

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

LARA AMANDA MARQUES VIEIRA

**APLICAÇÕES DO BALANÇO DE ENERGIA EM SERES HUMANOS NA  
CIDADE DE SÃO PAULO, BRASIL E BUDAPESTE, HUNGRIA  
UTILIZANDO ÍNDICES DE CONFORTO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

São Paulo  
2022

LARA AMANDA MARQUES VIEIRA

**APLICAÇÕES DO BALANÇO DE ENERGIA EM SERES HUMANOS NA  
CIDADE DE SÃO PAULO, BRASIL E BUDAPESTE, HUNGRIA  
UTILIZANDO ÍNDICES DE CONFORTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de mestre. Versão Corrigida. O original encontra-se disponível na Unidade

Orientador: Fábio Luiz Teixeira Golçalves  
Coorientador: Ács Ferenc

São Paulo  
2022



Universidade de São Paulo  
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

## COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO

### LISTA DE ASSINATURAS

**MESTRANDA:** Lara Amanda Marques Vieira

**PROGRAMA:** Meteorologia

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. Fabio Luiz Teixeira Gonçalves

**TÍTULO:** “APLICAÇÕES DO BALANÇO DE ENERGIA EM SERES HUMANOS NA CIDADE DE SÃO PAULO, BRASIL E BÚDAPESTE, HUNGRIA UTILIZANDO ÍNDICES DE CONFORTO”

### MEMBROS DA COMISSÃO JULGADORA:

---

Prof. Dr. Fabio Luiz Teixeira Gonçalves - orientador - IAG/USP  
(por videoconferência)

---

Prof. Dr. Emerson Galvani - FFLCH/USP  
(por videoconferência)

---

Prof. Dr. João Paulo Assis Gobo - Universidade de Rondônia  
(por videoconferência)

### MESTRANDA:

---

Lara Amanda Marques Vieira  
(por videoconferência)

São Paulo, 14 de março de 2022.

## Agradecimentos

Agradeço a todos àqueles que se fizeram presentes em minha vida e que, seja modo direto ou indireto, me auxiliaram nas decisões que me trouxeram até este momento. Agradeço, principalmente, aos meus pais e irmã que me motivaram ao logo deste processo sempre me mantendo firme para que não desistisse em nenhum momento até a conclusão do percurso acadêmico.

Agradeço à Janne, Bruna, Iza, Alejandro, Erick, Thaysla e diversos outros amigos de classe pela ajuda na adaptação ao novo ambiente, na construção de conhecimento, pelos momentos de alívio, descontração e pela amizade sincera construída ao longo desse período. Agradeço também aos meus amigos fora do ambiente acadêmico, que se mostraram dispostos a me ouvir quando precisei de apoio para continuar.

Agradeço aos professores Fábio e Ács pela confiança em meu trabalho, pela orientação, pelo positivismo, pelas críticas sempre construtivas e pela estrutura física e científica que oferece, que vai além dos limites das universidades (USP e ELTE). Agradeço, principalmente, por sempre incentivar a busca pela interdisciplinaridade, de modo que, sempre foi capaz de oferecer a todos seus alunos uma vasta experiência profissional e uma rede de contato com pesquisadores espalhados pelo mundo.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de fomento promovida durante parte do desenvolvimento da pesquisa, fundamental para minha manutenção nos estudos e para formação acadêmica.



“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

(Arthur Schopenhauer)

## Resumo

Estudos que envolvam a análise interdisciplinar entre variáveis meteorológicas e dados antropológicos são de extrema importância para avaliar o conforto térmico e parâmetros relacionados à saúde. Desta forma, a área da biometeorologia se propõe a estudar o impacto do tempo e do clima nos seres vivos, entre eles, nos humanos. No intuito de promover um avanço neste setor da ciência e entender melhor o papel da meteorologia no conforto dos indivíduos, buscou-se compreender a analogia de duas tipologias de variáveis entre si, base do cálculo de diversos índices de conforto térmico; tais como as meteorológicas, medidas através de instrumentos (temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e irradiação solar) e as antropológicas, através de questionários (gênero, altura, peso e vestimentas utilizadas). Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar o balanço de energia, via cálculo do conforto térmico (utilizando os índices PMV, UTCI, PET, WBGT, TEP, TEPA, TEPM, TEG e Tsp), considerando as variáveis meteorológicas e antropológicas em duas regiões (cidade de São Paulo e em Budapeste) e em duas estações do ano (inverno e verão) através da realização de experimentos e aplicação de questionários para coleta de dados e o uso de índices de conforto térmico. De modo que, caso se configure o desconforto a partir destes índices, são simuladas maneiras de obtê-lo via modificação do metabolismo e/ou das roupas, sendo este outro objetivo deste estudo. Os questionários aplicados no Brasil sugerem que as pessoas, de modo geral, não estão satisfeitas com o ambiente, no verão sentem muito calor e no inverno muito frio. Como resultados, verificou-se que os voluntários sugeriram mudanças nas variáveis analisadas em todos os casos, já para Hungria as pessoas alegam sentir frio para o caso de inverno, mas se aproximam da sensação de conforto. Com relação aos índices utilizados, o Voto Médio Estimado (PMV), Temperatura Equivalente Fisiológica (PET), Índice Climático Térmico Universal (UTCI) e Temperatura Equivalente Percebida Adaptativa (TEP-A) apresentam uma significância ao nível de 5% quanto aos questionários aplicados no Brasil, entretanto, não houve correlação aos dados obtidos para Hungria, o que suporta a hipótese de necessidade de calibração dos índices para diferentes regiões e situações. Ainda sobre os índices, os que melhor se adequaram aos dados coletados nos questionários foram UTCI para verão brasileiro, Temperatura Equivalente Percebida, Estação Meteorológica (TEPM) e Temperatura Equivalente de Globo (TEG) para inverno brasileiro e, para Hungria, os índices UTCI, e PET para Hungria. Desta forma, quando desconfortável, foram indicadas variações do metabolismo e/ou das roupas. Para o Brasil, foram sugeridas atividades de baixo impacto e uma resistência de roupa negativa no verão, indicando a necessidade de roupas com tecnologias que refresquem. Já para o inverno brasileiro, indicam-se atividades mais intensas como uma caminhada rápida e roupas com uma resistência igual ou superior à 0.6 clo em todos os casos.

**Palavras-chave:** Conforto Térmico, Índices de Conforto, Metabolismo, Resistência das Roupas.

## Abstract

Studies involving interdisciplinary analysis between meteorological variables and anthropological data are extremely important to assess thermal comfort and health-related parameters. In this way, the area of biometeorology proposes to study the impact of weather and climate on living beings, including humans. In order to promote progress in this sector of science and better understand the role of meteorology in the comfort of individuals, we sought to understand the analogy of two types of variables with each other, the basis for the calculation of various thermal comfort indices; such as meteorological, measured through instruments (air temperature, relative humidity, wind speed and solar irradiation) and anthropological, through questionnaires (gender, height, weight and clothing used). Therefore, the objective of this work is to evaluate the energy balance, by calculating the thermal comfort (using the PMV, UTCI, PET, WBGT, TEP, TEPA, TEPM, TEG and Tsp indexes), considering meteorological and anthropological variables in two regions (city of São Paulo and Budapest) and in two seasons of the year (winter and summer) through experiments and application of questionnaires for data collection and the use of thermal comfort indices. So that, if discomfort is configured from these indices, ways to obtain it through modification of metabolism and/or clothing are simulated, which is another objective of this study. The questionnaires applied in Brazil suggest that people, in general, are not satisfied with the environment, in the summer they feel very hot and in the winter they are very cold. As a result, it was found that the volunteers suggested changes in the variables analyzed in all cases. Regarding the indices used, the Estimated Mean Vote (PMV), Physiological Equivalent Temperature (PET), Universal Thermal Climate Index (UTCI) and Adaptive Perceived Equivalent Temperature (TEP-A) have a significance level of 5% regarding the questionnaires applied. In Brazil, however, there was no correlation with the data obtained for Hungary, which supports the hypothesis of the need to calibrate the indices for different regions and situations. Still on the indices, the ones that best suited the data collected in the questionnaires were UTCI for Brazilian summer, Perceived Equivalent Temperature, Meteorological Station (TEPM) and Globe Equivalent Temperature (TEG) for Brazilian winter and, for Hungary, the UTCI, and PET for Hungary. Thus, when uncomfortable, variations in metabolism and/or clothing were indicated. For Brazil, low-impact activities and negative clothing resistance in the summer were suggested, indicating the need for clothing with technologies that refresh. For the Brazilian winter, more intense activities such as a brisk walk and clothes with a resistance equal to or greater than 0.6 clo are indicated in all cases.

**Keywords:** Thermal Comfort, Comfort Indices, Metabolism, Clothing Resistance.

## Lista de ilustrações

Figura 1 – Mecanismos de Termorregulação . . . . .	23
Figura 2 – Diferença entre as roupas dos povos beduínos, indígenas e europeus devido a influência do clima local e cultura . . . . .	28
Figura 3 – Gráfico da porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD) . . . . .	34
Figura 4 – Localização de São Paulo, Brasil . . . . .	41
Figura 5 – Localização da capital, São Paulo, no estado de São Paulo . . . . .	42
Figura 6 – Médias de precipitação e temperatura na cidade de São Paulo (análise climatológica) . . . . .	43
Figura 7 – Condições meteorológicas por mês de São Paulo considerando nebulosidade, precipitação, umidade e temperatura relacionados ao índice de turismo (climatologia) . . . . .	43
Figura 8 – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas localizado na cidade universitária da Universidade de São Paulo (IAG/ USP) visão aérea e frontal . . . . .	44
Figura 9 – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo localizado na cidade universitária da Universidade de São Paulo (FAU/ USP) visão aérea e frontal . . . . .	44
Figura 10 – Localização de Budapeste, Hungria . . . . .	45
Figura 11 – Localização da capital, Budapeste, na Hungria . . . . .	45
Figura 12 – Caracterização climática para Hungria . . . . .	47
Figura 13 – Temperaturas e precipitações médias em Budapeste (Climatologia) . . . . .	48
Figura 14 – Dados Climatológicos para Budapeste . . . . .	48
Figura 15 – Faculdade de Ciências localizada na Eötvös Loránd University (ELTE) visão lateral de ambos os prédios e do ponto de vista do outro lado do rio Danúbio . . . . .	49
Figura 16 – Temperatura média horária em São Paulo (evidenciado para o caso de verão) . . . . .	50
Figura 17 – Carta Sinótica do Caso de Verão . . . . .	50
Figura 18 – Local do experimento de verão exposto ao Sol . . . . .	51
Figura 19 – Local do experimento de verão coberto pela sombra . . . . .	52
Figura 20 – Roupas utilizadas por alguns dos participantes do experimento realizado no caso de verão em São Paulo/ Brasil . . . . .	53
Figura 21 – Questionário de percepção e preferência térmica aplicado no caso de verão . . . . .	54
Figura 22 – Confortímetro modelo SENSU utilizado nos experimentos . . . . .	55
Figura 23 – Termômetro de globo cinza desmontado - modelo CAMPBELL SCIENTIFIC BLACK GLOBE - L - utilizado nos experimentos . . . . .	56
Figura 24 – Termômetro de globo cinza montado modelo - CAMPBELL SCIENTIFIC BLACK GLOBE - L USP - utilizado nos experimentos . . . . .	57

Figura 25 – Temperatura média horária em São Paulo (evidenciado para o caso de inverno) . . . . .	60
Figura 26 – Carta sinótica do caso de inverno . . . . .	61
Figura 27 – Local do experimento de inverno exposto - entrada da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) da Universidade de São Paulo (USP) .	62
Figura 28 – Local do experimento de inverno coberto pelo prédio - entrada da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) da Universidade de São Paulo (USP) . . . . .	62
Figura 29 – Questionário de percepção e preferência térmica, aplicado no caso de inverno . . . . .	64
Figura 30 – Local do experimento de inverno em Budapeste - entrada lateral da Faculdade de Ciências da Universidade Eötvös Loránd (ELTE) . . . . .	66
Figura 31 – Variação diurna dos dados meteorológicos (temperatura, precipitação e vento) do dia 18 de fevereiro de 2020 em Budapeste/ Hungria em forma gráfica . . . . .	67
Figura 32 – Registro do histórico de dados meteorológicos do dia 18 de fevereiro de 2020 em Budapeste/ Hungria em forma tabular . . . . .	68
Figura 33 – Questionário de percepção e preferência térmica, aplicado no caso de inverno em Budapeste/ Hungria . . . . .	69
Figura 34 – Localização da estação meteorológica do departamento de meteorologia da faculdade de ciências da ELTE na Hungria - local de coleta de dados do experimento de inverno em Budapeste . . . . .	70
Figura 35 – Tela inicial para execução do programa RayMan Pro . . . . .	73
Figura 36 – Histogramas de preferência, aceitabilidade, conforto e sensação térmica provenientes dos questionários aplicados no experimento de verão, caso exposto, em São Paulo/ Brasil . . . . .	85
Figura 37 – Histograma de sugestões com relação às mudanças nas variáveis meteorológicas obtidas através dos questionários aplicados no experimento de verão, caso exposto, em São Paulo/ Brasil . . . . .	86
Figura 38 – Histogramas de preferência, aceitabilidade, conforto e sensação térmica provenientes dos questionários aplicados no experimento de verão, caso coberto, em São Paulo/ Brasil . . . . .	87
Figura 39 – Histograma de sugestões com relação às mudanças nas variáveis meteorológicas obtidas através dos questionários aplicados no experimento de verão, caso coberto, em São Paulo/ Brasil . . . . .	88
Figura 40 – Histogramas de preferência, aceitabilidade, conforto e sensação térmica provenientes dos questionários aplicados no experimento de inverno, caso exposto, em São Paulo/ Brasil . . . . .	89

Figura 41 – Histograma de sugestões com relação às mudanças nas variáveis meteorológicas obtidas através dos questionários aplicados no experimento de inverno, caso exposto, em São Paulo/ Brasil . . . . .	90
Figura 42 – Histogramas de preferência, aceitabilidade, conforto e sensação térmica provenientes dos questionários aplicados no experimento de inverno, caso coberto, em São Paulo/ Brasil . . . . .	91
Figura 43 – Histograma de sugestões com relação às mudanças nas variáveis meteorológicas obtidas através dos questionários aplicados no experimento de inverno, caso coberto, em São Paulo/ Brasil . . . . .	92
Figura 44 – Análise climatológica global de resistência das roupas utilizando dados de 1992 a 2020. Primeiro caso considerando a média anual, segundo caso focado para o mês de janeiro e terceiro caso apresentando os resultados utilizando o mês de julho . . . . .	100
Figura 45 – Histogramas de preferência, aceitabilidade, conforto e sensação térmica provenientes dos questionários aplicados no experimento de verão, caso exposto, em São Paulo/ Brasil . . . . .	102
Figura 46 – Histograma de sugestões com relação às mudanças nas variáveis meteorológicas obtidas através dos questionários aplicados no experimento de inverno em Budapeste/ Hungria . . . . .	103
Figura 47 – Gráficos de dispersão entre sensação térmica e PMV (°C) por cenário (Brasil inverno exposto e coberto; Brasil verão exposto ao Sol e na sombra; Hungria inverno) . . . . .	108
Figura 48 – Gráficos de dispersão entre sensação térmica e PET (°C) por cenário (Brasil inverno exposto e coberto; Brasil verão exposto ao Sol e na sombra; Hungria inverno) . . . . .	108
Figura 49 – Gráficos de dispersão entre sensação térmica e UTCI (°C) por cenário (Brasil inverno exposto e coberto; Brasil verão exposto ao Sol e na sombra; Hungria inverno) . . . . .	109
Figura 50 – Gráficos de dispersão entre sensação térmica e TEP-A (°C) por cenário (Brasil inverno exposto e coberto; Brasil verão exposto ao Sol e na sombra; Hungria inverno) . . . . .	109
Figura 51 – Gráficos de dispersão entre sensação térmica e PMV (°C), por gênero, para cada país . . . . .	112
Figura 52 – Gráficos de dispersão entre sensação térmica e PET (°C), por gênero, para cada país . . . . .	113
Figura 53 – Gráficos de dispersão entre sensação térmica e UTCI (°C), por gênero, para cada país . . . . .	113
Figura 54 – Gráficos de dispersão entre sensação térmica e TEP-A (°C), por gênero, para cada país . . . . .	114

## Lista de tabelas

Tabela 1 – Taxa metabólica para diferentes atividades . . . . .	26
Tabela 2 – Índice de resistência térmica para cada peça de roupa . . . . .	29
Tabela 3 – Escala de sensação térmica do índice PMV . . . . .	33
Tabela 4 – Escala dos índices PET (°C) e UTCI (°C) . . . . .	36
Tabela 5 – Escala WBGT (°C) e as ações sugeridas para prevenção aos impactos .	37
Tabela 6 – Escala de conforto dos índices T <sub>sp</sub> , TEP, TEPA, TEPM e TEG (°C) .	40
Tabela 7 – Incertezas nas medições de cada grandeza associada ao confortímetro SENSO . . . . .	56
Tabela 8 – Incertezas nas medições associada ao termômetro de globo CAMPBELL SCIENTIFIC BLACK GLOBE - . . . . .	57
Tabela 9 – Dados do caso de verão em São Paulo . . . . .	59
Tabela 10 – Dados do caso de inverno em São Paulo . . . . .	65
Tabela 11 – Dados do caso de inverno em São Paulo . . . . .	71
Tabela 12 – Resultado dos índices de conforto para cidade de São Paulo, Brasil. . .	93
Tabela 13 – Metabolismo indicado para a mulher (padrão) considerada nos experi- mentos realizados em São Paulo/ Brasil . . . . .	96
Tabela 14 – Metabolismo o indicado para o homem (padrão) considerado nos experi- mentos realizados em São Paulo/ Brasil . . . . .	96
Tabela 15 – Resistência da roupa necessária para a mulher (padrão) estar em con- forto de acordo com as condições meteorológicas coletadas nos experi- mentos realizados em São Paulo/ Brasil . . . . .	98
Tabela 16 – Resistência da roupa necessária para o homem (padrão) estar em con- forto de acordo com as condições meteorológicas coletadas nos experi- mentos realizados em São Paulo/ Brasil . . . . .	98
Tabela 17 – Resultado dos índices de conforto para cidade de Budapeste, Hungria .	104
Tabela 18 – Metabolismo indicado para a mulher (padrão) considerada no experi- mento realizado em Budapeste/ Hungria . . . . .	105
Tabela 19 – Metabolismo o indicado para o homem (padrão) considerado no experi- mento realizado em Budapeste/ Hungria . . . . .	105
Tabela 20 – Resistência da roupa necessária para a mulher (padrão) estar em con- forto de acordo com as condições meteorológicas coletadas no experi- mento realizado em Budapeste/ Hungria . . . . .	106
Tabela 21 – Resistência da roupa necessária para o homem (padrão) estar em con- forto de acordo com as condições meteorológicas coletadas no experi- mento realizado em Budapeste/ Hungria . . . . .	107
Tabela 22 – Coeficientes de correlação de Spearman e valores-p por Condição . . .	111
Tabela 23 – Coeficientes de correlação de Spearman e valores-p para a Hungria . .	115

Tabela 24 – Coeficientes de correlação de Spearman e valores-p para o Brasil . . . . 116



## Lista de símbolos

$A$	Área da Superfície Corporal [m <sup>2</sup> ]
$C_p$	Capacidade de Calor do Ar [1004 J/Kg.K]
$D$	Diâmetro do Corpo Humano [m]
$M$	Metabolismo [W/m <sup>2</sup> ]
$M_b$	Metabolismo Basal [W/m <sup>2</sup> ]
$M_t$	Metabolismo Total [W/m <sup>2</sup> ]
$M_w$	Metabolismo Realizando Atividade Leve - Andando à 1.1 m/s [W/m <sup>2</sup> ]
$PET$	Temperatura Equivalente Fisiológica [°C]
$PMV$	Voto Médio Estimado (Predicted Mean Vote) [adimensional]
$PPD$	Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (Predicted Percentage Dissatisfied) [
$R_{ni}$	Radiação Isotérmica Líquida [W/m <sup>2</sup> ]
$TEG$	Temperatura Equivalente de Globo [°C]
$TEP$	Temperatura Equivalente Percebida [°C]
$TEP_A$	Temperatura Equivalente Percebida Adaptativa [°C]
$TEP_M$	Temperatura Equivalente Percebida, Estação Meteorológica [°C]
$T_{sp}$	Percepção de Sensação Térmica [adimensional]
$UTCI$	Índice Climático Térmico Universal (Universal Thermal Climate Index) [°C]
$WBGT$	Temperatura de Globo e de Bulbo Úmido [°C]
$W$	Trabalho dos Músculos [W/m <sup>2</sup> ]
$\lambda E_{sd} + \lambda E_r$	Perda pela Respiração [W/m <sup>2</sup> ]
$\varepsilon_g$	Emissividade de Globo Negro [adimensional]
$a$	idade [anos]
$f_{cl}$	Razão de Área do Corpo Vestido e Corpo Nu [adimensional]

$h$	altura [cm]
$h_{cg}$	Coefficiente de Transferência de Calor por Convecção ao Nível do Globo [W/m <sup>2</sup> .K]
$h_{cl}$	Coefficiente de Convecção entre Ar e Roupas [W/m <sup>2</sup> .°C]
$m$	Massa Corporal [kg]
$m_{et}$	Metabolismo [met]
$n_{eb}$	Nebulosidade [octas]
$p_a$	Pressão de Vapor no Ar [kPa]
$r_{ad}$	Radiação [W/m <sup>2</sup> ]
$r_{clo}$	Resistência das Roupas [clo]
$r_e$	Resistência Equivalente (soma da resistência causada pelo vento e pela radiação) [s/m]
$r_{hb}$	Resistência Média à Transferência de Calor dos Tecidos e Cutânea [adimensional]
$t_{ar}$	Temperatura do Ar [°C]
$t_b$	Temperatura Interna do Corpo Humano [°C 37°C]
$t_{cl}$	Temperatura Superficial das Roupas [°C]
$t_e$	Temperatura Equivalente [°C]
$t_g$	Temperatura de Globo [°C]
$t_{mm}$	Temperatura Média Mensal [°C]
$t_{rm}$	Temperatura Radiante Média [°C]
$t_s$	Temperatura da Pele do Corpo Humano [°C 34°C]
$ur$	Umidade do Ar [
$v_{ar}$	Velocidade do Vento [m/s]
$\rho$	Densidade do Ar [1,2 Kg.m-3]
$\sigma$	Constante de Stefan-Bolzman [5,67. 10-8 W/m <sup>2</sup> .K4]

## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>16</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b>	<b>18</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa e Relevância</b>	<b>19</b>
<b>1.3</b>	<b>Restrições e Limitações</b>	<b>20</b>
<b>1.4</b>	<b>Estrutura do trabalho</b>	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>Revisão Bibliográfica</b>	<b>22</b>
<b>2.1</b>	<b>Respostas do Corpo</b>	<b>22</b>
<b>2.2</b>	<b>Conforto Térmico</b>	<b>24</b>
<b>2.3</b>	<b>Metabolismo</b>	<b>25</b>
<b>2.4</b>	<b>Variáveis Meteorológicas</b>	<b>26</b>
2.4.1	Temperatura e Umidade do ar	27
2.4.2	Radiação	28
2.4.3	Velocidade do Vento	28
2.4.4	Resistência das roupas	29
<b>2.5</b>	<b>Índices de Conforto</b>	<b>31</b>
2.5.1	Voto Médio Estimado (PMV)	32
2.5.2	Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD)	34
2.5.3	Temperatura Equivalente Fisiológica (PET)	35
2.5.4	Índice Climático Térmico Universal (UTCI)	35
2.5.5	Temperatura de Globo e de Bulbo Úmido (WBGT)	36
2.5.6	Temperatura Equivalente Percebida (TEP)	37
2.5.7	Temperatura Equivalente Percebida Adaptativa ( $TEP_A$ )	38
2.5.8	Temperatura Equivalente Percebida, Estação Meteorológica ( $TEP_M$ )	38
2.5.9	Temperatura Equivalente de Globo (TEG)	39
2.5.10	Percepção de Sensação Térmica (Tsp)	39
<b>3</b>	<b>Materiais e Métodos</b>	<b>41</b>
<b>3.1</b>	<b>Área de Estudo</b>	<b>41</b>
3.1.1	São Paulo, Brasil	41
3.1.2	Budapeste, Hungria	44
<b>3.2</b>	<b>Coleta de Dados</b>	<b>49</b>
3.2.1	São Paulo, Brasil	49
3.2.1.1	Verão	49
3.2.1.2	Inverno	59
3.2.2	Budapeste, Hungria	65
3.2.2.1	Inverno	66

<b>3.3</b>	<b>Índices de Conforto</b> . . . . .	<b>72</b>
3.3.1	Voto Médio Estimado (PMV) . . . . .	72
3.3.2	Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD) . . . . .	73
3.3.3	Temperatura Equivalente Fisiológica (PET) . . . . .	74
3.3.4	Índice Climático Térmico Universal (UTCI) . . . . .	74
3.3.5	Temperatura de Globo e de Buldo Úmido (WBGT) . . . . .	74
3.3.6	Temperatura Equivalente Percebida (TEP) . . . . .	74
3.3.7	Temperatura Equivalente Percebida Adaptativa ( $TEP_A$ ) . . . . .	75
3.3.8	Temperatura Equivalente Percebida, Estação Meteorológica ( $TEP_M$ ) . . . . .	75
3.3.9	Temperatura Equivalente de Globo (TEG) . . . . .	75
3.3.10	Percepção de Sensação Térmica (Tsp) . . . . .	76
<b>3.4</b>	<b>Metabolismo</b> . . . . .	<b>76</b>
3.4.1	Método Antropológico . . . . .	76
3.4.2	Método de Transferência de Calor do Interior para o Meio . . . . .	78
3.4.3	Transferência de Calor Superficial para o Meio - Campbell . . . . .	79
3.4.4	Método partindo da Temperatura Equivalente Percebida Adaptativa . . . . .	79
<b>3.5</b>	<b>Resistência das Roupas</b> . . . . .	<b>80</b>
3.5.1	Transferência de Calor Superficial para o Meio - Campbell . . . . .	81
3.5.2	Método proposto pelo Professor Ács Ferenc . . . . .	81
3.5.3	Método partindo da Temperatura Equivalente Percebida Adaptativa . . . . .	82
<b>3.6</b>	<b>Desenvolvimento Computacional</b> . . . . .	<b>83</b>
<b>4</b>	<b>Resultados e Discussões</b> . . . . .	<b>84</b>
<b>4.1</b>	<b>São Paulo, Brasil</b> . . . . .	<b>84</b>
4.1.1	Análise dos Questionários Aplicados . . . . .	84
4.1.2	Índices de Conforto . . . . .	92
4.1.3	Metabolismo . . . . .	94
4.1.4	Resistência das Roupas . . . . .	97
<b>4.2</b>	<b>Budapeste, Hungria</b> . . . . .	<b>101</b>
4.2.1	Análise dos Questionários Aplicados . . . . .	101
4.2.2	Índices de Conforto . . . . .	103
4.2.3	Metabolismo . . . . .	104
4.2.4	Resistência das Roupas . . . . .	105
<b>4.3</b>	<b>Análise Estatística</b> . . . . .	<b>107</b>
<b>5</b>	<b>Conclusões</b> . . . . .	<b>118</b>
<b>6</b>	<b>Aplicações e Estudos Futuros</b> . . . . .	<b>120</b>
	<b>Referências</b> . . . . .	<b>121</b>

## 1 Introdução

A atmosfera é a responsável pela sustentação direta dos homens aos microorganismos, além de ser a fonte de água para todas as formas de vida e responsável indiretamente pela sustentação dos organismos presentes em meios aquáticos (GONÇALVES, 2019), ou seja, a atmosfera produz efeitos diretos sobre a fisiologia dos seres vivos, principalmente quando se trata às mudanças devidas aos fatores meteorológicos, que, no caso, estuda fenômenos atmosféricos de curto espaço de tempo (horas à meses), médio e longos períodos (anos à séculos).

A partir da identificação desta relação da meteorologia a fatores biológicos, nasceu a biometeorologia, que se propõe a estudar o impacto do tempo e do clima nos seres vivos, vegetais, animais e humanos (WMO, 1985). Desde 1930 existe a biometeorologia médica, mas em 1956 a Sociedade Internacional de Biometeorologia (I.S.B.) definiu biometeorologia como “o estudo das interpelações diretas e indiretas entre os meios geofísicos, geoquímicos e a atmosfera sobre os organismos vivos. Entretanto, em 1970, a ISB e a WMO decidiram agrupar bioclimatologia dentro da biometeorologia e, assim, surgiu uma redefinição com aspectos mais amplos:

“Biometeorologia é o estudo dos efeitos diretos e indiretos (de natureza irregular, flutuante ou rítmica) de físico-, químico-, físico-químico-, micro- e macro-ambientes, de ambas, atmosfera da Terra e outros ambientes similares extraterrestres, nos sistemas físico-químico em geral e nos organismos vivos em particular (plantas, animais e seres humanos).”

Ou seja, a biometeorologia é uma ciência interdisciplinar que estuda as interações entre os processos atmosféricos e os organismos vivos - plantas, animais e humanos (WMO, 1985), sendo caracterizada por ser a interface entre a biosfera, a atmosfera e a ecologia (SILVA, 2000) . Contemplando seis subdivisões:

- 1) Espacial: estudo das formas de vida fora da Terra e a adaptabilidade a ambientes extraterrestres (naves interplanetárias, outros planetas, etc.);
- 2) Cósmica: estuda a influência de fatores extraterrestres (tais como os raios cósmicos e a atividade solar) nas formas de vida;
- 3) Paleo-biometeorologia: tem como objetivo realizar a reconstrução do clima passado através de evidências biológicas, compreender o surgimento da vida e as consequências à atmosfera, além de relacionar fatores biológicos a acontecimentos históricos;
- 4) Animal: visa aplicar os fatores atmosféricos para propósitos zoológicos e veterinários.
- 5) Vegetal: influência da meteorologia sobre o desenvolvimento e distribuição de plantas “saudáveis” ou “doentes”, para propósitos botânicos, agrícolas e de reflo-

restamento. Também consideram-se bactérias, fungos, algas e suas relações com outros organismos vivos.

- 6) Humana: relação da meteorologia com a vida humana para propósitos fisiológicos e medicinais. Neste caso, existem outras subdivisões que abrangem formas diferenciadas de aplicação, sejam elas: fisiológicas, sociológicas, patológicas, arquitetura e urbanismo e náutica;

Segundo a ISB, a pergunta mais importante que a biometeorologia se propõe a responder é: “Como o tempo e o clima afetam o bem-estar de todas as criaturas vivas?”. No caso, de maneira implícita, esta pergunta considera diversos fatores ligados aos seres vivos, tais como: as questões reprodutivas, flutuações populacionais e saúde geral da comunidade do organismo.

Diante disto, seguem alguns exemplos de aplicações da biometeorologia:

- A relação entre rendimentos agrícolas e clima;
- Como o clima afeta o desempenho, a saúde e o bem-estar dos animais domésticos;
- O impacto do clima na saúde humana;
- Como a poluição afeta certas espécies de árvores;
- O nível de tolerância dos organismos aos extremos ambientais;
- Os efeitos das mudanças climáticas nos eventos do ciclo de vida das plantas (fenologia);
- Entre outros.

Dentre estas aplicações, existem diversos trabalhos na área, entre eles uma ampla gama relacionada ao conforto térmico e à saúde.

Com relação ao conforto térmico, este consiste em avaliar a sensação de bem-estar vivida por uma pessoa com relação às condições térmicas do meio (AULICIEMS, 1976). Romero (2000) afirma que o ser humano tem a sensação de conforto térmico quando o seu organismo está em equilíbrio térmico com o meio ambiente. Contudo, Maia (2002) e Thom (1959), abordam também aspectos fisiológicos e psicológicos nesta definição, os quais envolvem as atividades do corpo, seja o metabolismo no processo de geração de calor interno para manutenção das funções vitais que tendem a entrar em regulação com as condições ambientais, seja a impressão de bem-estar com o ambiente, o que pode variar para cada indivíduo.

Ou seja, este não é um conceito exato, uma vez que cada pessoa possui características próprias e diferentes entre si, sendo elas: peso, altura, metabolismo, preferência por roupas

e fatores psicológicos, por exemplo. Desta forma, o conforto térmico é um conceito subjetivo (JABARDO, 1984), permitindo que um ambiente considerado termicamente confortável para uma pessoa possa ser frio ou quente para outra. Portanto, as condições ambientais de conforto são entendidas como aquelas que proporcionam bem-estar ao maior número de pessoas possível (JENDRITZKY, 2003).

Ainda sobre o conforto térmico, existem diversas variáveis influentes na sensação de conforto, tais como as variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade e velocidade do ar), antropológicas (aspectos fisiológicos, taxa metabólica e trajes) e subjetivas (aspectos psicológicos, sociais e culturais). Assim, a avaliação também deve considerar, além das sensações térmicas dos usuários, suas preferências, expectativas, rotinas e hábitos, resultando em uma variedade de respostas térmicas entre os indivíduos (LAMBERTS, 2016). Deste modo, é necessário realizar pesquisas de campo para auxiliar na compreensão da relação destas variáveis ao conforto térmico. Nessas circunstâncias, surgem os questionários a serem aplicados aos usuários, de modo a avaliar a preferência e a percepção térmica individual.

Nos anos 70 foram apresentados trabalhos que, até hoje, levantam discussões sobre conforto térmico. Mediante a aplicação de questionários, Fanger (1970) desenvolveu seu trabalho baseado no modelo estático, ao passo que Humphreys (1976) no modelo adaptativo (GONÇALVES; BODE; AUTORES, 2015). Além dessas abordagens, até os dias atuais, alguns estudiosos analisam, ainda, a sensação e a preferência térmica dos usuários em campo e comparam os resultados obtidos com aqueles determinados analiticamente ((RUPP, 2017); (GRIGOLETTI; LINCK, 2014); (VECCHI; CÂNDIDO; LAMBERTS, 2013) ;(FINGER; GOEDERT; MELO, 2016) ; (CHAVES, 2016); (BUONOCORE, 2017)(CAMPBELL; NORMAN, 1998)). Portanto, é um ramo de extremo interesse e com muito espaço para desenvolvimento.

## 1.1 Objetivos

O objetivo principal desta monografia consiste em avaliar o balanço de energia e o conforto térmico considerando as variáveis meteorológicas e antropológicas antropológicas em São Paulo, Brasil, e Budapeste, Hungria, em duas estações do ano diferentes com uso de índices de conforto térmico. Caso se confirme o desconforto a partir destes índices, são simuladas maneiras de obter o conforto térmico via modificação do metabolismo e/ ou das roupas.

