a ser implementada.

Segundo Alam *et al.* (2014) o processo de agrupamento de dados, contribui significativamente em muitas aplicações da extração do conhecimento. Sun *et al.* (2019) utilizaram a análise de *cluster* na obtenção de padrões de duração de abertura de janelas em escritórios por meio de um monitoramento realizado pelos usuários; Piekut (2020) identificou os agrupamentos de domicílios de acordo com diferentes padrões de consumo de energia.

O objetivo desta classe de métodos é dividir os dados para maximizar a homogeneidade dentro de cada grupo e a heterogeneidade entre grupos distintos. Um problema fundamental deste processo é determinar a melhor estimativa do número de grupos (JOSÉ-GARCÍA; GÓMEZ; FLORES, 2016).

Várias técnicas de agrupamento hierárquicas ou não hierárquicas são encontradas na literatura (REIS, 2001; HAIR *et al.*, 2010), tendo o pesquisador que tomar a decisão de qual é a mais adequada ao seu propósito. A escolha de uma técnica depende tanto dos tipos de dados disponíveis, quanto da aplicação desejada. De acordo com Meireles (2011) a divisão mais aceita é a classificação de técnicas hierárquicas ou não hierárquicas.

Os métodos hierárquicos aglomerativos ou divisivos não requerem o conhecimento, a priori, do número de grupos ou da partição inicial. Apresentam, no entanto, uma desvantagem, uma vez que uma parcela que foi designada a

um grupo não pode ser realocada em um outro grupo (LATTIN *et al.*, 2011). Uma das vantagens dos algoritmos hierárquicos aglomerativos ou divisivos é que esses permitem tratar facilmente quaisquer tipos de medidas de similaridade ou distâncias. Portanto, isso podem ser aplicáveis a quaisquer tipos de atributos. Apesar de os programas de computadores serem relativamente rápidos, os métodos hierárquicos podem não ser apropriados para analisar uma amostra muito grande, pois à medida que a amostra aumenta de tamanho, a necessidade de armazenamento de dados cresce dramaticamente (DIAS FILHO; CORRAR, 2007).

### 2.5.1 Métodos hierárquicos

Os algoritmos de *clusters* hierárquicos são aqueles onde o processo de agrupamento atual é criado com base no nível hierárquico anterior. O *clustering* hierárquico não precisa especificar o número de grupos com antecedência (ALAM *et al.*, 2014); (JOSÉ-GARCÍA; GÓMEZ-FLORES, 2016). Essa abordagem é mais adequada para problemas envolvendo conjuntos de dados relativamente pequenos. O princípio básico envolve verificar a proximidade dimensional dos pontos, mas esta definição é subjetiva e existem muitas definições de medidas de similaridade e distância (PANDOVE; GOEL; RANI, 2018).

A seleção de variáveis deve ser realizada com extremo cuidado, uma vez que os grupos a serem formados refletirão a estrutura inerente a elas, tendo-se em vista serão utilizadas para determinar a medida de similaridade ou dissimilaridade que corresponde ao critério de agrupamento (FORTES *et al.*, 2008; BEZERRA NETO *et al.*, 2010; BERTINI *et al.*, 2010).

Essas abordagens criam uma estrutura chamada dendrograma, que consiste em uma estrutura em árvore, a qual representa a sequência hierárquica de partições aninhadas do conjunto de dados (JOSÉ-GARCÍA; GÓMEZ-FLORES, 2016).

A técnica sumariza dados para interpretação, e utiliza métodos que procuram grupos excludentes, ascendentes, reduzindo as informações de um conjunto de  $n$  parcelas para informações de um novo conjunto de  $k$  grupos, onde  $k$  é significativamente menor que  $n$ , e aplicando a técnica hierárquica, resultando um dendrograma de exclusão (LUDEWING *et al.*, 2009). Os métodos

hierárquicos são numerosos e o pesquisador deverá decidir qual é o mais indicado ao seu trabalho.

Assim os dendrogramas podem ser de dois tipos: aglomerativos e divisivos. No primeiro caso, cada amostra é inicialmente um *cluster*. Posteriormente, durante as seguintes etapas iterativas, os *clusters* mais semelhantes são reunidos com base na menor distância (dissimilaridade) usando algum método de ligação (ALAM *et al.*, 2014), que é uma forma de calcular a distância entre dois grupos. É uma estratégia de baixo para cima (*botton-up*).

Na abordagem de divisão, todos os dados pertencem inicialmente a um *cluster* único, o qual é dividido em grupos menores, de acordo com um critério de distância predefinido (ALAM *et al.*, 2014); (JOSÉ-GARCÍA; GÓMEZ-FLORES, 2016). Pode ser classificado como um método descendente (*top-down*). Estes são menos comuns entre os métodos hierárquicos, por conta de sua ineficiência e por exigir uma capacidade do computador muito maior que os métodos hierárquicos aglomerativos.

Conforme Lattin *et al.* (2011), os métodos hierárquicos aglomerativos ou divisivos não requerem o conhecimento, a priori, do número de grupos ou da partição inicial. Apresentam, no entanto, uma desvantagem, uma vez que uma parcela que foi designada a um grupo não pode ser realocada em um outro grupo.

### 2.5.2 Métodos não-hierárquicos

No método não hierárquico o algoritmo não estabelece uma relação de hierarquia entre os sujeitos e os grupos, pois quando especificado o número de *clusters*, o processo é dinâmico e interativo, tendo como objetivo identificar a melhor solução. Esse método é utilizado para agrupar indivíduos, e não variáveis, onde o número inicial de agrupamentos é definido pelo pesquisador (FÁVERO *et al.*, 2009). Os métodos não hierárquicos de agrupamento foram desenvolvidos para agrupar objetos, parcelas, ou itens, ao invés de variáveis, sobre os dados originais, em k grupos, que podem ser definidos antecipadamente, ou determinados durante a execução do procedimento (JOHNSON; WICHERN, 2007).



O método *k-means*, um dos mais populares, é um algoritmo iterativo com a função de minimizar a soma das distâncias de cada padrão ao centroide de cada *clusters*, sobre todos os *clusters*. Assim, cada *cluster* é representado pelo centro do grupo e cada padrão é disposto ao *cluster* que está mais próximo. De acordo com Maroco (2007), no método *k-means*, o processo é composto de três passos:

1. Partição inicial dos indivíduos em K *clusters* definidos pelo analista.
2. Cálculo dos centroides para cada um dos K *clusters* [...] e cálculo da distância euclidiana dos centroides a cada sujeito na base de dados.
3. Agrupamento dos sujeitos aos *clusters* cujos centroides se encontram mais próximos, e voltar ao passo 2 até que não ocorra variação significativa na distância mínima de cada sujeito da base de dados a cada um dos centroides dos K *clusters* (ou até que o número máximo de interações ou o critério de convergência, definido pelo analista, seja alcançado)".

O principal objetivo é a coleta de dados semelhantes dentro de um *cluster* para que os dados dentro do mesmo *cluster* sejam mais semelhantes aos dados em outros *clusters*. Os objetos são classificados de acordo com suas semelhanças e diferenças (ZANDIEH; SHAKIBAPOOR, 2017).

Para Fatimi e Alaoui (2020); Djenouri *et al.*, (2021) o agrupamento de dados em categorias significativas é uma tarefa essencial que envolve a subdivisão de uma coleção de objetos de dados em grupos menores. Este método é usado na mineração de dados, recuperação de informações e descoberta de conhecimento para identificar padrões e objetos ocultos dentro de diversos tipos de dados.

Segundo Salih e Jacksi (2020); Huang *et al.*, (2021) o método *K-means* é uma técnica para aprendizado não supervisionado que agrupa conjuntos de dados não rotulados em grupos discretos. É uma estratégia iterativa que divide o conjunto de dados não rotulado em K *clusters* de modo que cada conjunto de dados pertença a apenas um grupo com características semelhantes. As etapas do *K-Means* são descritas abaixo:

- Determinar o número de *clusters* selecionando o valor K.
- Selecione K pontos ou centroides aleatoriamente.
- Atribuir cada ponto de dados ao centroide mais próximo, construindo assim os K *clusters* especificados antecipadamente.
- Determinar a variância e adicione um novo centroide a cada *cluster*.

- Repetir a terceira etapa, desta vez reatribuindo cada ponto de dados ao novo centroide mais próximo do *cluster*.

- Prosseguir para a etapa 4 se ocorrer uma reatribuição.

Ao comparar os dois métodos o método não hierárquico é mais rápido, pois nele não é necessário calcular e armazenar, durante o processamento, a matriz de similaridade. Segundo Hair *et al.* (2010), diferentemente dos métodos hierárquicos, os procedimentos não hierárquicos não envolvem o processo de construção em árvore. Em vez disso, designam objetos a agrupamentos, assim que os números de agregados a serem formados tenham sido especificados.

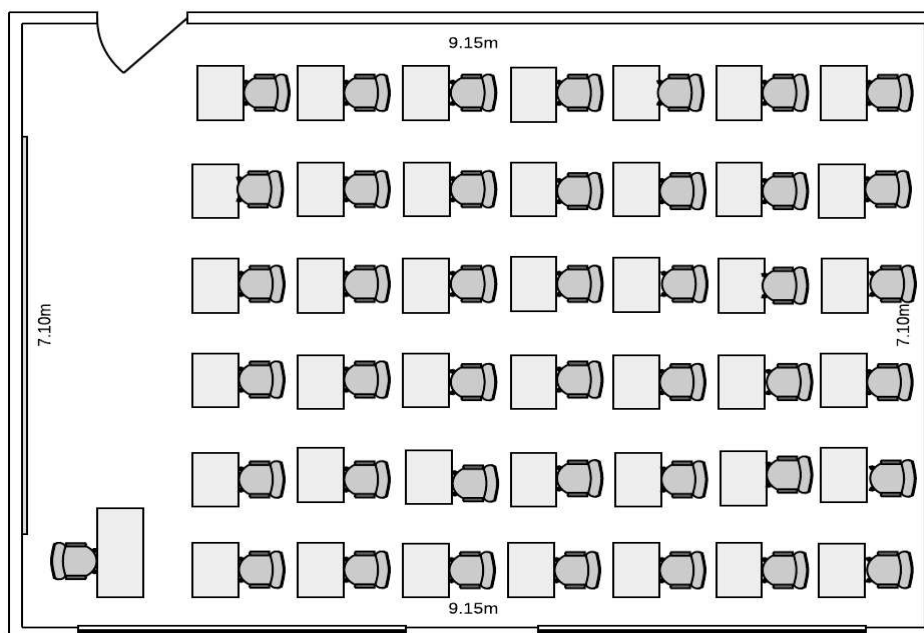
### 3 METODOLOGIA

Com base nos pressupostos metodológicos, foram elaborados os procedimentos da pesquisa e descrição detalhada. A seção é composta pela Seleção, dimensionamento e caracterização da amostra, Técnicas de medição para a obtenção de variáveis pessoais e ambientais, *Software* e ferramentas utilizadas na análise de dados estatísticos, Métodos para determinar a percentagem real de insatisfação (APD) e a produtividade, Análise de *cluster* para caracterizar a população estudada para caracterizar a população estudada.

#### 3.1 Seleção, dimensionamento e caracterização da amostra

As medições foram realizadas nas salas de aula da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), localizada em Ponta Grossa, Paraná, cujo clima é temperado e úmido (Cfb). A temperatura média é de 18,3°C (temperaturas que variam de 10°C a 28°C durante todo o ano), onde o mês mais quente do ano é fevereiro e o mês mais frio do ano é julho (CLIMATEDATA.ORG, 2022). Este clima geralmente tem um inverno ameno e um verão quente, com altas taxas de pluviosidade (BOZZHIGITOV *et al.*, 2022).

A coleta de dados de várias salas de aula foi realizada no período entre 23 de março e 14 de junho de 2022, simultaneamente com as medições das variáveis ambientais e o preenchimento de questionários para obter variáveis pessoais e as respostas subjetivas dos ocupantes. A Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR-PG) possui várias edificações com salas de aula, laboratórios, um restaurante universitário e ambientes para práticas esportivas. Todas as salas de aula nas quais as medidas foram tomadas são iguais e têm uma área de aproximadamente 65 m<sup>2</sup> com capacidade para 42 alunos e foram escolhidas por conveniência. A Figura 4 representa a planta baixa das salas de aula.

**Figura 4 - Representação da planta baixa das salas de aula**

**Fonte: Autoria própria (2023)**

A coleta de dados durou 60 minutos por sala de aula, podendo o pesquisador coletar dados em mais de uma sala de aula por dia, a critério da disponibilidade tanto do pesquisador quanto do professor que ministrou as aulas.

Os alunos voluntários responderam ao questionário *on-line*, tendo em vista que os alunos presentes tinham a opção de não participar da pesquisa. Assim quando os estudantes estavam nas salas de aula realizavam suas atividades normalmente enquanto o dispositivo usado nas medições era estabilizado, desta forma, o metabolismo não foi alterado significativamente. Os voluntários que participaram da pesquisa são estudantes regularmente matriculados em cursos de graduação em Engenharia de Produção, Engenharia Mecânica, e Tecnologia em Fabricação Mecânica.

As salas de aula possuem ventilação natural sendo as oportunidades de orientação e ventilação não consideradas, ou seja, salas de aula com ventiladores de teto não estavam sendo usados durante a coleta de dados.

Foram obtidas 519 respostas válidas ao questionário a partir das 50 medições de campo realizadas. Informações preliminares da pesquisa foram obtidas, conforme mostrado no Quadro 5.

**Quadro 5 - Informações sobre a pesquisa**

<b>Cidade</b>	Ponta Grossa, Paraná, Brasil
<b>Ano e data de coleta</b>	2022
<b>Número de respostas individuais</b>	519
<b>Número de medições ambientais</b>	50
<b>Estação do ano</b>	Outono
<b>Condição da sala</b>	Ambiente naturalmente ventilado
<b>Idade</b>	18 à 49

Fonte: Autoria Própria (2023)

Todas as medições foram realizadas no outono de 2022, isto porque era o primeiro semestre com aulas presenciais devido à pandemia da COVID-19.

As coletas foram realizadas nos três períodos do dia (manhã, tarde e noite). Posteriormente os períodos foram divididos em cinco subgrupos. Para a pesquisa foi contabilizado o número total de questionários respondidos referentes à participação individual dos alunos em diferentes subgrupos de medidas que correspondem aos diferentes horários nas salas de aula. Entretanto, o número total de alunos não foi contabilizado.

### **3.2 Técnicas de medição para a obtenção de variáveis pessoais e ambientais**

As variáveis pessoais (taxa metabólica e isolamento de roupas) e as variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade relativa), e as preferências térmicas foram coletadas. A faixa de aplicação do método Fanger foi considerada, onde os limites de aplicabilidade são definidos na ISO 7730 (2005), de acordo com o Quadro 2.

As variáveis ambientais foram obtidas seguindo Pereira e Broday, (2021), utilizando um dispositivo conhecido como *Sensu Comfortmeter*®, sendo este um instrumento como uma estação de microclima BABUC-A, fabricado por Brüel e Kjaer.