Deste modo, os objetivos específicos são:

- 1) Calcular diferentes índices de conforto térmico em duas localidades climaticamente diferentes em experimentos de campo com voluntários jovens entre 20-29 anos;
- 2) Avaliar a percepção e a preferência térmica dos voluntários, através de questionários aplicados simultaneamente à medição das variáveis ambientais, e compará-las aos

resultados obtidos nos índices;

3) Simular o efeito de modificações do metabolismo e/ou da resistência das roupas de modo a maximizar o conforto destes voluntários;

4) Comparar os resultados considerando duas regiões (Brasil e Hungria) e duas estações do ano (verão e inverno).

## 1.2 Justificativa e Relevância

O conforto térmico está presente em diversas áreas, como por exemplo:

- Saúde: onde indivíduos com morbidades podem ter problemas de saúde diante de situações de desconforto térmico uma vez que o corpo responde ao estresse térmico na forma de doenças que podem levar ao óbito, com maior intensidade em crianças e idosos.
- Arquitetura e urbanismo: ao avaliar as diferentes formas de uso da terra e grau de manejo ou degradação humana, podendo ser observado pelo espectro ecológico, passando pelo ecossistema remanescente (lagos, rios, várzeas, florestas) através do ecossistema gerido (campos, parques, jardins, cemitérios e outros) até o sistema totalmente antropogênico (estradas, prédios, estacionamentos, indústria e outros). O resultado é um ecossistema urbano com um conjunto distinto de *habitats* para plantas, animais selvagens e seres humanos inseridos em uma combinação exclusiva de elementos abióticos (OKE et al., 2017). Além de otimizar projetos que sejam termicamente satisfatórios e sustentáveis, como a redução de refrigeração artificial por meio do uso de ar condicionado (LAMBERTS, 2016).
- Economia: por diversos fatores, tais como: conforto térmico em vegetais e animais influenciando a agricultura e pecuária (que possui grande participação no PIB brasileiro). No consumo de itens de varejo, por exemplo: alto consumo de refrigerantes e sorvete devido ao calor excessivo ou até mesmo, a influência na compra de determinadas roupas relacionadas às tendências sazonais e conforto dos materiais. Neste último caso, com grande relevância, pois, um dos produtos mais consumidos pela humanidade consiste no mercado têxtil, ou seja, na fabricação e vendas de roupas, que depende da previsão da intensidade de cada estação do ano de modo a determinar qual tecido ou fibra será mais adequado com a finalidade de promover o conforto (CARDOSO, 2017).
- Hábitos: cultura e cotidiano, como ao comparar localidades climaticamente distintas, em que se pode observar que, de uma maneira geral, as pessoas se vestem e se alimentam de modo diferente, dentre outros hábitos e características culturais associadas ao clima.



- Desempenho nas atividades: dando destaque ao termo ergonomia. Termo que consiste em estudar os diversos fatores que influem no desempenho do sistema produtivo e busca reduzir as suas consequências nocivas sobre o trabalhador. Entre esses fatores inclui-se o estresse térmico, pois, está interligada à indisposição (LAMBERTS, 2016).

Portanto, espera-se, mediante a metodologia e os resultados apresentados, contribuir para a maior entendimento do comportamento térmico adequado ao clima local e, indiretamente atender às demais áreas.

Além disso, esta pesquisa visa contribuir para a comunidade acadêmica ao inovar utilizando uma metodologia que utiliza do conforto térmico comparado às equações de CAMPBELL e NORMAN (1998) e a consideração da resistência das roupas neste processo.

### 1.3 Restrições e Limitações

O presente trabalho abrange procedimentos realizados em campo para a avaliação do conforto térmico. Existem limitações em relação às ferramentas utilizadas para a medição realizada, para tanto estas incertezas estão especificadas no capítulo 3, na seção 3.2.1.1, nas tabelas 7 e 8.

A ISO 7726 (1998) recomenda que a faixa de medição do instrumento para medir a velocidade do ar para condições de conforto (categoria C - conforto) seja de 0,05 a 1 m/s. Entretanto, o instrumento utilizado na pesquisa possui faixa de medição de 0 a 3 m/s. Tendo em vista que o índice PMV (Voto Médio Estimado) é calculado considerando a velocidade do ar como condicionante ambiental, podem ser obtidos índices com valores definidos pela escala de imprecisão mencionada, divergentes dos reais. Entretanto, vale ressaltar que foram calculados outros índices para dar suporte a pesquisa, uma vez que o índice PMV é mais representativo para o Hemisfério Norte.

É importante salientar que esperava-se realizar quatro experimentos no Brasil (dois no verão e dois no inverno) e dois experimentos na Hungria (um no verão e outro no inverno). Entretanto, foram executados apenas três experimentos totais, sendo dois no Brasil (um de verão e um de inverno) e outro na Hungria (durante o inverno). Isso ocorreu em função à pandemia mundial, pois, nos meses mais intensos de verão europeu houve a eclosão do vírus Sars-Cov2 e, por questões de segurança, os países de desenvolvimento da pesquisa aderiram à quarentena inviabilizando o experimento de verão para Hungria e a repetição dos experimentos no Brasil.

### 1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho se estrutura em 6 capítulos: Introdução, Revisão Bibliográfica, Materiais e Métodos, Resultados, Considerações Finais e Aplicações/ Estudos Futuros.

A Introdução, apresentada no primeiro capítulo, aborda a contextualização do tema deste estudo e os objetivos a serem atingidos, considerando os fatores de restrição e limitação do trabalho, além da justificativa e relevância.

O segundo capítulo – Revisão Bibliográfica – apresenta o referencial teórico e o estado da arte que servem de embasamento para o estudo sobre conforto térmico. Nesse capítulo são apresentadas as várias abordagens do conforto térmico no ambiente construído, assim como o estado da arte. Também são abordados os índices de conforto, metabolismo, resistência da roupa e as diferenças de clima entre ambas as localidades, considerando estações extremas e fatores culturais.

No terceiro capítulo – Metodologia – é definido o método de abordagem e os procedimentos adotados nesta pesquisa, apresentando profundamente cada uma das localidades do estudo, as considerações na realização dos experimentos e dos cálculos de índice de conforto, metabolismo e resistência das roupas.

Em Resultados (quarto capítulo) são apresentados e discutidos os dados obtidos mediante a metodologia desenvolvida.

No quinto capítulo – Considerações Finais – são apontadas as conclusões e considerações sobre o estudo realizado, atentando-se em responder os objetivos propostos no primeiro capítulo.

No último capítulo - Aplicações e Estudos Futuros - determina-se a contribuição deste trabalho para o cenário atual e as indicações de futuras aplicações práticas e estudos utilizando este trabalho como base.

## 2 Revisão Bibliográfica

Este capítulo apresenta informações e conceitos que auxiliam a compreensão dos tópicos abordados nesta pesquisa. Serão abordados conceitos e variáveis relacionadas ao conforto térmico de modo a conceber um referencial teórico que subsidie a análise do conforto, metabolismo e resistência das roupas.

### 2.1 Respostas do Corpo

A homeotermia é uma função do organismo que tem como objetivo manter a temperatura interna constante com a finalidade de proteger os órgãos internos. Segundo Magalhães (2001), a temperatura corporal em níveis ideais para manter suas funções, deveria variar entre  $36,1^{\circ}\text{C}$  e  $37,2^{\circ}\text{C}$ , enquanto Epstein e Moran (2006) mencionam que a variação de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  a partir de  $37^{\circ}\text{C}$  não deveria ser ultrapassada. Contudo, ocorrem trocas térmicas entre o homem e o meio, sendo por: condução, convecção, radiação, evaporação e respiração a fim de adquirir equilíbrio térmico entre o ambiente o corpo humano (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

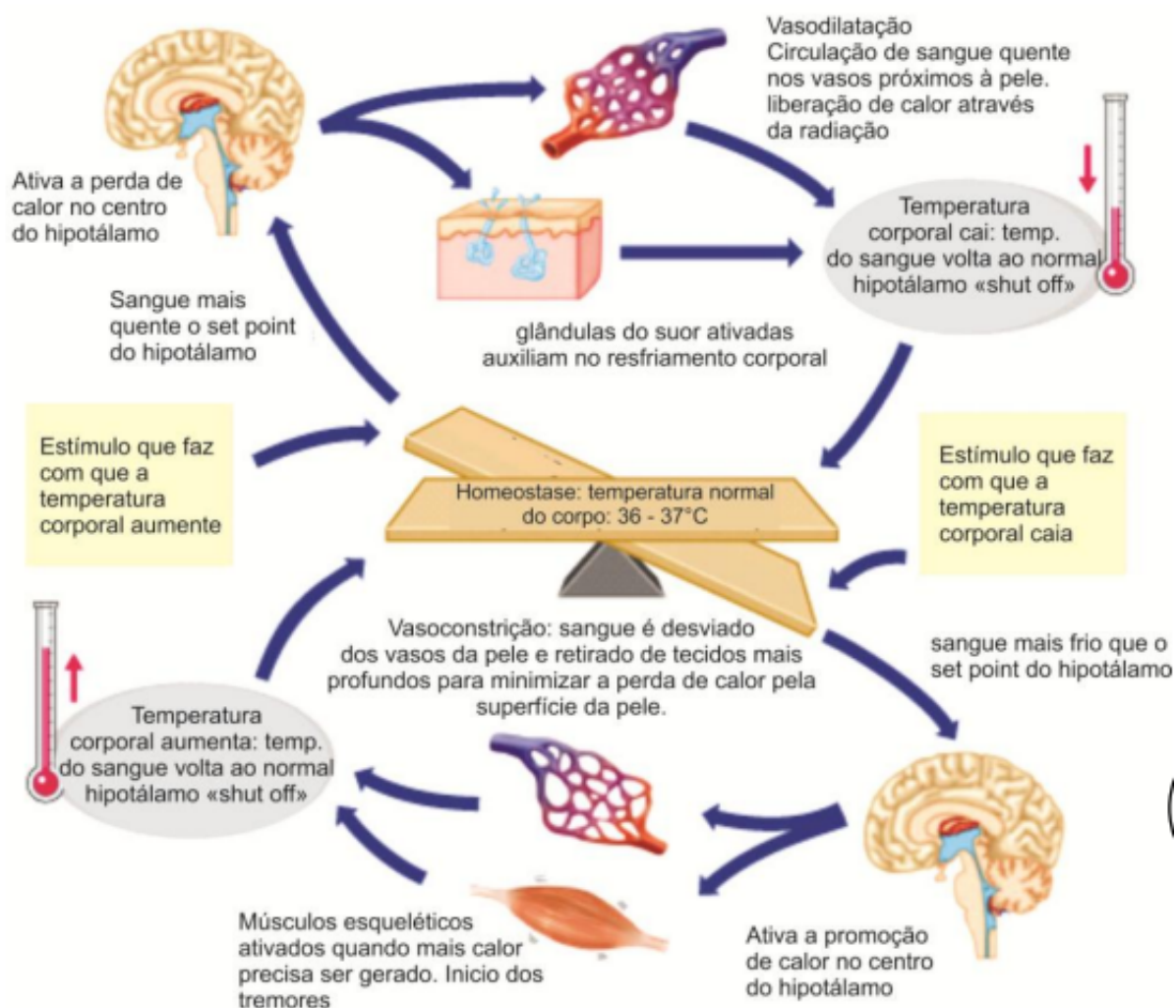
Este equilíbrio é obtido quando a produção interna de calor no corpo humano é igual à perda de calor para o ambiente (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2005) em que o corpo encontra-se em conforto térmico, ou seja, o balanço de energia é zero. Caso o equilíbrio não seja respeitado, ocorre a não satisfação com o meio, que pode ser proveniente pela sensação de calor ou frio. Desta forma, são ativados os mecanismos termorreguladores que automaticamente modificam a temperatura da pele e ativam ou não a secreção de suor para manter o equilíbrio ((SETTE; RIBEIRO, 2011); (MENDONÇA, 2003)).

O sistema termorregulador é acionado por um incentivo do hipotálamo, similar a um termostato, em que atua como um dissipador de calor através do sistema nervoso com suporte do sistema circulatório para efetivar a troca de calor. Ou seja, ele comanda a quantidade de sangue que vai percorrer a superfície do corpo, determinando se haverá vasoconstrição (vasodilatação) caso tenha maior (menor) troca de calor com o meio. Podendo ser essas trocas: secas, por meio da condução, convecção e radiação; úmidas, por meio da evaporação ou condensação.

De modo similar através do hipotálamo, glândulas do corpo são acionadas em casos de calor para a geração do suor (glândulas sudoríparas) e sendo eliminado através da pele, numa tentativa de equilibrar a temperatura corporal com o ambiente ((HAVENITH; FIALA, 2016); (FERREIRA JÚNIOR et al., 2009)). Em ambientes frios, o corpo passa a aumentar sua atividade metabólica através dos músculos, dos hormônios, da digestão de alimentos ou ainda através de outros mecanismos para impedir eventuais perdas (PAGNOSSIN; BURIOL; GRACIOLLI, 2001). A figura 1 ilustra alguns dos principais

mecanismos que agem no corpo humano para buscar o equilíbrio térmico e produzir a sensação de conforto.

Figura 1 – Mecanismos de Termorregulação



LAMBERTS, 2019

Como dito anteriormente, com a finalidade de obter o conforto térmico, são realizadas diversas trocas com o meio através da condução, convecção, radiação e evaporação. A condução ocorre através do contato físico do corpo a outros objetos, fazendo com que ocorra uma troca de calor entre eles a modo a equilibrar as temperaturas (troca comum entre o corpo e as roupas). A convecção ocorre quando existem trocas de calor com o ar do entorno, seguida da radiação, que envolve ondas eletromagnéticas em superfícies, não dependendo do contato. Por fim, a evaporação extrai calor latente do corpo, o que propicia um equilíbrio eficiente do organismo (NDEMBO, 2018).

Contudo, existem alguns outros mecanismos também influentes, chamados de

mecanismos instintivos e culturais, que se referem à disponibilidade de água, sombra, atrito, tecnologia, arquitetura, roupas e outros comportamentais (LAMBERTS, 2016), como, por exemplo, o ato instintivo em abrir e fechar janelas dependendo das condições de conforto.

## 2.2 Conforto Térmico

O conforto térmico é a sensação de bem-estar vivida por uma pessoa com relação às condições térmicas do meio (AULICIEMS, 1976). Segundo Romero (2000), o ser humano tem a sensação de conforto térmico quando o seu organismo está em equilíbrio térmico com o meio ambiente e, caso esteja desconfortável, quanto maior for o trabalho desempenhado pelo corpo para obter equilíbrio, maior será o desconforto do indivíduo (ARAUJO, 2012).

Contudo, este não é um conceito exato, uma vez que cada pessoa possui características próprias e diferentes entre si, sendo elas: peso, altura e fatores psicológicos como, por exemplo, o gosto por roupas específicas. Ou seja, o conforto térmico é um conceito subjetivo (JABARDO, 1984), permitindo que um ambiente considerado termicamente confortável para uma pessoa possa ser frio ou quente para outra. Portanto, as condições ambientais de conforto são entendidas como aquelas que proporcionam bem-estar ao maior número de pessoas possível (JENDRITZKY, 2003).

Nos anos 70 foram apresentados trabalhos que, até hoje, levantam discussões sobre conforto térmico, Fanger (1970) desenvolveu seu trabalho baseado no modelo estático e Humphreys (1976) no modelo adaptativo (GONÇALVES; BODE; AUTORES, 2015), muito utilizado no ramo da arquitetura. Atualmente, verifica-se, ainda, a realização de estudos focados no conforto térmico de acordo com a abordagem estática (RUPP, 2017) e adaptativa ((MONTEIRO; ALUCCI, 2012); (NICO-RODRIGUES et al., 2015)). Além dessas abordagens, alguns estudiosos analisam, ainda, a sensação e a preferência térmica dos usuários mediante a aplicação de questionários em campo e comparam os resultados obtidos com aqueles determinados analiticamente ((RUPP, 2017); (GRIGOLETTI; LINCK, 2014); (VECCHI; CÂNDIDO; LAMBERTS, 2013); (CHAVES, 2016); (FINGER; GOEDERT; MELO, 2016); (BUONOCORE, 2017)). Mas, até os dias atuais, é um ramo de extremo interesse e com muito espaço para desenvolvimento.

Dentro deste contexto, resume-se três categorias de variáveis importantes a serem consideradas para o conforto térmico segundo Pagnossin, Buriol e Graciolli (2001), sendo elas: ambientais (temperatura do ar, umidade do ar, temperatura radiante e velocidade do ar), antropológicas (variantes para cada indivíduo: vestimenta, gênero, altura, idade, índice de massa corporal, hábitos alimentares, entre outras) e fatores psicológicos (que não será abordado neste trabalho).

## 2.3 Metabolismo

O metabolismo consiste na intensa atividade de construção e desconstrução de substâncias utilizando a energia obtida através da degradação de nutrientes orgânicos. Este processo ocorre por que o ser vivo, homeotérmico (aquele que mantém sua temperatura interna relativamente constante), gasta energia a todo o momento para manter as diversas atividades desempenhadas pelo organismo. Deste modo, as células estão continuamente trocando seus átomos e componentes moleculares, fazendo com que grande parte das substâncias celulares sejam degradadas para que novas possam ser sintetizadas.

O corpo humano, acima ou abaixo de certos parâmetros climáticos ideais, começa a ter reações metabólicas, químicas, cardiovasculares e psicológicas, as quais têm efeito na disposição e no comportamento humano. Porém, como as pessoas respondem aos elementos climáticos varia de acordo com a constituição física e fisiológica individual (SARTORI, 2000).

Em princípio, indivíduos adultos mais velhos não percebem o conforto térmico da mesma forma que indivíduos adultos mais jovens ((KORHONEN et al., 2003);(HAVENITH, 2001)). Em média, os indivíduos mais velhos têm um nível menor de atividade aos jovens, portanto, uma taxa metabólica menor, fazendo-os requererem uma temperatura maior ((HAVENITH, 2001); (TSUZUKI; IWATA, 2002)). Ademais, a capacidade de regular a temperatura corporal tende a diminuir com a idade (HAVENITH, 2001) – embora 20% dos adultos mais velhos não tenham vasoconstrição cutânea, nem todos eles diminuem o controle da temperatura corporal (COLLINS; EXTON-SMITH, 1983).

Além disto, a pele, maior órgão do corpo humano, é responsável pela proteção dos raios solares e pela manutenção da temperatura corporal. Sua temperatura, normalmente à 33 °C, tem uma dependência direta com a temperatura do ar e com o tempo de exposição ao ambiente. De modo que, as sensações de frio e calor sentidas pelas pessoas são devido ao fluxo de calor que ocorre entre a pele e o ambiente, ou seja, uma pessoa em um ambiente mais quente que sua temperatura de pele irá sentir a sensação de calor com o aumento da temperatura (sendo a situação inversa também verdadeira). Entretanto, o corpo humano está sempre tentando lutar contra esta mudança de temperatura, ativando mecanismos termorreguladores, como, por exemplo, a liberação de suor com a finalidade de eliminar o calor através da mudança de estado.

Estudos identificaram forte relação entre o índice de massa corporal (IMC) de indivíduos aclimatados e a sensação térmica destes ((COLLINS; EXTON-SMITH, 1983); (KEATINGE; HAYWARD, 1981); (MOZAFFARIEH et al., 2010); (VANOS et al., 2010a); (VANOS et al., 2010b); (VECCHI; CÂNDIDO; LAMBERTS, 2013)), tendo evidenciado que sujeitos com menor IMC sofreram mais com o desconforto térmico nas extremidades do corpo.

Tradicionalmente, o metabolismo é medido em Met (1 Met = 58,15 W / m<sup>2</sup> da

superfície corporal, energia utilizada para descrever a energia produzida por unidade de área de uma pessoa em repouso). Ou seja, considerando que um adulto normalmente tem uma área de superfície de  $1,7 \text{ m}^2$  e, sobre condições de conforto térmico realizando uma atividade de 1 Met, o mesmo terá uma perda de calor de, aproximadamente, 58 W.

Além disto, quanto menor o esforço da atividade, menor o valor do metabolismo, sendo mínimo ao dormir (0,8 Met) e mais alto durante atividades esportivas intensas, em que o valor de 10 Met é frequentemente alcançado. Na tabela 1 estão exemplificadas algumas atividades e as de taxas metabólicas associadas.

**Tabela 1 – Taxa metabólica para diferentes atividades**

Atividade	W/m <sup>2</sup>	Met
Reclinado	46	0,8
Sentadado relaxado	58	1,0
Atividade sedentária (escritório, escola, etc.)	70	1,2
Fazer compras, atividades laboratoriais	93	1,6
Trabalhos domésticos	116	2,0
Caminhada em local plano a 2 km/h	110	1,9
Caminhada em local plano a 3 km/h	140	2,4
Caminhada em local plano a 4 km/h	165	2,8
Caminhada em local plano a 5 km/h	200	3,4

Fonte (ISO 7730, 2015)

Para estimar a combinação dos efeitos do ambiente meteorológico, vários pesquisadores introduziram fórmulas matemáticas que predizem o estresse térmico e a resposta fisiológica do corpo humano em um dado ambiente. Tópico abordado no Capítulo 3, seção 2.3.

## 2.4 Variáveis Meteorológicas

As variáveis ambientais que influenciam o conforto térmico estão relacionadas com condições termo climáticas e podem ser medidas em campo. As variáveis ambientais são obtidas por intermédio da utilização de instrumentos de medição, com exceção da temperatura radiante média, que é determinada por meio do uso de equações. Dentre as variáveis ambientais apontadas pela INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (2005) estão: temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade e velocidade do ar.

### 2.4.1 Temperatura e Umidade do ar

A temperatura do ar é a quantidade de calor que existe no ar e, quando atinge valores reduzidos impõem ao corpo um estresse térmico, causando vasoconstrição, aumento da pressão arterial e liberação de marcadores inflamatórios, contribuindo para a ocorrência de trombose arterial. Dito isto, idosos são caracterizados como a população mais susceptível às variações abruptas de temperatura e umidade afetando a saúde, principalmente aqueles com espessamento e rigidez nas artérias de grande e médio calibre, como as coronárias ((KEATINGE et al., 2000); (DONALDSON; R.; D., 2003); (GOLDEN et al., 2008)).

A umidade do ar, no que lhe concerne, é a quantidade de vapor de água contida na atmosfera. A influência desta variável no ramo da saúde se dá, principalmente, no que diz respeito ao conforto térmico e está fortemente relacionada às condições da temperatura do ar, já que os valores de umidade relativa do ar estão em função da temperatura. Ou seja, quando as temperaturas são elevadas, o grau de desconforto é determinado pela umidade, pois, o efeito da absorção e evaporação do suor pela vestimenta e pela pele é dificultada. Logo, quanto mais próximo o ar encontrar-se da sua quantidade máxima de vapor d'água, menor a sua capacidade de reter a água presente na superfície da pele, dificultando a eliminação da energia térmica pelo organismo, causando desconforto e colocando o corpo em estresse (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Temperaturas muito elevadas ou reduzidas (extremas) podem aumentar o risco de morbidade e mortalidade, principalmente em ambientes onde a faixa de conforto térmico não apresenta boa abrangência climática, caracterizando os indivíduos como uma população com menor tolerância à essas adversidades bioclimáticas (CHANGNON et al., 2000).

Desta forma, é possível observar a aplicabilidade da temperatura no cotidiano das pessoas ao avaliar a forma com que se vestem. Fatores meteorológicos influenciam fazendo com que as pessoas variem duas roupas de acordo com as estações e o clima local de sua região, assim como é mostrado na figura 2, em que se nota a grande diferença entre as roupas dos povos beduínos, indígenas e europeus devido ao conforto, principalmente relacionado à temperatura do ambiente.



**Figura 2 – Diferença entre as roupas dos povos beduínos, indígenas e europeus devido a influência do clima local e cultura**



Fonte: Insight Geopolítico (2012); Observatório da Sociedade Civil (2017) e GZH Mundo (2017)

#### 2.4.2 Radiação

A radiação térmica é uma grandeza considerada no conforto térmico, podendo ser transmitida tanto pelos corpos sólidos como pelos fluidos, sem precisar de um meio material para ocorrer, sendo transportada por ondas eletromagnéticas. Além disto, sua relação com as cores são demasiado importante, dado que a quantidade de calor que cada cor absorve ou reflete é diferente. Ou seja, quanto mais escura for a cor, maior a porção de calor absorvida, e isto é considerado, por exemplo, nas roupas de modo a maximizar o conforto.

Desta forma, a radiação solar é a promotora do aquecimento direto, mais efetiva para o conforto térmico externo, atuando diretamente no corpo humano através de sua incidência nos ambientes (SILVA; ALVAREZ, 2015).

A radiação direta e difusa são as utilizadas para avaliação do conforto. Para ambientes internos, a radiação atua no processo de aquecimento das estruturas arquitetônicas, as quais devem ser desenhadas a fim de promover ambientes com equilíbrio térmico, idealizando espaços frescos durante o dia (quando as temperaturas são mais altas) e mais aquecidos durante a noite (FROTA; SCHIFFER, 2001). Além disto, essas radiações também são grandezas consideradas quando trata-se das roupas, pois se utiliza de diferentes cores das peças para maximizar o conforto, pois, quanto mais escura for a cor do traje, normalmente maior será a porção de calor absorvida.

#### 2.4.3 Velocidade do Vento

A velocidade do vento é a quantificação do movimento do ar numa unidade de tempo e pode ser medida de vários modos. Sua influência no conforto térmico é de acordo com sua ação dinâmica e refrescante no corpo humano, positiva em casos de extremo calor e umidade e, às vezes negativa (em casos de frio). Para o conforto térmico, o aspecto mais

importante quanto ao vento é a sua velocidade (SARTORI, 2000).

Sob vento de velocidade elevada, a pele humana transmite avisos de estresse ao cérebro; quando o vento domina as condições de tempo, as pessoas tempo-sensitivas parecem se tornar emocionalmente desorientadas, por exemplo. Brisas moderadas também podem ser problemáticas para pessoas com enfermidades respiratórias, já que transportam poeira, poluentes, polens e outros alérgicos. A maioria das pessoas também não gosta de ar calmo, porque pode preceder tempestades, afetando-as psicológica e/ou fisicamente (BEDFORD; WARNER, 1934) . Ou seja, dependendo da condição das outras variáveis meteorológicas e da velocidade do vento, o mesmo pode apresentar uma contribuição positiva ou negativa.

#### 2.4.4 Resistência das roupas

Quando existem barreiras entre a pele e o ambiente, a circulação do ar fica comprometida, podendo ser positivo (em situação de frio, por exemplo) ou negativo, como no verão, em que dificulta a eliminação do vapor em forma de suor, fazendo-o condensar, consequentemente a roupa e a pele ficam úmidas ocasionando desconforto e podendo favorecer a proliferação de fungos e/ ou bactérias (RUAS, 2002).

De modo geral, as roupas reduzem a perda de calor do corpo. Portanto, são classificadas de acordo com seu valor de isolamento, normalmente, a unidade usada para medir o isolamento das roupas é Clo, o qual expressa o efeito do aquecimento ou resfriamento para manter a temperatura do corpo no estado de balanço de energia , mas  $\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C} / \text{W}$  também é vista com frequência ( $1 \text{ Clo} = 0,155 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C} / \text{W}$ ). Desta forma, cada peça de roupa tem um valor numérico associado que representa sua resistência, como pode-se verificar na tabela 2.

**Tabela 2 – Índice de resistência térmica para cada peça de roupa**

<b>Roupas</b>	<b>Índice de Resistência Térmica (Clo)</b>
Meia calça	0,10
Meia fina	0,03

<b>Roupas</b>	<b>Índice de Resistência Térmica (Clo)</b>
Meia grossa	0,05
Calcinha e sutiã	0,03
Cueca	0,03
Cueca longa	0,10
Camiseta	0,09
Camiseta de mangas longas	0,12
Camisa de mangas curtas	0,15
Camisa fina de mandas longas	0,20
Camisa de mangas longas	0,25
Camisa de flanela de mangas longas	0,30
Sweater	0,30
Casaco pesado	0,60
Saia grossa	0,25
Vestido leve	0,15
Vestido grosso com mangas longas	0,40
Jaqueta	0,35
Calça fina	0,20
Calça média	0,25
Calça de flanela	0,28
Sapatos	0,04
Botas	0,10
Cachecol	0,05
Luvas	0,05
Chapéu/ Boné	0,05

Fonte (ISO 7730, 2015)

A escala Clo é projetada para que uma pessoa nua tenha um valor de 0,0 Clo e uma pessoa vestindo um terno tenha um valor de 1,0 Clo. Desta maneira, os valores apresentados na tabela representam a contribuição de cada peça que, quando somados, representam o valor total das roupas utilizadas.

O valor da contribuição final das peças dependerá do volume total de roupas utilizadas e está relacionada à finalidade de obter conforto térmico que dependerá de todos os fatores citados anteriormente, sobretudo às condições ambientais.

A obtenção do valor Clo via equacionamento será apresentado na seção 3.5. Ao

calcular os valores da resistência dos trajés, é importante ressaltar que assentos estofados, assentos de carro e camas também reduzem a perda de calor do corpo e, logo, eles devem ser incluídos no cálculo geral fazendo considerações sobre o meio e a atividade que a pessoa, em questão, está inserida.

Com relação ao equacionamento, a modelagem da resistência da roupa, assumindo condições de estado estacionário e servindo como um indicador térmico ambiental ao ar livre, iniciou-se nos 1930 (GAGGE; WINSLOW; HERRINGTON, 1937).

A abordagem de Gagge, Winslow e Herrington (1937) é modificada por Burton e Edholm (1955) para alcançar aplicações mais adequadas em diferentes regiões climáticas da Terra (por exemplo, Auliciems (1976); Auliciems e Kalma (1979), Blazejczyk e Krawczyk (1991), YAN e OLIVER (1996), Yan (2005), Robaa e Hasanean (2007)).

Em todos esses estudos, a roupa é caracterizada por sua taxa de isolamento térmico, ou seja, não é vista como um regulador térmico. Desta forma, considerando a roupa como um isolante térmico, somente valores positivos da resistência da roupa ( $r_{clo}$ ) podem ser considerados, pois, segundo essa metodologia, não existiria roupa com a capacidade de resfriar. Ou seja, valores negativos, referentes a climas quentes devem ser desconsiderados ou equiparados à zero como se o indivíduo estivesse nu (como, por exemplo, no trabalho de Yan (2005)).

Recentemente, Ács, Kristóf e Zsákai (2019) propôs um novo modelo em que o comportamento da resistência da roupa é interpretado como o efeito de aquecimento/resfriamento da roupa no corpo humano em clima frio/ quente; correspondentemente, pode possuir não apenas valores positivos em clima frio, mas também valores negativos em clima quente, de modo a manter o equilíbrio térmico. Portanto, é uma área em amplo desenvolvimento e de grande interesse.

## 2.5 Índices de Conforto

Os índices de conforto são derivados de equações que visam descrever a conexão entre os parâmetros físicos mensuráveis e a sensação termicamente neutra, conforme experimentado pela pessoa, podendo esta representar a média do grupo ou individual.

A equação de conforto é uma ferramenta operacional que, ao medir parâmetros físicos, permite avaliar sob quais condições o conforto térmico pode ser oferecido em um local de trabalho, por exemplo.

De modo geral, os índices de conforto revelam a influência dos fatores meteorológicos e antropológicos sobre a sensação térmica. Portanto, é importante saber qual equação pretende-se utilizar e quais parâmetros de entrada ela exige.

Ao longo do tempo, diversos índices de conforto térmico foram desenvolvidos, sendo que muitos deles objetivaram relacionar variáveis do ambiente tais como temperatura, umidade, ventos e radiação com processos fisiológicos de trocas térmicas como taxa de

metabolismo e taxa de sudção, considerando, até mesmo, variações nos trajes utilizados (LOIS et al., 2001). Deste modo, 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 (PEREIRA; ASSIS, 2010).

Na seção 2.2 foram citados dois tipos de abordagens relacionadas aos confortos: a estática e a adaptativa. A abordagem estática refere-se aos estudos realizados por Fanger (1970), em que os experimentos são realizados em câmaras climatizadas e não consideram o usuário agindo de forma ativa em relação ao conforto térmico. Nessa categoria de estudo, o pesquisador controla as variáveis ambientais e as variáveis pessoais com o objetivo de verificar a combinação que gera o maior conforto para o indivíduo naquele ambiente.

Para os estudos que optam por uma abordagem adaptativa, as medições são realizadas em ambientes reais e os pesquisadores consideram a interação ativa do usuário em relação ao ambiente para atingir o conforto térmico (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

No caso deste estudo, a abordagem apresentada é uma abordagem adaptativa, uma vez que não havia controle do ambiente e os índices de conforto térmico utilizados nessa pesquisa estão descritos nas sessões abaixo.

### 2.5.1 Voto Médio Estimado (PMV)

Fanger (1970) redefiniu o conceito de conforto térmico por meio do voto médio estimado (Predicted Mean Vote - PMV) realizando experimentos em câmaras climatizadas e aplicando um questionário sobre a percepção térmica.

Estes questionários eram compostos por níveis que variavam em uma escala de sensações de sete pontos e que representavam a satisfação térmica dos voluntários em relação às combinações das variáveis térmicas. Em seguida, os valores observados nos questionários eram comparados com o percentual de indivíduos insatisfeitos.

Entretanto, devido às diferenças pessoais, é impossível especificar um ambiente térmico que irá satisfazer a todos, pois, sempre haverá uma porcentagem de indivíduos insatisfeitos (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2005). Contudo, é viável estabelecer ambientes aceitáveis para uma porcentagem de ocupantes.

O índice PMV estabelece o voto médio de um indivíduo ou de um grupo de indivíduos nas mesmas circunstâncias, correlacionando em uma escala de sete pontos de conforto térmico que variam de frio a quente, conforme mostra a tabela 3. Em que, valores acima de +0,5 indicam desconforto por elevadas temperaturas e valores abaixo de -0,5 indicam desconforto por baixas temperaturas.

**Tabela 3 – Escala de sensação térmica do índice PMV**

Valor da sensação térmica (PMV)	Descrição
+3	Muito quente
+2	Quente
+1	Levemente quente
0	Neutro
-1	Levemente frio
-2	Frio
-3	Muito frio

Fonte ( ISO 7730, 2005)

O índice PMV pode ser obtido quando há dados sobre o metabolismo, o isolamento térmico, e quando as quatro variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade e velocidade do ar) forem medidas de acordo com as determinações da ISO 7726 (1998). Podendo ser obtido via equação 2.1 :

$$\begin{aligned}
 PMV = & (0,303 \cdot e^{-0,036M} + 0,028) \cdot [(M - W) \\
 & - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99(M - W) - p_a] \\
 & - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) \\
 & - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_{ar}) \\
 & - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] \\
 & - f_{cl} \cdot h_{cl} \cdot (t_{cl} - t_{ar})]
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

Onde:

$PMV$  = Voto Médio Estimado (Predicted Mean Vote) [adimensional]

$M$  = Metabolismo [ $W/m^2$ ]

$W$  = Trabalho dos Músculos [ $W/m^2$ ]

$p_a$  = Pressão de Vapor no Ar [kPa]

$t_{ar}$  = Temperatura do Ar [ $^{\circ}C$ ]

$f_{cl}$  = Razão de Área do Corpo Vestido e Corpo Nú [adimensional]

$t_{cl}$  = Temperatura Superficial das Roupas [ $^{\circ}C$ ]

$h_{cl}$  = Coeficiente de Convecção entre Ar e Roupas [ $W/m^2 \cdot ^{\circ}C$ ]

### 2.5.2 Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD)

O índice referente à porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD - *Predicted Percentage Dissatisfied*) é obtido a partir do PMV, e representa a porcentagem de indivíduos que não se sentem confortáveis termicamente de acordo com a escala de sete pontos de percepção proposta por Fanger (1970). Entretanto, os indivíduos que votaram +1 ou -1 na escala de percepções, não são considerados como insatisfeitos para a obtenção do índice do PPD, uma vez que não manifestavam uma situação de desconforto significativa.

Desta forma, o PPD pode ser obtido via equacionamento, como é expressado pela equação 2.2:

$$PPD = 100 - 95.e^{-[0,03353.PMV^4+0,2179.PMV^2]} \quad (2.2)$$

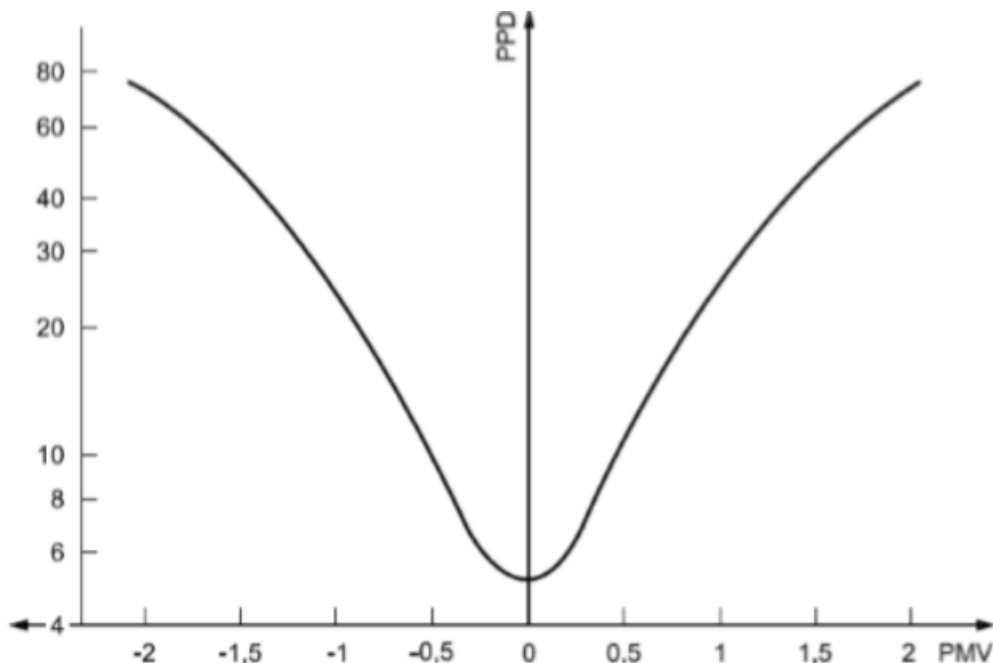
Onde:

$PPD$  = Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (Predicted Percentage Dissatisfied) [%]

$PMV$  = Voto Médio Estimado (Predicted Mean Vote) [adimensional]

Ou por meio do gráfico presente na INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (2005), conforme ilustra a figura 3. De acordo com essa norma, um ambiente é considerado confortável termicamente quando ele satisfaz pelo menos 80% dos seus usuários.

**Figura 3** – Gráfico da porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD) em função do voto médio estimado (PMV)



Fonte (ISO 7730, 2005)

### 2.5.3 Temperatura Equivalente Fisiológica (PET)

HÖPPE (1999) propôs o Modelo de Munich (MEMI), baseando-se também na equação de balanço térmico, considerando o modelo de dois nós de GAGGE (1986) apud ASSIS (2005). Além disto, ele também definiu o índice de temperatura equivalente fisiológica, cujo nome e sigla em inglês são *Physiological Equivalent Temperature* (PET).

O PET é definido como a temperatura do ar (interna ou externa) em que o balanço térmico do corpo humano é equilibrado com as mesmas temperaturas central e da pele, em um ambiente interno de referência em relação às condições externas a serem avaliadas, classificado em níveis de estresse fisiológico, variando de “calor extremo” a “frio extremo” (CARRILLO-GARCÍA et al., 2013).

Nince et al. (2013) afirma que estudos recentes indicam que o PET é a escolha mais adequada para avaliar as condições de conforto térmico dos ambientes ao ar livre, devido à consideração da interrelação entre balanço de energia do corpo humano e de radiação de onda curta. Faixas de conforto térmico presentes na tabela 4.

### 2.5.4 Índice Climático Térmico Universal (UTCI)

A Comissão da Sociedade Internacional de Biometeorologia (*International Society of Biometeorology* - ISB) desenvolveu o Índice Climático Térmico Universal (*Universal Thermal Climate Index* - UTCI) com base no mais avançado modelo multi-nó da termorregulação que representa progresso na ciência nas últimas três ou quatro décadas, tanto em termo-fisiológico como em teoria de troca de calor (JENDRITZKY; DEAR; HAVENITH, 2011).

A temperatura UTCI é equivalente para dada combinação das variáveis climáticas (vento, radiação, umidade e temperatura do ar) e é definida como a temperatura do ar do ambiente de referência, que produz o mesmo valor de estresse térmico do ambiente real. Resulta em uma temperatura equivalente a um ambiente de referência, sendo válido para todo o intervalo de trocas de calor entre o corpo e o ambiente, podendo também ser classificado em categorias de estresse térmico por faixas da temperatura resultante, variando de “estresse por frio extremo” a “estresse por calor extremo” (BRÖDE; KRÜGER; ROSSI, 2011).

Segundo Bröde, Krüger e Rossi (2011), o PET é um dos índices mais utilizados para analisar o conforto térmico no Brasil, enquanto o UTCI é o mais recente modelo desenvolvido e desenvolvido para áreas externas, no intuito de ser aplicável a todos os tipos de clima. Abrangendo as seguintes faixas climáticas:  $-50^{\circ}\text{C} \leq t_a \leq 50^{\circ}\text{C}$ ,  $-30^{\circ}\text{C} \leq t_{rm} - t_a \leq 70^{\circ}\text{C}$ , velocidade de vento entre 0,5 e 30,3 m/s e umidade relativa de 5% a 100% (pressão de vapor máxima 5 kPa) e faixas de conforto térmico especificadas na tabela 4.



Tabela 4 – Escala dos índices PET (°C) e UTCI (°C)

Faixa de PET (°C)	Faixa de UTCI (°C)	Categoria de Estresse
>+41	>+46	Calor extremo
+35 a +41	+38 a +46	Calor muito forte
+29 a +35	+32 a +38	Calor forte
+23 a +29	+26 a +32	Calor moderado
+18 a +13	+9 a +26	Nenhum
+13 a +18	+9 a 0	Frio leve
+8 a +13	0 a -13	Frio moderado
+4 a +8	-13 a -27	Frio forte
-	-27 a -40	Frio muito forte
<+4	abaixo de -40	Frio extremo

Fonte (PANAGIOTIS, T.; NASTOS, P. T., MATZARAKIS, A. (2011))

### 2.5.5 Temperatura de Globo e de Bulbo Úmido (WBGT)

Este é um índice proposto por YAGLOU e MINARD (1957). Segundo a Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (*National Oceanic and Atmospheric Administration* - NOAA) do Serviço Nacional de Meteorologia (*National Weather Service*), o WBGT é uma medida do estresse térmico causado pela luz solar direta, que leva em consideração: a temperatura do ar (temperatura de bulbo seco), a temperatura de bulbo úmido natural (ambiente ventilado naturalmente), a temperatura de globo.

O WBGT se difere do índice de calor, que leva em consideração temperatura e umidade, calculado para áreas com sombra. Portanto, para àqueles que trabalham ou se exercitam sob luz solar direta, esse é um bom elemento para monitorar. Agências militares, OSHA e muitos países usam o WBGT como um guia para gerenciar a carga de trabalho sob luz solar direta.

A norma ISO 7243 (1989) avalia o estresse térmico do trabalhador com base na temperatura de globo e de bulbo úmido, segundo o método originalmente proposto por YAGLOU e MINARD (1957). A adoção desse índice empírico pela norma deve-se à facilidade de realização das medições requeridas no ambiente em avaliação. Mas atualmente existem algumas tabelas mais fáceis de serem interpretadas ao usuário, em que indica a temperatura de globo e de bulbo úmido e quais as ações sugeridas e prevenções aos impactos como mostra a tabela 5.

**Tabela 5 – Escala WBGT (°C) e as ações sugeridas para prevenção aos impactos**

WBGT (°C)	Impactos	Ações Sugeridas
< 26,6	-	-
26,6 - 29,4	Trabalhar ou exercitar-se sob a luz direta do sol stressará seu corpo após 45 minutos	Faça pelo menos 15 minutos de pausas a cada hora se estiver trabalhando ou se exercitando sob luz solar direta
29,4 - 31	Trabalhar ou se exercitar sob a luz direta do sol stressará seu corpo após 30 minutos	Faça pelo menos 30 minutos de intervalo a cada hora se estiver trabalhando ou se exercitando sob luz solar direta
31 - 32	Trabalhar ou se exercitar sob a luz direta do sol stressará seu corpo após 20 minutos	Faça pelo menos 40 minutos de intervalo a cada hora se estiver trabalhando ou se exercitando sob luz solar direta
> 32	Trabalhar ou se exercitar sob a luz direta do sol stressará seu corpo após 15 minutos	Faça pelo menos 45 minutos de pausas a cada hora se estiver trabalhando ou se exercitando sob luz solar direta

Fonte (National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA, 2015)

Como, por exemplo, ao realizar atividades ao ar livre quando o WBGT é alto, segundo a tabela 5, o ideal seria fazer pausas na sombra. As atividades extenuantes ao ar livre devem ser reduzidas, especialmente sob luz solar direta, onde há pouca ventilação, o ideal é beber bastante água ou outros líquidos sem álcool, pois o corpo precisa de água para se refrescar, independente de estar com sede ou não. Por fim, não se deve tomar Sol, a queimadura solar torna o trabalho de dissipação de calor muito mais difícil.

### 2.5.6 Temperatura Equivalente Percebida (TEP)

Este é um índice desenvolvido por MONTEIRO (2008) na cidade de São Paulo, correlacionando as variáveis ambientais e o valor médio de percepção de sensação térmica de 72 situações levantadas em caráter laboratorial na Cidade Universitária (tendo como base resultados de 1750 questionários válidos).

É um índice que voltado para espaços abertos, pela vantagem de não precisarem, em princípio, de escalas interpretativas. Por este motivo, podem ser utilizados individualmente como valores de referência para sensação térmica, já que consideram as diferentes variáveis ambientais e apresentam interpretação de caráter indutivo (MONTEIRO, 2008).

Neste índice, a temperatura equivalente percebida de um dado ambiente pode ser definida como uma escala de sensação térmica que apresenta valores numericamente iguais aos da temperatura do ar de um ambiente de referência em que se verifica o mesmo valor médio de percepção de sensação térmica que no ambiente em questão. Dado pela equação 2.3 e com as faixas de conforto especificadas na tabela 6.

$$TEP = -3,777 + 0,4828.t_{ar} + 0,5172.t_{rm} + 0,0802.ur - 2,322.v_{ar} \quad (2.3)$$

Onde:

$TEP$  = Temperatura Equivalente Percebida [°C]

$t_{ar}$  = Temperatura do Ar [°C]

$t_{rm}$  = Temperatura Radiante Média [°C]

$ur$  = Umidade do Ar [%]

$v_{ar}$  = Velocidade do Vento [m/s]

### 2.5.7 Temperatura Equivalente Percebida Adaptativa ( $TEP_A$ )

MONTEIRO (2008) , neste mesmo estudo na cidade de São Paulo, acrescenta à equação correlações da temperatura equivalente percebida com as variáveis pessoais de taxa metabólica e resistência das roupas. Há também a consideração da temperatura média dos 30 dias anteriores ou da temperatura média mensal, como pode ser visto na equação 2.4:

$$TEP_A = -29,877 + 0,4828.t_{ar} + 0,5172.t_{rm} + 0,0802.ur - 2,322.v_{ar} - 0,1742.t_{mm} + 5,118M + 38,023r_{clo} \quad (2.4)$$

Onde:

$TEP_A$  = Temperatura Equivalente Percebida Adaptativa [°C]

$t_{ar}$  = Temperatura do Ar [°C]

$t_{rm}$  = Temperatura Radiante Média [°C]

$ur$  = Umidade do Ar [%]

$v_{ar}$  = Velocidade do Vento [m/s]

$t_{mm}$  = Temperatura Média Mensal [°C]

$M$  = Metabolismo [ $W/m^2$ ]

$r_{clo}$  = Resistência das Roupas [clo]

Faixa de conforto presente na tabela 6.

### 2.5.8 Temperatura Equivalente Percebida, Estação Meteorológica ( $TEP_M$ )

Foi desenvolvida por MONTEIRO (2008) com a finalidade de estender as possibilidades de intervenção no ambiente urbano mantendo o desempenho térmico quanto ao conforto. Desta forma, este é outro possível cálculo da temperatura equivalente percebida, evidenciado na equação 2.5, onde se nota que é necessário estimar quatro variáveis microclimáticas para o ambiente em questão de modo a calculá-lo.

$$TEP_M = -3,777 + 0,4828.t_{ar} + 0,0137.rad + 0,0802.ur - 0,8322.v_{ar} \quad (2.5)$$

Onde:

$TEP_M$  = Temperatura Equivalente Percebida, Estação Meteorológica [°C]

$t_{ar}$  = Temperatura do Ar [°C]

$rad$  = Radiação [W/m<sup>2</sup>]

$ur$  = Umidade do Ar [%]

$v_{ar}$  = Velocidade do Vento [m/s]

Faixa de conforto presente na tabela 6.

### 2.5.9 Temperatura Equivalente de Globo (TEG)

MONTEIRO (2008) também nomeia este índice de temperatura equivalente percebida *in loco*. Ele explica que para simplificação, é possível considerar que, em alguns casos onde as pessoas já estão, em geral, aclimatadas e, também em situações em que, a umidade relativa varia, mas a umidade absoluta é mais ou menos constante ao longo de um período, observa-se que o coeficiente da umidade relativa apresenta pequeno peso na equação do índice. Portanto, as trocas secas são as que determinam o resultado final. Assim, para facilidade de levantamentos de campo, basta a utilização de um termômetro de globo cinza para uma favorável predição da temperatura equivalente percebida *in loco* e a aplicação da equação 2.6.

$$TEG = t_g - 0,7 \quad (2.6)$$

Onde:

$TEG$  = Temperatura Equivalente de Globo [°C]

$t_g$  = Temperatura de Globo [°C]

Faixa de conforto presente na tabela 6.

### 2.5.10 Percepção de Sensação Térmica (Tsp)

Este também é um índice proposto por MONTEIRO (2008), estatisticamente similar ao TEP, mas com escala qualitativa, em vez de escala equivalente de temperatura. A utilização do Tsp facilita a comparação de resultados com outros índices qualitativos, enquanto a utilização do TEP é mais facilmente confrontada com outros índices de temperatura equivalente.

Cálculo dado pela equação 2.7 e faixa de índices pela tabela 6.

$$Tsp = -3,557 + 0,0632t_{ar} + 0,0677t_{rm} + 0,0105ur - 0,304v_{ar} \quad (2.7)$$

Onde:

$T_{sp}$  = Percepção de Sensação Térmica [°C]

$t_{ar}$  = Temperatura do Ar [°C]

$t_{rm}$  = Temperatura Radiante Média [°C]

$ur$  = Umidade do Ar [%]

$v_{ar}$  = Velocidade do Vento [m/s]

**Tabela 6 – Escala de conforto dos índices Tsp, TEP, TEPA, TEPM e TEG (°C)**

Sensação	Tsp	TEP, TEG (°C)	TEPM (°C)	TEG (°C)
Muito calor	< -2,5	> 42,4	35 a 41	38 a 46
Calor	- 2,5 a -1,5	34,9 a 42,4	29 a 35	32 a 38
Pouco calor	-1,5 a - 0,5	27,3 a 34,8	23 a 29	26 a 32
Neutralidade	-0,5 a 0,5	19,6 a 27,2	18 a 23	9 a 26
Pouco frio	0,5 a 1,5	12 a 19,5	13 a 18	0 a 9
Frio	1,5 a 2,5	4,4 a 11,9	8 a 13	-13 a 0
Muito frio	> 2,5	< 4,4	4 a 8	-27 a -13

Fonte (MONTEIRO, 2018)

Conforme pode ser verificado na tabela apresentada, o valor central da faixa de sensação térmica neutra é 23,4 °C. Isto significa que quando a temperatura equivalente percebida (TEP) assume esse valor, é quando há maior neutralidade e uma maior porcentagem de pessoas satisfeitas com o ambiente.

### 3 Materiais e Métodos

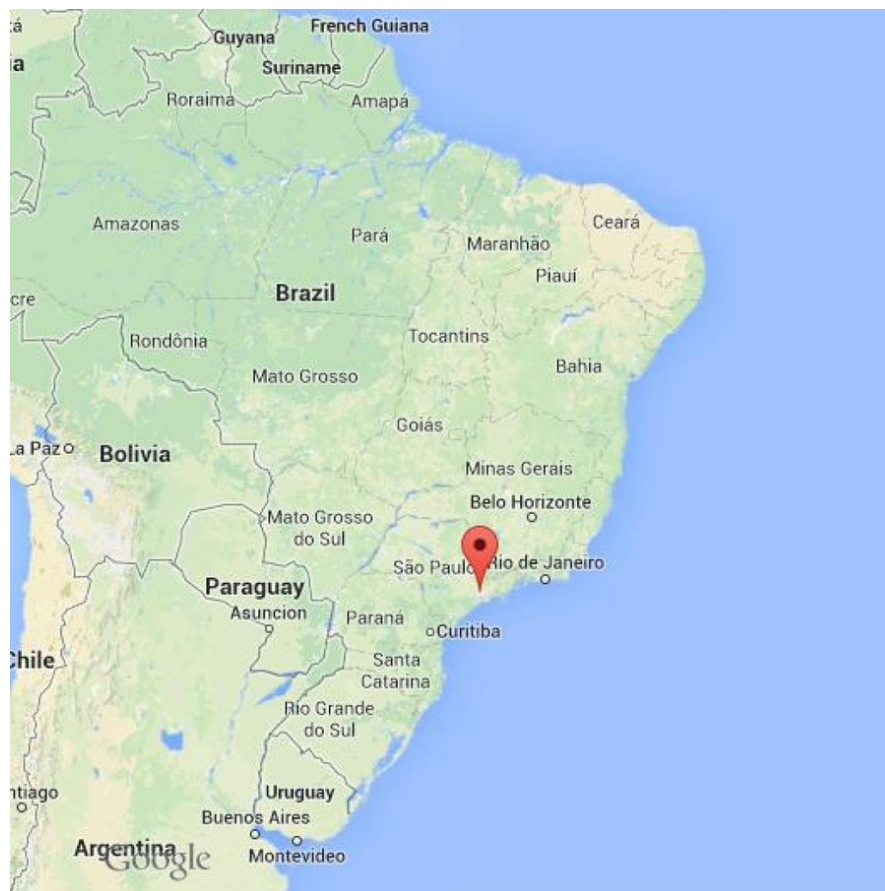
#### 3.1 Área de Estudo

O modelo de conforto térmico foi aplicado em um dia típico de verão e de inverno em duas regiões distintas de modo a comparar o quanto as variações climáticas e sazonais afetam os resultados. Para realizar essa comparação, foram considerados os municípios de São Paulo, Brasil e Budapeste, Hungria. Aqui vale ressaltar as restrições e limitações discutidas na seção 1.3.

##### 3.1.1 São Paulo, Brasil

O estado de São Paulo se localiza no Sudeste brasileiro como é apresentado na figura 4 e é a unidade de federação mais populosa do país, com 46 milhões de pessoas. A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é composta por 39 municípios e, quase 50% de toda a população paulista se encontra na RMSP, totalizando cerca de 21,6 milhões de habitantes (IBGE, 2021; EMPLASA, 2019).

Figura 4 – Localização de São Paulo a nível America do Sul



Google Maps, 2021

Já a capital, São Paulo (figura 5), é caracterizada por ser a cidade mais populosa de todo o hemisfério sul, possuindo cerca de 12.396.372 habitantes em uma área de 1.521,110 km<sup>2</sup> segundo as estatísticas do IBGE (2021) e EMPLASA (2019).

**Figura 5 – Localização da capital, São Paulo, no estado de São Paulo**



Raphael Lorenzeto de Abreu, 2006

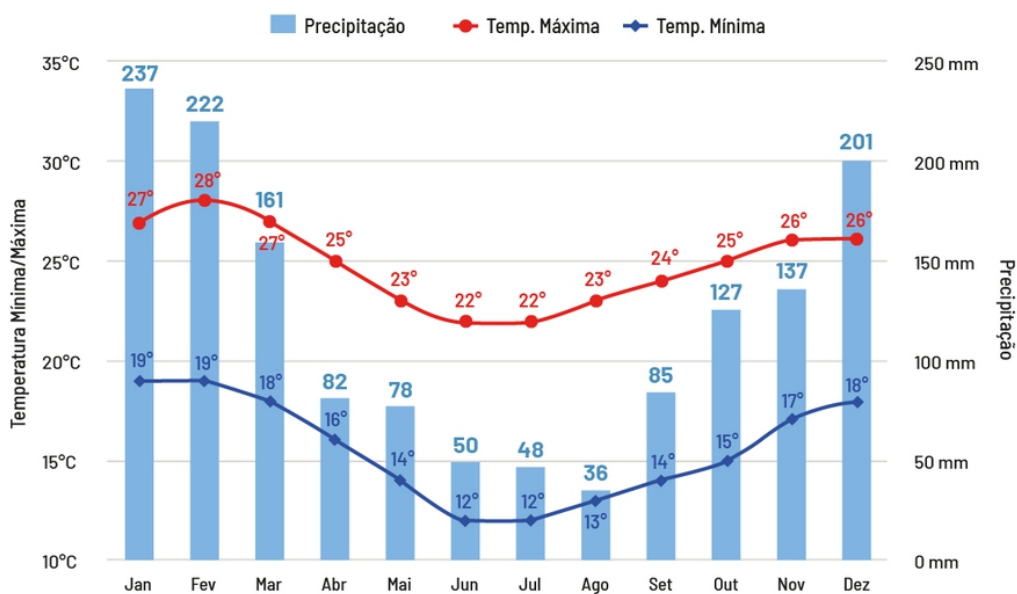
O clima predominante da região, segundo a classificação de Köppen é Cwa, caracterizado por ser um clima temperado quente, com chuvas de verão e, verão quente com temperatura do ar média acima de 27°C (ALVARES et al., 2013). Quanto aos fenômenos atuantes na região encontram-se as frentes frias, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), brisa marítima e os efeitos do relevo (orografia) (MORAIS; CASTRO; TUNDISI, 2010).

Desta forma, o verão de São Paulo é caracterizado por ser meteorologicamente morno, abafado, com precipitação e de céu quase encoberto conforme figura 6. Para o inverno, este é considerado curto, ameno e de céu parcialmente encoberto. Ao longo do ano, como é apresentado na figura 6 desenvolvida pela Climatempo a partir de uma análise climatológica, em geral, a temperatura varia de 12 °C a 28 °C e, de acordo com a análise climatológica, raramente é inferior a 10 °C ou superior a 32 °C. Entretanto, recentemente, recordes de temperatura estão sendo alcançados devido sinais da já prevista mudança climática devido ao aquecimento global.

Figura 6 – Médias de precipitação e temperatura na cidade de São Paulo (análise climatológica)

# Tempo paulistano

Médias de precipitação e temperatura na cidade de São Paulo\*

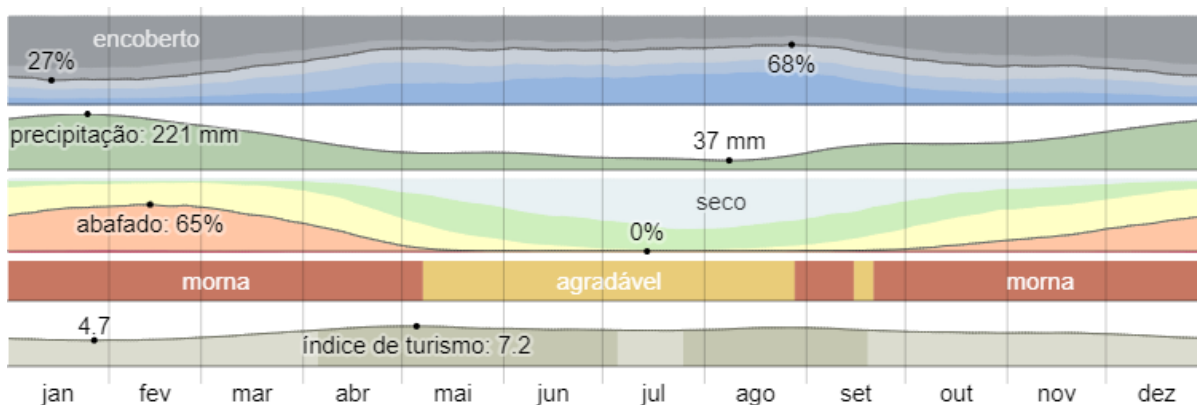


\*As médias climatológicas são valores calculados a partir de um série de dados de 30 anos observados.  
 Fonte: Climatempo

Climatempo, 2020

Dito isto, o Spark (2021) realizou um estudo fazendo uma análise climatológica de São Paulo relacionada ao índice de turismo. Análise que reforça a caracterização e descrição realizada no parágrafo anterior.

Figura 7 – Condições meteorológicas por mês de São Paulo considerando nebulosidade, precipitação, umidade e temperatura relacionados ao índice de turismo (climatologia)



Weather Spark, 2021



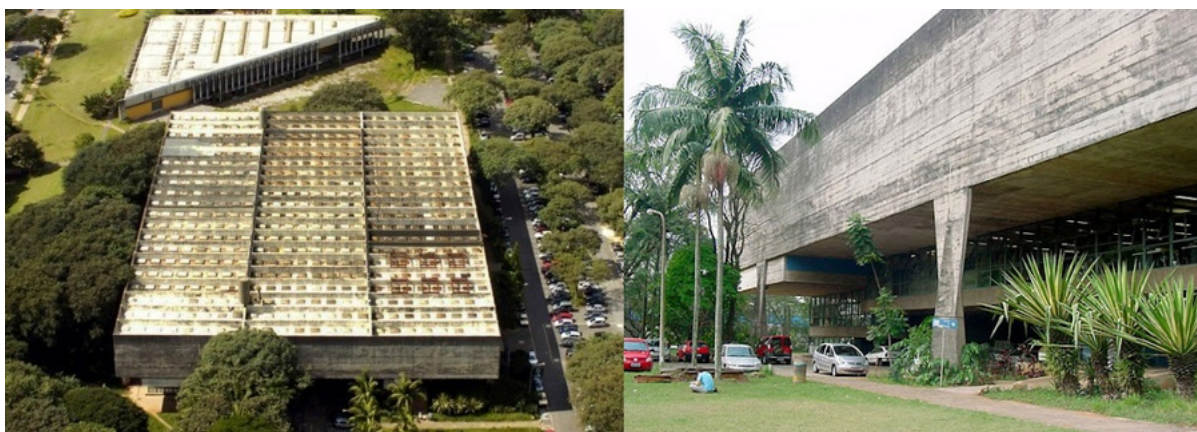
Desta forma, o estudo foi aplicado para cidade de São Paulo dentro das instalações da Universidade de São Paulo (USP), no Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) e na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) apresentados nas figuras 8 e 9, respectivamente. Ambos os institutos se localizam dentro dos limites da cidade universitária e possuem ambientes arborizados e amplo.

**Figura 8 – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas localizado na cidade universitária da Universidade de São Paulo (IAG/ USP) visão aérea e frontal**



Site oficial do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/ USP)

**Figura 9 – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo localizado na cidade universitária da Universidade de São Paulo (FAU/ USP) visão aérea e frontal**



Google Imagens, 2021

### 3.1.2 Budapeste, Hungria

A Hungria é um país pertencente a União Europeia, portanto, localiza-se no centro-leste europeu fazendo divisa com a Áustria, Eslováquia, Ucrânia, Romênia, Sérvia, Croácia e Eslovênia assim como é apresentado na figura 10. Este é um país pequeno comprado à extensão territorial e populacional brasileira, possuindo 9.730.772 habitantes distribuídos numa área de 93.022 km<sup>2</sup> conforme os dados de 2019 do Gabinete Central de Estatística da Hungria (KSH, 2021).

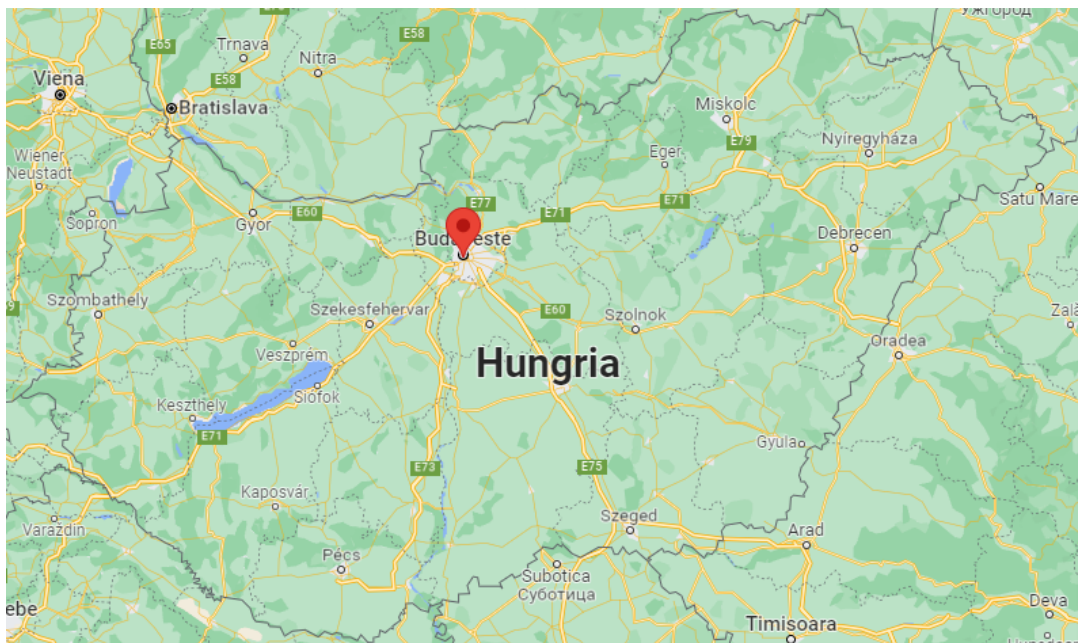
Figura 10 – Localização de Budapeste no mapa a nível Europa



Google Maps, 2021

Já a capital, Budapeste (figura 11), localiza-se na porção centro-norte do país e é caracterizada por ser a cidade mais populosa da Hungria, possuindo cerca de 1.779.361 habitantes em uma área de 525,2 km<sup>2</sup> segundo os dados de 2019 do Gabinete Central de Estatística da Hungria (KSH, 2021) .

Figura 11 – Localização da capital, Budapeste, na Hungria



Google Maps, 2021

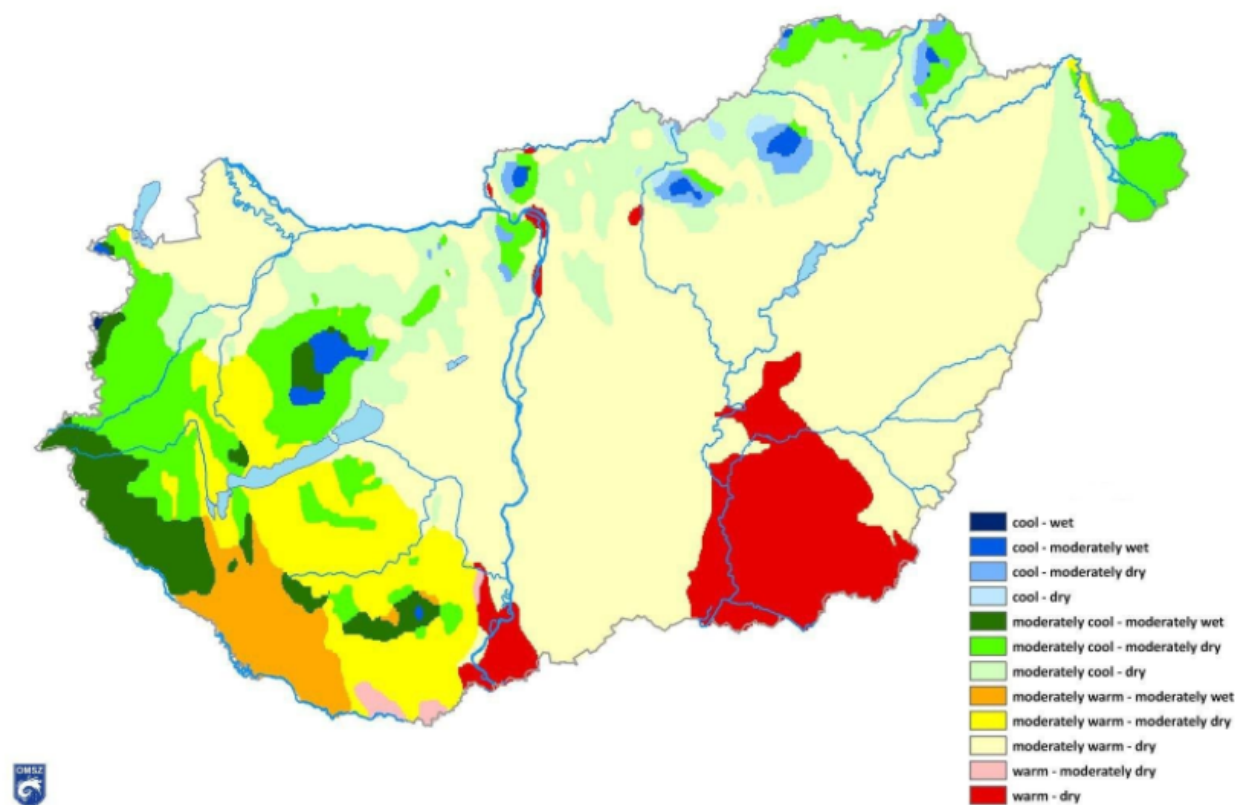


Devido a localização da Hungria (entre as latitudes 45 ° 45'N e 48 ° 35'N), posicionada entre o Equador e o Pólo Norte, situa-se na zona climática temperada e possui três principais zonas climáticas: o clima oceânico, com menos variação de temperatura e precipitação mais uniformemente dispersa; o clima continental, com temperatura mais extrema e precipitação moderada; e um efeito mediterrâneo, com clima seco no verão e úmido no inverno. Ou seja, por um período mais curto ou mais longo, qualquer um desses tipos pode se tornar predominante. Por estes motivos podem ocorrer grandes diferenças no clima do país, apesar de suas altitudes mais baixas e extensão relativamente pequena.