Os voluntários foram solicitados a preencher sobre o vestuário que estavam usando, suas sensações térmicas e preferências térmicas. Em relação aos Votos de Sensação Térmica (TSV), eles foram solicitados a relatar como estavam se sentindo de acordo com a escala de sete pontos da ISO 7730 (2005): (+3 quente, +2 quente, +1 ligeiramente quente, 0 neutro, -1 ligeiramente frio, -2 frio, -3 frio) e a preferência térmica (PREF) de acordo com a ISO 10551 (2019): (+3 muito mais quente, +2 mais quente, +1 um pouco mais quente, 0 nem mais quente nem mais frio, -1 ligeiramente mais frio, -2 mais frio, -3 muito mais frio).

Um questionário *on-line* foi elaborado para reduzir a possibilidade de erros e facilitar o acesso e processamento de dados que os participantes responderam através de seus dispositivos eletrônicos (Apêndice A). Do total, 21 respostas que tinham o preenchimento incorreto de campos foram excluídas devido à impossibilidade de utilização dos dados.

Cada medição foi feita durante uma aula em que os indivíduos permaneceram no ambiente por cerca de 100 min, sendo a coleta de dados adaptada ao cronograma das atividades da universidade.

Assim, cerca de 13 leituras ambientais foram obtidas por medição durante 40 minutos, com leituras ambientais a cada 3 minutos, tempo considerado suficiente para a medição das variáveis ambientais e o preenchimento do questionário.

O equipamento permaneceu ligado por 20 minutos antes do início da medição, para estabilizar e assim entrar em equilíbrio com o meio ambiente. Antes de finalizar as medições, o questionário foi administrado aos estudantes que concordaram em participar voluntariamente da pesquisa. O equipamento foi posicionado no centro da sala de aula sobre uma mesa aproximadamente 60 cm acima do solo, como recomendado pela ISO 7726 (1998). Foi utilizada uma taxa metabólica de 70 W/m<sup>2</sup> para atividades sedentárias, seguindo a ISO 8996 (2004). Seguindo a ISO 9920 (2007), o isolamento da roupa foi calculado a partir das respostas obtidas no questionário. Para velocidade do ar, foi adotado o valor de 0,1 m/s (SINGH; GUPTA; SHARMA, 2022; WANG *et al.*, 2020).

### **3.3 Software e ferramentas utilizadas na análise de dados estatísticos**

Para tornar possível os cálculos do PMV na ferramenta de conforto térmico desenvolvida pelo CBE – da Universidade de Berkeley, *Center For The Built Environment*, (2022), todos os dados obtidos nas medições e questionários foram tabulados e organizados utilizando planilhas do MS Excel®. Para a obtenção da temperatura operativa ( $T_{op}$ ), realizou-se uma média entre a temperatura radiante média ( $T_{rm}$ ) e a temperatura do ar ( $t_a$ ) (BRODAY *et al.*, 2021; MIČKO *et al.*, 2021).

Cada uma das 50 medições ambientais foi considerada como uma amostra, como numerosas respostas individuais foram coletadas, foi necessário calcular a média para cada amostra. O *software* STATISTICA® foi usado para a

análise estatística dos dados para a obtenção da percentagem real de índice de insatisfação (APD) e IBM SPSS *Statistics* versão 23 para agrupamento hierárquico, não hierárquico (*k-means*) e análise discriminante para agrupar os casos de acordo com o APD e nível de produtividade.

### **3.4 Métodos para determinar a percentagem real de insatisfação (APD) e a produtividade**

Esta pesquisa adotou dois métodos para avaliar a produtividade (PROD1 e PROD2) e a percentagem real de insatisfação (APD1 e APD2). O PROD1 foi obtido pela produtividade autopercebida relatada pelos participantes da pesquisa através do Instrumento Rápido de Avaliação da Produtividade do Trabalhador (IAPT), especificamente para avaliar a produtividade ao longo do dia de trabalho. De acordo com Menezes (2017) o IAPT surgiu da necessidade de medir a produtividade dos trabalhadores durante a jornada de trabalho. Assim, foram criadas algumas questões para formular o modelo, com base em 14 estudos que abordaram conceitos importantes para estimar a produtividade no trabalho. Apesar do IAPT ter sido desenvolvido para trabalhadores de escritório, foi aplicado nesta pesquisa uma vez que os estudantes universitários também realizam atividades sedentárias, sendo  $70 \text{ W/m}^2$ , portanto a taxa metabólica não é significativamente alterada nos dois ambientes.

Para o PROD2 utilizou-se como base as pesquisas anteriores realizadas por Bueno; De Paula Xavier; Broday (2021), por meio de uma revisão sistemática da literatura envolvendo conforto térmico e produtividade. A metodologia PRISMA foi utilizada e identificou 1431 artigos submetidos aos critérios de inclusão e exclusão, resultando em 60 estudos para a formação de um portfólio. Neste trabalho foram identificados modelos para medir a produtividade, e o modelo utilizado por Mohamed e Srinavin, (2005) foi escolhido pois apresenta uma abordagem que melhor se ajusta as características desta pesquisa. Este modelo, é denominado nesta pesquisa como PROD2, e utilizou variáveis pessoais e ambientais de conforto térmico para obtenção do PMV; desta forma, é possível verificar como o ambiente térmico influencia a produtividade.

Outra justificativa relevante para o uso deste modelo é devido ao PMV que compõe sua equação e é a variável primária que se relaciona aos parâmetros de conforto térmico.

Todavia tornou-se interessante nesta pesquisa ter dois métodos diferentes para obter a produtividade. Assim o modelo escolhido para esta pesquisa (PROD1) não envolve fatores ambientais, mas sim a produtividade autopercebida. O Apêndice A mostra o questionário *on-line* que foi adaptado da ISO 7730 (2005), ISO 10551 (2019), ISO 9920 (2007) e Menezes, (2017).

A função APD 1 foi criada nesta pesquisa através de uma estimativa não linear, onde foram considerados tamanhos de amostra variáveis que precisavam ser ponderados usando funções disponíveis no *software* (ponderação de casos). A ponderação foi realizada para reduzir o enviesamento de amostras cujos valores médios das variáveis pessoais foram calculados com base em poucos indivíduos. Portanto, para criar uma função capaz de modelar corretamente a realidade térmica da presente pesquisa, foram consideradas mais relevantes, as medições nas salas que continham o número mais significativo de estudantes. O peso atribuído pelo *software* é extraído da variável N, que representa o número de respostas obtidas em cada medição (BONIN *et al.*, 2022).

Para construir a APD1, foi utilizada como variável dependente, a insatisfação percentual real, a ser estimada e como variável independente dos valores médios do TSV. Esta percentagem é calculada para cada medição e corresponde à percentagem de indivíduos termicamente insatisfeitos, mais precisamente quando o TSV tem valores iguais a -3, -2, 2 ou 3. A função APD1 foi obtida utilizando um modelo baseado na função PPD que utiliza como variável independente o PMV de acordo com a norma ISO 7730 (2005). São apresentadas a Equação 5, que representa a função original, e a Equação 6, correspondente ao modelo APD.

$$PPD = 100 - (95 \cdot \exp(-0.0335 \cdot PMV^4) - (0.2179 \cdot PMV^2)) \quad (5)$$

$$APD1 = 100 - (a \cdot \exp(b \cdot TSV^4) - (c \cdot TSV^2)) \quad (6)$$

A utilização do modelo garante que o estudo de caso será modelado em termos de insatisfação térmica seguindo as tendências gerais estabelecidas pela norma, tais como a forma da curva do PPD. Para casos em que a função pode gerar um valor APD superior a 100%, o que é consistente, este valor deve ser assumido como igual a 100% (MOHAMED; SRINAVIN, 2005).

De acordo com Piasecki (2019) a escolha do APD2, deve-se à mesma razão que PROD2, considerando que ambas utilizam o PMV nos seus cálculos e têm semelhanças com as condições encontradas nas salas de aula da



universidade. O Quadro 3 apresenta os métodos utilizados para obter a APD e a produtividade, bem como as respectivas justificativas.

**Quadro 6 - Métodos de cálculo de APD e produtividade**

Ref.	Nome adotado	Justificativa	Função
Menezes (2017)	PROD1	Instrumento rápido de avaliação da Produtividade dos Trabalhadores obtida com o questionário (IAPT). O método é independente das variáveis ambientais de conforto térmico e calcula uma produtividade autopercebida	$Prod (\%) = \left( \frac{Final\ Escore}{40} \right) \cdot 100$
Mohamed e Srinavin (2005)	PROD2	Modelos matemáticos de regressão representados pela equação de previsão da produtividade para tarefas leves, utilizando PMV	$P = 102 - 0.80 PMV - 1.84 (PMV)^2$
Esta pesquisa	APD1	As pessoas que votaram +3, +2, -2, -3 são consideradas insatisfeitas	$APD1 = 100 - aexp(bTSV^4 - cTSV^2)$
Piasecki <i>et al.</i> (2019)	APD2	Desenvolvido com base num estudo de caso com 50 estudantes que utilizam PMV	$APD2 = 100 - 99.9 \exp (-0.0355PMV^4 - 0.242 PMV^2)$

Fonte: Autoria própria (2023)

### 3.5 Análise de *cluster* para caracterizar a população estudada em termos de produtividade

Com o objetivo de avaliar o comportamento dos estudantes em termos de produtividade, foi realizada uma análise de *cluster* com as variáveis PROD1 e PROD2. Assim, recorreu-se ao método Ward para a análise hierárquica de *clusters*, utilizando o Método da Silhueta para determinar o número ótimo de *clusters*. Foi realizada uma validação por comparação com a análise de *clusters* k (kappa) utilizando o coeficiente kappa e a análise discriminante para concluir se os *clusters* foram feitos corretamente, obtendo uma taxa de sucesso. Isso foi feito com o objetivo de avaliar a estabilidade da solução de acordo com o número de *clusters* definidos anteriormente. Os dados individuais dos estudantes (N=519) foram utilizados em razão de que a pesquisa se refere ao comportamento dos indivíduos.

### 3.5.1 Agrupamento hierárquico

De acordo com Gil *et al.*, (2018) por meio da análise de *cluster*, os objetos podem ser classificados em agrupamentos que tenham o nível mais elevado possível de homogeneidade dentro do *cluster* e o nível mais elevado de heterogeneidade entre grupos, independentemente do método de agrupamento selecionado. Em primeiro lugar, é necessário padronizar os dados para que possam colaborar uniformemente nos resultados; desta forma, o *software* padroniza e acrescenta nessas variáveis acompanhadas da letra "Z" para que seja possível diferenciá-las nos comandos de entrada do SPSS (MAROCO, 2003).

Ao realizar esta análise, o SPSS gera alguns resultados, tais como a matriz de proximidade responsável por descrever cada elemento dos *clusters*, as suas distâncias, e as suas proximidades. Conforme Karimzadeh e Olafsson (2019), isto significa que é possível encontrar a distância entre cada par de dados. Na sequência o processo de agregação que indica a ordem em que os elementos são agregados aos *clusters* conforme as fases de agregação e de acordo com os elementos que foram agregados (adesão ao agregado). Para apresentar os resultados da análise de *clusters* utiliza-se uma representação gráfica conhecida como dendrograma ou gráfico em árvore (POPOVIĆ *et al.*, 2022), pelo que é possível verificar visualmente no eixo horizontal as distâncias de ligação entre *clusters* e no eixo vertical como o nível de similaridade (ou dissimilaridade) das amostras são agrupadas (KUMAR *et al.*, 2017).

As medidas de disparidade foram obtidas a partir das distâncias quadráticas euclidianas juntamente com o método de Ward, desenvolvido em 1963. Este é um dos métodos mais utilizados e é menos sensível à presença de *outliers* (WARD, 1963). A partir desta análise, foram geradas soluções com *k clusters* ( $2 \leq k \leq 10$ ) que passaram por uma avaliação pelo método da Silhueta (VALLADARES-GARRIDO *et al.*, 2022) e tiveram o número ótimo *k* de *clusters* definido.

### 3.5.2 Agrupamento não-hierárquico (*k-means*): validação e caracterização de *clusters*

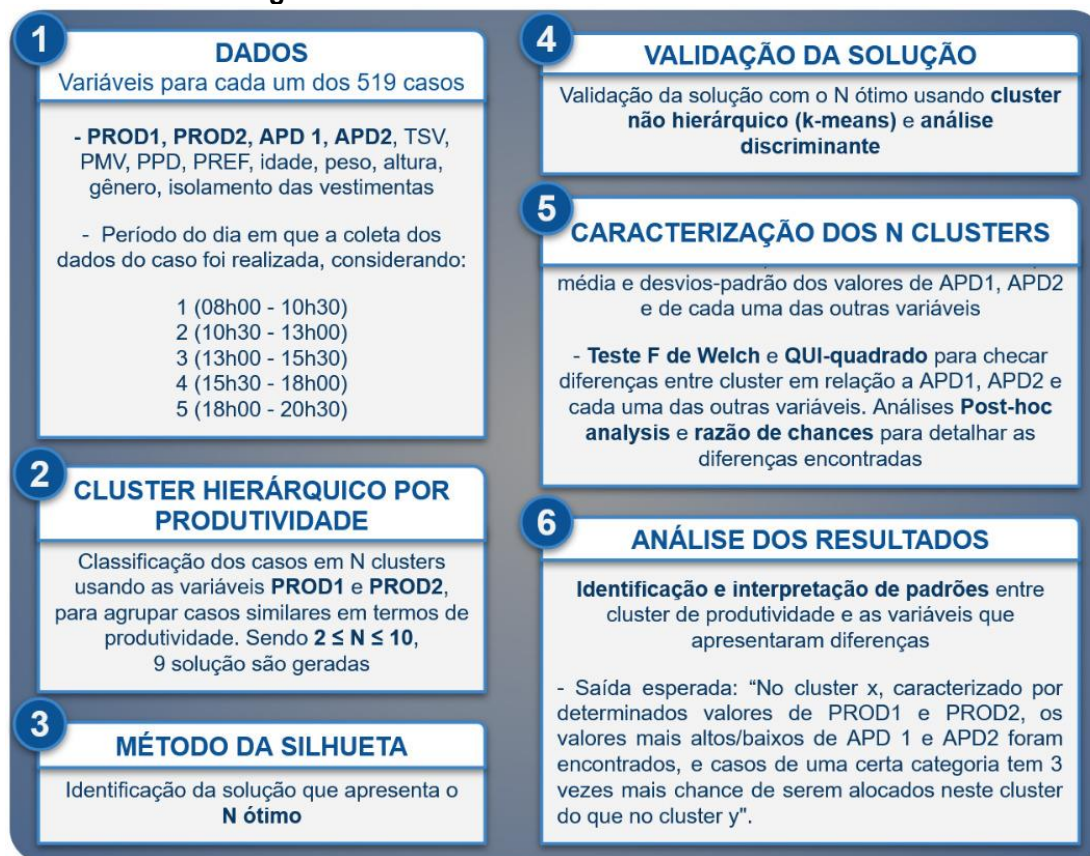
Com o objetivo de avaliar a estabilidade da solução encontrada, foi realizada uma análise não hierárquica de *clusters* com o número ótimo *k* de

*clusters*. Inicialmente é necessário padronizar as variáveis, tal como é feito no método hierárquico. Depois, obtêm-se variações de aglomerados sobre iterações até não haver mais variações nos centroides.