Outro fator muito influente quanto às características climáticas húngaras é a orografia. O país encontra-se cercado pelos Alpes e situado na Bacia dos Cárpatos, em que mais da metade de sua superfície são planícies abaixo de 200 metros e, apenas 2% encontra-se acima de 400 metros. Além disso, por estar localizada entre o oceano e as partes internas do continente euro-asiático, no semestre de verão, as massas de ar dominantes são de origem oceânica e no inverno, principalmente, de origem continental. Desta forma, ao analisar as variáveis meteorológicas observa-se o efeito do Oceano Atlântico e do Mar Mediterrâneo.

No caso da Hungria, não é correto classificá-la de acordo com as classificações climáticas globais (por exemplo, Köppen ou Trewartha). Neste caso, para descrever adequadamente as diferenças dentro do país é utilizado o trabalho do climatologista húngaro György Péczeley, que - levando em consideração o índice de aridez e a duração da estação de cultivo - separou 16 zonas climáticas, das quais 12 podem ser encontradas na Hungria como é apresentado na figura 12.

Figura 12 – Caracterização climática para Hungria

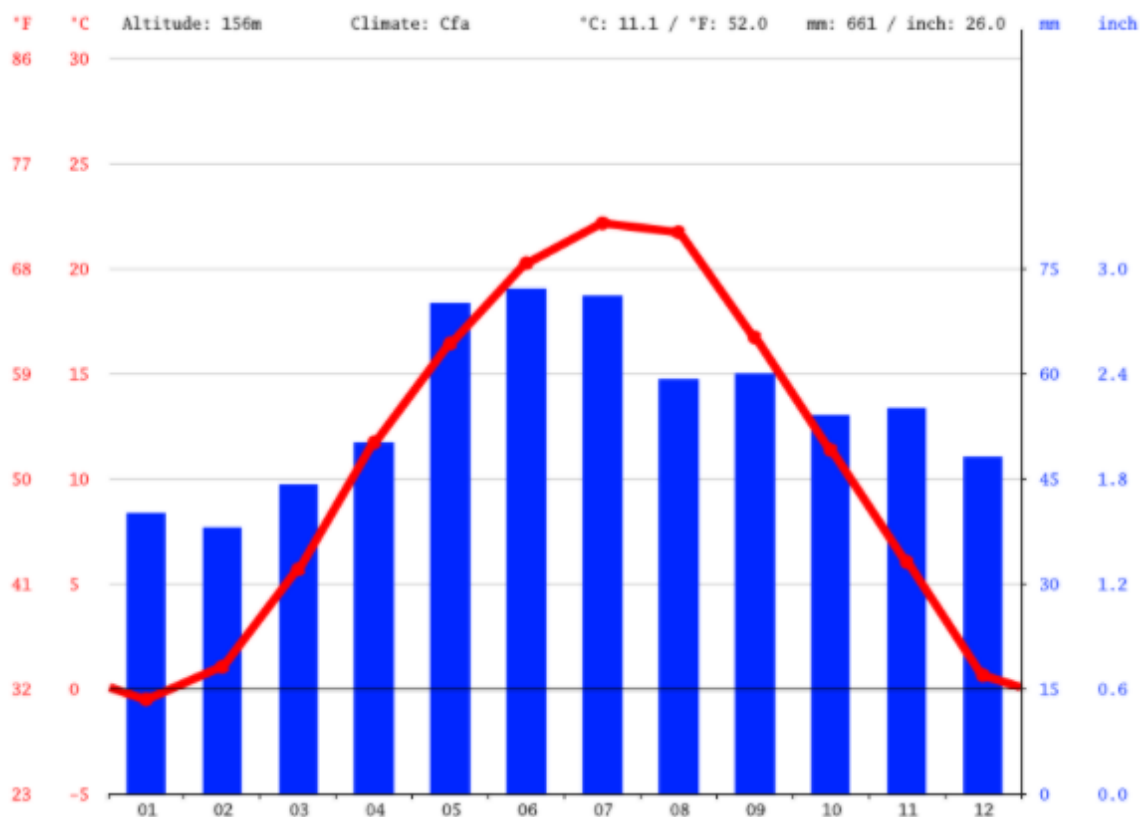


Országos Meteorológiai Szolgálat adaptado de György Péczely

Seguindo esta classificação, grande parte do país tem um clima moderadamente quente e seco. A área dos rios Körös, Maros e a parte inferior do rio Danúbio é quente -, seca. A região nordeste da Hungria (Nyírség) é mais provavelmente moderadamente fria - seca, enquanto a vizinha Planície de Szatmár é moderadamente fria - moderadamente úmida. Na região do Transdanúbio Meridional, as zonas de clima moderadamente quente -, moderadamente seco, o moderadamente quente - moderadamente seco, enquanto no Transdanúbio Ocidental as zonas de clima moderadamente frio - moderadamente seco, e moderadamente frio - moderadamente úmido são típicas. As altitudes mais altas de nossas montanhas têm um clima frio - moderadamente seco e um clima frio - moderadamente úmido. Somente nas montanhas de Kozseg, perto da fronteira ocidental com a Áustria, temos um clima frio e úmido.

Em Budapeste, local de estudo, o clima é predominantemente temperado continental com invernos frios e verões secos (ÁCS et al., 2020), possuindo diferenças de temperatura sazonal bastante elevadas assim como apresentado nas figuras 13, normalmente atingindo 30 °C nos meses de verão e podendo atingir temperaturas negativas no inverno como, por exemplo, -4° C.

Figura 13 – Temperaturas e precipitações médias em Budapeste (Climatologia)



CLIMATE-DATA.ORG

Na figura 14 são contempladas mais variáveis meteorológicas e é interessante avaliar alguns outros parâmetros como, por exemplo, a diferença de 34 mm entre a precipitação do mês mais seco e do mês mais chuvoso. Além disso, as temperaturas médias variam 22.7 °C durante o ano e a umidade relativa mais baixa durante o ano é em Julho (60.71 % - verão europeu) e a mais elevada é em Dezembro (83.37 % - inverno europeu).

Figura 14 – Dados Climatológicos para Budapeste

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	-0.5	1	5.7	11.7	16.4	20.2	22.1	21.7	16.7	11.3	6	0.6
Temperatura mínima (°C)	-3.4	-2.8	0.9	6.3	11.1	15	17	16.6	12.3	7.4	3	-2.1
Temperatura máxima (°C)	2.6	4.9	10.4	16.7	21.1	24.8	26.7	26.4	21.2	15.6	9.4	3.5
Chuva (mm)	40	38	44	50	70	72	71	59	60	54	55	48
Umidade(%)	81%	78%	70%	62%	64%	62%	61%	62%	67%	75%	82%	83%
Dias chuvosos (d)	6	6	6	7	9	8	8	6	6	6	7	7
Horas de sol (h)	4.1	5.2	7.5	10.0	11.1	12.1	12.3	11.4	8.9	6.4	4.6	3.8

CLIMATE-DATA.ORG

Desta forma, o estudo foi aplicado na cidade de Budapeste próximo às instalações da Faculdade de Ciências da Eötvös Loránd University (ELTE) apresentada na figura 15, em que é possível observar a presença de algumas árvores, um grande campo e o rio Danúbio, que divide a cidade.

**Figura 15** – Faculdade de Ciências localizada na Eötvös Loránd University (ELTE) visão lateral de ambos os prédios e do ponto de vista do outro lado do rio Danúbio



Google Imagens, 2021

## 3.2 Coleta de Dados

Dois experimentos foram efetuados na cidade de São Paulo, ambos dentro das instalações da Universidade de São Paulo (USP), sendo um experimento referente ao dia típico de verão e outro de inverno. No caso da Hungria, apenas um experimento foi realizado na cidade de Budapeste devido à pandemia e foi realizado próximo às instalações da Eötvös Loránd University (ELTE), sendo este referente ao caso de inverno.

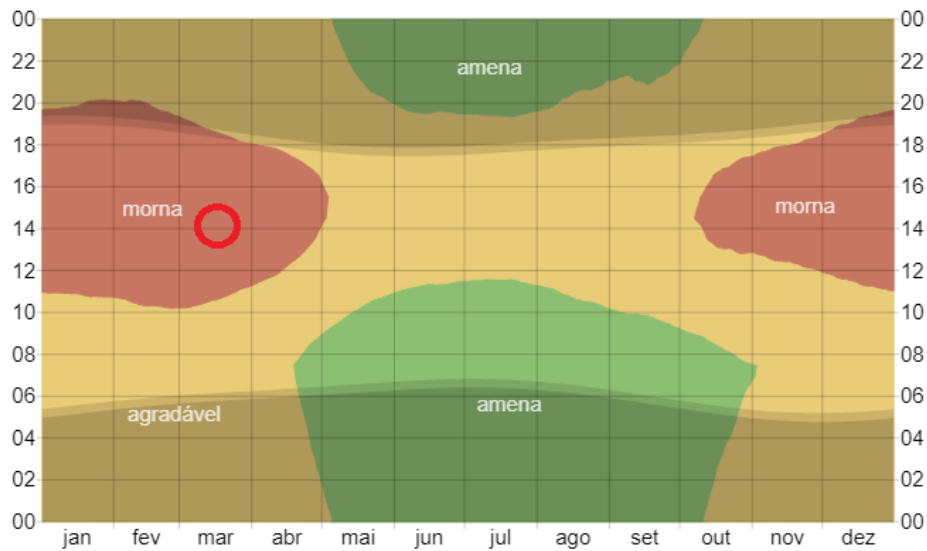
### 3.2.1 São Paulo, Brasil

Dentre os dois experimentos realizados na cidade de São Paulo. O experimento classificado como caso de verão foi conduzido no Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG/ USP) a partir das 14h do dia 20 de março de 2019 e o experimento considerado como caso de inverno foi conduzido na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU/ USP) a partir das 9h do dia 19 de agosto de 2019.

#### 3.2.1.1 Verão

Como dito anteriormente, o experimento foi conduzido no IAG/ USP (23.64° Sul e 46.61° Oeste) a partir das 14h do dia 20 de março de 2019 e durou cerca de uma hora em sua totalidade. Este horário foi escolhido por que são registradas as maiores temperaturas. Além disso, as pessoas se encontram expostas ao retornar do horário do almoço para suas atividades diárias. Portanto, se considera mais propício ao desconforto em razão às temperaturas elevadas como indica o círculo vermelho na figura 16.

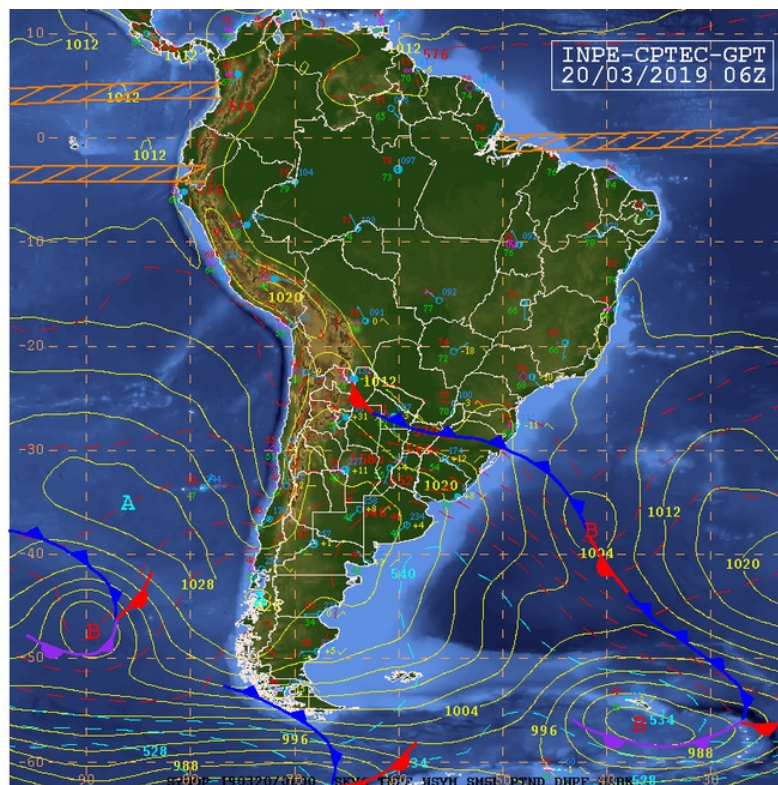
Figura 16 – Temperatura média horária em São Paulo (evidenciado para o caso de verão)



Weather Spark, 2021

Na carta sinótica representada pela figura 17 pode-se notar que há a chegada de uma frente fria no sul, que ao anoitecer se aproximou do litoral sul de São Paulo, região de estudo.

Figura 17 – Carta sinótica do dia 20 de março de 2019 às 06Z



Fonte ( Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2019)

O experimento foi subdividido em duas categorias, sendo elas: exposto ao Sol



e coberto na sombra, com a finalidade de tentar determinar qual ambiente seria mais aconselhável para minimizar o desconforto naquele dado momento.

O experimento foi realizado nas instalações do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP). De modo que o estacionamento interno foi considerado o ambiente exposto ao Sol, já que não contém cobertura como mostra a figura 18. Diferente da imagem abaixo, no dia do experimento haviam vários carros, o que influencia negativamente para o conforto em um dia de calor uma vez que a superfície dos carros absorve calor e auxilia no espalhamento de radiação solar.

**Figura 18 – Local do experimento de verão exposto ao Sol - Estacionamento interno do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP)**



Fonte (CHU, 2020)

Já o caso coberto por sombra, foi realizado entre o prédio principal e o da administração, onde há um pátio coberto de árvores, evidenciado na figura 19. É possível notar a diferença entre os ambientes, neste caso há muito mais sombra e presença de vegetação, o que influencia na quantidade de umidade e na temperatura do ar e, conseqüentemente, no conforto.



**Figura 19 – Local do experimento de verão coberto pela sombra - pátio interno do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP)**



Fonte (CHU, 2020)

A coleta de dados antropológicos foi realizada através da aplicação do questionário de conforto térmico para 36 estudantes da turma de biometeorologia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, na sua maioria alunos de graduação, visto que o local do estudo foi dentro de uma universidade.

Dentre os estudantes, quatro não participaram de ambas categorias do experimento pois, foram embora antecipadamente. Conseqüentemente, foram desconsiderados do estudo. Das 32 pessoas restantes, haviam 17 homens e 15 mulheres, totalizando 53.1% e 46.9% de cada gênero, respectivamente. Os quais tinham massa variando de 52 kg a 95 kg, altura entre 1.54 metros a 1.92 metros, circunferência dos ombros de 94 cm a 135 cm e vestiam roupas leves e frescas como apresentado na figura 20. Ou seja, mesmo com idades próximas, existe uma grande variabilidade com relação às variáveis antropológicas, que vão influenciar no conforto térmico de cada um e, conseqüentemente, no metabolismo e na roupa indicada à cada um.

**Figura 20 – Roupas utilizadas por alguns dos participantes do experimento realizado no caso de verão em São Paulo/ Brasil**



do autor

O mesmo grupo participou de todas as coletas realizadas, no total foram respondidos 68 questionários. Como dito anteriormente, 4 indivíduos se ausentaram do segundo estudo, inviabilizando a análise para eles, portanto, dos 68 questionários respondidos apenas 64 foram usados, sendo 32 questionários por cenário (exposto ao Sol e coberto na sombra).

Com objetivo de padronizar a taxa metabólica para aplicação do questionário, os voluntários ficaram parados em pé em todos os cenários (atividade metabólica de 55 W, conforme a INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (2005)). Desta forma, em ordem cronológica, primeiro os voluntários foram enumerados, fotografados e separados, de modo que, metade das pessoas iniciou o experimento na sombra e a outra metade no Sol. Após posicionadas, foi considerado um período de aclimação local de 15 minutos para aplicação do questionário, que eram preenchidos em 10 minutos. Em seguida, os grupos realizavam a troca de cenário, o que durava em média 5 minutos e seguia o mesmo padrão de aclimação e aplicação do questionário. Totalizando 1 hora para realização do experimento por completo, pois, os participantes ficaram apenas uma vez em cada um dos cenários.

Para a obtenção das variáveis pessoais e subjetivas, foram aplicados questionários aos voluntários, baseados na INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (1995), e em outros questionários aplicados em pesquisas sobre conforto térmico ((MONTEIRO, 2008);(HIRASHIMA, 2010); (FARIA, 2013)).

Os questionários compreendem perguntas relacionadas à percepção térmica, sensação térmica, preferência térmica, sensibilidade às condições climáticas e características pessoais como: altura, peso, idade e gênero. O modelo do questionário utilizado nesta pesquisa está apresentado na figura 21 e tem como objetivo avaliar a percepção, aceitabilidade e preferência térmica dos indivíduos.

Figura 21 – Questionário de percepção e preferência térmica, aplicado no caso de verão em São Paulo/ Brasil

---

1. Neste exato momento, eu estou sentindo:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
muito frio	frio	um pouco de frio	nem frio nem calor	um pouco de calor	calor	muito calor

2. Neste exato momento, com relação às condições climáticas, eu estou:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
confortável	um pouco desconfortável	desconfortável	muito desconfortável

3. Neste exato momento, eu preferiria estar sentindo:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
muito mais frio	mais frio	um pouco mais de frio	sem mudanças	um pouco mais de calor	mais calor	muito mais calor

4. Neste exato momento, com relação às condições climáticas, na minha opinião estar neste local é:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
perfeitamente tolerável	facilmente tolerável	dificilmente tolerável	intolerável

5. Com relação à temperatura do ar, eu preferiria que essa estivesse:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
mais baixa	como está	mais alta	não sei dizer	

6. Com relação à umidade do ar, eu preferiria que o ar estivesse:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
mais seco	como está	mais úmido	não sei dizer

7. Com relação ao vento, eu preferiria que esse estivesse:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
mais fraco	como está	mais forte	não sei dizer

8. Com relação à radiação solar, eu preferiria que essa estivesse:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
mais branda	como está	mais intensa	não sei dizer

---

Fonte ( adaptação da ISO 10551, 1995; MONTEIRO, 2008; HIRASHIMA, 2010; FARIA, 2013)

Para a coleta das variáveis meteorológicas, foram posicionados dois medidores de conforto na superfície e dois termômetros de globo a 1 m de altura do solo, sendo cada um fixo em cada cenário. No caso dos confortímetros, os medidores eram iguais em ambas



as situações. No caso dos termômetros de globo, estes eram diferentes entre si quanto a pintura da superfície do globo em que, um era de coloração preta (utilizado para o cenário exposto ao Sol) e outro com a superfície pintada de cinza (caso coberto na sombra).

Utilizou-se o Confortímetro SENSU apresentado na figura 22 como medidor de conforto. Segundo o manual descrito por MONTEIRO (2010), este equipamento possui facilidade de manuseio, robustez e confiabilidade, assim como flexibilidade na incorporação de novos sensores, além de baixo custo. O confortímetro SENSU possui um sistema de aquisição de sinais baseado em plataforma *Android*, com tela *touch screen*, acesso (*Internet wireless*) ou cabo de rede e saídas USB. Podendo medir, via sensores, as grandezas referentes à temperatura de bulbo seco, umidade relativa, velocidade do ar e temperatura de globo. Para o trabalho, foram utilizadas as medidas de temperatura de bulbo seco, umidade relativa, velocidade do ar e temperatura de globo.

**Figura 22** – Confortímetro modelo *SENSU* cedido pela FAU - USP utilizado nos experimentos



Fonte (SARQUIS, 2019)

Os dados são registrados em formato “txt”, separados por “ponto e vírgula”, da seguinte forma:

“Data; Temp\_ar; Veloc; Temp\_Globo; UR“

Portanto, os passos para manuseio do medidor consistiram em ligar o *Tablet* no botão físico na borda superior e aguardar a inicialização, este processo deve ser realizado com o medidor conectado na tomada (tensão *bivolt* automático). Em seguida, bastou destravar a tela deslizando o botão inferior para cima e executar o *software SENSU* pressionando o ícone por 3 segundos. Desta forma, os dados são automaticamente registrados no *pen*

*drive*, tendo como nome a data.

Para o trabalho foi utilizado as medidas de temperatura de bulbo seco, umidade relativa, velocidade do ar e temperatura de globo, incertezas listadas na tabela 8.

**Tabela 7 – Incertezas nas medições de cada grandeza associada ao confortímetro *SENSO***

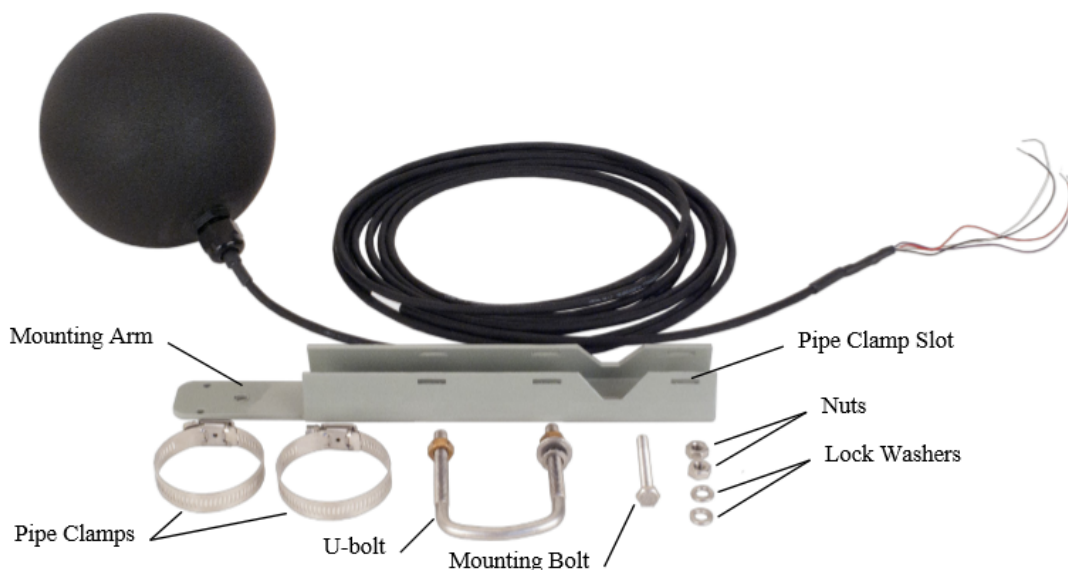
Grandeza	Incertezas de Medição
Temperatura de bulbo seco	0 a 60 °C , incerteza de 0.2 °C
Umidade Relativa: tipo capacitivo	5 a 96 %, incerteza de 3 %
Velocidade do Ar: termo-anemômetro	0 a 3 m/s, incerteza de 0.04 + 3 %
Temperatura de Globo: esfera metálica, segundo norma ISO 7726	incerteza de 0.2 °C

Fonte (Manual Confortímetro SENSU, 2019)

Os termômetros de globo cinza também são ferramentas muito utilizadas na determinação do estresse térmico, pois, medem a temperatura de globo e, através de equacionamento, fornecerem a temperatura radiante.

No caso foi utilizado o modelo *CAMPBELL SCIENTIFIC BLACK GLOBE - L*, segundo manual, possui um termistor dentro de uma esfera de cobre oca de 15,2 cm pintada de preto com emissividade de 0,95 e um kit de montagem assim como mostra a figura 23.

**Figura 23 – Termômetro de globo cinza desmontado - modelo *CAMPBELL SCIENTIFIC BLACK GLOBE - L* - cedido pela FAU - USP utilizado nos experimentos**



Fonte (Manual CAMPBELL SCIENTIFIC BLACK GLOBE - L, 2019)

O termômetro de globo cinza deve ser montado em um local representativo das condições ambientais a serem medidas e que não seja sombreado, na figura 24 é possível

visualizar o instrumento montado no laboratório para ser levado à campo no dia do experimento.

**Figura 24** – Termômetro de globo cinza montado - modelo *CAMPBELL SCIENTIFIC BLACK GLOBE - L* - cedido pela FAU - USP utilizado nos experimentos



Fonte (SARQUIS, 2019)

Assim como no medidor de conforto, existem limitações e na tabela 8 é possível conferir as incertezas do termômetro de globo.

**Tabela 8** – Incertezas nas medições associada ao termômetro de globo *CAMPBELL SCIENTIFIC BLACK GLOBE - L*

Especificações	Incertezas
Faixa de medição de temperatura	- 5 a 95 ° C
Faixa de sobrevivência de temperatura	- 50 a 100 ° C
Erro de permutabilidade do termistor	Normalmente $<\pm 0,2$ ° C acima de 0 a 70 ° C $e\pm 0,3$ ° C a 95 ° C

Especificações	Incertezas
Erro de linearização polinomial	$<\pm 0,5$ °C acima de - 7 a 90 ° C
Emissão quase normal	0,957
Comprimento máximo do cabo	305 m

Fonte (Manual do Termômetro de Globo CAMPBELL SCIENTIFIC BLACK GLOBE - L)

Os dados foram coletados de minuto a minuto, mas considerou-se a média dos valores registrados para ambas as ferramentas.

Para os cálculos dos índices de conforto térmico, metabolismo e resistência da roupa foram utilizadas as equações apresentadas nas sessões seguintes. Além disso, também foi necessário adotar um participante padrão para os diferentes gêneros. Desta maneira, a partir da análise dos participantes dos experimentos utilizou-se para o gênero masculino: altura de 1.80 m, peso de 80 kg, de 20 anos e circunferência dos ombros de 113 cm; para o gênero feminino: altura de 1.65 m, peso de 57 kg, 20 anos e circunferência dos ombros de 106 cm, pois, foram os valores mais comuns das amostras. Considerando a base de dados da tese de MONTEIRO (2008), utilizou-se a mesma média mensal que ele emprega em seus estudos de conforto térmico. No caso, como o experimento foi realizado dia 20 de março, apenas a média mensal de março foi considerada.

Além disso, mais algumas variáveis são necessárias e não são disponibilizadas pelas ferramentas citadas anteriormente. São elas: nebulosidade, temperatura média mensal, resistência da roupa e resistência média à transferência de calor dos tecidos e cutânea.

Quanto a nebulosidade, foi caracterizada via observação no dia do experimento, de modo que se refere a fração do céu coberto pelas nuvens quando observado de uma localização em particular, no caso no local do experimento. Segundo as normas meteorológicas atuais, o céu é dividido em octas (ou décimas, depende da região) e assim foi realizado no experimento. De acordo com o número de octas com cobertura total de nuvens, a nebulosidade pode ser dividida em céu limpo ou ensolarado, quase limpo, pouco nublado, parcialmente nublado, quase nublado e nublado.

Como o questionário não possui perguntas com relação às roupas dos participantes, mas havíamos registrado fotografias no começo do estudo, foi possível determinar quais os trajes os jovens estavam utilizando. Por conseguinte, através da tabela 2 foi possível obter o valor da resistência total das roupas utilizadas por cada um e, conseqüentemente, obter a média para um indivíduo padrão de cada gênero.

Por fim, os dados de metabolismo e resistência média à transferência de calor dos tecidos e cutânea foram obtidos através da tabela 1 e da literatura. Portanto, foi considerado o metabolismo de uma pessoa em pé e, para a resistência média à transferência de calor dos tecidos e cutânea, utilizou-se o valor tabelado proposto por CAMPBELL e NORMAN (1998).

Isto posto, na tabela 9 estão descritos os valores utilizados para cada grandeza considerada nesta fase do trabalho.

**Tabela 9 – Dados do caso de verão em São Paulo**

Experimento	$t_{ar}$	$ur$	$v_{ar}$	$r_{ar}$	$neb$	$t_{rm}$	$t_{mm}$	$t_g$	$m_{et}$	$r_{clo}$	$r_{hb}$
Exposto ao Sol	31,2	53,9	0,9	435,8	0,2	25,3	22,6	26,8	1,2	0,36	3
Coberto na sombra	25,5	69,7	0,05	436,9	0,2	27	22,6	27	1,2	0,36	3

Fonte (do autor)

Onde:

$t_{ar}$  = Temperatura do Ar [°C]

$ur$  = Umidade do Ar [%]

$v_{ar}$  = Velocidade do Vento [m/s]

$r_{ar}$  = Radiação [W/m<sup>2</sup>]

$neb$  = Nebulosidade [octas]

$t_{rm}$  = Temperatura Radiante Média [°C]

$t_{mm}$  = Temperatura Média Mensal [°C]

$t_g$  = Temperatura de Globo [°C]

$m_{et}$  = Metabolismo [W/m<sup>2</sup>]

$r_{clo}$  = Resistência das Roupas [clo]

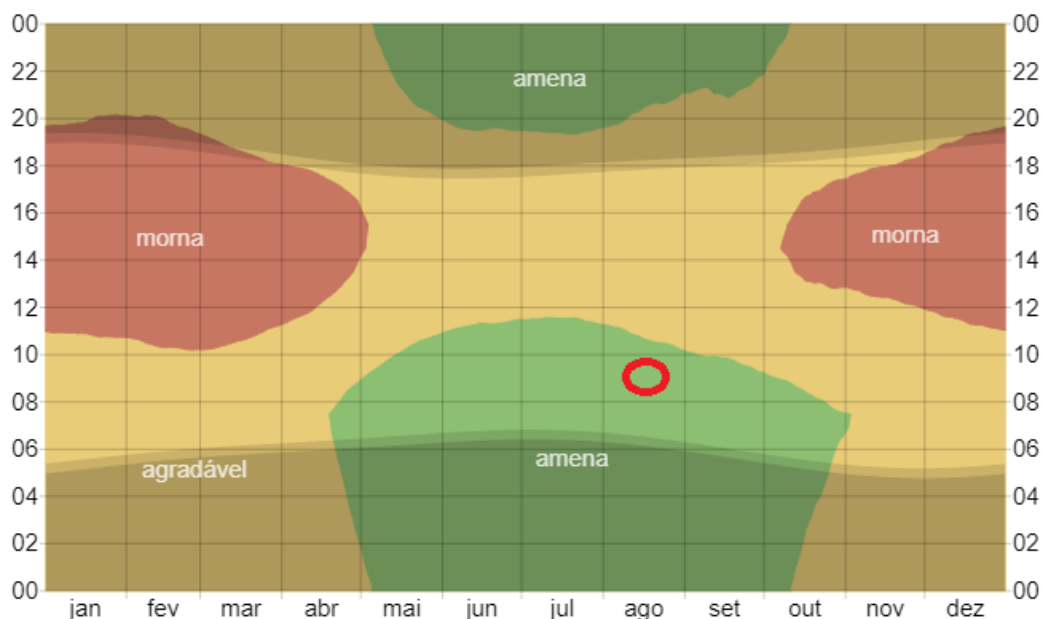
$r_{hb}$  = Resistência Média à Transferência de Calor dos Tecidos e Cutânea [adimensional]

Pode-se notar que há uma diferença considerável entre os valores medidos no Sol e na sombra, mas de modo geral era um dia de céu limpo, com pouco vento e de temperaturas elevadas, bem como como a radiação.

### 3.2.1.2 Inverno

O experimento de inverno foi conduzido na FAU/ USP (23.56° Sul e 46.73° Oeste) a partir das 9h do dia 19 de agosto de 2019 e durou cerca de uma hora, assim como o caso de verão. Este horário foi escolhido, pois, pela manhã são registradas as menores temperaturas e as pessoas se encontram expostas ao se deslocar de casa para o local onde realiza suas atividades diárias, portanto, se considera mais propício ao desconforto devido às temperaturas mais baixas (indicado no círculo vermelho na figura 25), céu nublado e ventos de sul.



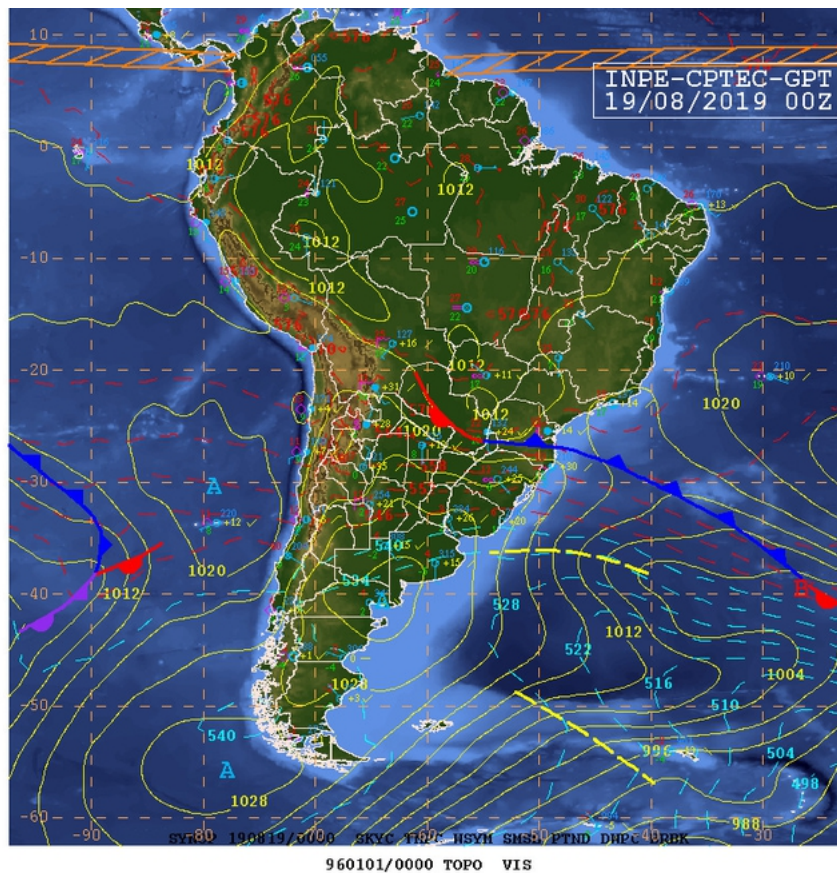
**Figura 25 – Temperatura média horária em São Paulo (evidenciado para o caso de inverno)**

Weather Sparks, 2021

A carta sinótica deste dia, apresentada na figura 26, mostra a atuação de um sistema frontal, uma frente fria e um cavado na troposfera média, entre Paraguai, Santa Catarina e o Oceano Atlântico. Esse sistema avançou deixando o tempo instável com pancadas de chuvas acompanhadas de raios entre o nordeste de Santa Catarina, centro-leste do Paraná e extremo sul de São Paulo.