Para este processo, o SPSS gera automaticamente sugestões iniciais dos centroides com base nas suas distâncias. Ao utilizar o ANOVA, foram identificadas as variáveis que mais contribuíram para a formação dos centros de agrupamento. Quanto maior o valor quadrático médio do aglomerado, mais baixo o valor quadrático médio do erro, e conseqüentemente maior o valor F, portanto, mais a variável contribui (MAROCO, 2003). Na sequência é mostrada a matriz de distância entre os centroides e o número de indivíduos em cada *cluster*, seguida da sua representação gráfica. Para validar o número ótimo k, o acordo entre os dois métodos de análise de *clusters* foi analisado através do coeficiente kappa de Cohen. Se o coeficiente kappa de Cohen mostrar um valor elevado, há uma correspondência elevada entre a previsão e a adesão real do grupo, sugerindo que o *cluster* tem estabilidade (HENDERSHOT; ESAYAS, 2022). Finalmente, a análise discriminante foi realizada com as variáveis padronizadas (ZPROD1 e ZPROD2) com o objetivo de reclassificar os casos nos *clusters* definidos pelo método de Ward na análise hierárquica. Os resultados da análise produziram uma taxa de classificação que aponta a estabilidade da solução.

A etapa de caracterização dos *clusters* e verificação da validade externa foi baseada na metodologia de Paul *et al.*, (2022). A análise descritiva dos dados foi realizada, verificando as diferenças estatísticas entre os *clusters* para cada variável, utilizando a estatística do teste F de Welch para as variáveis numéricas e o qui-quadrado para as variáveis categóricas. Para concluir as investigações, o teste Games-Howell foi utilizado na análise *post-hoc* para realizar comparações múltiplas (TSEHAY; SEYOUM, 2021). A Figura 5 mostra resumidamente todas as etapas que foram executadas nesta análise de *clusters*.

Figura 5 - Passos realizados na análise de *cluster*



Fonte: Autoria Própria (2023)

Por conveniência e para facilitar a caracterização das diferenças entre os *clusters* ao longo do dia em termos de conforto térmico e produtividade, realizou-se a divisão em cinco períodos, sendo consistente com os horários das aulas.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Estatística descritiva dos dados

Os resultados referentes à estatística descritiva das 50 medições foram obtidos no SPSS e apresentados no Tabela 4 com as suas respectivas variáveis, médias e desvios-padrão.

**Tabela 1 - Estatística Descritiva**

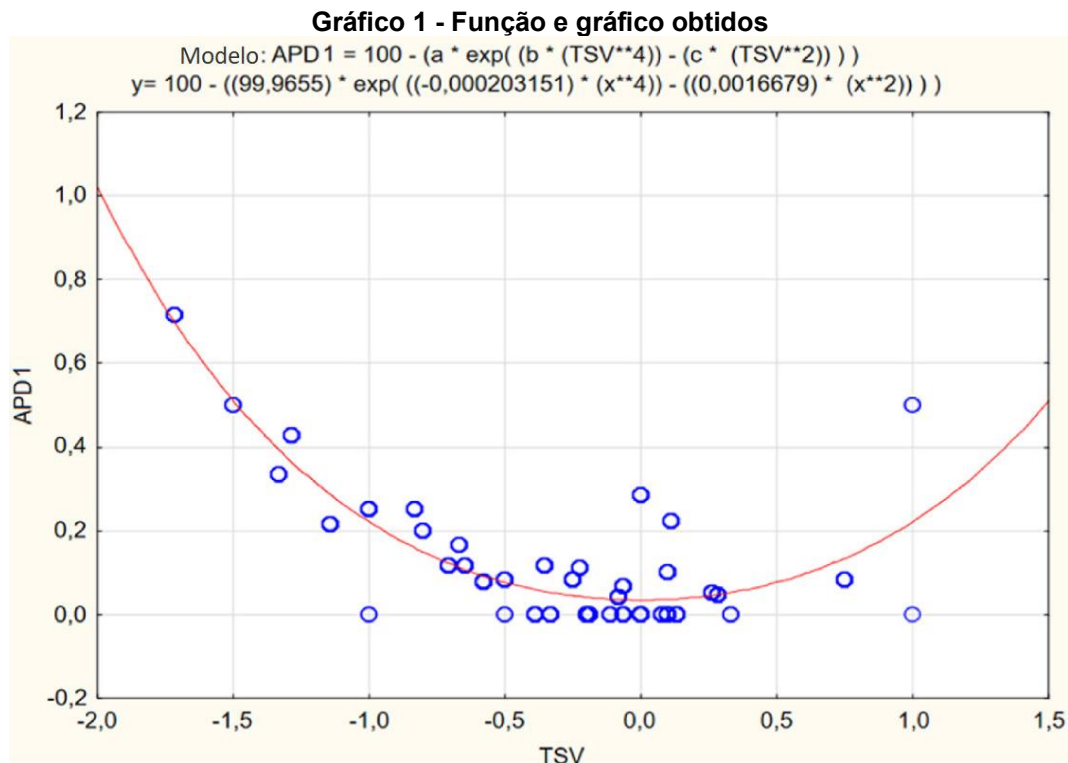
<b>Variáveis</b>	<b>Médias</b>	<b>Desvio Padrão</b>
T <sub>op</sub>	20,32	2,72
HR	68,93	9,87
I <sub>cl</sub>	0,82	0,17
TSV	-0,30	0,58
PREF	0,34	0,69
PMV	-0,58	0,49
PPD	19,41	13,30
APD1 (%)	11,68	13,62
APD2 (%)	13,43	16,61
PROD1 (%)	60,28	7,58
PROD2 (%)	99,82	0,78

**Fonte: Autoria Própria (2023)**

De acordo com a Tabela 4, a APD1 proposta nesta pesquisa é de 11,68%, enquanto a APD2 desenvolvida a partir do estudo de Piasecki *et al.* (2017) é de 13,43%. Em relação aos valores de produtividade, PROD1, a produtividade autopercebida, é aproximadamente 60,28% e PROD2 é 99,82%, o que evidencia a diferença entre os dois métodos propostos. A diferença entre os dois valores de produtividade pode ser atribuída ao fato de o PROD2 utilizar o PMV para obter o seu valor; como o PMV médio está mais próximo de zero, um valor próximo de 100% pode ser esperado.

### 4.2 Obtenção do modelo APD1

Com estimativa não linear, obteve-se uma função para calcular a APD em função do TSV, como mostra o Gráfico 1.



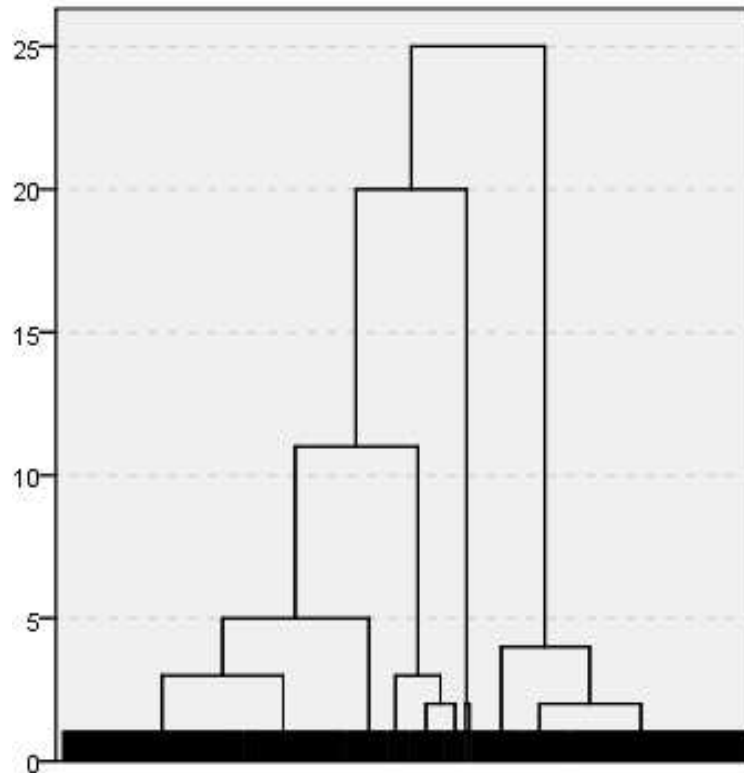
O modelo apresenta 76,56% da variância explicada. Foram definidos os melhores coeficientes para a função de modelar os dados. Os coeficientes foram  $a = 99,9655$ ,  $b = -0,000203$  e  $c = 0,001668$ . Este valor representa a diferença entre a variância alvo e o erro de previsão do modelo, pelo que quanto maior for a variância, melhor será a métrica aplicada.

### 4.3 Resultados obtidos na análise de *clusters*

#### 4.3.1 Resultados obtidos com o *cluster* hierárquico

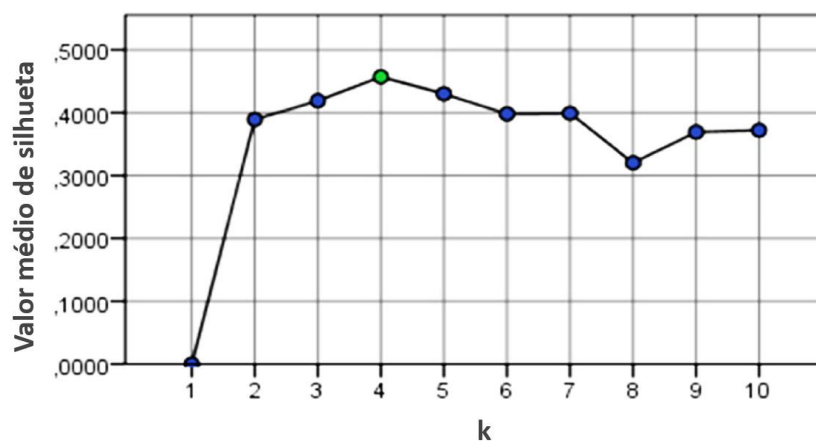
A análise hierárquica de *clusters* foi realizada utilizando o método Ward para obter o dendrograma mostrado no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Dendrograma



Fonte: Autoria Própria (2023).

De acordo com Forina *et al.*, (2022) com a representação gráfica do dendrograma, é possível identificar o processo de separação dos casos para a formação do *cluster*, onde quanto maior for a distância entre os ramos do dendrograma, mais significativa é a separação dos aglomerados adjacentes). Assim, verificou-se que as divisões dos aglomerados 2, 3, e 4 têm as soluções mais estáveis. Utilizando o método da Silhueta, o desempenho das soluções é analisado para  $k$  *clusters* que vão desde  $2 \leq k \leq 10$ , tal como apresentado no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Médias do índice de silhueta para  $k$  *cluster*

Fonte: Autoria Própria (2023)

Através do método da Silhueta, verificou-se que o *cluster* 4 contém a melhor solução para o problema investigado devido ao valor da sua média (0,457) ser superior aos outros *clusters*; portanto, conclui-se que esta solução tem o melhor desempenho.

#### 4.3.2 Resultados obtidos na validação: cluster não hierárquico (*k-means*)

Com o índice da Silhueta obtido e subsequente determinação do *k* ótimo (*k* = 4), foi possível proceder à análise de *cluster* de *k-means*. A Tabela 2 apresenta as variações dos centróides dos *clusters*, onde a distância mínima entre os centros iniciais era de 5,075, obtida pelo histórico de iteração. Quando não houver variação mais significativa nos centroides de cada *cluster*, o algoritmo será finalizado.

**Tabela 2 - Histórico da Iteração**

Iteração	Mudança nos centros de agrupamento			
	1	2	3	4
1	1,813	1,679	1,835	0,798
2	0,024	0,034	0,480	0,916
3	0,031	0,031	0,269	0,000
4	0,058	0,070	0,142	0,000
5	0,000	0,005	0,025	0,000
6	0,000	0,000	0,000	0,000

Convergência alcançada devido a nenhuma ou pequena mudança nos centros de agrupamento. A mudança máxima absoluta de coordenadas para qualquer centro é de 000. A iteração atual é de 6. A distância mínima entre centros iniciais é de 5,075.

**Fonte: Aatoria Própria (2023).**

Na Tabela 3 são apresentados a ANOVA e os centros do grupo final. Através do valor de *F*, é possível ver quão significativas são as variáveis na separação dos grupos; ou seja, aqueles com o mais alto nível de semelhança são os melhores para a discriminação dos grupos. Assim, a variável com o melhor poder de discriminação entre os grupos criados é PROD2 com *F* = 707,295. Para analisar variabilidade O teste *F* é aplicado apenas para fins descritivos. No que se refere aos centros de *clusters* finais, são apresentadas as médias para cada variável.

**Tabela 3 - Centros do grupo final e ANOVA**

Centros do grupo final	Cluster			
	1	2	3	4
Zscore: PROD1	0,78955	-0,87744	0,10299	-0,25171
Zscore: PROD2	0,23621	0,23532	-1,82985	-8,88215
ANOVA	Cluster	Erro		



	Média quadrada	df	Média quadrada	df	F	p-valor
Zscore: PROD1	108,879	3	0,372	515	293,016	<0,001
Zscore: PROD2	138,944	3	0,196	515	707,295	<0,001

\*F = F-estatística; df = graus de liberdade.

**Fonte: Autoria Própria (2023)**

O número de casos em cada agrupamento é mostrado na Tabela 4, e os valores do coeficiente Kappa de Cohen para obter o nível de concordância entre as atribuições feitas pelos *clusters* hierárquicos e não hierárquicos utilizando o erro padrão assintótico.

**Tabela 4 - Número de casos em cada *cluster* e medidas simétricas**

<i>Cluster</i>	Método	<i>K-Means</i>	Hierárquico
	1	245	246
2	225	209	
3	46	59	
4	3	5	
Total de casos	519		
Medida de concordância Kappa	Valor	0,844	
	Valor aproximado de p	< 0,001	

**Fonte: Autoria Própria (2023)**

A presença de valores kappa entre 0,81 e 0,99 representa um arranjo quase perfeito, assim o valor de 0,844 encontrados nos resultados, mostra uma indicação de estabilidade para a solução com quatro *clusters* (VIERA; GARRETT, 2005). A Tabela 5 apresenta os resultados da análise discriminante para reforçar a existência de estabilidade na solução no que diz respeito ao número de *clusters* adotados.