Isso ocasionou o aumento de nebulosidade e condições de chuva a faixa leste de São Paulo e sul do Rio de Janeiro e Minas Gerais. Por isso as temperaturas ficaram mais baixas no sul do país e sofreram queda nas temperaturas máximas entre o leste de São Paulo e sul do Rio de Janeiro. Ou seja, foi identificada uma atmosfera propícia para uma queda na temperatura e com alta nebulosidade na região de estudo. Além disso, segundo a carta sinótica, havia grande probabilidade de chuva para o período da tarde, mas como o experimento foi realizado durante a manhã (às 9h), isso não foi observado no período.

Figura 26 – Carta sinótica do dia 19 de agosto de 2019 às 00Z



"FONTE ( Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2019)"

O experimento foi similar ao realizado no verão, mas desta vez foi subdividido em duas outras categorias, não mais como exposto ao Sol e na sombra, e sim, com ambiente exposto ao vento e ambiente coberto do vento. Foi feita essa nova consideração, pois, no inverno há menor índice de radiação e os ventos são mais intensos, portanto, essa modificação foi realizada com a finalidade de determinar qual ambiente seria mais aconselhável para minimizar o desconforto de acordo com a realidade de cada estação.

Neste caso, o experimento foi realizado próximo às instalações da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) da Universidade de São Paulo (USP), sendo considerado o gramado em frente ao instituto como o ambiente exposto, em que há a presença de um campo de tamanho médio gramado e a ausência de cobertura, como pode ser observado na figura 27.

**Figura 27 – Local do experimento de inverno exposto - entrada da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) da Universidade de São Paulo (USP)**



O caso coberto é apresentado na figura 28, de modo que as pessoas se localizaram na região marcada em vermelho próximo as estruturas do prédio da FAU/ USP, onde há uma cobertura arquitetônica, piso de concreto e pouca vegetação.

**Figura 28 – Local do experimento de inverno coberto pelo prédio - entrada da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) da Universidade de São Paulo (USP)**



Fonte (STANKUNS, 2018)



Optou-se por modificar o grupo de voluntários, ainda que por um grupo menor de pessoas. Essa decisão ocorreu em função de que, geralmente, nota-se que quando aplicado um segundo experimento em pessoas já avaliadas, as mesmas acabam sendo influenciadas pela experiência anterior, tendenciando os resultados. Quando repetido o experimento pela segunda vez nas mesmas pessoas, elas supõem já saber quais são as perguntas e quais respostas seriam as respostas “corretas”, ou seja, as respostas esperadas para o estudo, o que as fazem ser induzidas indiretamente. Portanto, outro grupo de voluntários foi utilizado.

Desta maneira, a coleta de dados antropológicos foi, novamente, realizada através da aplicação do questionário de conforto térmico. Desta vez, aplicado à 25 estudantes da turma de arquitetura da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, na sua maioria alunos de graduação.

Dentre os 25 voluntários, haviam 9 homens e 16 mulheres, totalizando uma porcentagem de 36% e 64% para cada gênero, respectivamente. Variando a massa corporal de 42 a 80 kg, a altura de 1.52 a 1.83 m, a circunferência dos ombros entre 90 e 124 cm e, por fim, vestiam roupas mais grossas e pesadas.

Todos os voluntários foram submetidos às duas situações consideradas, no total foram respondidos 50 questionários, sendo 25 questionários por cenário. Assim como no experimento de verão, com objetivo de padronizar a taxa metabólica, os voluntários ficaram parados em pé (atividade metabólica de 55 W, conforme a INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (2005)) em todos os cenários.

Igualmente ao caso anterior, as pessoas foram enumeradas, fotografadas e separadas. Em sequência, metade das pessoas iniciou o experimento no espaço coberto e a outra metade no ambiente exposto, o tempo para aclimação em cada cenário foi de 15 minutos e, ao fim deste período, os questionários eram preenchidos pelo período de 10 minutos. Em seguida a troca de cenário era efetuada, o que durava em média 5 minutos. Assim, novamente, totalizando 1 hora para realização do experimento completo, uma vez que os participantes ficaram apenas uma vez em cada um dos cenários.

Os questionários foram similares aos do verão, com perguntas relacionadas à percepção térmica, sensação térmica, preferência térmica, sensibilidade às condições climáticas e características pessoais como: altura, peso, idade, gênero. Desta vez, o questionário sofreu uma adaptação assim como mostra a figura ??, de modo a conter a especificação das roupas utilizadas pelas pessoas.

**Figura 29 – Questionário de percepção e preferência térmica, aplicado no caso de inverno em São Paulo/ Brasil**

Este questionário enquadra-se numa investigação no âmbito de uma tese de Mestrado em Biometeorologia, realizada no Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP). Os resultados obtidos serão utilizados apenas para fins académicos.

O questionário é anónimo, não devendo por isso colocar a sua identificação em nenhuma das folhas nem assinar o questionário, apenas o número lhe dado ao início da pesquisa. Obrigado pela sua colaboração.

1. Número de identificação: \_\_\_\_\_ 2. Idade: \_\_\_\_\_  
 3. Peso (kg): \_\_\_\_\_ 4. Altura: \_\_\_\_\_  
 5. Circunferência dos ombros (cm): \_\_\_\_\_  
 3. Género: \_\_\_\_\_  
 4. Assinale as peças de roupas que você está utilizando neste momento:

4.1. Parte Superior do Corpo:

Boné	
Chapéu	
Gorro	
Cachecol	
Lenço	
Camiseta	
Regata	
Camisa	
Moletom	
Suéter	
Segunda Pele	
Casaco	
Jaqueta	
Luvas	

4.2. Parte Inferior do Corpo:

Shorts	
Saia	
Bermuda	
Calça Jeans	
Calça de Moletom	
Calça Social	
Meia Calça	
Meia	
Bota	
Tênis	
Sapato	
Sandália / Sapatilha	
Chinelo	

OUTRO: \_\_\_\_\_

5. Neste exato momento,

5.1. Eu estou sentindo:

Muito Frio	Frio	Pouco Frio	Indiferente	Pouco Calor	Calor	Muito Calor
------------	------	------------	-------------	-------------	-------	-------------

5.2. Com relação às condições climáticas, eu estou:

Confortável	Um pouco desconfortável	Desconfortável	Muito Desconfortável
-------------	-------------------------	----------------	----------------------

5.3. Eu preferia estar sentindo:

Muito Mais Frio	Mais Frio	Um Pouco Mais Frio	Indiferente	Um Pouco Mais Calor	Mais Calor	Muito Mais Calor
-----------------	-----------	--------------------	-------------	---------------------	------------	------------------

5.4. Com relação às condições climáticas, em minha opinião estar neste local é:

Perfeitamente Tolerável	Facilmente Tolerável	Difícilmente Tolerável	Intolerável
-------------------------	----------------------	------------------------	-------------

6. Com relação à:

6.1. Temperatura do ar, eu preferiria que estivesse:

Mais Baixa	Como Está	Mais Alta	Não Sei Dizer
------------	-----------	-----------	---------------

6.2. Umidade do ar, eu preferiria que o ar estivesse:

Mais Seco	Como Está	Mais Úmido	Não Sei Dizer
-----------	-----------	------------	---------------

6.3. Ao vento, eu preferiria que estivesse:

Mais Fraco	Como Está	Mais Forte	Não Sei Dizer
------------	-----------	------------	---------------

6.4. Radiação solar, eu preferia que estivesse:

Mais Branda	Como Está	Mais Intensa	Não Sei Dizer
-------------	-----------	--------------	---------------

Fonte ( adaptação da ISO 10551, 1995; MONTEIRO, 2008; HIRASHIMA, 2010; FARIA, 2013)

Como um dos objetivos do estudo é comparar os resultados dos experimentos quanto a sazonalidade e climatologia de duas regiões diferentes, o ideal é manter a coleta de dados o mais similar possível. À vista disso, foram utilizados os mesmos equipamentos de medição do caso de verão (figuras 22, 23 e 24) para o caso do inverno. Foram posicionados dois medidores de conforto na altura da superfície do solo e dois termômetros de globo cinza a 1 m de altura do solo, sendo, desta vez, aparelhos idênticos e fixos em cada um cenário.

Para os cálculos dos índices de conforto térmico, metabolismo e resistência da roupa foi utilizado o mesmo participante padrão para os diferentes gêneros. Utilizou-se para o gênero masculino: altura de 1.80 m, peso de 80 kg, de 20 anos e circunferência dos ombros de 113 cm, e para o gênero feminino: altura de 1.65 m, peso de 57 kg, 20 anos e circunferência dos ombros de 106 cm, pois, ainda se apresentou representativo quanto aos voluntários do cenário de inverno.

Já grandezas que independem das ferramentas materiais, utilizou-se as mesmas considerações que no caso do verão. A nebulosidade foi caracterizada via observação no dia do experimento, via octas, a média mensal de agosto foi respaldada na média mensal empregada nos estudos de conforto térmico de (MONTEIRO, 2008). Desta vez, foi possível obter o valor de resistência da roupa de cada voluntário a partir do questionário, e posteriormente, obter a média.

Por fim, os dados de metabolismo e resistência média à transferência de calor dos tecidos e cutânea foram obtidos através mesma metodologia aplicada ao caso de verão no

Brasil.

Desta forma, na tabela 10 estão descritos os valores utilizados para cada grandeza considerada nesta fase do trabalho.

**Tabela 10 – Dados do caso de inverno em São Paulo**

Experimento	$t_{ar}$	$ur$	$v_{ar}$	$r_{ar}$	$neb$	$t_{rm}$	$t_{mm}$	$t_g$	$met$	$r_{clo}$	$r_{hb}$
Exposto ao Vento	17,9	80,7	1,4	392,9	0,9	19,3	17,4	18,2	1,2	0,87	120
Espaço Coberto	18,3	79,9	0,6	390,4	0,9	18,7	17,4	19,1	1,2	0,87	120

Fonte (do autor)

Onde:

$t_{ar}$  = Temperatura do Ar [°C]

$ur$  = Umidade do Ar [%]

$v_{ar}$  = Velocidade do Vento [m/s]

$r_{ar}$  = Radiação [W/m<sup>2</sup>]

$neb$  = Nebulosidade [octas]

$t_{rm}$  = Temperatura Radiante Média [°C]

$t_{mm}$  = Temperatura Média Mensal [°C]

$t_g$  = Temperatura de Globo [°C]

$met$  = Metabolismo [W/m<sup>2</sup>]

$r_{clo}$  = Resistência das Roupas [clo]

$r_{hb}$  = Resistência Média à Transferência de Calor dos Tecidos e Cutânea [adimensional]

Há uma leve diferença entre os valores medidos em cada caso, mas, em geral, era um dia nublado, com um pouco de vento, úmido e de baixas temperaturas.

### 3.2.2 Budapeste, Hungria

Foi executado apenas um experimento na cidade de Budapeste devido à pandemia. Durante os meses mais intensos de verão, a universidade (ELTE) estava restringindo suas atividades presenciais, operando-as de modo remoto e, inviabilizando a execução do segundo experimento. Medida totalmente compreensível considerando o cenário em que se deve priorizar a segurança, evitando o contato e a aglomeração dos voluntários como medida preventiva e de proteção ao COVID-19.

Portanto, o experimento realizado na Hungria refere-se ao caso de inverno, feito no dia 18 de fevereiro de 2020 próximo à Faculdade de Ciências da Universidade Eötvös Loránd

(ELTE). Para auxiliar na coleta de dados, o professor Dr. Ács Ferenc do departamento de meteorologia da ELTE conduziu o experimento.

O Dr. Ács Ferenc se propôs a auxiliar na pesquisa, uma vez que trabalha na área da meteorologia com ênfase em classificação climática biofísica, estudo do impacto do solo, vegetação e uso da terra e atmosfera na ELTE, universidade pública de pesquisa húngara sediada em Budapeste.

### 3.2.2.1 Inverno

Como o experimento foi realizado pelo Ács Ferenc, era necessário ser adaptado a agenda dele e à realidade do local. Portanto, foi inviável organizar um grupo de pessoas para fazer o experimento de uma vez como o realizado no caso de verão e inverno no Brasil e não foi subdividido entre duas categorias (exposto e coberto). Desta forma, o experimento foi conduzido a partir da abordagem de pessoas que passavam pelo local. Ou seja, o professor Ács se disponibilizou a ficar das 10h50 às 16h20 do dia 18 de fevereiro de 2020 próximo a entrada lateral da universidade como mostra a figura 30 (47.47° norte e 19.06° leste) abordando os alunos que chegavam.

**Figura 30 – Local do experimento de inverno em Budapeste - entrada lateral da Faculdade de Ciências da Universidade Eötvös Loránd (ELTE)**



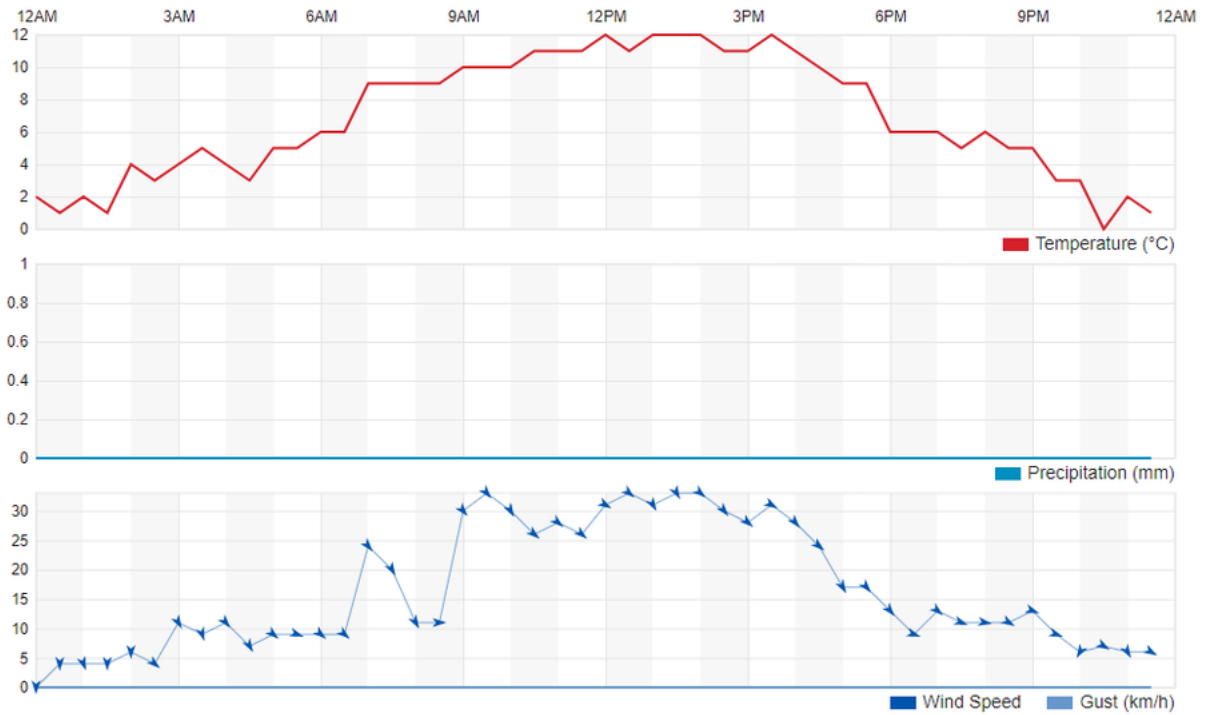
do autor

Como já dito na seção 3.1.2, é possível observar a presença de algumas árvores,

um grande campo e o rio Danúbio, fatores que contribuem para a alteração do conforto térmico das pessoas em questão.

Este dia em questão, comparado à climatologia local, é considerado um dia mais frio, úmido e nebuloso quando comparado aos dados coletados no Brasil assim como é apresentado nas figuras 31 e 32.

**Figura 31 – Variação diurna dos dados meteorológicos (temperatura, precipitação e vento) do dia 18 de fevereiro de 2020 em Budapeste/ Hungria em forma gráfica**



Weather Underground, 2020



**Figura 32 – Registro do histórico de dados meteorológicos do dia 18 de fevereiro de 2020 em Budapeste/ Hungria em forma tabular**

## Daily Observations

Time	Temperature	Dew Point	Humidity	Wind ↓	Wind Speed	Wind Gust	Pressure	Precip.	Condition
10:00 AM	10 °C	3 °C	62 %	NNW	30 km/h	0 km/h	1,006.36 hPa	0.0 mm	Fair
10:30 AM	11 °C	4 °C	62 %	NW	26 km/h	0 km/h	1,006.36 hPa	0.0 mm	Mostly Cloudy
11:00 AM	11 °C	4 °C	62 %	NW	28 km/h	0 km/h	1,006.36 hPa	0.0 mm	Mostly Cloudy
11:30 AM	11 °C	4 °C	62 %	NW	26 km/h	0 km/h	1,007.35 hPa	0.0 mm	Mostly Cloudy
12:00 PM	12 °C	3 °C	54 %	WNW	31 km/h	0 km/h	1,006.36 hPa	0.0 mm	Partly Cloudy
12:30 PM	11 °C	2 °C	54 %	NW	33 km/h	0 km/h	1,006.36 hPa	0.0 mm	Partly Cloudy / Windy
1:00 PM	12 °C	1 °C	47 %	NNW	31 km/h	0 km/h	1,006.36 hPa	0.0 mm	Mostly Cloudy
1:30 PM	12 °C	0 °C	44 %	NNW	33 km/h	0 km/h	1,006.36 hPa	0.0 mm	Mostly Cloudy / Windy
2:00 PM	12 °C	0 °C	44 %	NW	33 km/h	0 km/h	1,006.36 hPa	0.0 mm	Mostly Cloudy / Windy
2:30 PM	11 °C	0 °C	47 %	NW	30 km/h	0 km/h	1,006.36 hPa	0.0 mm	Fair
3:00 PM	11 °C	0 °C	47 %	NW	28 km/h	0 km/h	1,006.36 hPa	0.0 mm	Fair
3:30 PM	12 °C	-1 °C	41 %	WNW	31 km/h	0 km/h	1,006.36 hPa	0.0 mm	Fair
4:00 PM	11 °C	0 °C	47 %	NW	28 km/h	0 km/h	1,006.36 hPa	0.0 mm	Fair
4:30 PM	10 °C	-1 °C	47 %	NW	24 km/h	0 km/h	1,007.35 hPa	0.0 mm	Fair

Weather Underground, 2020

Dito isso, quando as pessoas abordadas aceitavam colaborar com o estudo, as mesmas eram submetidas a um período de aclimação de 15 minutos no local e, em seguida, respondiam o questionário idêntico ao da figura 29, mas em inglês e/ou húngaro, como apresentado na figura 33.

Figura 33 – Questionário de percepção e preferência térmica, aplicado no caso de inverno em Budapeste/ Hungria

**QUIZ**

This questionnaire is part of a research within a Master's thesis in Biometeorology, carried out at the Institute of Astronomy, Geophysics and Atmospheric Sciences (IAG) of the University of São Paulo (USP) in partnership with the meteorology department of Eötvös Loránd University. The results obtained will be used for academic purposes only.

The questionnaire is anonymous and you should not put your identification on any of the sheets or sign the questionnaire, just the number given to you at the beginning of the survey. Thanks for your collaboration.

1. Identification Number: \_\_\_\_\_ 2. Age: \_\_\_\_\_

3. Weight (kg): \_\_\_\_\_ 4. Height (cm): \_\_\_\_\_

5. Shoulder circumference (cm): \_\_\_\_\_

3. Gender:

4. Mark which and how many items of clothing you used when leaving home and, if possible, the material:

4.1. Upper body:

Cap	
Hat	
Scarf	
T-Shirt	
Tank top	
Sweater	
Second Skin	
Light Coat	
Heavy Coat	
Suéter	
Segunda Pele	
Jacket	
Gloves	

OUTHERS: \_\_\_\_\_

4.2. Lower Body:

Shorts	
Skirt	
Jeans	
Sweatpants	
Social Pants	
Pantyhose	
Second Skin	
Sock	
Boot	
Sneakers	
Shoe	
Sandal	
Slipper	

OUTHERS: \_\_\_\_\_

5. When you were on your way to university (insert the time),

5.1. You were feeling:

Very Cold	Cold	A little Cold	Indifferent	Little Heat	Heat	Very Heat

5.2. Regarding weather conditions, You are:

Comfortable	A Little Uncomfortable	Uncomfortable	Very Uncomfortable

5.3. You would rather be feeling:

Much Colder	Colder	A little Colder	Indifferent	Little More Heat	Heater	Much More Heat

5.4. Regarding weather conditions, in your opinion being outside is:

Perfectly Tolerable	Easily Tolerable	Hardly tolerable	Intolerable

6. Concerning:

6.1. Air temperature, would you rather it were:

Lowest	How it is	Taller	I don't know

6.2. Air humidity, you would prefer the air to be:

Drier	How it is	Wetter	I don't know

6.3. Ao vento, eu preferiria que estivesse:

Weaker	How it is	Stronger	I don't know

6.4. Radiação solar, eu preferia que estivesse:

Milder	How it is	More intense	I don't know

do autor

O formulário foi aplicado à 75 estudantes da Faculdade de Ciências da ELTE. Dentre os 96 voluntários, haviam 29 homens e 46 mulheres, totalizando uma porcentagem de 38.7% e 61.3% para cada gênero, respectivamente. Variando a massa corporal de 46 a 130 kg, altura de 1.55 a 1.97 m e, vestiam roupas grossas do que as utilizadas no Brasil (casacos pesados, cachecol e outros itens indicados para temperaturas menores).

Como não foram consideradas duas situações de conforto, no total foram respondidos 75 questionários referentes a um único cenário (caso de inverno moderadamente exposto). Assim como no experimento de verão, com objetivo de padronizar a taxa metabólica, os voluntários ficaram parados em pé (atividade metabólica de 55 W, conforme a INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (2005)).

Visto que um dos objetivos do estudo é comparar os resultados dos experimentos (em estações e em regiões diferentes), o ideal é manter a coleta de dados o mais similar

possível. Entretanto, devido a adaptação quanto a realidade local, foi inviável a utilização dos mesmos equipamentos utilizados no Brasil conforme mostrado na seção 3.2.1. Para a Hungria, os dados de temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), umidade (%), velocidade do vento (m/s) e radiação ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) foram disponibilizados pelo professor Ács através de seu acesso pessoal aos dados da estação meteorológica da universidade, localizada no topo do prédio da faculdade de ciências da ELTE conforme indicado no retângulo vermelho na figura 34.

**Figura 34 – Localização da estação meteorológica do departamento de meteorologia da faculdade de ciências da ELTE na Hungria - local de coleta de dados do experimento de inverno em Budapeste**



Ács Ferenc, 2020

Para os cálculos dos índices de conforto térmico, metabolismo e resistência da roupa foi calculado um novo indivíduo padrão para os diferentes gêneros considerando as informações obtidas através questionário. Desta forma, os indivíduos que mais representam as amostras são para o gênero masculino: altura de 1.8 m, peso de 80 kg e 26 anos; para o gênero feminino: altura de 1.7 m, 65 kg e 22 anos.

As demais grandezas não obtidas através da estação meteorológica da universidade, no caso, nebulosidade, foram obtidas através da mesma metodologia aplicada no Brasil. Ou seja, a nebulosidade foi caracterizada via observação pelo professor Ács no dia do experimento, via octas.

Com relação à média mensal climatológica de fevereiro para Budapeste, a mesma foi disponibilizada pelo departamento de meteorologia húngaro através de estudos realizados previamente. Quanto aos valores da resistência da roupa, estes foram obtidos através da análise das respostas do formulário em conjunto à tabela 2 que, após análise individual, foi obtida a média de resistência da roupa para cada gênero a fim de caracterizar as vestimentas dos indivíduos considerados padrões neste estudo.

Por fim, foi considerado o metabolismo de uma pessoa em pé e, para a resistência média à transferência de calor dos tecidos e cutânea, utilizou-se o valor tabelado proposto por CAMPBELL e NORMAN (1998).

Diante do exposto, na tabela 11 estão descritos os valores utilizados para cada grandeza considerada nesta fase do trabalho.

**Tabela 11 – Dados do caso de inverno em Budapeste**

Experimento	$t_{ar}$	$ur$	$v_{ar}$	$r_{ar}$	$neb$	$t_{rm}$	$t_{mm}$	$t_g$	$met$	$r_{clo}$	$r_{hb}$
Inverno em Budapeste	11,3	52,4	4,2	263,2	0,6	24,1	1,8	10	1,2	1,15	1,15

Fonte (do autor)

Onde:

$t_{ar}$  = Temperatura do Ar [°C]

$ur$  = Umidade do Ar [%]

$v_{ar}$  = Velocidade do Vento [m/s]

$r_{ar}$  = Radiação [W/m<sup>2</sup>]

$neb$  = Nebulosidade [octas]

$t_{rm}$  = Temperatura Radiante Média [°C]

$t_{mm}$  = Temperatura Média Mensal [°C]

$t_g$  = Temperatura de Globo [°C]

$met$  = Metabolismo [W/m<sup>2</sup>]

$r_{clo}$  = Resistência das Roupas [clo]

$r_{hb}$  = Resistência Média à Transferência de Calor dos Tecidos e Cutânea [adimensional]

### 3.3 Índices de Conforto

Após a coleta dos dados, o próximo passo consistiu no cálculo dos índices de conforto térmico. Os índices utilizados na monografia foram, em sua totalidade, dez. Grupo composto pelos índices de Voto Médio Estimado (PMV), Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD), Índice de Temperatura Fisiológica Equivalente (PET), Índice Climático Térmico Universal (UTCI), Temperatura de Globo e Bulbo Úmido (WBGT), Temperatura Equivalente Percebida (TEP), Temperatura Equivalente Percebida Adaptativa ( $TEP_A$ ), Temperatura Equivalente Percebida ( $TEP_M$ ), Temperatura Equivalente de Globo (TEG) e Percepção de Sensação Térmica (Tsp). Dos quais, os cinco últimos foram desenvolvidos experimentalmente na cidade de São Paulo na tese de doutorado de MONTEIRO (2008).

Foram utilizados os valores obtidos na sessão 3.2 referente à coleta de dados, mais precisamente aos valores das tabelas 9, 10 e 11. Valores que foram aplicados às equações expressas na sessão 2.5, onde é especificado cada índice de conforto utilizado neste trabalho.

Todos os cálculos foram realizados considerando um indivíduo médio representativo de cada região de estudo, divididos por gênero (masculino e feminino). Desta maneira, para o Brasil foi considerado um homem de 1.8 m de altura, 80 kg, de 20 anos e circunferência dos ombros de 113 cm/ e uma mulher de 1.65 m de altura, 57 kg, 20 anos e circunferência dos ombros de 106 cm. No caso da Hungria, considerou-se um homem de 1.8 m, 80 kg e 26 anos; para o gênero feminino: 1.7 m, 65 kg e 22 anos.

#### 3.3.1 Voto Médio Estimado (PMV)

Fanger (1970) foi o primeiro a sugerir a equação de conforto, conhecida como PMV, é um índice complexo para aritmética manual e normalmente resolvido usando *softwares* computacionais. Desta forma, foi utilizado o *software RayMan*.

O *software RayMan* é um modelo de microescala desenvolvido no departamento de Meteorologia Ambiental, do Instituto de Meteorologia e Climatologia da Universidade Albert - Ludwigs - Freiburg.

O modelo foi elaborado com a finalidade de calcular os fluxos de radiação em ambientes simples e complexos (MATZARAKIS; RUTZ; MAYER, 2010; LIN; MATZARAKIS, 2008) e permite o cálculo da temperatura radiante média, importante parâmetro de entrada no cálculo de índices biometeorológicos térmicos. Consequentemente, o modelo também oferece saídas de dados de alguns índices de conforto, entre eles, o PMV, que foi usado no trabalho.

O *RayMan* é unidimensional no espaço (todos os cálculos são realizados para um ponto, portanto é necessário indicar a latitude e longitude dos locais dos experimentos) e exige apenas um número limitado de informações meteorológicas como pode-se notar na figura 35 (MATZARAKIS; RUTZ; MAYER, 2010).

Figura 35 – Tela inicial para execução do programa *RayMan Pro*

The screenshot shows the RayMan Pro software interface. The window title is "RayMan Pro" and it has a menu bar with "File", "Input", "Output", "Table", "Language", and "?".

**Date and time:** Date (day.month.year) is 19.8.2019, Day of year is 231, Local time (h:mm) is 10:00. There is a "Now and today" button.

**Geographic data:** Location is "Brasilien (São Paulo - IAG)". There are "Add location" and "Remove location" buttons. Geogr. longitude (°E) is -45°4', Geogr. latitude (°N) is -23°55', Altitude (m) is 0, and Timezone (UTC + h) is -3.0.

**Current data:** Air temperature Ta (°C) is 17.9, Vapour pressure VP (hPa) is 16.5, Rel. humidity RH (%) is 80.7, Wind velocity v (m/s) is 1.4, Cloud cover N (octas) is 7.0, Surface temperature Ts (°C) is empty, Global radiation G (W/m²) is 392.9, and Mean radiant temp. Tmrt (°C) is empty.

**Personal data:** Height (m) is 1.80, Weight (kg) is 80.0, Age (a) is 20, Sex is m.

**Clothing and activity:** Clothing (clo) is 0.34, Activity (W) is 80.0, Position is standing. There is a checkbox for "Auto Standard Clo for mPET" which is checked.

**Calculation:** There are "New" and "Add" buttons.

**Thermal indices:** There are checkboxes for PMV (checked), PET (checked), SET\* (unchecked), UTCI (checked), PT (unchecked), and mPET (unchecked).

At the bottom right, there is a "Close" button with a small icon.

Fonte (Do autor)

Como é possível observar na figura 35, o programa necessita de informações com relação ao dia do experimento, um *input*, tais como: características do indivíduo considerado, data, dia do ano corrido, hora local, localização com especificação das coordenadas, temperatura do ar (°C), pressão de vapor (hPa), umidade relativa (%), velocidade do vento (m/s), radiação global (W/m<sup>2</sup>), isolamento da roupa (clo), metabolismo (W) e posição da pessoa. A partir destes dados, basta selecionar qual índice deseja calcular e executar do programa.

### 3.3.2 Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD)

Neste caso, este é um índice obtido a partir do PMV. Portanto, foi utilizado o resultado do índice anterior aplicado à equação 2.2 apresentada na sessão 2.5.2.

### 3.3.3 Temperatura Equivalente Fisiológica (PET)

O *software RayMan* também faz o cálculo referente ao índice PET. Portanto, bastou repetir o mesmo processo realizado para o PMV, mas desta vez, selecionando o índice PET como a saída de dado desejada.

### 3.3.4 Índice Climático Térmico Universal (UTCI)

Novamente o *software RayMan* foi utilizado. Entretanto, neste caso, são disponibilizadas algumas planilhas *online* que também fornecem este cálculo. Desta maneira, foi escolhido mais de um método para obter deste índice.

Desta forma, foram utilizados outros três métodos, sendo dois online via *websites* e o último via *download* da planilha do grupo *Climate Chip*.

*Link* do primeiro *website* utilizado: <http://www.utci.org/utcineu/utcineu.php>

*Link* do segundo *website* utilizado: <https://www.climatechip.org/heat-stress-index-calculation>

*Link* para *download* da planilha do grupo *Climate Chip*: <https://www.climatechip.org/excel-wbgt-calculator>

### 3.3.5 Temperatura de Globo e de Buldo Úmido (WBGT)

Este é um índice que, também, está disponível em algumas plataformas *online*. Alguns dos *links* utilizados para calcular o UTCI também oferecem a opção de calcular o WBGT. Portanto, os mesmos foram utilizados para o cálculo deste índice, sendo eles:

*Link* do segundo *website* utilizado: <https://www.climatechip.org/heat-stress-index-calculation>

*Link* para *download* da planilha do grupo *Climate Chip*: <https://www.climatechip.org/excel-wbgt-calculator>

### 3.3.6 Temperatura Equivalente Percebida (TEP)

Como o cálculo do TEP apresenta dependência das variáveis de temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento, foram utilizados os dados das tabelas 9, 10 e 11. Há também a dependência com relação à temperatura radiante média.

Segundo Lamberts (2016), a temperatura radiante média consiste na temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a transferência de calor por radiação do corpo humano é igual à transferência de calor por radiação em um ambiente real não uniforme. Para o cálculo dos índices, foi utilizado a recomendação da ISO 7726 (1998), representada pela equação 3.1.

$$t_{rm} = \sqrt[4]{t_g^4 + \frac{h_{cg}}{\varepsilon_g \cdot \sigma} \cdot (t_g - t_{ar})} \quad (3.1)$$

onde:

em casos de convecção natural:  $h_{cg} = 1,4 \cdot (\Delta T/D)^{1/4}$

em casos de convecção forçada:  $h_{cg} = 6,3 \cdot (v_a^{0,6}/D^{0,4})$

$t_{rm}$  = Temperatura Radiante Média [°C]

$t_g$  = Temperatura de Globo [°C]

$h_{cg}$  = Coeficiente de Transferência de Calor por Convecção ao Nível do Globo [W/m<sup>2</sup>.K]

$\varepsilon_g$  = Emissividade de Globo Negro [adimensional]

$\sigma$  = Constante de Stefan-Bolzman [5,67. 10<sup>-8</sup> W/m<sup>2</sup>.K<sup>4</sup>]

$t_{ar}$  = Temperatura do Ar [°C]

$\Delta T$  = Diferença entre as Temperaturas [°C]

$D$  = Diâmetro do Corpo Humano [m]

$v_a$  = Velocidade do Vento [m/s]

Após este processo, bastou a aplicação direta da equação 2.3 explicada na sessão 2.5.6 via *software EXCEL*.

### 3.3.7 Temperatura Equivalente Percebida Adaptativa ( $TEP_A$ )

Neste caso, foi aplicado o mesmo método do cálculo do índice TEP, em que foi utilizado os dados das tabelas 9, 10 e 11, além do cálculo da temperatura radiante média. Neste caso, além da temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento presentes na tabela, também foram utilizados os dados referentes à temperatura mensal média, taxa metabólica e isolamento da roupa. Dados que foram aplicados na equação 2.4 apresentada na sessão 2.5.7 via *software EXCEL*.

### 3.3.8 Temperatura Equivalente Percebida, Estação Meteorológica ( $TEP_M$ )

Este índice apresenta dependência com relação às variáveis temperatura do ar, radiação global, umidade do ar e velocidade do vento. O dado de radiação foi obtido indiretamente, via termômetro de globo cinza, com dependência da temperatura de globo. Após este passo, empregou-se os dados na equação 2.5 comentada na sessão 2.5.8 via *software EXCEL*.

### 3.3.9 Temperatura Equivalente de Globo (TEG)

Este índice apresenta dependência apenas da temperatura de globo, dado medido a partir do termômetro de globo cinza, desta maneira, as tabelas 9, 10 e 11 foram utilizadas



como *input*. Portanto, somente, utilizou-se diretamente a equação 2.6 retratada na sessão 2.5.9 via *software EXCEL*.

### 3.3.10 Percepção de Sensação Térmica (Tsp)

Assim como o cálculo do TEP, a Tsp apresenta dependência das variáveis de temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento. Entretanto, há a dependência da temperatura radiante média que, nesta fase do trabalho já havia sido calculado. Portanto, fez-se a aplicação direta da equação 2.7 exibida na sessão 2.5.10 via *software EXCEL*.

## 3.4 Metabolismo

O cálculo do metabolismo é uma forma de introduzir matematicamente o efeito de estresse térmico e da resposta fisiológica do corpo humano em um determinado ambiente. Neste este trabalho, foram mantidos os indivíduos médios de cada gênero para cada região e, foram utilizados os dados das tabelas 9, 10 e 11 para realização dos cálculos.

Quatro métodos foram abordados, sendo eles: Antropológico, Transferência de Calor do Interior para Superfície, Transferência de Calor Superficial para o Meio, por fim, um método partindo do índice de conforto térmico da Temperatura Equivalente Percebida Adaptativa.

### 3.4.1 Método Antropológico

Este método depende, apenas, dos dados antropológicos de cada gênero. Primeiramente, foi necessário calcular o metabolismo basal dado pelas equações 3.2 e 3.3 propostas por FRANKENFIELD, ROTH-YOUSEY e COMPHER (2005).

O metabolismo basal consiste na quantidade mínima de energia (calorias) necessária para manter as funções vitais do corpo em repouso (MCARDLE; KATCH; KATCH, 1992). Essa é uma taxa que varia de acordo com o peso, altura, idade e, principalmente, gênero. A diferença de gênero fica clara entre as equações 3.2 e 3.3, de modo que o metabolismo da mulher é menor que o do homem, ou seja, mais lento.

$$\text{Mulher} : M_b = 9,99.m + 6,25.h - 4,92.a - 161 \quad (3.2)$$

$$\text{Homem} : M_b = 9,99.m + 6,25.h - 4,92.a + 5 \quad (3.3)$$

Onde:

$M_b$  = Metabolismo Basal [W/m<sup>2</sup>]

$m$  = Massa Corporal [kg]

$h$  = altura [cm]

$a$  = idade [anos]

Após esta etapa, de modo a obter o valor do metabolismo basal em  $[W/m^2]$ , foi necessário fazer algumas conversões e calcular o valor da superfície corporal do indivíduo médio considerado.

As conversões realizadas consistem em partir do conceito de que uma caloria equivale a 4.187 Joules e um dia a 86400 segundos, deste conceito transformou-se o resultado das equações 3.2 e 3.3 para  $[J/s]$ , dado pela equação 3.4.

$$M_b \left[ \frac{Kcal}{dia} \right] \cdot 0,0484 = M_b \left[ \frac{J}{s} \right] \quad (3.4)$$

Onde:

$M_b$  = Metabolismo Basal

Para o cálculo da superfície corporal utilizou-se a equação 3.5 dada por DUBOIS e DUBOIS (1916).

$$A = 0,2m^{0,425} \cdot \left( \frac{h}{100} \right)^{0,725} \quad (3.5)$$

Onde:

$A$  = Área da Superfície Corporal  $[m^2]$

$m$  = Massa Corporal [kg]

$h$  = altura [cm]

Para obter o valor do metabolismo basal em  $[W/m^2]$  basta dividir o valor obtido em 3.4 pelo valor obtido em 3.5, assim como mostra a equação 3.6:

$$M_b \left[ \frac{W}{m^2} \right] = \frac{M_b \left[ \frac{J}{s} \right]}{A \left[ m^2 \right]} \quad (3.6)$$

Onde:

$M_b$  = Metabolismo Basal

$A$  = Área da Superfície Corporal  $[m^2]$

Complementando os cálculos, foi necessário calcular o metabolismo do indivíduo realizando alguma atividade, pois, até o momento, o metabolismo calculado atende apenas as necessidades básicas do ser humano, não inclui nenhuma atividade e nenhum trabalho dos músculos. Para tanto, a equação 3.7 de Lob et al. (2010) foi utilizada considerando um indivíduo realizando um esforço mínimo.

$$M_w = 1,1 \cdot \frac{3,80 \cdot \left( \frac{h}{100} \right)^{-0,95} \cdot m}{A} \quad (3.7)$$

Onde:

$M_w$  = Metabolismo Realizando Atividade Leve - Andando à 1.1 m/s  $[W/m^2]$

$m$  = Massa Corporal [kg]

$h$  = altura [cm]

$A = \text{Área da Superfície Corporal [m}^2\text{]}$

Por fim, foi necessário calcular o metabolismo total, presente na equação 3.8, que consiste na soma do metabolismo basal e o metabolismo realizando uma atividade de mínimo esforço.

$$M_t = M_w + M_b \quad (3.8)$$

Onde:

$M_t = \text{Metabolismo Total [W/m}^2\text{]}$

$M_w = \text{Metabolismo Realizando Atividade Leve - Andando à 1.1 m/s [W/m}^2\text{]}$

$M_b = \text{Metabolismo Basal [W/m}^2\text{]}$

Entretanto, uma parcela do metabolismo gerado é utilizado para realizar a manutenção do próprio corpo, uma porção para o trabalho dos músculos e outra para a respiração, dadas pelas equações 3.9 e 3.10, respectivamente. Que devem ser subtraídos do resultado obtido pela equação 3.8.

$$W = 0,25.(M_t - M_b) \quad (3.9)$$

$$\lambda E_{sd} + \lambda E_r = 0,08.M_t \quad (3.10)$$

Onde:

$W = \text{Trabalho dos Músculos [W/m}^2\text{]}$

$M_t = \text{Metabolismo Total [W/m}^2\text{]}$

$M_b = \text{Metabolismo Basal [W/m}^2\text{]}$

$\lambda E_{sd} + \lambda E_r = \text{Perda pela Respiração [W/m}^2\text{]}$

### 3.4.2 Método de Transferência de Calor do Interior para o Meio

O metabolismo animal é frequentemente estudado dentro de câmaras onde as temperaturas do ar e da parede são iguais, a densidade do fluxo da radiação de ondas curtas é desprezível e as emissividades da parede são altas. Essa câmara poderia ser chamada de compartimento de corpo negro. Desta forma, considerando a equação do balanço de radiação e a temperatura de um corpo negro que contenha a temperatura operacional, CAMPBELL e NORMAN (1998) fez uso da temperatura operacional para eliminar os termos de radiação da equação do balanço de energia. Conseqüente, com alguns rearranjos dos termos, é possível obter o valor do metabolismo em função da temperatura e temperatura operacional, dada pela equação 3.11. No caso, a temperatura operacional e a temperatura do ar são iguais.

$$0,8.M_t = \frac{r.C_p.(t_b - t_{ar})}{(r_{hb} + r_e)} \quad (3.11)$$

Onde:

$M_t$  = Metabolismo Total [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$C_p$  = Capacidade de Calor do Ar [ $1004 \text{ J}/\text{Kg.K}$ ]

$t_{ar}$  = Temperatura do Ar [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$r_{hb}$  = Resistência Média à Transferência de Calor dos Tecidos e Cutânea [adimensional]

$r_e$  = Resistência Equivalente (soma da resistência causada pelo vento e pela radiação) [ $\text{s}/\text{m}$ ]

Esta equação mostra a relação entre a temperatura do interior do animal e a temperatura do ar, uma vez que a perda de calor é do interior para o meio. Como essa perda é do interior do animal, é necessário considerar todas as camadas que protegem o corpo, portanto, a resistência considerada é a resistência média à transferência de calor dos tecidos e cutânea. Por fim, inclui-se a taxa metabólica e a perda de calor latente para animais.

### 3.4.3 Transferência de Calor Superficial para o Meio - Campbell

Este caso é bem similar ao caso anterior, a equação parte do mesmo princípio. A equação 3.11 mostra a relação entre a temperatura do interna do animal e a temperatura do ar. Entretanto, como essa perda é superficial, não é mais necessário considerar todas as camadas que protegem o corpo, portanto, a resistência considerada é apenas o isolamento das roupas como é apresentada na equação 3.12. Por fim, inclui a taxa metabólica e a perda de calor latente para animais.

$$0,8.M_t = \frac{r.C_p.(t_b - t_{ar})}{(r_{cl} + r_e)} \quad (3.12)$$

Onde:

$M_t$  = Metabolismo Total [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$C_p$  = Capacidade de Calor do Ar [ $1004 \text{ J}/\text{Kg.K}$ ]

$t_b$  = Temperatura da Pele do Corpo Humano [ $^{\circ}\text{C} \sim 34^{\circ}\text{C}$ ]

$t_{ar}$  = Temperatura do Ar [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$r_{cl}$  = Resistência das Roupas [clo]

$r_e$  = Resistência Equivalente (soma da resistência causada pelo vento e pela radiação) [ $\text{s}/\text{m}$ ]

### 3.4.4 Método partindo da Temperatura Equivalente Percebida Adaptativa

No cálculo do índice de temperatura equivalente percebida adaptativa dado pela equação 2.4, há a dependência com relação ao metabolismo. Portanto, de acordo com a tabela 6, é possível verificar o valor de neutralidade para o índice TEPa, sendo ele entre 19.

6 °C e 27.2 °C, ou seja, a média em que uma pessoa normalmente se encontra em conforto térmico é de 23,4 °C.

Feito esta consideração, bastou isolar a variável referente ao metabolismo e fazer as devidas substituições na equação, em que, em um cenário de conforto ideal TEPA é equivalente à 23,4 °C.

Isolando o metabolismo, têm-se a equação 3.13:

$$0,8.M_t = \frac{-53,277 + 0,4828.t_{ar} + 0,5172.t_{rm} + 0,0802.ur - 2,322.v_{ar} - 0,1742.t_{mm} + 38,023r_{clo}}{-5,118} \quad (3.13)$$

Onde:

$M_t$  = Metabolismo Total [W/m<sup>2</sup>]

$t_{ar}$  = Temperatura do Ar [°C]

$t_{rm}$  = Temperatura Radiante Média [°C]

$ur$  = Umidade do Ar [%]

$v_{ar}$  = Velocidade do Vento [m/s]

$t_{mm}$  = Temperatura Média Mensal [°C]

$M$  = Metabolismo [W/m<sup>2</sup>]

$r_{clo}$  = Resistência das Roupas [clo]

### 3.5 Resistência das Roupas

As roupas, como um dos produtos mais vendidos globalmente, tem um importante papel em diversos aspectos na sociedade, entre eles o de minimizar a sensação de desconforto. Diante disso, alguns pesquisadores se dedicaram em estabelecer relações matemáticas entre a resistência da roupa, as variáveis ambientais e antropológicas. Portanto, a ideia de usar a resistência da roupa como uma variável isolada é nova e pouco explorada, mas com grande potencial de desenvolvimento.

Desta forma, foram abordados três métodos de cálculo do isolamento das roupas, sendo eles: Transferência de Calor Superficial para o Meio, Método proposto pelo Professor Ács e, por fim, partindo do índice de conforto térmico, a Temperatura Equivalente Percebida Adaptativa.

Mantendo o padrão dos cálculos realizados nas outras sessões, até o presente momento, para a realização de todos os cálculos foi mantido o indivíduo padrão representativo de cada região para cada gênero e foram utilizados os dados das tabelas 9, 10 e 11 para realização dos cálculos.

### 3.5.1 Transferência de Calor Superficial para o Meio - Campbell

São usadas as mesmas considerações da sessão 3.4.3. Contudo, a variável isolada é a resistência da roupa, não mais o metabolismo, de modo que, fazendo essa modificação do termo isolado, obtêm-se a equação 3.14. Nela há a relação entre a temperatura do superficial da pele do animal e a temperatura operativa.

A temperatura operativa combina a temperatura do ar e radiação em uma única temperatura equivalente. Geralmente utilizada em experimentos de situações externas, onde a radiação e a temperatura combinadas produzem uma temperatura operativa equivalente às condições na câmara ambiental. A temperatura operativa (temperatura corporal equivalente) é a temperatura uniforme de um corpo negro imaginário no qual um ocupante trocaria a mesma quantidade de calor na temperatura do ambiente natural.

$$r_{cl} = r.C_p \cdot \left( \frac{T_s - T_e}{M_t - (\lambda E_{sd} + \lambda E_r) - W} \right) - r_e \quad (3.14)$$

Onde:

$$T_e = T_{ar} + \frac{R_{ni}}{r.C_p} \cdot r_e \quad (3.15)$$

$$R_{ni} = S \cdot (1 - a_{cl}) + e_{ar} \cdot s \cdot t_{ar}^4 - e_{cl} \cdot s \cdot t_{ar}^4$$

$$e_{ar} = 0,319 + 0,379 \cdot \left( \frac{e}{t_{ar}} \right)^{\frac{1}{7}} \cdot (1 - N^{\frac{1}{7}}) + 0,93 \cdot N^{\frac{1}{7}}$$

$$r_{clo} = \text{Resistência das Roupas [clo]}$$

$$C_p = \text{Capacidade de Calor do Ar [1004 J/Kg.K]}$$

$$T_s = \text{Temperatura da Pele do Corpo Humano [°C ~ 34°C]}$$

$$T_e = \text{Temperatura Equivalente [°C]}$$

$$M_t = \text{Metabolismo Total [W/m}^2\text{]}$$

$$\lambda E_{sd} + \lambda E_r = \text{Perda pela Respiração [W/m}^2\text{]}$$

$$W = \text{Trabalho dos Músculos [W/m}^2\text{]}$$

$$r_e = \text{Resistência Equivalente (soma da resistência causada pelo vento e pela radiação)}$$

[s/m]

$$t_{ar} = \text{Temperatura do Ar [°C]}$$

$$R_{ni} = \text{Radiação Isotérmica Líquida [W/m}^2\text{]}$$

$$\sigma = \text{Constante de Stefan-Bolzman [5,67. 10}^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4\text{]}$$

### 3.5.2 Método proposto pelo Professor Ács Ferenc

Um dos modelos mais recentes, é o modelo de proposto pelo Ács, Kristóf e Zsákai (2019) que, consiste de uma adaptação e releitura do livro de CAMPBELL e NORMAN (1998). Desta forma, diante da literatura, a equação apresentada para o isolamento da roupa é a 3.16.

$$r_{cl} = r.C_p \cdot \left( \frac{T_s - T_a}{M_t - (\lambda E_{sd} + \lambda E_r) - W} \right) - r_e \cdot \left( \frac{R_{ni}}{M_t - (\lambda E_{sd} + \lambda E_r) - W} + 1 \right) \quad (3.16)$$

Onde:

$$R_{ni} = S \cdot (1 - a_{cl}) + e_{ar} \cdot s \cdot t_{ar}^4 - e_{cl} \cdot s \cdot t_{ar}^4$$

$$e_{ar} = 0,319 + 0,379 \cdot \left( \frac{e}{t_{ar}} \right)^{\frac{1}{7}} \cdot (1 - N^{\frac{1}{7}}) + 0,93 \cdot N^{\frac{1}{7}}$$

$r_{clo}$  = Resistência das Roupas [clo]

$C_p$  = Capacidade de Calor do Ar [1004 J/Kg.K]

$T_s$  = Temperatura da Pele do Corpo Humano [°C ~ 34°C]

$T_a$  = Temperatura do Ar [°C]

$M_t$  = Metabolismo Total [W/m<sup>2</sup>]

$\lambda E_{sd} + \lambda E_r$  = Perda pela Respiração [W/m<sup>2</sup>]

$W$  = Trabalho dos Músculos [W/m<sup>2</sup>]

$r_e$  = Resistência Equivalente (soma da resistência causada pelo vento e pela radiação)

[s/m]

$t_{ar}$  = Temperatura do Ar [°C]

$R_{ni}$  = Radiação Isotérmica Líquida [W/m<sup>2</sup>]

$\sigma$  = Constante de Stefan-Bolzman [5,67. 10<sup>-8</sup> W/m<sup>2</sup>.K<sup>4</sup>]

De modo que, esta equação faz as seguintes suposições:

- a roupa cobre completamente o corpo humano;
- a roupa gruda fortemente na superfície da pele;
- o albedo da roupa é igual ao albedo da pele;
- o voluntário está andando a uma velocidade de 1.1 m/s sem transpiração (portanto o método de metabolismo utilizado é o metabolismo antropológico);
- o calor latente de evaporação da pele seca e da roupa é igual;
- o corpo humano é representado como um único segmento (Katić et al., 2016).

### 3.5.3 Método partindo da Temperatura Equivalente Percebida Adaptativa

Novamente, utilizando a equação do índice de conforto térmico dado pela Temperatura Equivalente Percebida Adaptativa TEPa proposta por MONTEIRO (2008), é possível determinar a variável de isolamento da roupa necessária para obter o conforto.

A linha de raciocínio utilizada é a mesma utilizada no cálculo do metabolismo usado na sessão 3.4.4. Uma vez identificado o valor de neutralidade para o índice TEPa

(23.4 °C), bastou isolar a variável referente ao isolamento da roupa e a aplicação direta na equação 2.4, obtendo a equação 3.17.

$$r_{clo} = \frac{-53,277 + 0,4828.t_{ar} + 0,5172.t_{rm} + 0,0802.ur - 2,322.v_{ar} - 0,1742.t_{mm} + 5,118M_t}{-38,023} \quad (3.17)$$

Onde:

$r_{clo}$  = Resistência das Roupas [clo]

$t_{ar}$  = Temperatura do Ar [°C]

$t_{rm}$  = Temperatura Radiante Média [°C]

$ur$  = Umidade do Ar [%]

$v_{ar}$  = Velocidade do Vento [m/s]

$t_{mm}$  = Temperatura Média Mensal [°C]

$M_t$  = Metabolismo Total [W/m<sup>2</sup>]

### 3.6 Desenvolvimento Computacional

Nas sessões anteriores nota-se que grande parte dos cálculos com relação aos índices de conforto foram realizados via *EXCEL* ou *online*. Entretanto, os cálculos quanto ao metabolismo e isolamento das roupas foi efetuado via *FORMula TRANslation 90 (Fortran 90)*.

O *Fortran* surgiu na segunda metade da década de 50 e consiste em uma linguagem computacional que é até hoje muito utilizada. Na época de sua criação, a linguagem era apenas numérica e para fins científicos e militar, sendo criada com a finalidade de otimizar a velocidade das máquinas. Desta forma, esta foi a primeira linguagem de alto nível com várias modificações para aumentar a eficiência dos cálculos e oferecer maior número de ferramentas. Hoje, a versão mais recente é a atualização disponibilizada em 1990 chamada de *Fortran 90*.

Desta forma, neste *software* foram aplicadas as equações quanto o metabolismo e o isolamento das roupas via programação para obtenção dos resultados.



## 4 Resultados e Discussões

### 4.1 São Paulo, Brasil

#### 4.1.1 Análise dos Questionários Aplicados

Da aplicação dos questionários foi possível obter uma análise quantitativa com relação à sensibilidade, conforto, preferência e aceitabilidade dos voluntários com relação ao meio através de porcentagens e histogramas que serão apresentados durante esta seção.

Os histogramas apresentam as porcentagens no eixo y e, no eixo x, as respostas do questionário. Com relação à preferência térmica, no eixo x está indicado ao que os indivíduos entrevistados prefeririam estar sentindo com relação ao meio, ou seja, valores negativos sugerem uma preferência por um ambiente mais frio, zero significa neutralidade e, valores positivos referem-se a preferência por um ambiente mais quente.

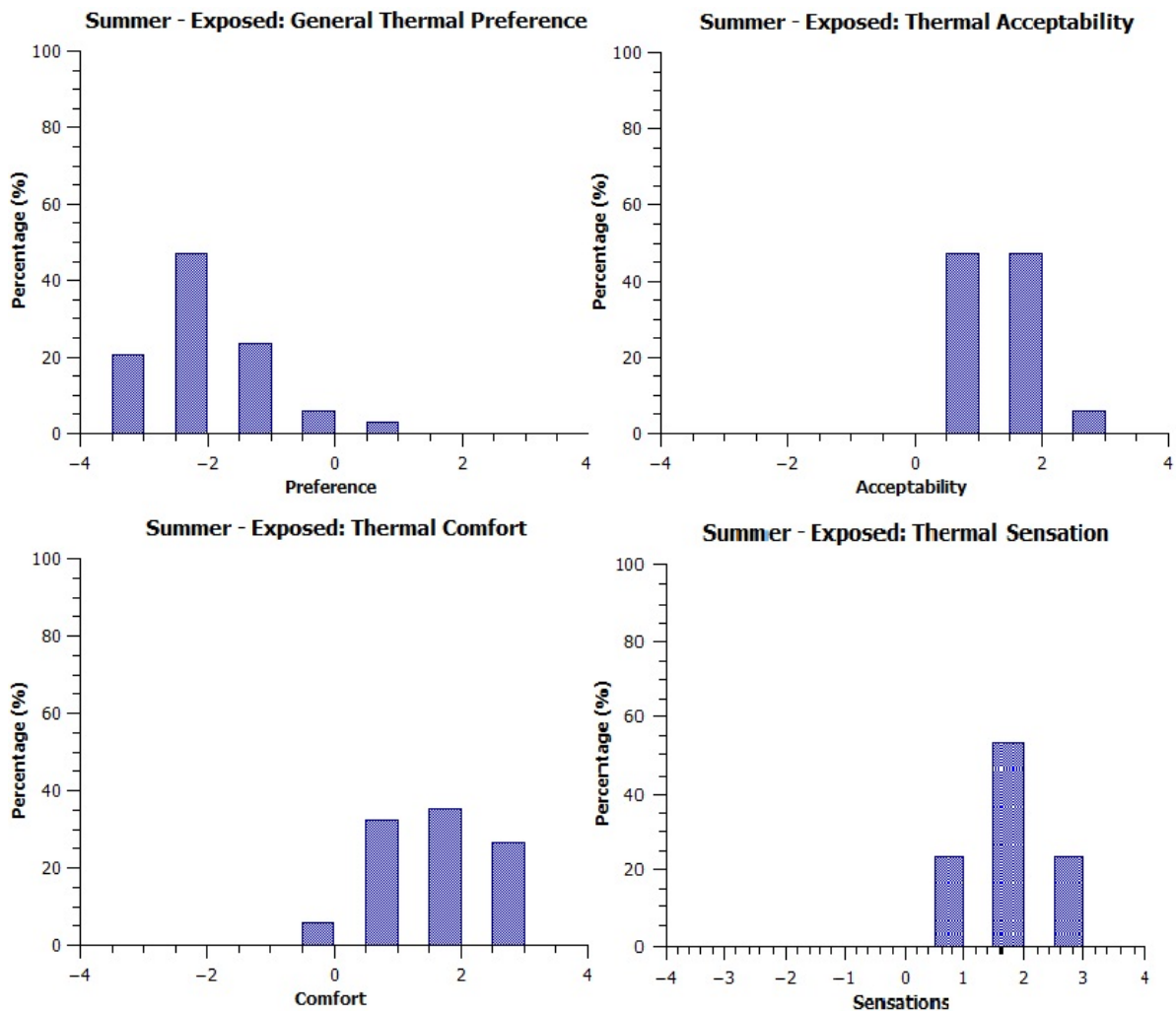
No histograma de aceitabilidade térmica, o eixo x varia de valores negativos a positivos passando por perfeitamente tolerável, facilmente tolerável, dificilmente tolerável até intolerável a medida que os valores vão se tornando positivos, ou seja, mais incômodo.

Quanto ao conforto térmico, o eixo x também varia de valores negativos a positivos passando por confortável, um pouco desconfortável, desconfortável e muito desconfortável a medida que os valores vão se tornando positivo, ou seja, novamente, mais incômodo.

Por fim, o histograma de sensação térmica apresenta informações sobre o que as pessoas estão sentindo naquele dado momento, variando de -4 à 4. Desta forma, os valores negativos representam o frio, zero a neutralidade e valores positivos representam o calor e, quanto maior a magnitude do valor, mais intensa a sensação associada.

Dito isso, o experimento realizado em um dia típico de verão, foi separado entre caso exposto ao Sol e caso coberto na sombra. Para o caso exposto, 47% dos votos sugerem que as pessoas consideram o ambiente dificilmente tolerável, isso porque as pessoas alegam sentir calor. Dos questionários, todas as pessoas sentiam calor por menor que fosse, de modo que, 23.5% marcaram no questionário a opção “um pouco calor”, 53% “calor” e 23.5% “muito calor”. Diante disto, responderam estar desconfortáveis, sendo a maior parte dos votos concentrados nas opções “um pouco desconfortável” (33%) e “desconfortável” (33%). Portanto, alegam preferir um ambiente mais frio (47%). como é apresentado na figura 36.

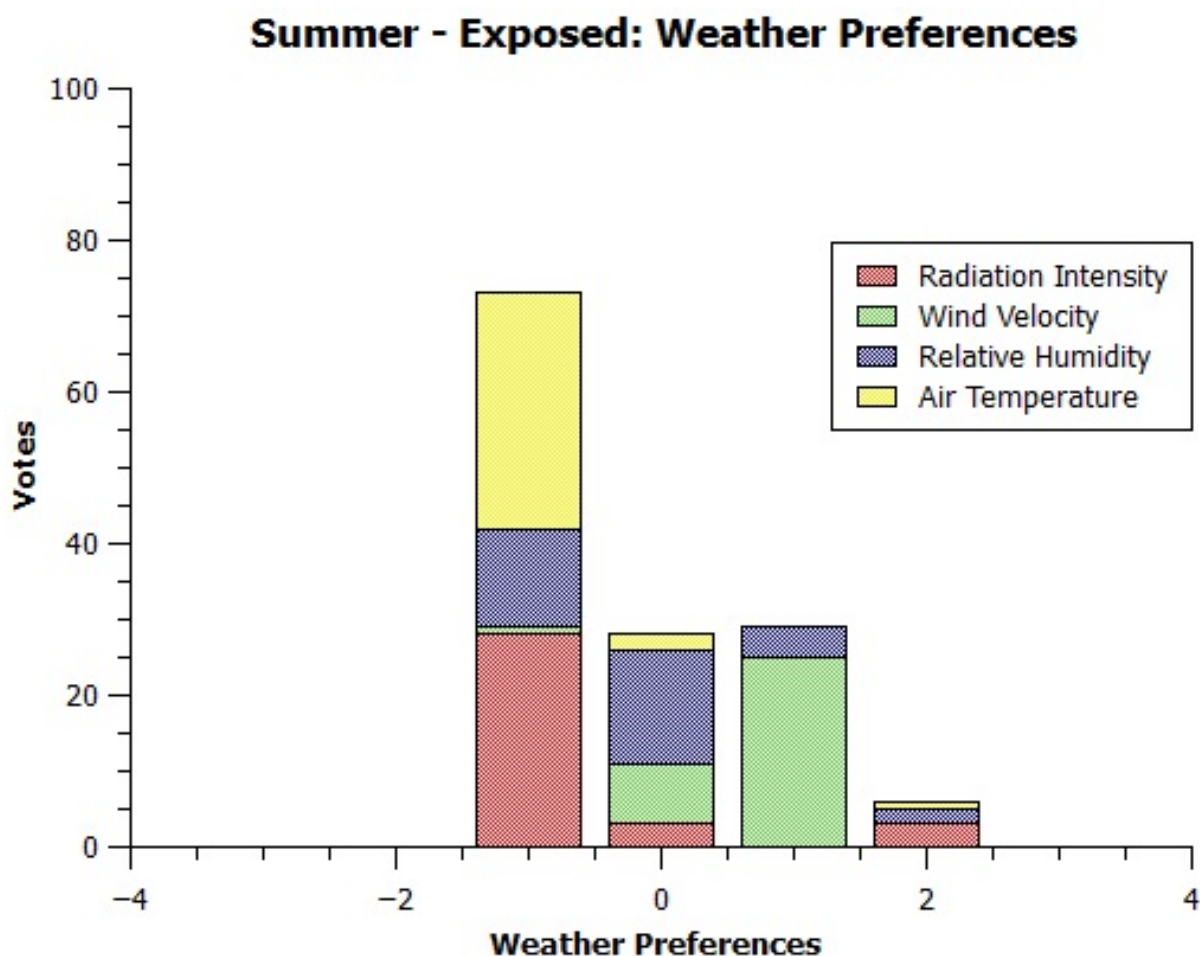
Figura 36 – Histogramas de preferência, aceitabilidade, conforto e sensação térmica provenientes dos questionários aplicados no experimento de verão, caso exposto, em São Paulo/ Brasil



do autor

Desta forma, o grupo sugeriu mudanças nas variáveis meteorológicas, optando por uma temperatura mais baixa, maior velocidade e intensidade dos ventos e uma radiação mais branda (de modo que os votos se concentram na opção negativa do eixo x na figura 37).

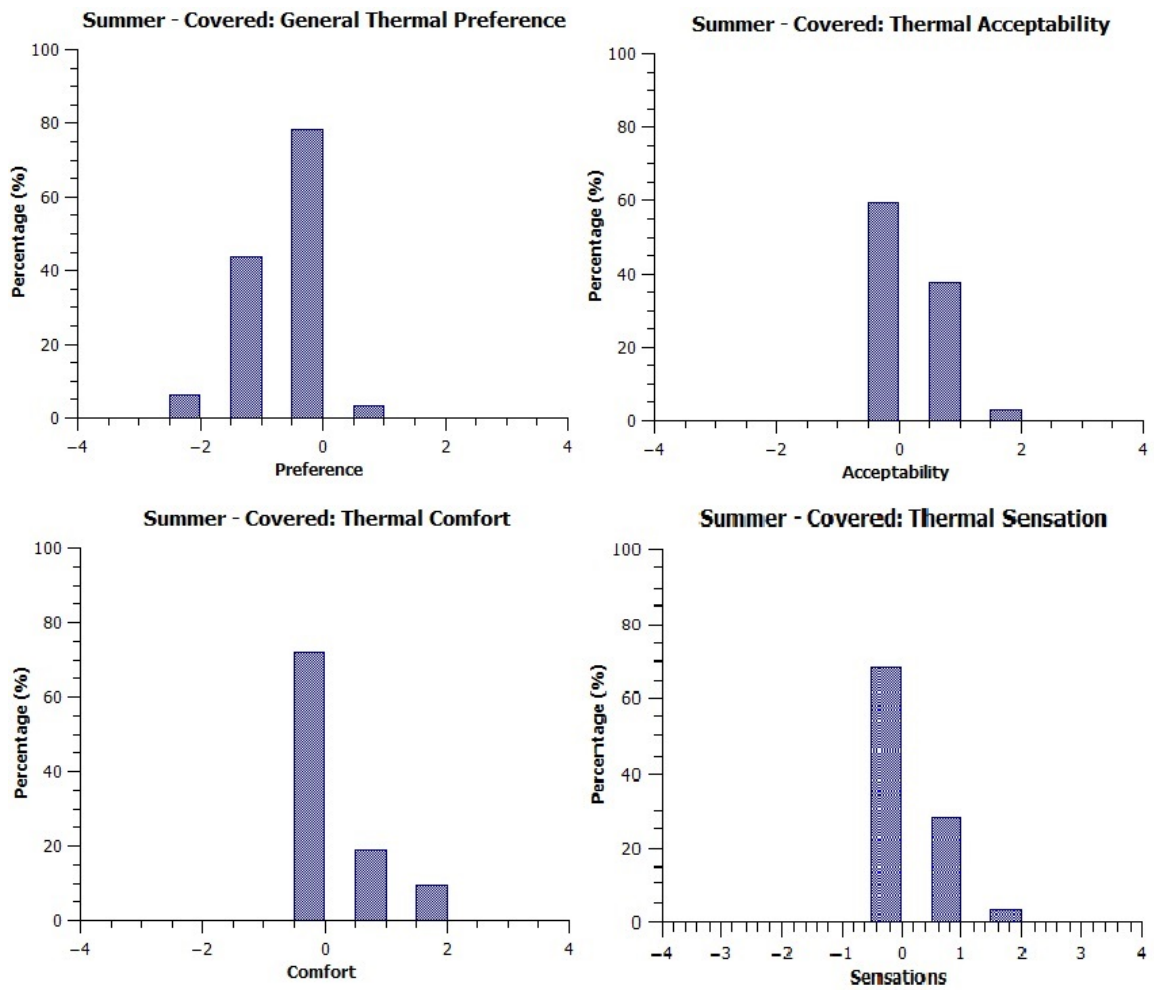
Figura 37 – Histograma de sugestões com relação às mudanças nas variáveis meteorológicas obtidas através dos questionários aplicados no experimento de verão, caso exposto, em São Paulo/ Brasil



do autor

No caso coberto do Sol (na sombra), os resultados foram mais promissores com relação ao conforto, uma vez que as pessoas estavam mais satisfeitas. Desta vez, 60% dos voluntários alegaram se encontrar em um ambiente perfeitamente aceitável, em que 69% deles não sentiam frio e calor. Desta maneira, 72% indicam estar confortáveis e 78% apontam que deixariam o ambiente como estava, sem modificar nenhuma das variáveis meteorológicas assim como é apresentado na figura 38.

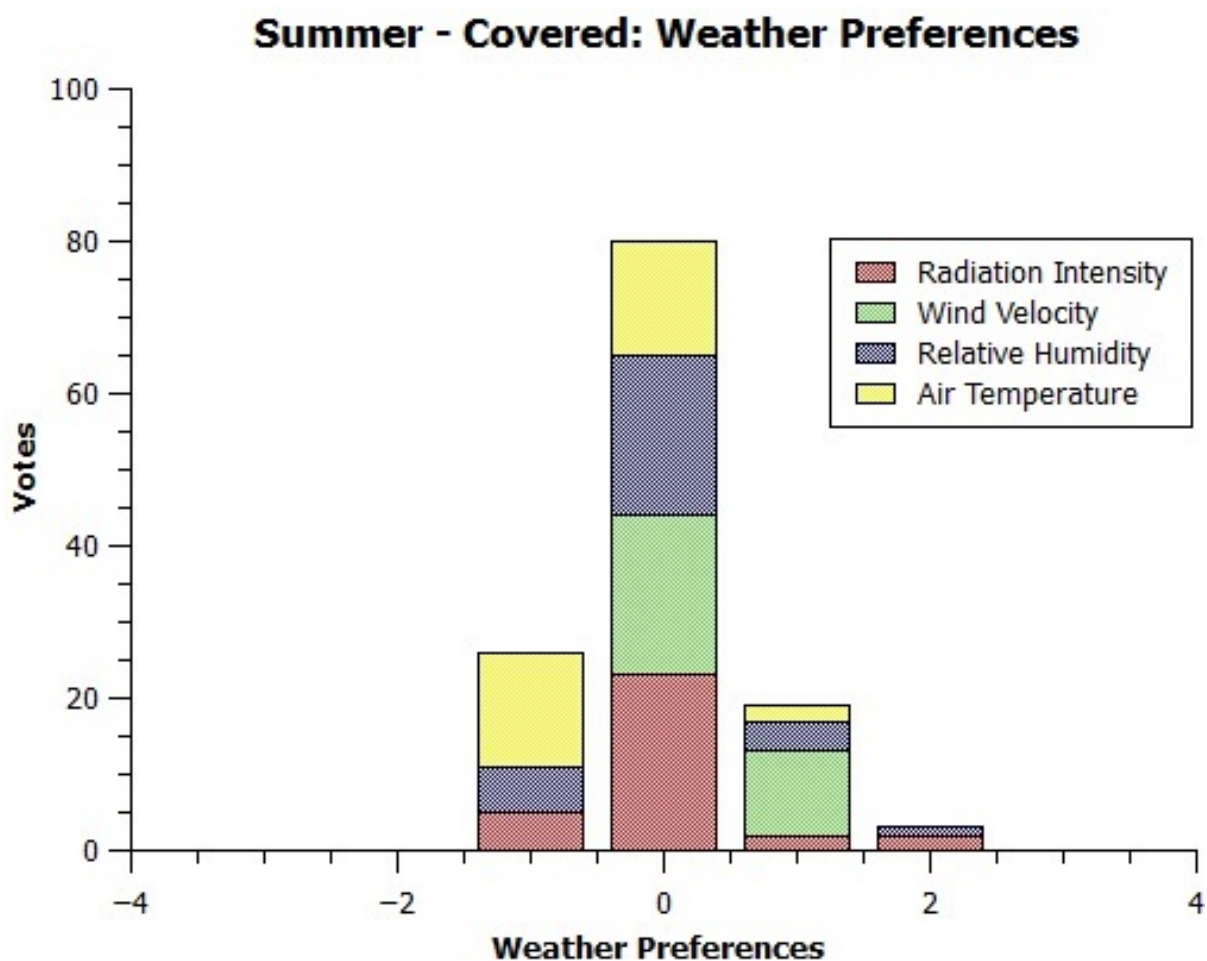
**Figura 38 – Histogramas de preferência, aceitabilidade, conforto e sensação térmica provenientes dos questionários aplicados no experimento de verão, caso coberto, em São Paulo/ Brasil**



do autor

Entretanto, caso houvesse alguma mudança com relação às variáveis meteorológicas, seria mínima e com relação à temperatura (figura 39), com a finalidade de diminuí-la.