**Tabela 5 - Análise Discriminante**

<i>Cluster</i>	Participação em grupos previstos				Total	
	1	2	3	4		
Contagem	1	243	3	0,0	0,0	246
	2	0,0	204	5,0	0,0	209
	3	16	0,0	43	0,0	59
	4	0,0	0,0	0,0	5	5
Original (%)	1	98,8	1,2	0,0	0,0	100,0
	2	0,0	97,6	2,4	0,0	100,0
	3	27,1	0,0	72,9	0,0	100,0
	4	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0

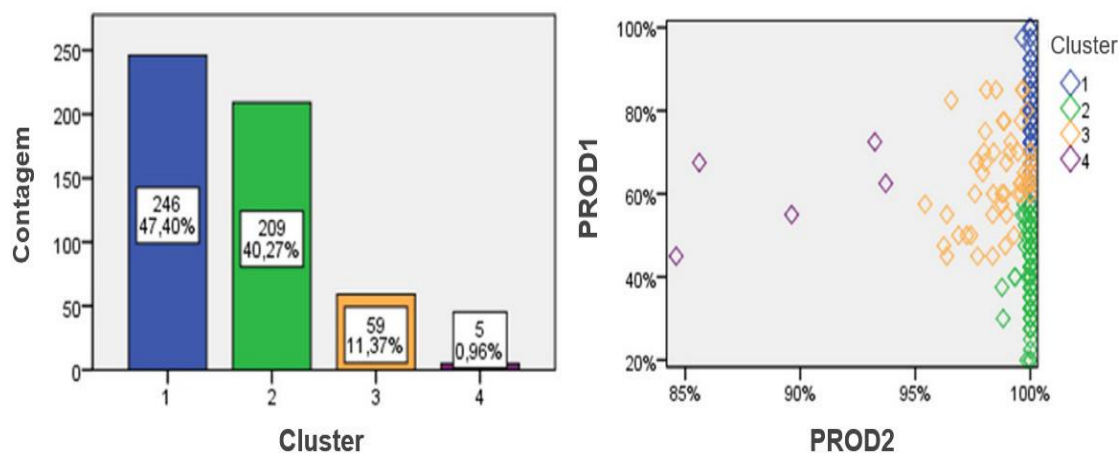
**Fonte: Autoria Própria (2023)**

De acordo com Maroco, (2003) a taxa de sucesso dos casos do grupo foi de 95,4%, mostrando a eficácia do método e a estabilidade da solução.

### 4.3.3 Resultados obtidos na caracterização: *cluster* hierárquico

O gráfico 4 mostra o número de casos por agrupamento e a representação gráfica da separação destes casos usando um gráfico de dispersão que relaciona PROD1 e PROD2.

**Gráfico 4 - Número de casos por agrupamento e representação gráfica de cada agrupamento**



Fonte: Autoria Própria (2023)

Na Tabela 6 são apresentadas as estatísticas descritivas para cada *cluster*, juntamente com os testes estatísticos e *post hoc* para as variáveis pertinentes na análise. O teste *post hoc* só será válido quando o p-valor < 0,05 para as variáveis numéricas que mostram uma diferença significativa entre *clusters*.

Tabela 6 - Características da solução final de quatro clusters

Variáveis	1 (n = 246)	2 (n = 209)	3 (n = 59)	4 (n = 5)	Teste estatístico	Post hoc
PROD1 (Média, SD)	70,81 (9,88)	45,28 (8,51)	64,19 (10,41)	60,50 (10,81)	FW=280,93**	1 > 3 > 2
PROD2 (Média, SD)	99,99 (0,02)	99,97 (0,14)	98,85 (1,19)	89,36 (4,21)	FW=29,07**	1, 2 > 3 > 4
APD1 (Média, SD)	13,89 (19,04)	26,07 (31,54)	22,19 (30,11)	49,54 (46,69)	FW=8,70*	2 > 1
APD2 (Média, SD)	7,45 (8,10)	9,62 (12,70)	48,92 (17,92)	96,37 (4,20)	FW=730,96**	4 > 3 > 1, 2
Idade (Média, SD)	22,30 (3,70)	22,20 (2,50)	22,00 (2,90)	25,20 (2,90)	FW=1,79***	
Peso (kg) (Média, SD)	73,90 (14,60)	70,60 (156,00)	75,30 (14,50)	93,60 (20,80)	FW=3,79*	
Altura (cm) (Média, SD)	173,50 (9,00)	172,10 (8,90)	174,30 (8,70)	181,20 (8,30)	FW=2,81***	
Gender (N, %) Feminino	76 (30,90)	78 (37,30)	13 (22,00)	0 (0,00)	X <sup>2</sup> =3,75***	
	Masculino	170 (69,10)	131 (62,7)	46 (78,00)		
I <sub>cl</sub> (Média, SD)	0,81 (0,25)	0,84 (0,26)	0,66 (0,23)	0,40 (0,24)	FW=12,98**	1, 2 > 3, 4
PMV (Média, SD)	-0,37 (0,41)	-0,34 (0,53)	-1,32 (0,69)	-2,82 (0,44)	FW=79,26**	1, 2 > 3 > 4
PPD (Média, SD)	11,40 (7,10)	13,30 (11,20)	48,7 (16,60)	95,7 (4,80)	FW=531,84**	4 > 3 > 1, 2
Períodos do dia (N, %)						
1 (08h00 min – 10h30 min)	127 (51,60)	83 (39,70)	26 (44,10)	0 (0,00)	X <sup>2</sup> =3,54***	
2 (10h30 min – 13h00 min)	47 (19,10)	24 (11,50)	10 (16,90)	3 (60,00)	X <sup>2</sup> =10,09*	
3 (13h00 min – 15h30 min)	22 (8,90)	36 (17,20)	11 (18,60)	0 (0,00)	X <sup>2</sup> =7,13*	
4 (15h30 min – 18h00 min)	33 (13,40)	53 (25,40)	9 (15,30)	1 (20,00)	X <sup>2</sup> =9,09*	
5 (18h00 min - 20:30 min)	17 (6,90)	13 (1,20)	3 (5,10)	1 (20,00)	X <sup>2</sup> =1,64***	
TSV (N, %)						
-3	0 (0,00)	5 (2,40)	0 (0,00)	0 (0,00)	X <sup>2</sup> =17,87**	
-2	7 (2,80)	20 (9,60)	7 (11,90)	2 (40,00)		
-1	57 (23,20)	68 (32,50)	17 (28,80)	1 (20,00)		
0	146 (59,30)	81 (38,80)	29 (49,20)	1 (20,00)		
1	34 (13,80)	30 (14,40)	6 (10,20)	1 (20,00)		
2	2 (0,80)	5 (2,40)	0 (0,00)	0 (0,00)	X <sup>2</sup> =0,76***	
PREF (N, %)						
-3	1 (0,40)	3 (1,40)	0 (0,00)	0 (0,00)	X <sup>2</sup> =1,32***	
-2	9 (3,70)	18 (8,60)	1 (1,70)	0 (0,00)		
-1	34 (13,80)	22 (10,50)	7 (11,90)	1 (20,00)		
0	133 (54,10)	78 (37,30)	24 (40,70)	1 (20,00)		
1	52 (21,10)	58 (27,80)	17 (28,80)	2 (40,00)		
2	14 (5,70)	19 (9,10)	8 (13,60)	1 (20,00)	X <sup>2</sup> =2,91***	
3	3 (1,20)	11 (5,30)	2 (3,40)	0 (0,00)	X <sup>2</sup> =5,08***	

\* p < 0,05. \*\* p < 0,001. \*\*\* p > 0,05. FW = F de Welch's X<sup>2</sup>= Qui-quadrado.

Fonte: Autoria Própria (2023)

O *cluster* 1 teve o maior número de inclusões de casos ( $n = 246$ ; 47,4%), e o grupo 4 teve o menor número ( $n = 5$ ; 0,96%). Os casos nos *clusters* foram descritos em termos do seu comportamento quanto a produtividade autopercebida conforme Menezes (2017) e a produtividade calculada com base em PMV (MOHAMED; SRINAVIN, 2005). O quadro 7 apresenta os *clusters* existentes em termos de produtividade:

**Quadro 7 - Clusters em termos de produtividade**

PROD1 no <i>cluster</i> 1 > PROD1 no <i>cluster</i> 3 > PROD1 no <i>cluster</i> 2
PROD2 no <i>cluster</i> 1 > <i>cluster</i> 2 > PROD2 no <i>cluster</i> 3 > PROD2 no <i>cluster</i> 4

Fonte: Autoria Própria (2023)

Relativamente a PROD2, o *cluster* 1 teve os casos com a maior produtividade autopercebida, mostrando coerência com a produtividade calculada pelo PMV. Para o *cluster* 2, a produtividade autopercebida é menor, e a produtividade calculada é inconsistente, enquanto o ambiente proporciona condições favoráveis à produtividade. No *cluster* 3, tanto a produtividade autopercebida como a calculada com o PMV podem ser consideradas intermediárias em comparação com os outros *clusters* (teste *post hoc*).

O *cluster* 4 é formado pelos casos com valores mais baixos de produtividade calculada; portanto, os *clusters* 1 e 2 serão o foco das análises uma vez que não apresentam qualquer diferença na produtividade calculada com o PMV. A razão para analisar as diferenças na realidade térmica pode estar relacionada com a variação da produtividade autopercebida. No entanto, elas não são consideradas pelo método PROD2.

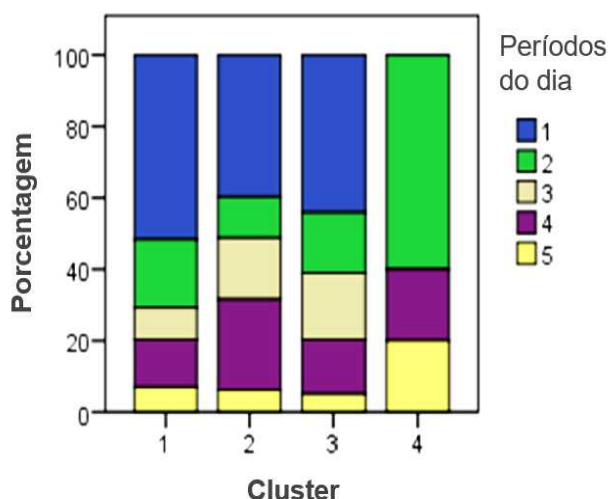
O APD1, calculado com base no TSV, foi mais elevado no *cluster* 2 quando comparado com o *cluster* 1. No que concerne ao APD2, não houve diferenças entre os *clusters* 1 e 2. Isso já era esperado, uma vez que, a produtividade é baseada no PMV, e são estatisticamente iguais. Ao comparar os dois *clusters* mais populosos, verificou-se que se a produtividade autopercebida for a mais elevada, então o TSV baseado na insatisfação térmica será o mais baixo e vice-versa. Embora PROD2 seja calculado com base em PMV e tenha igualdade estatística entre os *clusters*, sugerindo que as condições térmicas não influenciaram a diferença na produtividade autopercebida, a observação pontual sugere o contrário.

Com relação ao isolamento do vestuário, os *clusters* 1 e 2 apresentaram valores mais elevados do que os outros *clusters*. A respeito do PMV e PPD, não houve

diferença significativa entre os *cluster* 1 e 2. Através do teste do qui-quadrado, foi possível indicar uma associação significativa entre os períodos 2, 3, e 4 do dia, bem como para TSV = -2 e 0 e PREF = 0. A divisão dos períodos do dia deve-se às horas de aula em que as medições foram efetuadas. Entre os casos avaliados durante os períodos, um caso considerado durante o período 2 (10h30 - 13h00) teve quase o dobro da hipótese (*odds ratio* = 1,96) de ser atribuído ao agregado 1 em vez do *cluster* 2. Para o terceiro período (13:00h - 15:30h) e quarto período (15:30h - 18:00h), um caso teve 1,64 e 1,61 mais hipóteses significativas de ser atribuído ao *cluster* 2 em vez do *cluster* 1, respectivamente.

Em resumo, um indivíduo no período das 10h30 às 13h00 é mais suscetível de ser atribuído ao *cluster* de maior produtividade autopercebida, enquanto um indivíduo no período da tarde, das 13h00 às 18h00, é mais susceptível de ser atribuído ao *cluster* de menor produtividade autopercebida. A partir destas observações, sugere-se que houve uma relação entre a hora do dia e a produtividade autopercebida. Para ilustrar estas percentagens em referência à hora do dia por *cluster*, apresenta-se o Gráfico 5.

**Gráfico 5 - Percentagem de atribuição de casos ao longo dos períodos do dia**



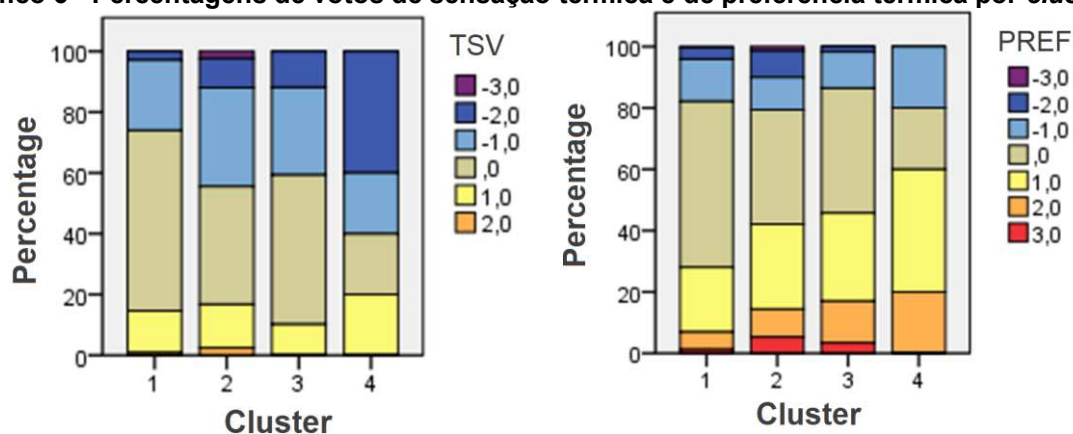
**FONTE: Autoria Própria (2023)**

Sobre o TSV, se um caso tiver um TSV = -2 (frio), é aproximadamente três vezes mais provável que seja atribuído ao *cluster* 2 em vez do *cluster* 1 (*odds ratio* = 2,86). Enquanto para o TSV = 0 (neutro), um caso tem aproximadamente o dobro da probabilidade de ser atribuído ao *cluster* 1 em vez do *cluster* 2 (*odds ratio* = 1,80). Para esta pesquisa, este fato poderia indicar que, a sensação de frio está relacionada

com uma menor produtividade autopercebida, enquanto a neutralidade do calor está relacionada com uma maior produtividade autopercebida, contudo a relação com a sensação de calor não pôde ser determinada.

Acerca da preferência térmica (PREF), quando um caso tem PREF = 0 (nem mais quente nem mais frio), terá uma probabilidade 1,7 mais significativa de ser atribuído ao *cluster 1* em vez do *cluster 2*. O Gráfico 6 mostra as percentagens referentes à sensação térmica e votos de preferência térmica por *cluster*.