Figura 39 – Histograma de sugestões com relação às mudanças nas variáveis meteorológicas obtidas através dos questionários aplicados no experimento de verão, caso coberto, em São Paulo/ Brasil

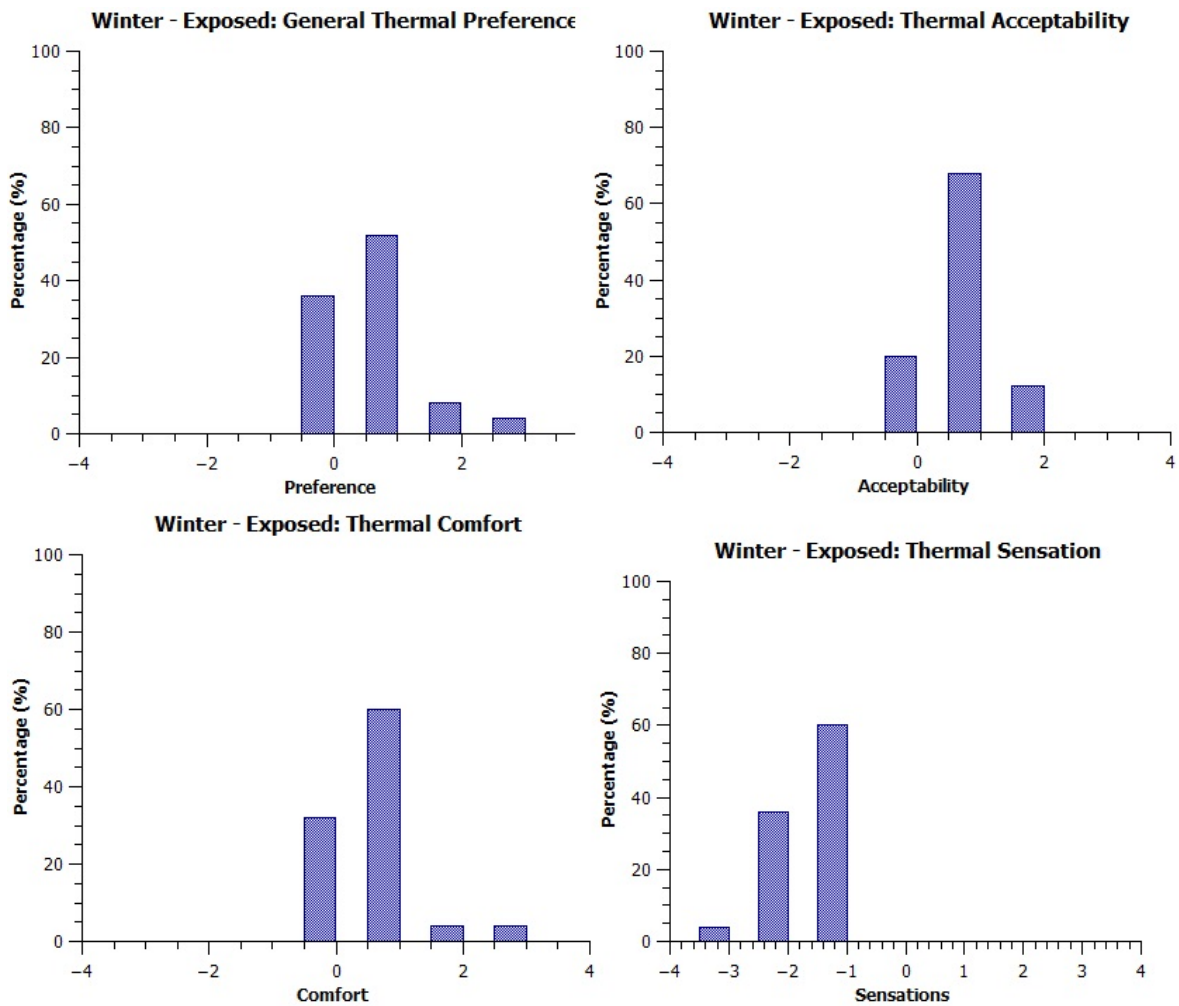


do autor

O segundo experimento, com a finalidade de simular um dia típico de inverno, também foi dividido em dois casos, o caso exposto ao vento e o caso coberto por algumas estruturas. Aqui, o caso se inverte, as pessoas se sentem incomodadas devido ao frio.

No caso exposto, pela figura 40 é possível observar que 68% das pessoas alegam que estar naquele ambiente é facilmente aceitável, entretanto, é um pouco desconfortável (60%) somado a uma parcela dos votos que alegaram ser bem desconfortável (32%), uma vez que 60% das pessoas sentem um pouco de frio e 36% sentem frio, totalizando 96%.

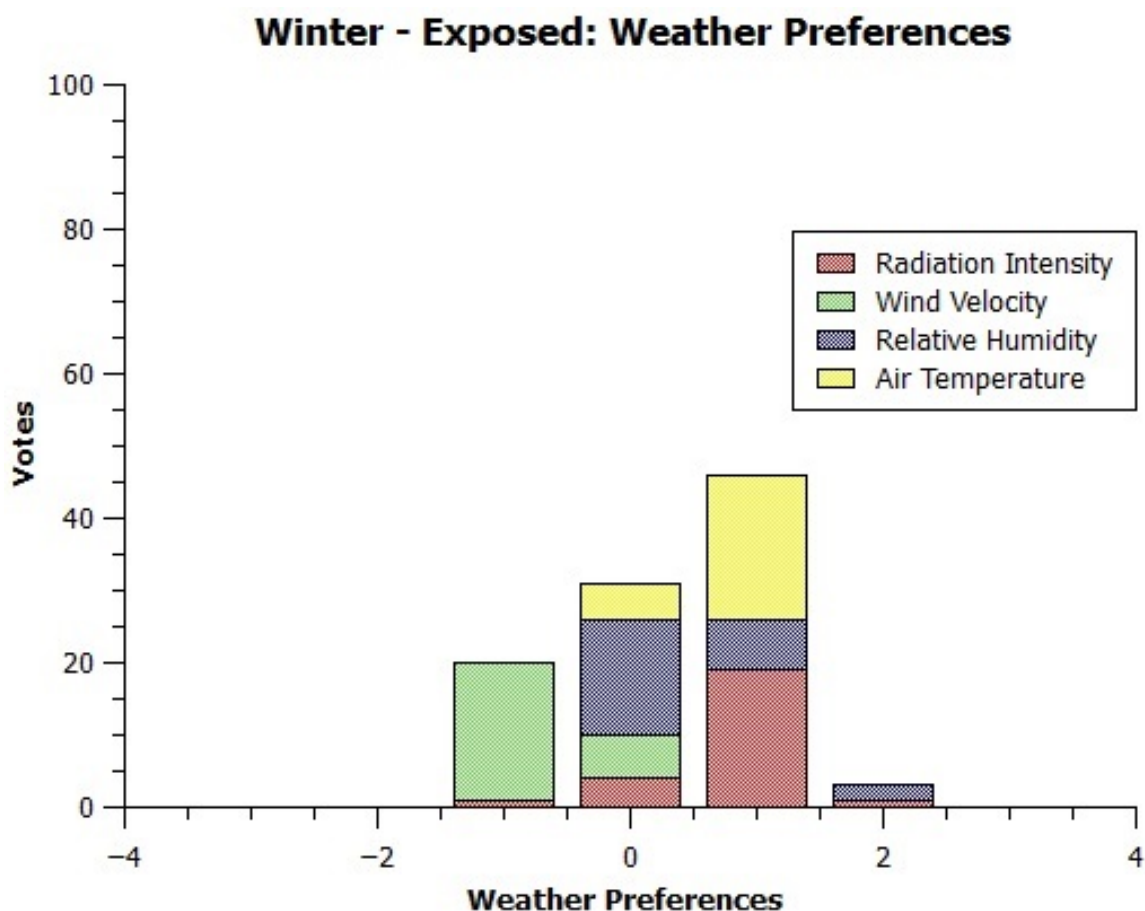
Figura 40 – Histogramas de preferência, aceitabilidade, conforto e sensação térmica provenientes dos questionários aplicados no experimento de inverno, caso exposto, em São Paulo/ Brasil



do autor

Deste modo, 52% dos voluntários sugerem mudanças no meio (figura 41), sendo elas: uma elevação no valor da temperatura, uma radiação mais intensa ou diminuição na intensidade dos ventos.

Figura 41 – Histograma de sugestões com relação às mudanças nas variáveis meteorológicas obtidas através dos questionários aplicados no experimento de inverno, caso exposto, em São Paulo/ Brasil

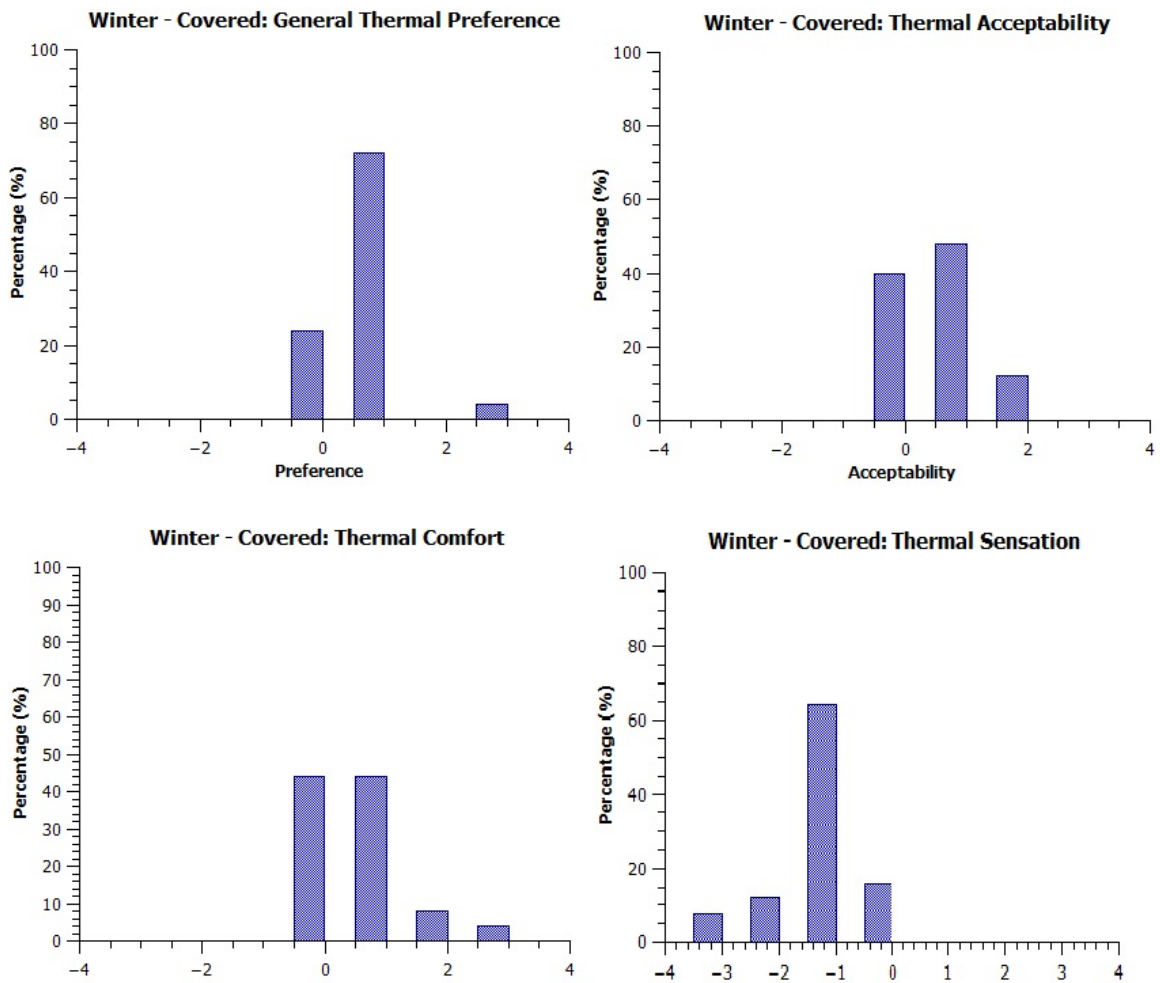


do autor

No caso coberto, as pessoas se sentiam mais confortáveis, uma vez que foi atingido o valor de 88% de aceitabilidade com relação ao local (sendo 40% perfeitamente aceitável e 48% facilmente aceitável). Todavia, ainda sentiam frio (64%), fazendo-as sentir um leve desconforto (44%) como apresentado na figura 42e, segundo a figura 43, optam um pouco mais de calor (72%).



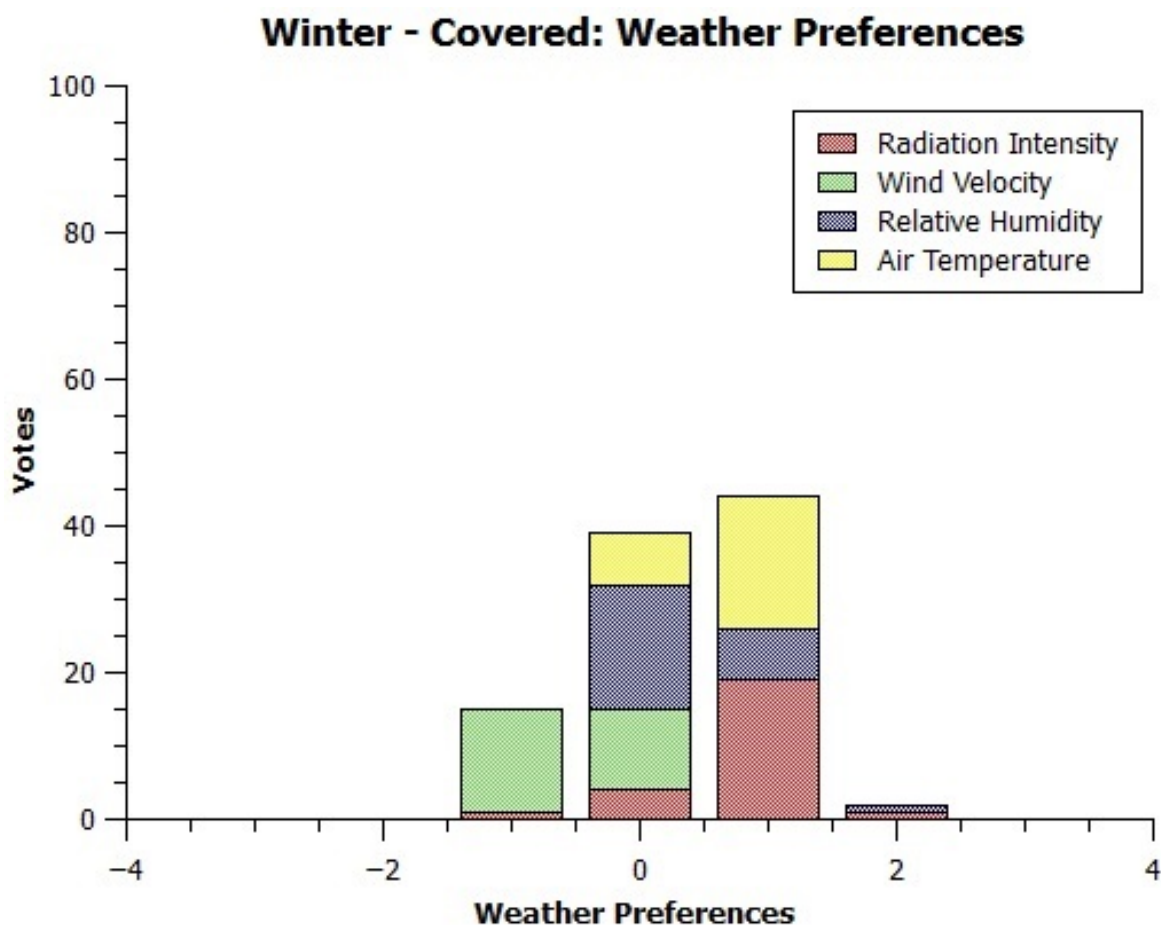
Figura 42 – Histogramas de preferência, aceitabilidade, conforto e sensação térmica provenientes dos questionários aplicados no experimento de inverno, caso coberto, em São Paulo/ Brasil



do autor



Figura 43 – Histograma de sugestões com relação às mudanças nas variáveis meteorológicas obtidas através dos questionários aplicados no experimento de inverno, caso coberto, em São Paulo/ Brasil



do autor

Relações que serão comparadas aos índices a seguir.

#### 4.1.2 Índices de Conforto

A tabela ?? apresenta o resultado dos cálculos realizados com relação aos índices de conforto térmico para os experimentos executados em São Paulo. Nesta tabela chama-se a atenção para os valores em vermelho, laranja e azul, pois, são os valores que representam extremos de desconforto devido ao calor, faixa elevada de calor e frio moderado, respectivamente.

É possível observar que, boa parte dos índices sugerem um intenso calor para o dia típico de verão, chegando até mesmo a ultrapassar as faixas de conforto extremas permitidas para cada um dos índices apresentados, em vermelho, nas tabelas da seção 2.5.

Entretanto, para o caso representativo de inverno, os índices indicam temperaturas próximas ou na faixa de neutralidade térmica. Uma possibilidade para essa ocorrência

é o fato de grande parte dos índices serem desenvolvidos no hemisfério norte e possuir uma ampla faixa de temperatura (alcançando níveis negativos). Desta forma, os índices desenvolvidos em São Paulo por MONTEIRO (2008) (TEP, TEPM e TEG), possuem um desempenho melhor de acordo com a realidade do país onde o estudo foi aplicado, indicando um dia um pouco frio (em azul).

Com relação aos diferentes casos estudados, para o verão é possível verificar que entre a opção exposta ao Sol e coberto pela sombra, os índices calculados para o caso na sombra apresentaram resultados mais próximos da faixa de neutralidade, sendo mais confortável. Já no caso do inverno, isso não é visível, as temperaturas obtidas são muito próximas e se encontram na mesma faixa de conforto, não evidenciando qual situação é mais promissora ao conforto.

**Tabela 12 – Resultado dos índices de conforto para cidade de São Paulo, Brasil.**

Índices	Verão no Sol	Verão na Sombra	Inverno Exposto	Inverno Coberto	Unidade
PMV - MULHER	4,9	4,7	0,7	-0,4	-
PPD - MULHER	100	100	15,3	8,3	%
PMV - HOMEM	4,3	4,1	1,1	0,3	-
PPD - HOMEM	99,9	99,9	30,5	6,9	%
PET	41,7	40,7	28,6	23,6	°C
UTCI - Rayman	37,6	-	27,7	25,2	°C
UTCI - Link 1	30,3	27,4	19,6	18,7	°C
UTCI - Link 2	31,8	26	18,8	17,7	°C
UTCI - Planilha	38,1	33,6	26,5	25,5	°C
WBGT - Link 2	25,9	22,2	16,4	15,5	°C
WBGT OUTDOORS - Planilha	28,6	28,7	19,6	18,5	°C

Índices	Verão no Sol	Verão na Sombra	Inverno Exposto	Inverno Coberto	Unidade
WBGT INDOORS - Planilha	26,3	23	16,8	16,5	°C
TEP	25,9	26,1	18,9	19,2	°C
TEPA	15,6	17,8	30,4	28,9	°C
TEPM	20,8	20,1	16,3	15,6	°C
TEG	26,1	23,6	18,4	17,5	°C
Tsp	0,6	0,65	-0,31	-0,29	-

Fonte (do autor)

Entretanto, é importante chamar atenção aos valores extremamente quentes obtidos para os casos de verão. Por exemplo, para o índice de conforto PMV, foram obtidos valores extremamente altos, sendo que entre 2.5 e 3.5 já são considerados extremos. Portanto, valores acima de 4.5 mostram que este seria um ambiente acima da faixa de extremo estresse térmico por calor, o que não chegou a ser o caso observado no cenário real (através dos questionários), ou seja, o índice não apresenta bons resultados, pois, há uma tendência ao extremo calor, ou seja, superestimou o cenário real. O mesmo aconteceu com o índice PET, que atingiu a faixa de estresse máximo térmico por calor, porém, neste caso, é mais comum este índice apresentar estes valores, principalmente em ambientes expostos ao sol. Portanto, não é evidência suficiente para desprezar este índice. Complementar a análise, a partir das informações dos questionários e da tabela 6, o índice mais representativo, ao considerar todos os cenários, foi o índice foi o TEG.

#### 4.1.3 Metabolismo

A partir da análise dos questionários e dos índices, é possível perceber que, em geral, há desconforto. Assim sendo, as tabelas 13 e 14 apresentam os valores indicados de metabolismo para cada uma das situações com o objetivo de minimizar este desconforto.

No caso do método antropológico, o resultado apresentado não é o valor necessário para obter o conforto térmico, mas sim, um valor médio de metabolismo estimado para uma mulher utilizando, apenas, os dados antropológicos. Desta forma, não apresenta variação ao longo do ano, pois, não há dependência com relação às variáveis meteorológicas. Contudo, é um bom mediador para comparar os demais métodos, uma vez que um valor muito abaixo do valor obtido por este método, ou muito acima, seria considerado muito diferente com relação ao metabolismo esperado fisiologicamente para aquela pessoa.

Os outros métodos consideram as variáveis meteorológicas e permitem relacionar a variação do meio com o conforto térmico. Dito isto, os valores obtidos variam sazonalmente.

Isto faz sentido, pois, se espera que em situações de muito calor, a atividade metabólica necessária exercida seja de menor intensidade e no inverno, seja necessário algo de maior intensidade de modo a promover calor. Não apenas sazonalmente, mas pequenas variações no ambiente podem torná-lo mais agradável, como ao comparar o caso exposto no Sol e na sombra.

Relacionando os dados da tabela 1 com os resultados obtidos na tabela 13, é possível pontuar as atividades indicadas para a mulher (padrão) de acordo com cada um dos métodos e para cada uma das situações de modo a obter o conforto. Desta forma, segundo o método de transferência de calor do interior para o meio, este indica que no caso de verão é necessário reduzir a atividade metabólica optando por se manter reclinada e/ou sentada relaxada quando exposta ao Sol; já na sombra, é possível estender o metabolismo a uma atividade sedentária (escritório, escola e etc) e ainda sim, estar em conforto. Ainda considerando este método, para o experimento de inverno, o ambiente coberto exige menos esforço para atingir o conforto, sendo necessária apenas a realização de atividades de baixa intensidade como fazer compras, atividades laboratoriais e trabalhos domésticos enquanto no caso exposto é indicada a realização de uma caminhada em local plano entre 2 a 3 km/h para promover aquecimento e atingir o conforto.

O método de transferência de calor superficial para o meio indica valores de magnitude ainda menores, isso porque considera apenas a transferência de calor superficial. Desta maneira, para o experimento de verão no caso exposto é indicado o repouso absoluto e, para o caso na sombra é indicado que a mulher (padrão) fique reclinada; quanto ao inverno, o resultado para o caso coberto indica a realização de uma atividade sedentária (escritório, escola e etc) enquanto o caso exposto sugere uma atividade de mais intensidade quanto ao metabolismo, sendo esta a realização de compras e atividades laboratoriais segundo a tabela 1.

Por fim, o metabolismo obtido a partir do cálculo da equação de Temperatura Equivalente Percebida Adaptativa apresenta uma sensibilidade extremamente grande a medida que se modificam os cenários. Indicando um valor extremamente baixo para o caso exposto ao Sol no verão, um metabolismo equivalente a uma atividade sedentária para o caso protegido na sombra e, no inverno, a realização de compras (para o caso coberto) à uma caminhada em um local plano a 3 km/h (para o caso exposto).

**Tabela 13 – Metabolismo indicado para a mulher (padrão) considerada nos experimentos realizados em São Paulo/ Brasil**

Métodos	Verão no Sol	Verão na Sombra	Inverno no Coberto	Inverno no Exposto	Unidade
Antropológico	125	125	125	125	W/ m <sup>2</sup>
Transferência de Calor do Interior para o Meio	65	85	106	121	W/ m <sup>2</sup>
Transferência de Calor Superficial para o Meio	32	48	75	83	W/ m <sup>2</sup>
TEPA	13	67	100	138	W/ m <sup>2</sup>

Fonte (do autor)

Para o gênero masculino, nota-se que os valores são levemente mais baixos, devido à massa, altura e superfície corporal do homem considerado ser maior que a de uma mulher (valores médios obtidos a partir do questionário). Porém, mesmo o valor absoluto do metabolismo ser menor e sugerir uma atividade de menor intensidade, esta variação é irrelevante ao considerar a tabela 1, sendo sugeridas as mesmas atividades que as indicadas ao gênero feminino.

Contudo, destaca-se o método obtido a partir do cálculo da equação de Temperatura Equivalente Percebida Adaptativa. Este método apresentou valores maiores que os obtidos para o metabolismo feminino, caracterizando as atividades sugeridas para o caso de verão no Sol, na sombra, inverno coberto e exposto como repouso absoluto, atividade sedentária à realização de compras, caminhada em local plano a 2 km/ h e uma caminhada em local plano acima de 5 km/h, respectivamente.

**Tabela 14 – Metabolismo o indicado para o homem (padrão) considerado nos experimentos realizados em São Paulo/ Brasil**

Métodos	Verão no Sol	Verão na Sombra	Inverno no Coberto	Inverno no Exposto	Unidade
Antropológico	133	133	133	133	W/ m <sup>2</sup>
Transferência de Calor do Interior para o Meio	31	47	74	83	W/ m <sup>2</sup>

Métodos	Verão no Sol	Verão na Sombra	Inverno no Coberto	Inverno no Exposto	Unidade
Transferência de Calor Superficial para o Meio	64	85	105	120	W/ m <sup>2</sup>
TEPA	15	78	117	272	W/ m <sup>2</sup>

Fonte (do autor)

Ou seja, foi possível notar em todos os casos que pequenas variações no ambiente podem torná-lo mais susceptível a uma faixa mais abrangente de atividades que auxiliam a obter o conforto com maior facilidade. Na sombra, o calor já não é mais tão intenso e é possível sair de uma situação em que é necessário gastar o mínimo de energia e realizar uma atividade com um pouco mais de impacto, abrangendo uma faixa com mais opções de atividades para atingir o conforto, porém, com pouco esforço para obtê-lo. O mesmo para o caso de inverno, mas dessa vez o caso coberto permite que a pessoa precise realizar um esforço menor para se encontrar em conforto quando comparado ao caso exposto ao vento.

Relacionando os métodos apresentados à realidade observada nos experimentos (dados obtidos via questionário), é possível indicar que o método que mais convergiu as informações, de modo geral, e se mostrou mais representativo foi o método de transferência de calor do interior para o meio.

#### 4.1.4 Resistência das Roupas

As tabelas 15 e 16 apresentam os resultados com relação as sugestões de resistência das roupas que deveriam ser utilizada para obtenção de conforto em cada uma das situações para a mulher (padrão) e para o homem (padrão), respectivamente.

Assim como nos resultados do metabolismo, é possível analisar cada método de obtenção dos dados de resistência das roupas e relacioná-los com a tabela 2 para determinar quais as roupas indicadas em cada situação considerando uma mulher e um homem padrão.

Dito isto, analisando o método de transferência de calor superficial presente na tabela 15, observa-se valores negativos com relação ao experimento de verão, sendo ainda mais negativos (desconfortáveis) no ambiente exposto, o que sugere a não utilização de roupas ou optar por roupas que consigam resfriar o corpo (ainda não amplamente comercializadas no mercado). Para o inverno, o caso coberto exige a necessidade de menos peças que o caso exposto, podendo ser composto pelo seguinte conjunto: roupas íntimas (0.03 clo), camiseta de flanela de mangas longas (0.3 clo), calça de flanela (0.28 clo) e sapatos (0.04 clo), totalizando um valor próximo de 0.67 clo. Enquanto, para o caso exposto, seria necessária mais alguma peça de roupa para atingir o valor de 0.84 clo sugerido, podendo ser uma calça fina por baixo da calça (0.2 clo).

A partir do método proposto pelo professor Ács, é possível identificar as pequenas variações consideradas em cada um dos experimentos. Ou seja, verifica-se a influência nas vestimentas quando comparado os ambientes expostos e cobertos. Entretanto, não é um método que representa bem a realidade de um país tropical, visto que, os valores obtidos no verão são significativamente elevados e, ao comparar com os questionários e as roupas utilizadas pelas pessoas no dia do experimento, não representam a realidade local indicando o uso de roupas consideravelmente pesadas como: roupas íntimas (0.03 clo), camiseta de flanela de mangas longas (0.3 clo), meia calça (0.2 clo), calça de flanela (0.28 clo) e sapatos (0.04 clo). No inverno, por sua vez, apresentou resultados muito coerentes com os obtidos no método de transferência de calor superficial para o meio, sugerindo praticamente a utilização das mesmas roupas que o dito no parágrafo anterior.

Por fim, a resistência obtida a partir do cálculo da equação de Temperatura Equivalente Percebida Adaptativa apresenta valores positivos em todas as considerações (bem aceito na literatura). Além disso, são valores próximos aos respondidos no questionário, sugerindo pequenas alterações no cenário real no modo de obter o conforto.

**Tabela 15 – Resistência da roupa necessária para a mulher (padrão) estar em conforto de acordo com as condições meteorológicas coletadas nos experimentos realizados em São Paulo/ Brasil**

Métodos	Verão no Sol	Verão na Sombra	Inverno no Coberto	Inverno no Exposto	Unidade
Transferência de Calor Superficial para o Meio	-0,26	-0,16	0,67	0,84	clo
Proposto pro Ács	0,88	1,33	0,73	0,8	clo
TEPA	0,57	0,51	0,71	0,75	clo

Para o caso homem, nota-se que os valores são levemente mais baixos, assim como no tópico do metabolismo. Aqui, como a variação de cada peça de roupa é mais sensível ao se tratar de isolamento da roupa, isso significa que o homem, dependendo do caso, poderia usar uma peça a menos (como por exemplo: uma camiseta ou um traje fino).

**Tabela 16 – Resistência da roupa necessária para o homem (padrão) estar em conforto de acordo com as condições meteorológicas coletadas nos experimentos realizados em São Paulo/ Brasil**

Métodos	Verão no Sol	Verão na Sombra	Inverno no Coberto	Inverno no Exposto	Unidade
Transferência de Calor Superficial para o Meio	-0,28	-0,21	0,58	0,74	clo
Proposto pro Ács	0,79	1,19	0,64	0,71	clo
TEPA	0,57	0,51	0,71	0,75	clo

De modo geral, percebe-se, novamente, a influência desde pequenas variações no meio (caso exposto e coberto) às grandes variações (verão e inverno) no conforto, metabolismo e, no caso, vestimentas, indicando os categorias de roupas mais adequadas para cada situação. Com isso, nota-se a utilização de roupas mais frescas às mais pesadas a medida que o ambiente vai de quente à frio.

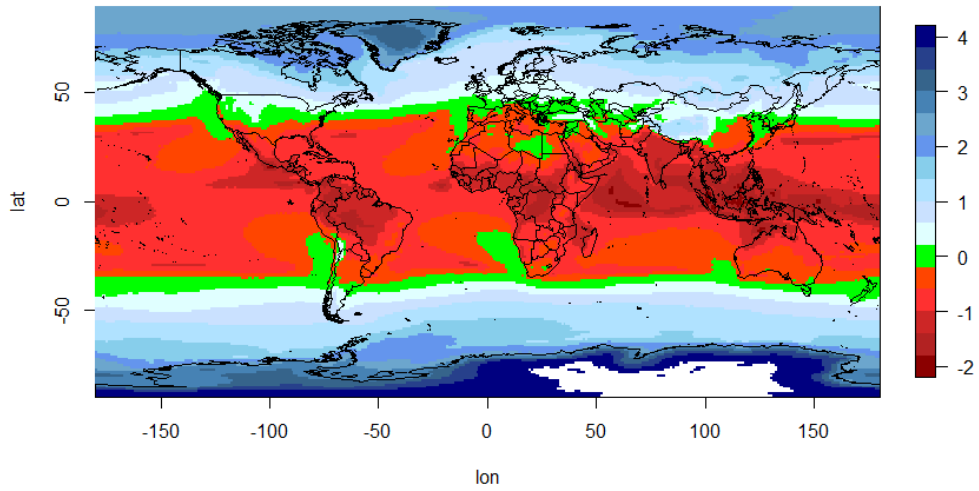
Aqui, de acordo com a literatura, o método de Temperatura Equivalente Percebida Adaptativa (TEPa) foi melhor devido a boa representatividade dos cenários passando de quente à frio (aumentando gradativamente a resistência das roupas). Adicionalmente, por se assemelhar aos dados obtidos via experimentação e, por apresentar valores de magnitude positiva isso corrobora para essa conclusão. Entretanto, o método de transferência de calor superficial para o meio representou muito bem o desconforto e, permite a visualização clara da influência das variáveis meteorológicas, mesmo com valores negativos. Ou seja, esse outro método conseguiu representar bem a evolução do conforto, de modo que, na sombra, em que o calor se torna moderado, o valor negativo começa a se aproximar de zero; para o inverno, o mesmo se repete, mas com valores positivos uma vez que trata-se de frio.