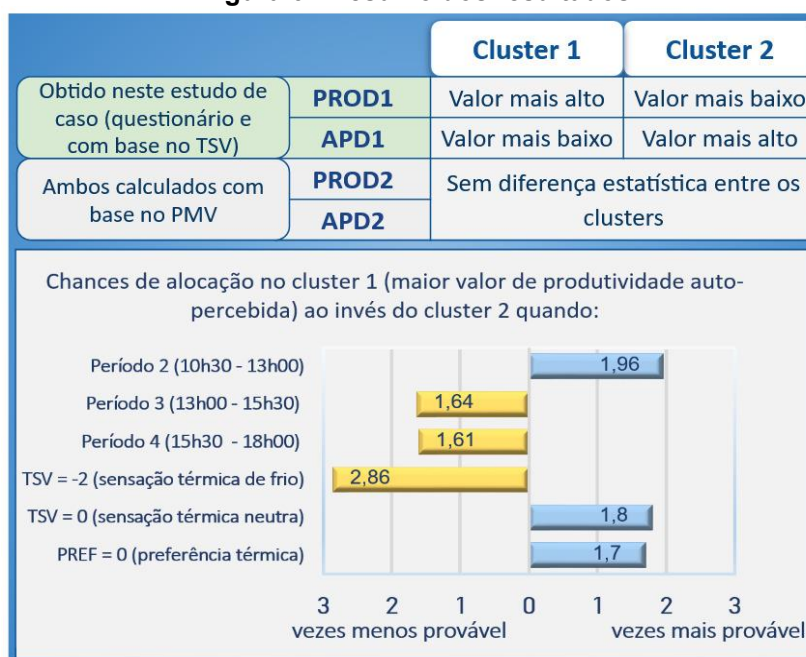
**Gráfico 6 - Percentagens de votos de sensação térmica e de preferência térmica por *cluster***



Fonte: Autoria Própria (2023)

O resumo dos resultados encontrados é mostrado na Figura 6.

**Figura 6 - Resumo dos resultados**



Fonte: Autoria Própria (2023)

Analisando as observações encontradas constatou-se provas de que existe uma relação entre sensação térmica, preferência térmica, períodos do dia, e produtividade autopercebida.

## 5 DISCUSSÕES

### 5.1 Aspectos gerais da pesquisa

O principal objetivo desta pesquisa foi desenvolver uma análise de *clusters* em salas de aula utilizando o método hierárquico e não hierárquico (*k-means*) para verificar como a insatisfação térmica real (APD) influencia a produtividade dos estudantes universitários e se existe uma diferença estatística entre estes métodos de avaliação de *clusters*.

De acordo com esta pesquisa, Hwang, Liao e Chen (2022) realizaram um estudo em salas de aula em Taiwan, mais precisamente em regiões com climas quentes e úmidos que se assemelham ao verão na cidade de Ponta Grossa, onde esta pesquisa foi conduzida. Vale salientar que o desempenho acadêmico dos estudantes está relacionado com o conforto térmico e a qualidade do ar, que precisa ser investigado em todas as estações do ano e fatores potenciais de risco (HU *et al.*, 2017), dada a sua forte influência na produtividade e no consumo de energia. Relativamente à qualidade do ar, Woo *et al.* (2022) fizeram medições de parâmetros que podem ser adotados em análises futuras, tais como o nível de concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e a quantidade de matéria particulada (PM), bem como a realização de testes de atenção e concentração dos estudantes.

Outro estudo realizado em Quito, Equador, encontrou resultados que mostraram a preferência térmica dos estudantes por ambientes mais frios (GUEVARA *et al.*, 2021), resultados consistentes com o encontrado nesta pesquisa. Entretanto, a cidade de Quito situa-se a uma altitude de 2800 m, e Ponta Grossa a aproximadamente 913 m (IBGE, 2022); assim, Quito tem uma influência mais significativa da pressão atmosférica no conforto térmico e produtividade, estando sob o mesmo tipo climático (Cfb) pela classificação climática de Köppen-Geiger. Contudo, esta classificação não tem uma resolução adequada, tal como a distância do mar e a topografia do terreno que influencia diretamente as condições climáticas envolvendo temperaturas, pluviosidade e radiação solar, entre outros (BIENVENIDO-HUERTAS *et al.*, 2019).

### 5.2 Aspectos específicos da pesquisa

O dendrograma encontrado nesta pesquisa identificou o processo de separação de casos para a formação de *clusters* FORINA; ARMANINO; RAGGIO (2022), que apresenta visualmente a ligação de objetos semelhantes (ÖZTÜRK;



ÇELIK, 2022). Vários procedimentos são utilizados para determinar o número ótimo de agrupamentos ( $k$ ) (ALDENDERFER; BLASHFIELD, 1984; GOLDSTEIN, 2013), o que é importante porque a precisão pode ser afetada se forem feitos muito poucos agrupamentos. Se forem demasiados, a eficácia pode ser reduzida (ÖZTÜRK; ÇELIK, 2022; PAN *et al.* 2017).

Segundo Maroco (2003), o pesquisador determina o número de *clusters*, mas outros métodos, tais como o Método de Elbow, podem ser utilizados. Contudo, nesta pesquisa, foi utilizado o índice da silhueta, sendo este bem conhecido para identificar o número ótimo de *clusters* ou avaliar a qualidade dos *clusters* (MARTINO *et al.*, 2018). Nesta pesquisa, o índice de silhueta foi mais elevado para  $k = 4$ , sendo 0,457.

Para validar os *clusters*, procedeu-se a avaliação do  $k$  (*k-means*) e a análise discriminante. O valor F verificou quão significativas são as variáveis para a separação dos grupos, ou seja, aqueles com o mais alto nível de semelhança terão o melhor desempenho. Assim, a variável PROD2 ( $F = 707,295$ , valor de  $p < 0,05$ ) teve o melhor poder discriminatório. Entretanto, Ni *et al.* (2020), encontraram em seus estudos a temperatura central ( $F = 13,022$ , valor de  $p < 0,001$ ), e Lee *et al.* (2018), a temperatura da pele humana ( $F = 13,700$ ; valor de  $p < 0,05$ ). Assim, Xu *et al.* (2021) comprovam que a formação destes *clusters* promove uma análise mais eficiente para compreender o comportamento das amostras em relação às suas características, correlações e diferenças.

A partir da análise discriminante, foi obtida uma taxa de sucesso para a separação dos *clusters* de aproximadamente 95,4%, resultado considerado eficaz. Gładyszewska-Fiedoruk e Sulewska (2017) realizaram um estudo onde as sensações de conforto térmico dos ocupantes da mesma sala que foram expostos a temperaturas externas e internas foram explicadas com uma precisão de 88. 52%. Outro estudo de Chang *et al.* (2018), as propriedades físico-termais e o consumo de energia de edifícios residenciais foram classificados com um desempenho de 97,9%, que são semelhantes aos resultados encontrados nesta pesquisa.

Em relação ao isolamento do vestuário, os dois primeiros grupos tiveram melhores resultados, principal razão para ter a relação inversa entre a temperatura do ar e o isolamento do vestuário (THAPA, 2019); a condição em que o vestuário do utilizador se encontra (ZANG *et al.*, 2019) podendo este fato afetar a sua sensação térmica mesmo que tenham um isolamento semelhante, ou mesmo pela sua preferência térmica (THAPA, 2020).

As medições efetuadas foram divididas em cinco períodos ao longo do dia, devido aos horários das disciplinas em que os alunos estavam inscritos. Desta forma, seria mais compreensível analisar o comportamento dos casos e o nível de variação dos *clusters* de acordo com a passagem do tempo, identificando quais os casos específicos que tinham mais hipóteses de serem atribuídos a outro *cluster* com um nível mais elevado de semelhança. Tal como na investigação de Niu *et al.* (2022), os intervalos de período foram utilizados para observar o comportamento dos indivíduos com relação às aberturas de janelas em três enfermarias e um consultório médico numa maternidade. Assim, constatou-se que a avaliação do desconforto térmico contribui para reduzir a percentagem de ocupantes insatisfeitos; em ambientes educacionais, o desconforto térmico pode levar a condições desfavoráveis para professores e alunos (ZANG *et al.*, 2019). Portanto, estes resultados evidenciaram uma relação entre sensação térmica, preferência térmica, e produtividade autopercebida em termos de conforto.

### 5.3 Limitações de estudo

Para Fanger (1970), é impossível que um determinado grupo de pessoas estejam 100% satisfeitos com o ambiente térmico no qual estão inseridos, devido a diferenças fisiológicas. Por este motivo, o autor desenvolveu o índice PPD que determina o percentual predito de insatisfeitos térmico. Esta pesquisa limita-se a trabalhar o tema geral sobre conforto térmico, especificamente como a produtividade se relaciona com sujeitos reais insatisfeitos termicamente a estudos realizados na Universidade Tecnológica Federal do Paraná- Campus Ponta Grossa.

Devido aos dados recolhidos, a análise de *clusters* tornou-se a melhor opção para investigar a presença de homogeneidade nos *clusters* formados de acordo com características comuns; assim, tornou-se mais viável entender como a insatisfação térmica ao longo do dia afetaria a produtividade nas salas de aula universitárias. No entanto, o método hierárquico apresenta uma limitação que se refere ao tamanho da amostra; se for demasiado grande, esta metodologia pode ser inadequada. No que diz respeito ao *cluster* (*k-means*), a limitação trata do processo de escolha dos pontos (número de grupos determinado pelo pesquisador); contudo, nesta pesquisa, o método de silhueta foi utilizado para abrandar erros prováveis.

Outra limitação encontrada foi o número de observações obtidas a partir da coleta de dados, considerando que se fossem feitas mais medições, os resultados

estariam mais próximos da realidade do ambiente. Como não foram consideradas questões termo fisiológicas na investigação; o período de coleta de dados sendo apenas no Outono, entende-se que, se houvesse uma ampliação para outras estações do ano seria mais compreensível o comportamento térmico dos estudantes e a sua produtividade ao longo do ano.

Em relação às dimensões de gênero e sexo nos projetos de investigação, observou-se que ainda há uma limitação no que se refere à generalização destas terminologias, ou seja, não existe uma abordagem sistemática habitual que descreva de forma adequada sexo e gênero. O sexo é categorizado como feminino ou masculino, contudo, muitas pessoas conceituam erroneamente o gênero como um fator binário, mas na realidade existem numerosas identidades e expressões de gênero em que os indivíduos se identificam (HEIDARI *et al.*, 2016). Assim, é essencial compreender as diferenças entre sexo e gênero para que os estudos sejam mais inclusivos e rigorosos (VAN EPPS, 2022).

#### **5.4 Tendências futuras**

Entre as tendências futuras de pesquisa encontradas, pode-se relacionar o uso da Inteligência Artificial (IA), o estudo das influências do ambiente térmico no aparecimento da Síndrome do Edifício Doente (SBS), e a promoção de ambientes verdes, sendo estes o futuro da investigação em Qualidade Ambiental Indoor (IEQ) para salas de aula, especialmente em termos de concepção, construção e funcionamento de edifícios que previnem a transmissão de doenças como a Covid-19 (KAPOOR *et al.*, 2021) e como influenciaram as condições de conforto térmico (MIRANDA *et al.*, 2022).

De acordo com Abdel-Razek *et al.* (2022), a implementação de algoritmos de aprendizagem de máquinas tornou-se mais comum para prever comportamentos e propor melhores soluções para estas condições ambientais. Em linha com esta investigação, Martínez *et al.* (2021) destacam a implementação de espaços físicos inteligentes capazes de proporcionar uma interação mais significativa no edifício através da monitorização de variáveis meteorológicas, consumo de energia, e desempenho da instalação; monitorização das condições térmicas internas e da qualidade do ar; produção de energia renovável através de infraestruturas digitais e inteligentes.

Além disso, as influências das alterações climáticas podem ser consideradas (CIRRINCIONE *et al.*, 2021); índices de iluminação que afetam significativamente o bem-estar dos estudantes, conforto visual, conforto térmico, e produtividade. Para encontrar condições ergonômicas confortáveis, pode ser desenvolvida uma análise de parâmetros antropométricos (CIRRINCIONE *et al.*, 2005); a elaboração de algoritmos capazes de controlar o consumo de energia, equilibrando o conforto térmico e a qualidade do ar no ambiente (YU *et al.*, 2021) e a adaptação do ambiente às normas que se referem à poupança de energia (CIRRINCIONE *et al.*, 2019).

Em relação à coleta de dados e aplicação de questionários, é relevante não utilizar o tratamento binário do gênero devido à sua baixa cobertura para todas as pessoas, uma vez que os gêneros não são apresentados apenas em mulheres e homens. A utilização desta nomenclatura pode levar a erros (PARKINSON *et al.*, 2021).

Recomenda-se também a aplicação de outros métodos para avaliar a produtividade e a percentagem real de insatisfação (APD) para verificar se existe uma diferença significativa nos resultados gerados pela análise de *clusters*.

## 6 CONCLUSÕES

Esta pesquisa partiu da hipótese de que existe uma relação entre o conforto térmico e a produtividade. Assim, foram definidos métodos para avaliar as variáveis e compreender como a insatisfação térmica influencia a produtividade, especialmente a autopercebida, que varia de acordo com as características individuais, tendo um nível de complexidade a ser avaliado através de funções lineares. Desta forma, foram necessárias estatísticas multivariadas, como a análise de *clusters*, para identificar padrões nestes grupos caracterizados por diferentes percepções e comportamentos. Em consequência, esta hipótese pode ser avaliada em vários ramos da ciência, tais como fisiologia, psicologia e neurociência.

É fundamental avaliar numerosos parâmetros que podem promover condições ótimas para os ocupantes do interior, como o aumento da eficiência energética, bem-estar, saúde e produtividade para que um ambiente seja considerado termicamente confortável. Considerando estes aspectos, foi realizada uma análise de *cluster* pelo método hierárquico e não hierárquico (*k-means*) para separar estudantes universitários de acordo com a sua produtividade e verificar como a insatisfação térmica real (APD) influencia as salas de aula.

Concluiu-se a partir dos resultados que o método PROD2 baseado em PMV não pode contemplar a realidade dos indivíduos para o presente estudo de caso. Pelo teste *post hoc*, o PROD2 nos agregados 1 e 2 são estatisticamente iguais, com valores médios de 99,99% e 99,97%, respectivamente. Mas para os mesmos *clusters*, a produtividade autopercebida, PROD1, é estatisticamente diferente, com valores médios de 70,81% e 45,28%, respectivamente.

Além disso, o método APD2, baseado em PMV, também não indicou diferença significativa entre os *clusters* 1 e 2, com valores médios de 7,45% e 9,62%, respectivamente. O método APD1, desenvolvido para esta pesquisa e baseado no voto da sensação térmica (TSV) dos participantes, foi significativamente diferente nos *clusters* 1 e 2, com valores médios de 13,89% e 26,07%, respectivamente. Assim, com os 2 *clusters* mais populosos, 1 e 2, apresentou relação inversa entre a produtividade autopercebida e a insatisfação térmica real, com base no TSV. Através da análise do conforto térmico relacionado com a produtividade, é possível identificar as principais melhorias a serem implementadas em ambientes interiores.

A partir da caracterização dos *clusters*, foi identificado que os indivíduos no período da manhã têm uma maior produtividade autopercebida e uma menor insatisfação térmica. Por conseguinte, têm uma maior probabilidade de estar em neutralidade térmica. Finalmente, os resultados permitiram compreender a relação entre os períodos do dia, produtividade, e a percepção do conforto térmico.

Considerando que os estudantes permanecem nas salas de aula por períodos prolongados em atividade sedentária, as condições de conforto interno são essenciais ao bom desempenho e satisfação dos indivíduos. É necessária a criação de ambientes termicamente confortáveis que auxiliem a produtividade em salas de aula, ambiente onde se requer um esforço intelectual, atenção e concentração, pois um bom nível de conforto térmico é fundamental em ambientes de ensino, para que se consiga o maior proveito das atividades desenvolvidas.

## REFERÊNCIAS

AAKER, O. E.; RAMÍREZ, A. C.; SADIKHOV, E. Internal multiple prediction using inverse scattering series with sparsity promotion - Part 2: Application strategy and field data examples. **Geophysics**, v. 86, n. 5, p. WC209-WC220, 2001.

ABDEL-RAZEK, S.; *et al.* Energy Efficiency through the Implementation of an AI Model to Predict Room Occupancy Based on Thermal Comfort Parameters. **Sustainability**, v. 14, n. 13, p. 7734, 2022.

ABDOU, O. A.; KHOLY, G. M.; ABDOU, A. A. Correlation between indoor environmental quality and productivity in buildings. In. **The 19th of IAPS Conference, Alexandria, Egypt**. 2006.

AKIMOTO, T.; *et al.* Thermal comfort and productivity-Evaluation of workplace environment in a task conditioned office. **Building and Environment**, v. 45, p. 45–50, 2010.

ALAM, S.; *et al.* Research on particle swarm optimization based clustering: a systematic review of literature and techniques. **Swarm and Evolutionary Computation**, v. 17, p. 1–13, 2014.

ALDENDERFER, M. S.; BLASHFIELD, R. K. Cluster analysis. Newberry Park, CA: Sage, (1984).

ALGHAMDI, S.; *et al.* Field investigations on thermal comfort in university classrooms in New South Wales, Australia. **Energy Reports**, v. 9, p. 63-71, 2023.

AL HORR, Y.; *et al.* Operational mode optimization of indirect evaporative cooling in hot climates. **Case Studies in Thermal Engineering**, v. 18, p. 100574, 2020.

ANDARGIE, M. S.; AZAR, E. An applied framework to evaluate the impact of indoor office environmental factors on occupants' comfort and working conditions. **Sustainable Cities and Society**, v. 46, p. 101447, 2019.

APARICIO-RUIZ, P.; *et al.* A field study on adaptive thermal comfort in Spanish primary classrooms during summer season. **Building and Environment**, v. 203, p. 108089, 2021.

ARAÚJO, V. M. D. **Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino brasileiro**. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. Ashrae standard 55-2017. Atlanta, 2017.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **Fundamentals Chapter 8: Thermal Comfort, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers**. Atlanta, 2005.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **Handbook - Fundamentals. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers**. Atlanta, 2004.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. ASHRAE Standard 55-2004. Atlanta, 2004.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta, 2010.

AULICIEM, A. Thermal requirement of secondary school children in winter. **Epidemiology & Infection**, v. 67, n. 1, p. 59-65, 1969.

BAILEY, R. W. **Human performance engineering: A guide for system designers**. Prentice Hall Professional Technical Reference, 1982.

BAJC, T. S.; *et al.* Experimental and statistical survey on local thermal comfort impact on working productivity loss in university classrooms. **Thermal Science**, v. 23, n. 1, p. 379-392, 2019.

BAKÓ-BIRÓ, Z.; *et al.* Ventilation rates in schools and pupils' performance. **Building and environment**, v. 48, p. 215-223, 2012.

BERTINI, C. H. C. M.; *et al.* Análise multivariada e índice de seleção na identificação de genótipos superiores de feijão-caupi. **Acta Scientiarum. Agronomia**, v. 32, p. 613-619, 2010.

BIENVENIDO-HUERTAS, D.; *et al.* Influence of climate on the creation of multilayer perceptrons to analyse the risk of fuel poverty. **Energy and Buildings**, v. 198, p. 38-60, 2019.

BONIN, D.; *et al.* Anthropometric dataset for the German working-age population using 3D body scans from a regional epidemiological health study and a weighting algorithm. **Ergonomics**, p. 1-15, 2022.

BOZZHIGITOV, A.; MEMON, S. A.; ADILKHANOVA, I. Sensitivity of energy performance to the selection of PCM melting temperature for the building located in Cfb climate zone. **Energy Reports**, v. 8, p. 6301-6320, 2022.

BROADBENT, D. **Decision and Stress**; Academic Press: New York, NY, USA, 1971.



BRODAY, E. E. **Proposta de metodologia de predição de sensação térmica dos usuários em ambientes internos**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2015.

BRODAY, E. E.; DE PAULA XAVIER, A. A. A method for predicting the actual percentage of dissatisfied (APD) through a simple proposition of thermal comfort zones in a working environment. **Work**, v. 67, n. 3, p. 599-609, 2020.

BUENO, A. M.; DE PAULA XAVIER, A. A.; BRODAY, E. E. Evaluating the connection between thermal comfort and productivity in buildings: A systematic literature review. **Buildings**, v. 11, n. 6, p. 244, 2021.

BURATTI, C., RICCIARDI, P. Adaptive analysis of thermal comfort in university classrooms: Correlation between experimental data and mathematical models. **Building and Environment**, v. 44, p. 674–687, 2009.

BYRD, H.; RASHEED, E. O. The productivity paradox in green buildings. **Sustainability**, v. 8, n. 4, p. 347, 2016.

CAPUL, J.-Y.; GARNIER, O. **Pratique de l'économie e des Sciences Sociales: de A a Z**. Paris: Hatier, 1996.

CHANG, C.; *et al.* Data and analytics for heating energy consumption of residential buildings: The case of a severe cold climate region of China. **Energy and Buildings**, v. 172, p. 104-115, 2018.

CHANG, T. Y.; KAJACKAITE, A. Battle for the thermostat: Gender and the effect of temperature on cognitive performance. **PLoS ONE**, v.14, p. 0216362, 2019.

CHEUNG, T.; *et al.* Analysis of the accuracy on PMV–PPD model using the ASHRAE Global Thermal Comfort Database II. **Building and Environment**, v. 153, p. 205-217, 2019.

CIRRINCIONE, L.; *et al.* The European standards for energy efficiency in buildings: An analysis of the evolution with reference to a case study. In: **AIP Conference Proceedings**. AIP Publishing LLC, p. 020049, 2019.

CIRRINCIONE, L.; *et al.* **Energy performance and indoor comfort of a 1930s Italian school building: a case study**. In **2021 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2021 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe, IEEEIC/I&CPS Europe**. IEEE, p. 1–6, 2021.

CLAUSEN, G.; WYON, D. P. The combined effects of many different indoor environmental factors on acceptability and office work performance. **HVAC& Research**, v. 14, p. 103–113, 2008.

CLEMENTS-CROOME, D. J.; *et al.* Ventilation rates in schools and pupil's performance. **Buildings and Environment**, v.48, p. 215-223, 2012.

CLEMENTS-CROOME, D. *Creating the Productive*. Taylor & Francis, 2006.

CLEMENTS-CROOME, D.; KALUARACHCHI, Y. Assessment and measurement of productivity. In: **Creating the productive workplace**. v. 15, n. 11, p. 129-166, 1999.

CLIMATEDATA.ORG. **Clima Ponta Grossa (Brasil)**. 2022. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/parana/ponta-grossa-4493/>. Acesso em: 04 set. 2022.

COELHO, D. A. S. **Avaliação do conforto térmico em salas de aula**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação) – Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Instituto Politécnico de Viseu, Viseu, Portugal, 2014.

CORGNATI, S. P.; FILIPPI, M.; VIAZZO, S. Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort. **Building and Environment**, v. 42, n. 2, p. 951-959, 2007.

CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIAS FILHO, J. M. **Análise multivariada: para os cursos de administração, ciências contábeis e economia**. São Paulo: Atlas, p. 280-323, 2007.

CUI, W.; CAO, G.; OUYANG, Q.; ZHU, Y. Influence of dynamic environment with different airflows on human performance. **Building and Environment**, v. 62, p. 124–132. 2013.

CZERWINSKI, M.; HORVITZ, E.; WILHITE, S. A diary study of task switching and interruptions. In: **Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems**. p. 175-182. 2004.

DE DEAR, R. J.; *et al.* Understanding patterns of adaptive comfort behaviour in the Sydney mixed-mode residential context. **Energy and Buildings**, v. 141, p. 274-283, 2017.

DE DEAR, R.; *et al.* Indoor temperatures for optimum thermal comfort and human performance: Reply to the letter by Wyon and Wargocki. **Indoor air**, v. 24, n. 5, p. 554-555, 2014.

DE DEAR, R. J.; *et al.* Progress in thermal comfort research over the last twenty years. **Indoor air**, v. 23, n. 6, p. 442-461, 2013.

DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. S. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. **ASHRAE Transactions**, v. 104, p. 145–167, 1998.

DE DEAR, R.; BRAGER, G.; COOPER, D. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. **ASHRAE Transactions**, v. 104, p. 1–18, 1997.

DEEPACHANDI, B.; *et al.* Measuring the sero-prevalence of *Leishmania donovani* induced cutaneous leishmaniasis: A method comparison study. **Parasitology International**, v. 92, p. 102660, 2023.

DE PAULA XAVIER, A. A.; LAMBERTS, R. Indices of thermal comfort developed from field survey in Brazil. **Transactions-american Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers**, v. 106, n. 1, p. 45–58, 2000.

DE VECCHI, R.; CÂNDIDO, C.; LAMBERTS, R. O efeito da utilização de ventiladores de teto no conforto térmico em salas de aulas com condicionamento híbrido em um local de clima quente e úmido. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 4, p. 189–202, 2013.

DIAS FILHO, J. M.; CORRAR, L. Regressão logística. **Análise multivariada para os cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia**, 2007.

DJENOURI, Y.; *et al.* Cluster-based information retrieval using pattern mining. **Applied Intelligence**, v. 51, p. 1888-1903, 2021.

ENESCU, D. A review of thermal comfort models and indicators for indoor environments. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 79, p. 1353–1379, 2017.

FAHED, A. K.; OZKAYMAK, M.; AHMED, S. Impacts of heat exposure on workers' health and performance at steel plant in Turkey. **Engineering Science Technology an International Journal**, v. 21, p. 745–752, 2018.

FANGER, P. O. **Thermal comfort. analysis and applications in environmental engineering**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1970.

FATIMI, S.; EI, C.; ALAQUI, L. A Framework for Semantic Text Clustering. **IJACSA**, v. 11, p. 451-459, 2020.

FÁVERO, L. P. L.; *et al.* Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões. 2009.

FEIGE, A.; *et al.* Impact of sustainable office buildings on occupant's comfort and productivity. **Journal of Corporate Real Estate**, v. 15, n. 1, p. 7-34, 2013.

FISK, W. J.; ROSENFELD, A. H. Estimates of improved productivity and health from better indoor environments. **Indoor Air**, v. 7, p. 158–172, 1997.

FORINA, M.; ARMANINO, C.; RAGGIO, V. Clustering with dendrograms on interpretation variables. **Analytica Chimica Acta**, v. 454, n. 1, p. 13-19, 2022.

FRONTCZAK, M.; WARGOCKI, P. Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. **Building and Environment**, v. 46, p. 922–937, 2011.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. Studio Nobel, 2001.

GANI, A. Z.; ZAMBERI, M. M.; TENI, M. H. M. A review of ergonomics towards productivity. **International Journal Supply Chain Management**, v. 7, n. 4, p. 306-311, 2018.

GENG, Y.; *et al.* The impact of thermal environment on occupant IEQ perception and productivity. **Building and Environment**, v. 121, p. 158-167, 2017.

GIL, A.; *et al.* Multivariate analysis and biodegradability test to evaluate different organic wastes for biological treatments: anaerobic co-digestion and co-composting. **Waste Management**, v. 78, p. 819-828, 2018.

GŁADYSZEWSKA-FIEDORUK, K.; SULEWSKA, M. J. Thermal comfort evaluation using linear discriminant analysis (lda) and artificial neural networks (anns). **Energies**, v. 13, n. 3, p. 538, 2020.

GOMES DACAL, G. La funcion de control de la inspeccion educativa. **Revista de ciências de la educacion: Organo del Instituto Calazanz de Ciencias de la Educacion**, v. 150, 211-232, 1992.

GUEVARA, G.; SORIANO, G.; MINO-RODRIGUEZ, I. Thermal comfort in university classrooms: An experimental study in the tropics. **Building and Environment**, v. 187, p. 107430, 2021.

HAVENITH, G.; HOLMÉR, I.; PARSONS, K. Personal factors in thermal comfort assessment: Clothing properties and metabolic heat production. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 581–591, 2002.

HAIR, J.F.; *et al.* Modelagem de Equações Estruturais Baseada em Covariância (CB-SEM) com o AMOS: Orientações sobre a sua aplicação como uma Ferramenta de Pesquisa de Marketing. **Revista Brasileira de Marketing**, v. 13, n. 2, p. 44-55, 2014.

HAIR, J. F. Multivariate data analysis. 2009.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre, Bookman, 2005.

HAYNES, B. An evaluation of office productivity measurement. **Journal Corporate Real Estate**, v. 9, p. 144–154, 2007.

HAYNES, B. P. The impact of office layout on productivity. **Journal of Facilities Management**, v. 6, p. 189–201, 2008.

HAYNES, B.; SUCKLEY, L.; NUNNINGTON, N. Workplace productivity and office type: An evaluation of office occupier differences based on age and gender. **Journal Corporate Real Estate**, v.1 9, p. 111–138, 2017.

HEERWAGEN, J. Green Buildings, organizational success and occupant productivity. **Building Research & Information**, v. 28, p. 353–367, 2000.

HEIDARI, S.; *et al.* Sex and gender equity in research: rationale for the SAGER guidelines and recommended use. **Research integrity and peer review**, v. 1, n. 1, p. 1-9, 2016.

HENDERSHOT, A. L.; *et al.* Methodological issues on evaluating agreement between two detection methods by Cohen's kappa analysis. **Parasites Vectors**, v. 15, n. 270, 2022.

HNATUSHENKO, V.; SHEDLOVSKA, Y.; SHEDLOVSKY, I. Processing Technology of Thematic Identification and Classification of Objects in the Multispectral Remote Sensing Imagery. In: **International Scientific Conference “Intellectual Systems of Decision-Making and Problems of Computational Intelligence”**. Cham: Springer International Publishing, p. 407-425, 2022.

HONG, T.; KIM, J.; LEE, M. Integrated task performance score for the building occupants based on the CO<sub>2</sub> concentration and indoor climate factors changes. **Applied Energy**, v. 228, p. 1707–1713, 2018.

HOQUE, S.; WEIL, B. The Relationship between comfort perceptions and academic performance in university classroom buildings. **Journal Green Buildings**, v.11, p. 108–117, 2016.

HU, J.; *et al.* Investigation on indoor air pollution and childhood allergies in households in six Chinese cities by subjective survey and field measurements. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 14, n. 9, p. 979, 2017.

HUANG, S.; *et al.* Robust deep k-means: An effective and simple method for data clustering. **Pattern Recognition**, v. 117, p. 107996, 2021.

HUMPHREYS, M. A. Field Studies of Thermal Comfort Compared and Applied. **Building Services Engineer**, v. 44, p. 5-27, 1975.

HUMPHREYS, M.A; NICOL, J. F. Conflicting criteria for thermal sensation with in the Fanger predicted mean Vote Equation. 1996.

HWANG, R. L.; LIAO, W. J; CHEN, W. A. Optimization of energy use and academic performance for educational environments in hot-humid climates. **Building and Environment**, v. 222, p. 109434, 2022.

HWANG, R.-L.; *et al.* Additive model for thermal comfort generated by matrix experiment using orthogonal array. **Building and Environment**, v. 44, n. 8, p. 1730-1739, 2009.

HWANG, R.-L.; *et al.* Optimization of energy use and academic performance for educational environments in hot-humid climates. **Building and Environment**, v. 222, p. 109434, 2022.

HYGGE, S.; KNEZ, I. Effects of noise, heat and indoor lighting on cognitive performance and self-reported affect. **Journal of environmental psychology**, v. 21, p. 291–299, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Relatório de Estação Geodésica**. 2022. Disponível em: <http://www.bdg.ibge.gov.br/bdg/pdf/relatorio.asp?L1=91643>. Acesso em: 12 dec. 2022.

ILGEN, D. R.; SCHNEIDER, J. Performance Measurement: A Multi-Discipline View. **International Review of Industrial and Organizational Psychology**, v.6, p. 71–108, 1991.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities**. ISO 7730, Genebra, 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Ergonomics of the physical environment – subjective judgement scales for assessing physical environments**. ISO 10551, Genebra, 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Ergonomics of the thermal environments instruments for measuring physical quantities**. ISO 7726, Genebra, 2001.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Ergonomics of the thermal environment – determination of metabolic rate**. ISO 8996, Genebra, 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Ergonomics of the thermal environment – estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble**. ISO 9920, Genebra, 2007.

JACKSON, T.; VICTOR, P. Productivity and work in the 'green economy': Some theoretical reflections and empirical tests. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 1, n. 1, p. 101-108, 2011.

JANG, M. S.; KOH, C. D.; MOON, I. S. Review of thermal comfort design based on PMV/PPD in cabins of Korean maritime patrol vessels. **Building and Environment**, v. 42, n. 1, p. 55-61, 2007.

JIANG, J.; *et al.* A study on pupils' learning performance 72 and thermal comfort of primary schools in China. **Building and Environment**, v. 134, p. 102–113, 2018.

JIN, Q.; OVEREND, M.; THOMPSON, P. Towards productivity indicators for performance-based façade design in commercial buildings. **Building and Environment**, v. 57, p. 271–281, 2012.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D.W.: Applied Multivariate Statistical Analysis. 2007.

JOSÉ-GARCÍA, A.; GÓMEZ-FLORES, W. Automatic clustering using nature inspired metaheuristics: A survey. **Applied Soft Computing**, v. 41, p. 192–213, 2016.

KAPOOR, N. R.; *et al.* A review on indoor environment quality of Indian school classrooms. **Sustainability**, v. 13, n. 21, p. 11855, 2021.

KANG, S.; OU, D.; MAK, C. M. The impact of indoor environmental quality on work productivity in university open-plan research offices. **Building and Environment**, v. 124, p. 78-89, 2017.

KARIMZADEH, S.; OLAFSSON, S. Data clustering using proximity matrices with missing values. **Expert Systems with Applications**, v. 126, p. 265-276, 2019.

KATAVOUTAS, G.; *et al.* Measuring the effects of heat wave episodes on the human body's thermal balance. **International journal of biometeorology**, v. 53, p. 177-187, 2009.

KAUSHIK, A.; *et al.* Effect of thermal comfort on occupant productivity in office buildings: Response surface analysis. **Building and Environment**, v. 180, p. 107021, 2020.

KAYA, F.; *et al.* Digital mapping for soil texture class prediction in northwestern Türkiye by different machine learning algorithms. **Geoderma Regional**, v. 31, p. e00584, 2022.

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, 2018.

KORSAVI, S. S.; MONTAZAMI, A.; MUMOVIC, D. The impact of indoor environment quality (IEQ) on school children's overall comfort in the UK; a regression approach. **Building and Environment**, v. 185, p. 107309, 2020.

KOSONEN, R.; TAN, F. Assessment of productivity loss in air-conditioned buildings using PMV index. **Energy Buildings**, v. 36, p. 987–993, 2004.

KÜKRER, E.; ESKIN, N. Effect of design and operational strategies on thermal comfort and productivity in a multipurpose school building. **Journal of Building Engineering**, v. 44, p. 102697, 2021.

KUMAR, A.; SIVASANKAR V.; GOPALAKRISHNA, G.V.T. Quantification of benzene in groundwater sources and risk analysis in a popular South Indian Pilgrimage City – A GIS based approach. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 10, p. S2523–S2533, 2017.

LAMB, S.; KWOK, K. C. S. A longitudinal investigation of work environment stressors on the performance and wellbeing of office workers. **Applied Ergonomics**, v. 52, p. 104–111, 2016.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P. **Conforto térmico e stress térmico**. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro tecnológico. Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis, 2002.

LAN, L.; LIAN, X.Z.; PAN, L. The effects of air temperature on office workers' well-being, workload, and productivity-evaluated with subjective ratings. **Applied Ergonomics**, v. 42, p. 29–36, 2010.

LAN, L.; WARGOCKI, P.; LIAN, Z. Quantitative measurement of productivity loss due to thermal discomfort. **Energy and Buildings**, v. 43, p. 1057–1062, 2011.

LATTIN, J. M.; DOUGLAS C.; PAUL E. G. Análise de dados multivariados. **São Paulo: Cengage Learning**, v. 475, 2011.

LAU, K. K.-L.; CHUNG, S. C.; REN, C. Outdoor thermal comfort in different urban settings of sub-tropical high-density cities: An approach of adopting local climate zone (LCZ) classification. **Building and Environment**, v. 154, p. 227-238, 2019.

LEAMAN, A.; BORDASS, B. Productivity in buildings: The 'killer' variables. **Building Research & Information**, v. 27, p. 4–19, 1999.

LEE, M. C.; *et al.* Student learning performance and indoor environmental quality (IEQ) in air-conditioned university teaching rooms. **Building and Environment**, v. 49, p. 238-244, 2012.



LEE, Y. Y.; *et al.* Surrogate human sensor for human skin surface temperature measurement in evaluating the impacts of thermal behaviour at outdoor environment. **Measurement**, v. 118, p. 61-72, 2018.

LI, M.; YU, T. Methodological issues on evaluating agreement between two detection methods by Cohen's kappa analysis. **Parasites & Vectors**, v. 15, n. 1, p. 1-3, 2022.

LIPCZYNSKA, A.; SCHIAVON, S.; GRAHAM, L.T. Thermal comfort and self-reported productivity in an office with ceiling fans in the tropics. **Building and Environment**, v. 135, p. 202–212, 2018.

LIU, W.; ZHONG, W.; WARGOCKI, P. Performance, acute health symptoms and physiological responses during exposure to high air temperature and carbon dioxide concentration. **Building and Environment**, v. 114, p. 96–105, 2017.

LORSCH, H. G.; ABDOU, O. A. The Impact of the Building Indoor Environment on Occupant Productivity. **ASHRAE Transactions**, v. 100, p. 895–901, 1994.

LUCKESI, C. C. Avaliação da Aprendizagem Escolar: estudos e proposições. São Paulo, Cortez, 1995.

LUDEWIG, D. R.; *et al.* O processo de gestão de custos e planejamento de resultados utilizando técnicas de análise estatística de agrupamentos. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 31, n. 2, p. 215-220, 2009.

MAROCO, J. Análise Estatística: com utilização do SPSS. 2. ed. rev. Lisboa, 2003. ISBN 972-618-3316.

MARTÍNEZ, I.; *et al.* Internet of things (Iot) as sustainable development goals (sdg) enabling technology towards smart readiness indicators (sri) for university buildings. **Sustainability**, v. 13, n. 14, p. 7647, 2021.

MARTINO, A.; *et al.* Distance matrix pre-caching and distributed computation of internal validation indices in k-medoids clustering. In: **2018 international joint conference on neural networks (IJCNN)**. IEEE, 2018. p. 1-8.

MAULA, H.; *et al.* The effect of slightly warm temperature on work performance and comfort in open-plan offices—a laboratory study. **Indoor air**, v. 26, n. 2, p. 286-297, 2016.

MENDELL, M. J.; HEATH, G. A. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. **Indoor Air**, v. 15, n. 1, p. 27–52, 2005.

MEIRELES, A. J. A. Danos socioambientais originados pelas usinas eólicas nos campos de dunas do Nordeste brasileiro e critérios para definição de alternativas

locacionais. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia**, n. 11, 2011.

MENEZES, F. S. **A influência das condições psicofisiológicas individuais na produtividade laboral de funcionários de uma instituição de ensino superior**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

MEYER, D. F.; MEYER, N. Management of small and medium enterprise (SME) development: An analysis of stumbling blocks in a developing region. **Polish Journal of Management Studies**, v. 16, n. 1, p. 127-141, 2017.

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, 2021.

MIRANDA, M. T.; *et al.* Ventilation conditions and their influence on thermal comfort in examination classrooms in times of COVID-19. A case study in a Spanish area with Mediterranean climate. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 240, p. 113910, 2022.

MINGOTI, S. A. Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada. In: **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. 2007.

MOHAMED, S.; SRINAVIN, K. Forecasting labor productivity changes in construction using the PMV index. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 35, n. 4, p. 345-351, 2005.

MOHAMMADPOURKARBASI, H. *et al.* Evaluation of thermal comfort in library buildings in the tropical climate of Kumasi, Ghana. **Energy and Buildings**, v. 268, p. 112210, 2022.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Modelo adaptativo de conforto para avaliação in loco de espaços urbanos abertos. **Ambiente Construído**, v. 12, p. 61-79, 2012.

MUJAN, I.; *et al.* Influence of indoor environmental quality on human health and productivity-A review. **Journal of cleaner production**, v. 217, p. 646-657, 2019.

NEGREIROS, B. A. **Análise de métodos de predição de conforto térmico de habitação em clima quente-úmido com condicionamento passivo**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2010.

NEMATCHOUA, M. K.; *et al.* Influence of indoor environmental quality on the self-estimated performance of office workers in the tropical wet and hot climate of Cameroon. **Journal of Building Engineering**, v. 21, p. 141-148, 2019.

NGARMPORNPRASERT, S.; KOETSINCHAI, W. The effect of air-conditioning on worker productivity in office buildings: A case study in Thailand. **Building Simulation**, v. 3, p. 165–177, 2010.

NI, T.-T.; *et al.* Effects of combined warmed preoperative forced-air and warmed perioperative intravenous fluids on maternal temperature during cesarean section: a prospective, randomized, controlled clinical trial. **BMC anesthesiology**, v. 20, n. 1, p. 1-8, 2020.

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, 2015.

NIKOLAOU, T. G.; *et al.* On the application of clustering techniques for office buildings' energy and thermal comfort classification. **IEEE transactions on smart Grid**, v. 3, n. 4, p. 2196-2210, 2012.

NIU, B.; *et al.* Investigation of occupant window opening behaviour during the summer period in a Beijing maternity hospital. **Journal of Building Engineering**, v. 45, p. 103441, 2022.

ONYEIZU, E. **Can Architecture Increase Productivity? The case of Green Buildings**. Tese de Doutorado, 2014.

OSELAND, N. Environmental Factors Affecting Office Worker Performance: A Review of Evidence. 1999.

OSELAND, N.; BARTLETT, P. Improving Office Productivity. In: **A Guide for Business and Facilities Managers**. 1999.

ÖZTÜRK, B.; ÇELİK, Y. Dendrogram for Anthropometric and Biomechanical Variables Causing Foot Deformities by Using Hierarchical Cluster Analysis: A Cross-Sectional Study. **Journal of Chiropractic Medicine**, v. 21, n. 2, p. 108-115, 2022.

PAN, S.; *et al.* Cluster analysis for occupant-behavior based electricity load patterns in buildings: A case study in Shanghai residences. In: **Building simulation**. Tsinghua University Press, p. 889-898, 2017.

PANDOVE, D.; GOEL, S.; RANI, R. Systematic review of clustering high-dimensional and large datasets. **ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data (TKDD)**, v. 12, n. 2, p. 1-68, 2018.

PARKINSON, T.; *et al.* Overcooling of offices reveals gender inequity in thermal comfort. **Scientific reports**, v. 11, n. 1, p. 23684, 2021.

PARO, V. H. **Administração escolar: introdução crítica**. Cortez editora, 2012.

PARO, V. H. **Reprovação escolar: renúncia à educação**. Cortez editora, 2003.

PARSONS, K.C. Introduction to thermal comfort standards. **Moving Thermal Comfort Standards into the 21<sup>st</sup> Century Oxford Centre for Sustainable Development, Windsor**, p.1-12, 2001.

PARSONS, K. **Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance**. CRC press, 2014.

PAUL, N. B.; *et al.* Cluster analysis of negative symptoms identifies distinct negative symptom subgroups. **Schizophrenia Research**, v. 246, p. 207-215, 2022.

PENG, L.; *et al.* Students' Perceptions of Active Learning Classrooms from an Informal Learning Perspective: Building a Full-Time Sustainable Learning Environment in Higher Education. **Sustainability**, v. 14, n. 14, p. 8578, 2022.

PEREIRA, P. F. 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, 2021.

PEREIRA, I. M.; ASSIS, E. S. Avaliação de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 1, p. 31–51, 2010.

PIASECKI, M.; *et al.* Experimental confirmation of the reliability of Fanger's thermal comfort model - Case study of a near-zero energy building (NZEB) office building. **Sustainability**, v. 11, n. 9, p. 2461, 2019.

PIEKUT, M. Patterns of Energy Consumption in Polish One-Person Households. **Energies**, v. 13, p. 5699, 2020.

POPOVIĆ, V.; *et al.* Morpho-anatomical trait variability of the Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) needles in natural populations along elevational diversity gradient. **Trees**, v. 36, n. 3, p. 1131-1147, 2022.

RASHEED, E.O.; BYRD, H. Can self-evaluation measure the effect of IEQ on productivity? A review of literature. **Facilities**, v. 35, p. 601–621, 2017.

REIS, E. Estatística multivariada. **Edições Sílabo**, 2001.

RISSETTO, R.; RAMBOW, R.; SCHWEIKER, M. Assessing comfort in the workplace: A unified theory of behavioral and thermal expectations. **Building and Environment**, v. 216, p. 109015, 2022.

RODRÍGUEZ, C. M.; CORONADO, M. C.; MEDINA, J. M. Thermal comfort in educational buildings: The Classroom-Comfort-Data method applied to schools in Bogotá, Colombia. **Building and Environment**, v. 194, p. 107682, 2021.

ROELOFSEN, P. The impact of office environments on employee performance: The design of the workplace as a strategy for productivity enhancement. **Journal of facilities Management**, v. 1, p. 247–264, 2002.

ROELOFSEN, P. A computer model for the assessment of employee performance loss as a function of thermal discomfort or degree of heat stress. **Intelligent Buildings International**, v. 8, p. 195–214, 2015.

RUAS, Á. C. Conforto térmico nos ambientes de trabalho. **São Paulo: Fundacentro**, 1999.

RUGGIERI, S.; *et al.* Indoor air quality in schools of a highly polluted south Mediterranean area. **Indoor Air**, v. 29, n. 2, p. 276-290, 2019.

SADICK, J. S.; *et al.* Astrocytes and oligodendrocytes undergo subtype-specific transcriptional changes in Alzheimer's disease. **Neuron**, v. 110, n. 11, p. 1788-1805. e10, 2022.

SADICK, A.-M.; KPAMMA, Z.E.; AGYEFI-MENSAH, S. Impact of indoor environmental quality on job satisfaction and self-reported productivity of university employees in a tropical African climate. **Building and Environment**, v. 181, p. 107102, 2020.

SALIH, N. M.; JACKSI, K. Semantic Document Clustering using K-means algorithm and Ward's Method. In: **2020 International Conference on Advanced Science and Engineering (ICOASE)**. IEEE, p. 1-6., 2020.

SARBU, I.; PACURAR, C. Experimental and numerical research to assess indoor environment quality and schoolwork performance in university classrooms. **Building and Environment**, v. 93, p. 141–154, 2015.

SENSHARMA, N. P.; WOODS, J. E.; GOODWIN, A. K. Relationship between the indoor environment and productivity: A literature review. **ASHRAE Transactions**, v. 104, p. 686-701, 1998.

SEPPÄNEN, O.; FISK, W. J. Some Quantitative Relations Between Indoor Environmental Quality and Work Performance or Health. **Hvac&R Research**, v. 12, p. 957–973, 2006.

SHAN, X.; *et al.* Comparing mixing and displacement ventilation in tutorial rooms: Students' thermal comfort, sick building syndromes, and short-term performance. **Building and Environment**, v. 102, p. 128-137, 2016.

SHAUGHNESSY, R. J.; *et al.* A preliminary study on the association between ventilation rates in classrooms and student performance. **Indoor air**, v. 16, n. 6, p. 465-468, 2006.

SINGH, S.; *et al.* A prospective, non-randomized study to determine the role of intraperitoneal drain placement in perforation peritonitis. **Turkish Journal of Trauma and Emergency Surgery**, v. 28, n. 10, p. 1397-1403, 2022.

SONG, Y.; *et al.* Modelagem generativa baseada em score através de equações diferenciais estocásticas. **arXiv preprint arXiv:2011.13456**, 2020.

SRINAVIN, K.; MOHAMED, S. Thermal environment and construction workers' productivity: Some evidence from Thailand. **Building and Environment**, v. 38, p. 339-345, 2003.

STANG, P.; *et al.* Workplace productivity. A review of the impact of migraine and its treatment. **Pharmacoeconomics**, v. 19, n. 3, p. 231-244, 2001.

SUN, C.; *et al.* Effects of air temperature on cognitive work performance of acclimatized people in severely cold region in China. **Indoor and Built Environment**, p. 1-22, 2020.

SUN, C.; *et al.* Thermal comfort, occupant control behaviour and performance gap—a study of office buildings in north-east China using data mining. **Building and Environment**, v. 149, p. 305-321, 2019.

TARANTINI, M.; PERNIGOTTO, G.; GASPARELLA, A. A co-citation analysis on thermal comfort and productivity aspects in production and office buildings. **Buildings**, v. 7, n. 2, p. 36, 2017.

TAYLOR, P. FULLER, R.J.; LUTHER, M.B. Energy and thermal comfort in arammed earth office building. **Energy and Buildings**, v. 40, p. 793-800, 2008.

THAPA, S. Thermal comfort in high altitude Himalayan residential houses in Darjeeling, India—An adaptive approach. **Indoor and Built Environment**, v. 29, n. 1, p. 84-100, 2020.

THAPA, S.; *et al.* Study of thermal comfort in the residents of different climatic regions of India—Effect of the COVID-19 lockdown. **Indoor air**, v. 31, n. 3, p. 899-917, 2019.

THIRY-CHERQUES, H. R. Max Weber: o processo de racionalização e o desencantamento do trabalho nas organizações contemporâneas. **Revista de Administração Pública**. p. 897-918, 2009.

TORRES, M. G. L. **Conforto térmico e desempenho nos ambientes de ensino com inovações tecnológicas – estudo de multicasos no nordeste brasileiro.**

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2016.

TSANG, T. W.; *et al.* Bayesian updates for indoor environmental quality (IEQ) acceptance model for residential buildings. **Intelligent Buildings International**, v. 13, n. 1, p. 17-32, 2021.

TSE, W.L.; SO, A.T.P. The importance of human productivity to air-conditioning control in office environments. **Hvac&R Research**, v. 1, p. 3–21, 2007.

TSEHAY, B.; SEYOUM, G. The neurodevelopmental basis of schizophrenia: clinical clues from craniofacial dysmorphology in northwest Ethiopia, 2020. **BMC neuroscience**, v. 22, p. 1-9, 2021.

TSUTSUMI, H.; *et al.* Effect of humidity on human comfort and productivity after step changes from warm and humid environment. **Building and Environment**, v. 42, n. 12, p. 4034-4042, 2007.

UKKO, J., TENHUNEN, J., RANTANEN, H. Performance measurement impacts on management and leadership: Perspectives of management and employees. **International Journal of Production Economics**, v.110, n. 1–2, p. 39–51, 2007.

VALLADARES-GARRIDO, M. J.; *et al.* Clinical-epidemiologic variation in patients treated in the first and second wave of COVID-19 in Lambayeque, Peru: A cluster analysis. **International Journal of Infectious Diseases**, v. 123, p. 212-220, 2022.

VAN EPPS, H.; *et al.* The Sex and Gender Equity in Research (SAGER) guidelines: implementation and checklist development. **European Science Editing**, v. 48, p. e86910, 2022.

VASCONCELLOS, C. S. **Construção do conhecimento em sala de aula**. Libertad, 1995.

VIERA, A. J.; *et al.* Understanding interobserver agreement: the kappa statistic. **Fam med**, v. 37, n. 5, p. 360-363, 2005.

WANG, D.; *et al.* Experimental investigation of the potential influence of indoor air velocity on students' learning performance in summer conditions. **Energy and Buildings**, v. 219, p. 110015, 2020.

WANG, D.; *et al.* Experimental investigation of the effect of indoor air temperature on students' learning performance under the summer conditions in China. **Building and Environment**, v. 140, p. 140–152, 2018.

WANG, H.; HU, S. Experimental study on thermal sensation of people in moderate activities. **Building and Environment**, v.100, p. 127–134, 2016.

WARD JR, Joe H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American statistical association**, v. 58, n. 301, p. 236-244, 1963.

WARGOCKI, P. WYON, D. P. Room temperature effects on office work. **Creating the Productive Workplace**, 2005.

WICKENS, C. D.; HOLLANDS, J. G.; BANBURY, S.; PARASURAMAN, R. **Engineering Psychology and Human Performance**. Psychology Press, 2000.

WITTERSEH, T.; WYON, D. P.; CLAUSEN, G. The effects of moderate heat stress and open-plan office noise distraction on SBS symptoms and on the performance of office work. **Indoor Air**, v. 14, p. 30–40, 2004.

WONG, N. H.; KHOO, S. S. Thermal comfort in classrooms in the tropics. **Energy and Buildings**, v. 35, p. 337-351, 2003.

WONG, L. T.; MUI, K. W.; HUI, P. S. A multivariate-logistic model for acceptance of indoor environmental quality (IEQ) in offices. **Building and Environment**, v. 43, p. 1–6, 2008.

WOO, J.; RAJAGOPALAN, P.; ANDAMON, M. M. An evaluation of measured indoor conditions and student performance using d2 Test of Attention. **Building and Environment**, v. 214, p. 108940, 2022.

WYON, D.P. Indoor environmental effects on productivity. In: Proceedings of IAQ. p. 5-15, 1996.

XAVIER, A. A. P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999.

XU, J.; *et al.* Clustering-based probability distribution model for monthly residential building electricity consumption analysis. In: **Building Simulation**, p. 149-164, 2021.

YANG, Y.; *et al.* ISBFK-means: A new clustering algorithm based on influence space. **Expert Systems with Applications**, v. 201, p. 117018, 2021.

YAU, Y. H.; CHEW, B. T. Adaptive thermal comfort model for air-conditioned hospitals in Malaysia. **Building Services Engineering Research and Technology**, v. 35, n. 2, p. 117–138, 2014.

YANG, J.; GRUNSKY, E.; CHENG, Q. A novel hierarchical clustering analysis method based on Kullback–Leibler divergence and application on dalaimiao geochemical exploration data. **Computers & Geosciences**, v. 123, p. 10-19, 2019.



YU, K.-H.; *et al.* Optimization of thermal comfort, indoor quality, and energy-saving in campus classroom through deep Q learning. **Case Studies in Thermal Engineering**, v. 24, p. 100842, 2021.

ZANDIEH, P.; SHAKIBAPOOR, E. Clustering data text based on semantic. **International Journal of Computer (IJC)**, v. 26, n. 1, p. 195-202, 2017.

ZANG, M.; XING, Z.; TAN, Y. IoT-based personal thermal comfort control for livable environment. **International journal of distributed sensor networks**, v. 15, n. 7, p. 1550147719865506, 2019.

ZHANG, F.; DE DEAR, R.; HANCOCK, P. Effects of moderate thermal environments on cognitive performance: A multidisciplinary review. **Applied Energy**, v. 236, p. 760–777, 2019.

ZHANG, F.; DE DEAR, R. University students' cognitive performance under temperature cycles induced by direct load control events. **Indoor Air**, v. 27, p. 78–93, 2016.

ZHAO, M.; *et al.* Experimental investigation and feasibility analysis on a capillary radiant heating system based on solar and air source heat pump dual heat source. **Applied Energy**, v. 185, p. 2094–2105, 2017.

ZHOU, L.; *et al.* A network-based sparse and multi-manifold regularized multiple non-negative matrix factorization for multi-view clustering. **Expert Systems with Applications**, v. 174, p. 114783, 2021.

ZOMORODIAN, Z. S.; *et al.* Thermal comfort in educational buildings: **A review article. Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 59, p. 895-906, 2016.

**APÊNDICE A - Questionário sobre produtividade e conforto térmico aplicados a estudantes universitários**

## APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO PARA ESTUDANTES

Idade: \_\_\_\_\_ Altura (cm): \_\_\_\_\_ Peso (kg): \_\_\_\_\_ Gênero: \_\_\_\_\_

1) Marque as vestimentas que você está utilizando (Adaptado ISO 9920/2007):

Roupas de baixo		Calças		T-shirts, Suéteres, Camisolas e Casacos		Acessórios	
Collant		Calções		Colete sem mangas		Sapato de sola de couro	
Camisola Interior		Calça tecido fino		Camisola Fina		Sapato de sola de borracha	
Sutiã		Calça jeans		Camisola Grossa		Tênis	
Cueca		Calça de tecido grosso		Casaco		Botas sem cano (Botim)	
<b>Camisas e blusas</b>		<b>Vestidos e saias</b>		Blusão Grosso		Blusão Fino	
Camisa de manga curta		Saia curta		Blazer Fino		Meia soquete	
Camisa de manga comprida tecido fino		Saia comprida		Blazer Grosso		Meia longa	
Camisa de manga comprida normal		Vestido de mangas curtas		T-shirt		Luvas	
Camisa de flanela		Vestido de manga comprida				Meia calça	
Blusa leve fina, manga comprida		Vestido completo, fechado				Gravata / Laço	

2) Em relação a sua sensação térmica, como você está se sentindo? (ISO 7730/2005)

+3	Muito calor	
+2	Calor	
+1	Levemente com calor	
0	Neutro	
-1	Levemente refrescado	
-2	Refrescado	
-3	Frio	

3) Em relação a sua preferência térmica, como você gostaria de estar se sentindo? (ISO 10551/2019)

+3	Bem Mais Aquecido	
+2	Um pouco mais aquecido	
+1	Mais aquecido	
0	Assim mesmo	
-1	Mais refrescado	
-2	Um pouco mais Refrescado	
-3	Bem mais refrescado	

4) Você apresentou nas últimas 24 horas ou está tendo agora alguns destes sintomas?

Sonolência		Ansiedade	
Enjôo		Cansaço	
Vômitos		Apatia	
Tonturas		Perda de coordenação motora	
Calafrios		Nenhum dos sintomas descritos	

5) Responda:

	<b>SIM</b>	<b>NÃO</b>
Ingeriu bebidas com cafeína nas últimas 12h?		
Ingeriu bebidas alcoólicas nas últimas 12h?		
Tomou algum tipo de medicamento?		
Repousou bem durante a noite?		

6) Em relação a produtividade, como você está se sentindo?  
 Marque a opção que mais expressa sua percepção em relação ao seu desempenho produtivo nas últimas duas horas. (Adaptado de Menezes et al., (2017))

6.1) O quão concentrado e eficiente me senti nas últimas duas horas?

Nada	
Pouco	
Regular	
Muito	
Totalmente	

6.2) O quão cansado ou sonolento me senti nas últimas duas horas?

Nada	
Pouco	
Regular	
Muito	
Totalmente	

6.3) O quão apto (capaz) me senti para tomar decisões no trabalho nas últimas duas horas?

Nada	
Pouco	
Regular	
Muito	
Totalmente	

6.4) O quão seguro (certo) estive de minhas ações no trabalho nas últimas duas horas?

Nada	
Pouco	
Regular	
Muito	
Totalmente	

6.5) O quão irritado ou chateado durante o trabalho nas últimas duas horas?

Nada	
Pouco	
Regular	
Muito	
Totalmente	

6.6) O quão difícil (física ou mentalmente) foi a realização do trabalho nas últimas duas horas?

Nada	
Pouco	
Regular	
Muito	
Totalmente	

6.7) O quanto de vigor teve para trabalhar nas últimas duas horas?

Nada	
Pouco	
Regular	
Muito	
Totalmente	

6.8) O quanto de sintomas físicos (dor, vertigem, tontura, etc) teve nas últimas duas horas?

Nada	
Pouco	
Regular	
Muito	
Totalmente	

6.9) O quão satisfeito estou com meu desempenho no trabalho nas últimas duas horas?

Nada	
Pouco	
Regular	
Muito	
Totalmente	

**APÊNDICE B – Súmula De Publicações**

## SÚMULA DE PUBLICAÇÕES

BUENO, A. M.; XAVIER, A. A. P.; BRODAY, E. E. Evaluating the Connection between Thermal Comfort and Productivity in Buildings: A Systematic Literature Review. **Buildings**, v. 11, p. 244, 2021.

BUENO, A. M.; *et al.* Hierarchical and K-means clustering to assess thermal dissatisfaction and productivity in university classrooms. **Building and Environment**, v. 233, p. 110097, 2023.