Devido à dificuldade em analisar os resultados obtidos pelo método proposto por Ács no aspecto sazonal, o mesmo colaborou realizando uma análise climatológica global para resistência das roupas utilizando dados desde 1992 a 2020. Desta análise é possível verificar na figura 44 a resistência das roupas indicada considerando a média anual, em seguida aplicada para janeiro (verão no Hemisfério Sul) e, por fim, julho (inverno no Hemisfério Sul). Deste resultado nota-se a presença de resistências negativas, principalmente na região tropical durante o verão e, valores próximos de zero a medida que inicia o inverno, convergindo para uma análise similar ao obtido no método de transferência de calor superficial para o meio.

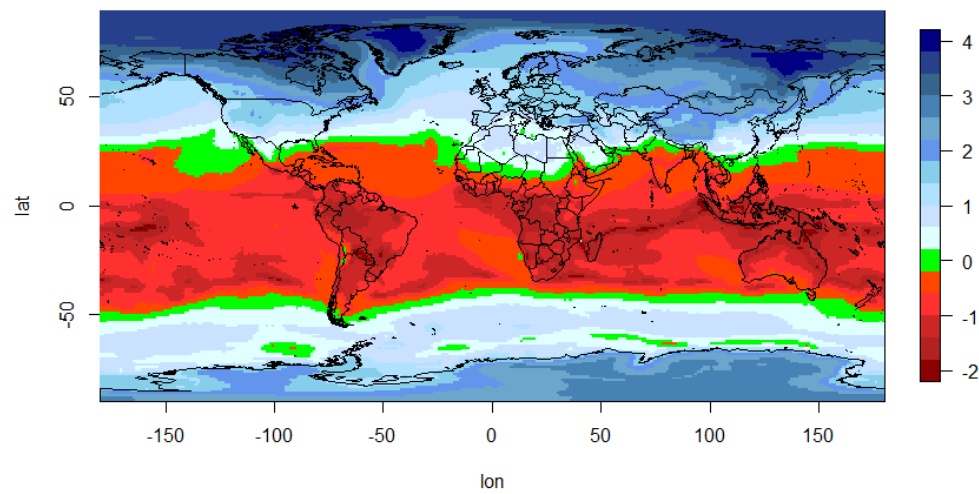


Figura 44 – Análise climatológica global de resistência das roupas utilizando dados de 1992 a 2020. Primeiro caso considerando a média anual, segundo caso focado para o mês de janeiro e terceiro caso apresentando os resultados utilizando o mês de julho

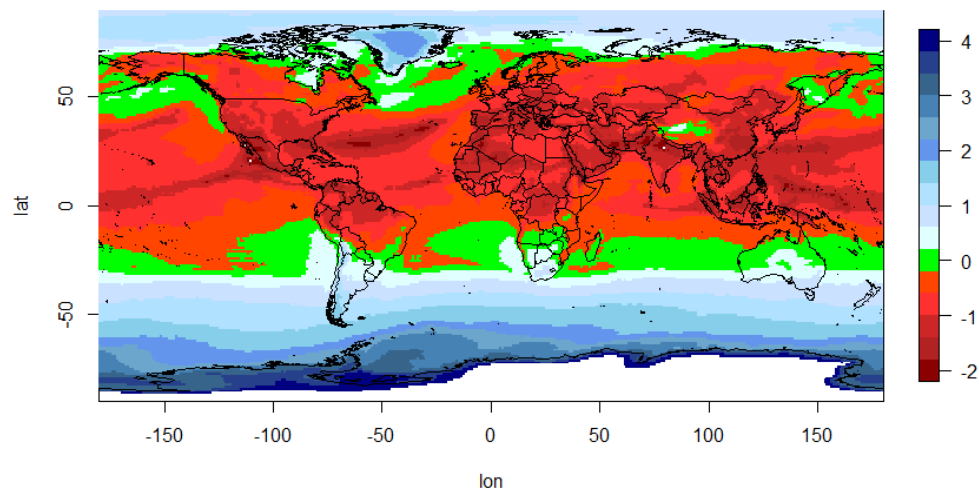
A ruházat 1992-re vonatkozó átlagos hőszigetelési paramétere [Clo] - B. M.



A ruházat 1992. januárja vonatkozó átlagos hőszigetelési paramétere [Clo] - B. M.



A ruházat 1992. júliusra vonatkozó átlagos hőszigetelési paramétere [Clo] - B. M.



A título de curiosidade, uma vez identificada a resistência negativa indicando a necessidade de roupas que refresquem, buscou-se no mercado se este tipo de tecnologia já está em desenvolvimento e a resposta é sim. Em 2015 a universidade da Califórnia estava desenvolvendo uma camiseta que aquece e resfria através de um tecido inteligente que envolve o uso de bactérias. Em 2017, o MIT criou, para atletas, um modelo de camiseta que identifica a variação da temperatura da pele e habilita um mecanismo que se abre (como escamas) e permite maior ventilação, favorecendo um resfriamento (MARADEI, 2017). Em sequência, a universidade de Maryland, em 2019, também encontra-se desenvolvendo essa tecnologia, porém, ainda não foi introduzido no mercado. Por fim, na China, também em 2019, desenvolveu essa tecnologia voltada para atletas, médicos e meio automobilístico, resultando em uma camiseta com um dispositivo que esfria até 20°C e esquentava até 40°C, sendo controlado via aplicativo de celular. Todavia, essa é uma tecnologia muito nova no mercado e segue em fase de projeto, ou seja, não se encontra pronta para ampla comercialização, pois, o tecido tem que ser leve, durável, comercializável e lavável. Portanto, isso enfatiza a necessidade deste estudo de modo a dar suporte ao desenvolvimento do setor.

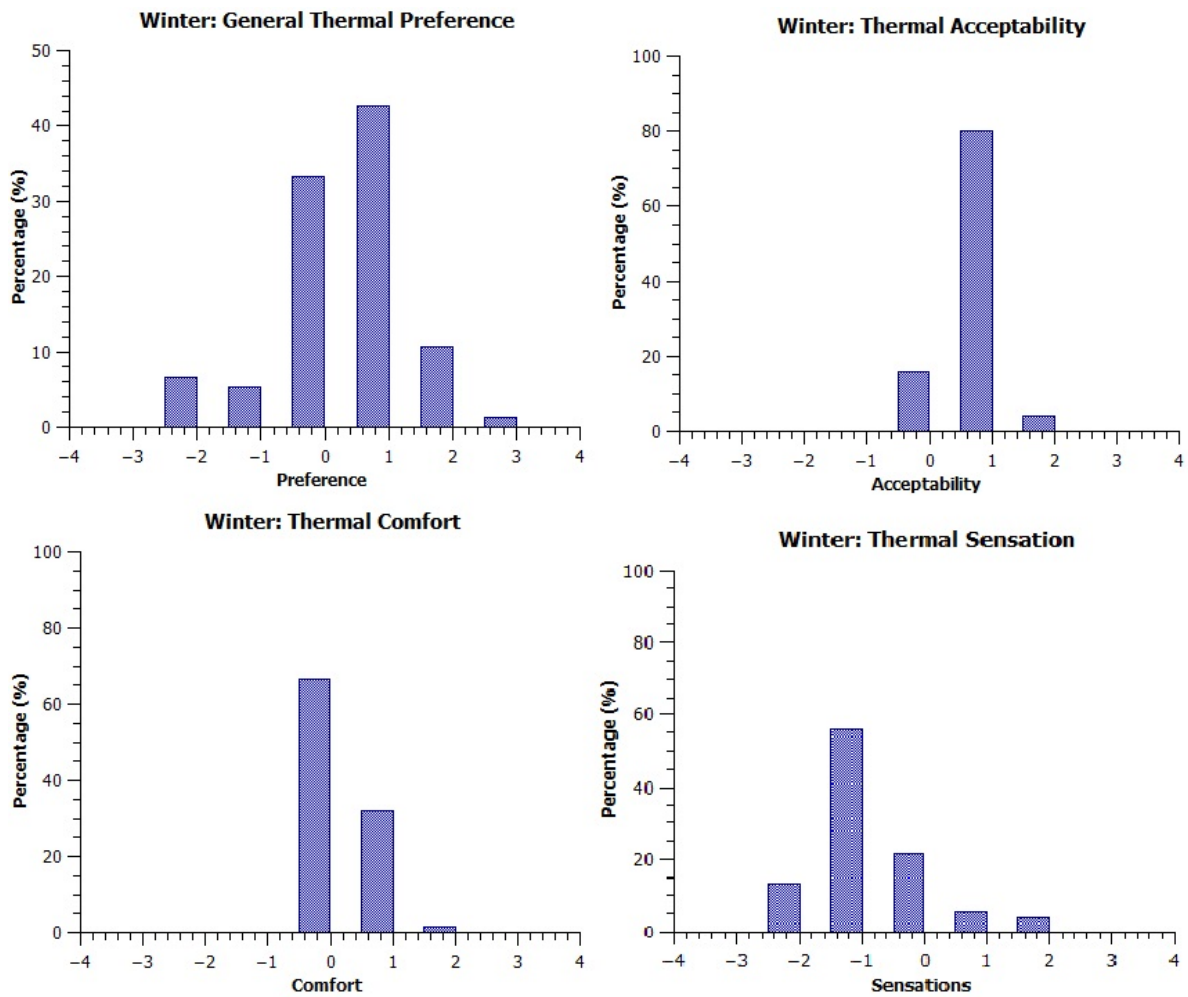
## 4.2 Budapeste, Hungria

### 4.2.1 Análise dos Questionários Aplicados

Assim como para o Brasil, dos questionários aplicados no experimento de inverno em Budapeste (Hungria) foi possível obter uma análise quantitativa com relação à sensibilidade, conforto, preferência e aceitabilidade dos voluntários com relação ao meio através de porcentagens e histogramas. Histogramas que apresentam as porcentagens no eixo y e, no eixo x, as respostas do questionário seguindo o mesmo padrão aplicado ao Brasil.

Deste modo, na figura 45 nota-se que 56% dos votos sugerem que as pessoas consideram o ambiente um pouco frio, fazendo-as se sentirem confortáveis (66.7%) à um leve desconforto (32%). Além disso, as pessoas entrevistadas alegaram preferir por um ambiente um pouco mais quente (42.3%) e/ ou são indiferentes com relação à preferência térmica (33.3%). Portanto, 80% dos votos indicam que este foi um ambiente facilmente tolerável.

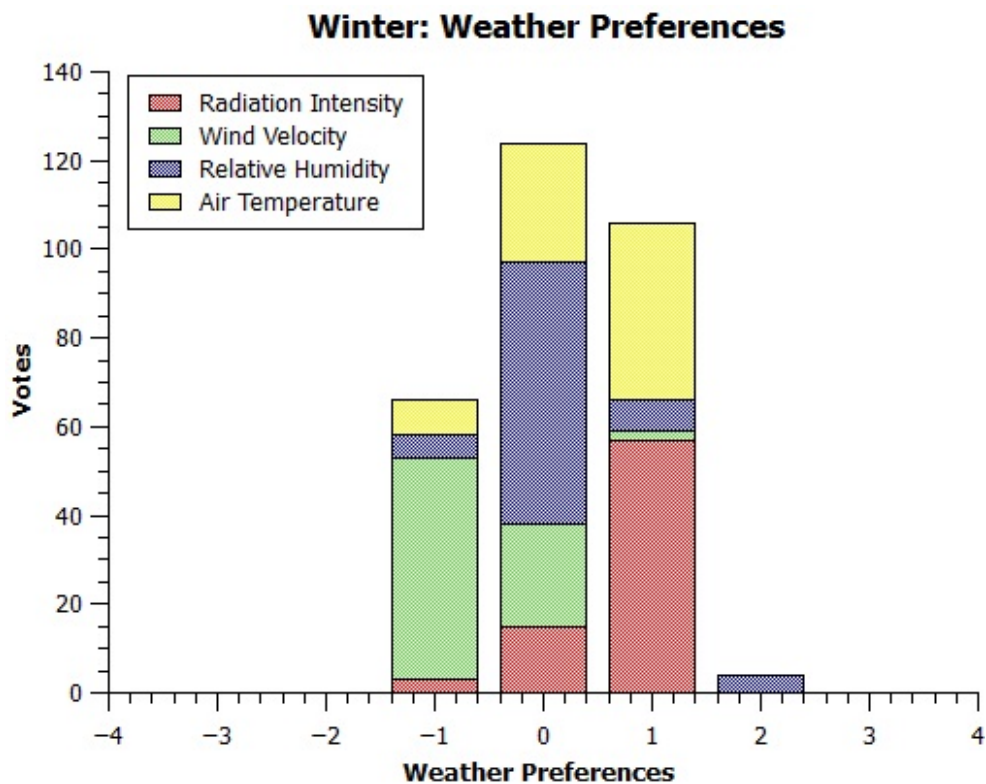
Figura 45 – Histogramas de preferência, aceitabilidade, conforto e sensação térmica provenientes dos questionários aplicados no experimento de inverno em Budapeste/ Hungria



do autor

Desta forma, o grupo sugeriu mudanças nas variáveis meteorológicas, optando por uma temperatura e radiação mais elevadas e, menor velocidade e intensidade dos ventos (figura 46).

Figura 46 – Histograma de sugestões com relação às mudanças nas variáveis meteorológicas obtidas através dos questionários aplicados no experimento de inverno em Budapeste/ Hungria



do autor

#### 4.2.2 Índices de Conforto

A tabela 17 apresenta o resultado dos cálculos realizados com relação aos índices de conforto térmico para o experimento de inverno realizado em Budapeste, Hungria.

Nesta tabela chama-se a atenção para os valores em azul escuro e azul claro, pois, são os valores que representam extremos de desconforto devido ao frio e um pouco de frio conforme apresentado nas tabelas de caracterização das faixas de conforto de cada índice na seção 2.5, respectivamente.

É possível observar que, de modo geral, os índices indicam conforto neutro (UTCI Link 2, UTCI Planilha, WBGT em todos os casos, TEG e Tsp), seguido de frio moderado (PMV para o homem, PET, UTCI Rayman, UTCI Link 1e TEP) à frio (PMV para o mulher e TEPM) para este dia utilizando as escalas interpretativas apresentadas na seção 2.

Tabela 17 – Resultado dos índices de conforto para cidade de Budapeste, Hungria

Índices	Inverno	Unidade
PMV - MULHER	-3,3	-
PPD - MULHER	99,84	%
PMV - HOMEM	-1,7	-
PPD - HOMEM	61,8	%
PET	9,3	°C
UTCI - Rayman	9,4	°C
UTCI - Link 1	7,3	°C
UTCI - Link 2	10,7	°C
UTCI - Planilha	12,9	°C
WBGT - Link 2	8,1	°C
WBGT OUTDOORS - Planilha	9,2	°C
WBGT INDOORS - Planilha	8,2	°C
TEP	13	°C
TEPA	-	°C
TEPM	7,6	°C
TEG	9,3	°C
Tsp	-0,7	-

Fonte (do autor)

### 4.2.3 Metabolismo

A partir da análise dos questionários e dos índices, é possível perceber que existe um certo desconforto apontando para situação de frio. Portanto, as tabelas 18 e 19 contêm os valores de metabolismo indicados para tentar obter o conforto.

Novamente, o método antropológico não apresenta o valor necessário para obter o conforto térmico, mas sim, um valor médio de metabolismo estimado para o indivíduo utilizando, apenas, os dados antropológicos. Desta forma, não apresenta variação ao longo do ano, pois, não há dependência com relação às variáveis meteorológicas.

Partindo para os outros métodos que consideram a influência das variáveis meteorológicas e, relacionando com os dados da tabela 1, é possível pontuar as atividades indicadas para a mulher (padrão) de modo a atingir o conforto. Desta forma, segundo o método de transferência de calor do interior para o meio, este indica que é necessário elevar a atividade metabólica optando por realizar uma caminhada em local plano a 3

km/h. Já o método de transferência de calor superficial para o meio indica valores de menor magnitude, indicando uma caminhada em um local plano a 2 km/h. Por fim, o metabolismo obtido a partir do cálculo da equação de Temperatura Equivalente Percebida Adaptativa apresenta uma sensibilidade extremamente grande quanto a situação de frio, provavelmente por ter sido desenvolvido para regiões tropicais. Desta forma, este método indica indicando um valor extremamente alto, ou seja, um metabolismo equivalente a uma caminhada a mais de 5 km/h.

**Tabela 18 – Metabolismo indicado para a mulher (padrão) considerada no experimento realizado em Budapeste/ Hungria**

Métodos	Inverno	Unidade
Antropológico	108	W/ m <sup>2</sup>
Transferência de Calor do Interior para o Meio	137	W/ m <sup>2</sup>
Transferência de Calor Superficial para o Meio	103	W/ m <sup>2</sup>
TEPA	323	W/ m <sup>2</sup>

Fonte (do autor)

Para o homem os valores são bem similares (tabela 19), portanto, são feitas as mesmas observações e são sugeridas as mesmas atividades que as indicadas ao gênero feminino.

Diferente do Brasil, neste caso, destaca-se o método obtido a partir do cálculo da transferência de calor superficial para o meio, sendo convergente aos resultados obtidos a partir do cálculo dos índices de conforto e análise dos questionários.

**Tabela 19 – Metabolismo o indicado para o homem (padrão) considerado no experimento realizado em Budapeste/ Hungria**

Métodos	Inverno	Unidade
Antropológico	113	W/ m <sup>2</sup>
Transferência de Calor do Interior para o Meio	136	W/ m <sup>2</sup>
Transferência de Calor Superficial para o Meio	103	W/ m <sup>2</sup>
TEPA	323	W/ m <sup>2</sup>

Fonte (do autor)

#### 4.2.4 Resistência das Roupas

As tabelas 20 e 21 apresentam os resultados com relação as sugestões de resistência das roupas que deveriam ser utilizada para obtenção de conforto eno inverno europeu para a mulher (padrão) e para o homem (padrão), respectivamente.

Assim como nos resultados do metabolismo, é possível analisar cada método de obtenção dos dados de resistência das roupas e relacioná-los com a tabela 2 para determinação de quais as roupas são indicadas de modo a obter o conforto considerando uma mulher húngara e um homem húngaro (padrão).

O método de transferência de calor superficial apresenta o valor de 1.09 clo para a mulher húngara no ambiente do experimento (inverno). Segundo a tabela de índice de resistência térmica para cada peça de roupa, isto significa o uso de roupas mais pesadas e quentes, como: roupas íntimas (0.03 clo), camiseta de mangas curtas (0.12 clo), casaco pesado (0.6 clo), calça de flanela (0.28 clo) e sapatos (0.04 clo), totalizando um valor próximo de 1.07 clo.

A partir do método proposto pelo professor Ács, o valor obtido é de 1.88 clo, sendo o valor mais elevado obtido. Ou seja, mais sensível às condições atmosféricas (como visto no experimento no Brasil). Mesmo sendo um método desenvolvido para o Hemisfério Norte, ao comparar com os dados dos questionários aplicados em Budapeste, em que o indivíduo médio utiliza uma resistência de roupa de 1.15, este método acabou superestimando o valor esperado. Desta forma, a fim de obter conforto através deste método, sugere-se o uso de roupas íntimas (0.03 clo), camisa de mangas longas (0.25 clo), *sweater* (0.3), casaco pesado (0.6 clo), meia calça (0.1 clo), calça de flanela (0.28 clo), luvas (0.05 clo), cachecol (0.05 clo), meias (0.02) e botas (0.1 clo).

Por fim, a resistência obtida a partir do cálculo da equação de Temperatura Equivalente Percebida Adaptativa apresenta o valor de 1.12 clo positivo e extremamente próximo ao respondido no questionário (1.15 clo), ou seja, não seriam necessárias alterações significativas nas roupas utilizadas pelos entrevistados (que via questionário, em grande maioria, indicaram *status* de conforto. No caso, este valor representa o uso de roupas íntimas (0.03 clo), camisa fina de mangas longas (0.2 clo), casaco pesado (0.6 clo), calça de flanela (0.28 clo) e sapatos (0.04 clo), totalizando uma resistência total de 1.17 clo.

**Tabela 20 – Resistência da roupa necessária para a mulher (padrão) estar em conforto de acordo com as condições meteorológicas coletadas no experimento realizado em Budapeste/ Hungria**

Métodos	Verão no Sol	Unidade
Transferência de Calor Superficial para o Meio	1,09	clo
Proposto pro Ács	1,88	clo

Métodos	Verão no Sol	Unidade
TEPA	1,12	clo

Assim como o observado para São Paulo, os resultados para o indivíduo masculino são muito similares, mas de magnitude um pouco menor. Ou seja, este poderia optar por utilizar uma peça a menos que a mulher (como por exemplo: uma camiseta ou um traje fino).

**Tabela 21 – Resistência da roupa necessária para o homem (padrão) estar em conforto de acordo com as condições meteorológicas coletadas no experimento realizado em Budapeste/ Hungria**

Métodos	Verão no Sol	Unidade
Transferência de Calor Superficial para o Meio	1,01	clo
Proposto pro Àcs	1,78	clo
TEPA	1,12	clo

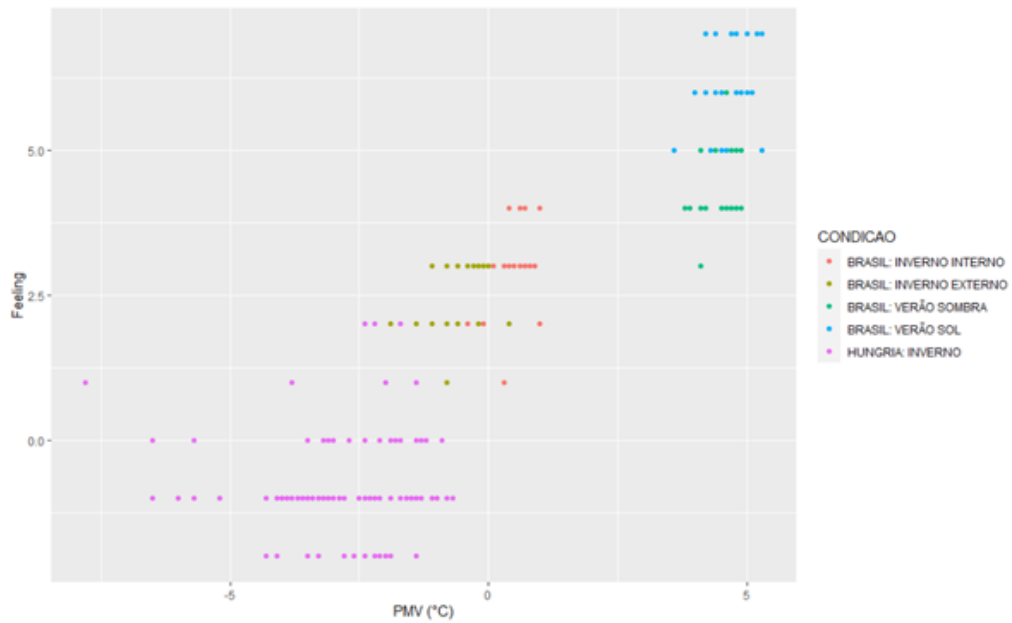
### 4.3 Análise Estatística

A partir dos índices de conforto, foram determinados os índices que consideram a variação com relação aos dados antropológicos com a finalidade de calcular o índice de cada voluntário e compará-lo aos dados dos questionários. Desta forma, os índices que permitem essa análise mais específica e individual são PMV, PET, UTCI e TEPa.

Desta forma, as figuras 47, 48, 49 e 50 apresentam o gráfico de dispersão do índice PMV, PET, UTCI e TEP-A com relação aos questionários, respectivamente. No eixo y a variável feeling representa a sensação térmica e no eixo x os índices utilizados. As cores diferenciam cada país e sua condição (local, estação do ano e ambiente) de análise.

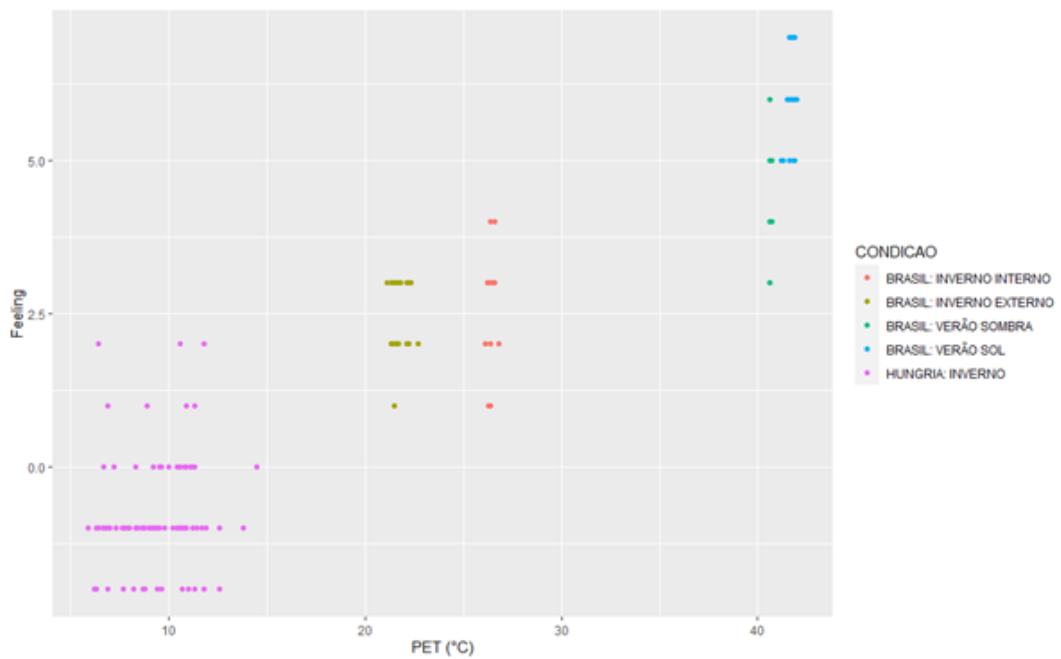


Figura 47 – Gráficos de dispersão entre sensação térmica e PMV (°C) por cenário (Brasil inverno exposto e coberto; Brasil verão exposto ao Sol e na sombra; Hungria inverno)



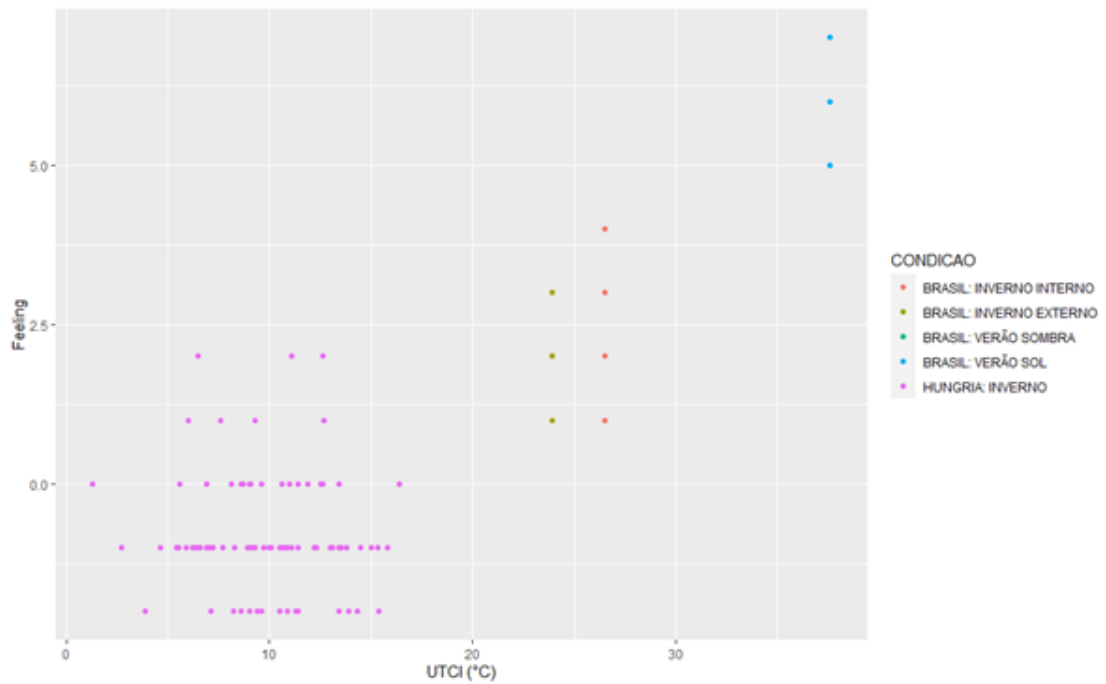
Do autor

Figura 48 – Gráficos de dispersão entre sensação térmica e PET (°C) por cenário (Brasil inverno exposto e coberto; Brasil verão exposto ao Sol e na sombra; Hungria inverno)



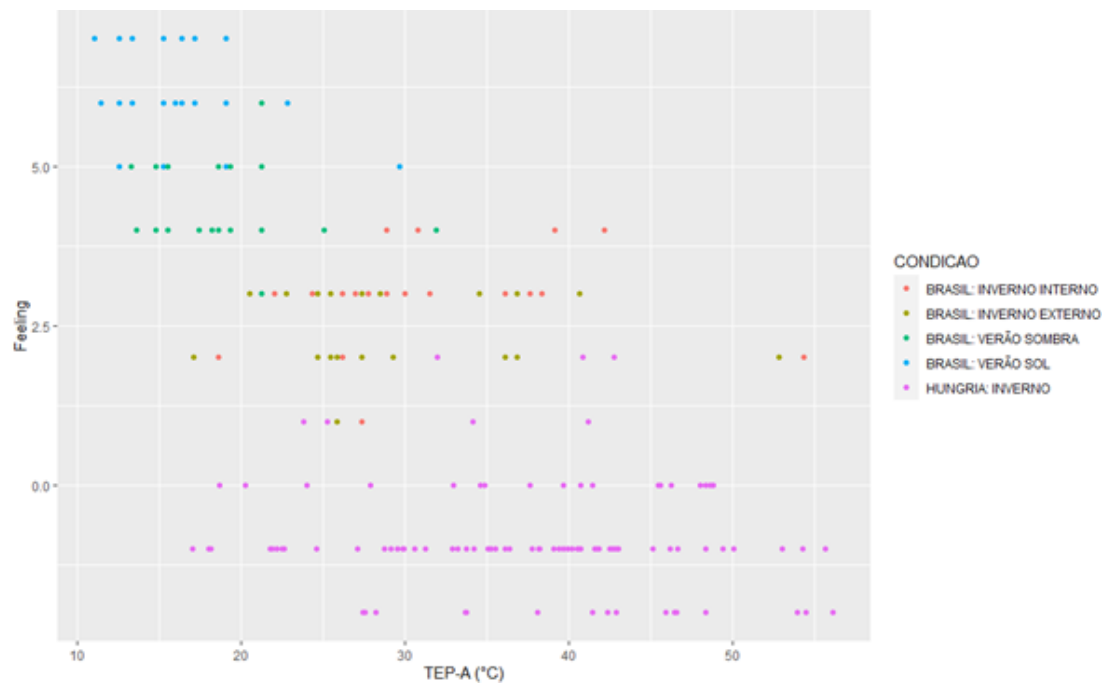
Do autor

Figura 49 – Gráficos de dispersão entre sensação térmica e UTCI (°C) por cenário (Brasil inverno exposto e coberto; Brasil verão exposto ao Sol e na sombra; Hungria inverno)



Do autor

Figura 50 – Gráficos de dispersão entre sensação térmica e TEP-A (°C) por cenário (Brasil inverno exposto e coberto; Brasil verão exposto ao Sol e na sombra; Hungria inverno)



Do autor

A tabela 22 apresenta os valores do coeficiente de correlação de Spearman ( $r$ ) e respectivos valores-p do teste da hipótese nula de ausência de correlação populacional entre a variável *feeling* (sensação térmica) e os diferentes índices (MORETTIN; SINGER, 2021). Uma observação a ser feita é que para o índice UTCI ( $C^\circ$ ), no Brasil, não foram calculados coeficientes de correlação, pois haviam dados faltantes e alguns valores muito próximos entre si.

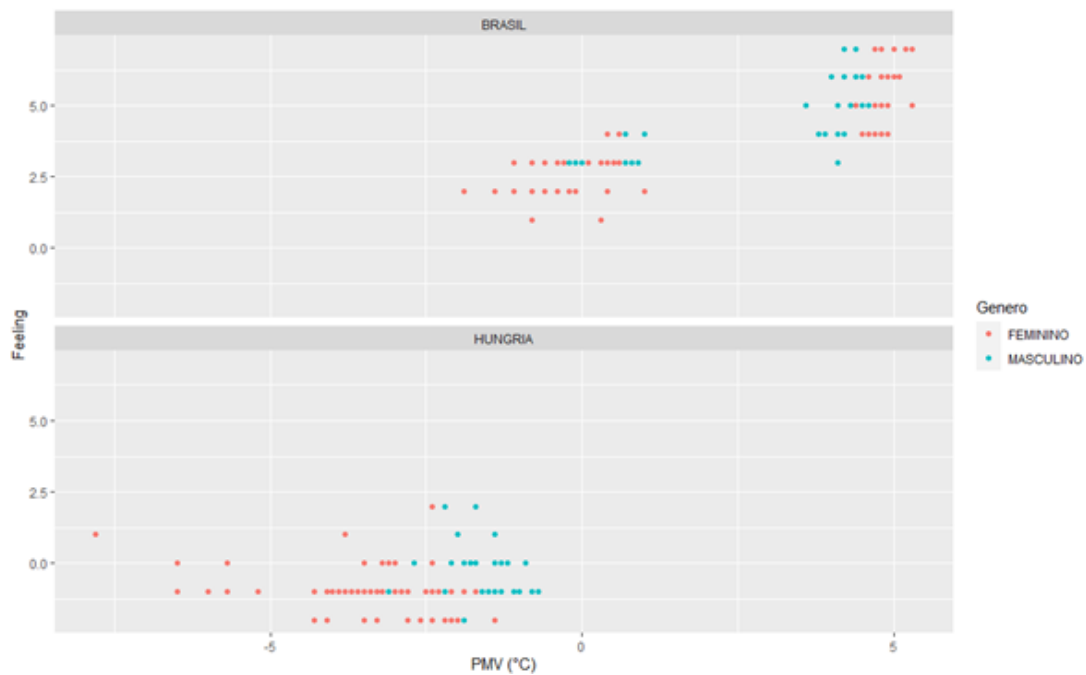
Tabela 22 – Coeficientes de correlação de Spearman e valores-p por Condição

Condição	PMV (C°)		PET (C°)		UTCI (C°)		TEP-A (C°)	
	r	valor-p	r	valor-p	r	valor-p	r	valor-p
Brasil, inverno, interno	0.34	0.094	0.26	0.215	-	-	0.38	0.059
Brasil, inverno, externo	0.35	0.086	0.04	0.864	-	-	0.04	0.860
Brasil, verão, sombra	0.44	0.013	0.15	0.419	-	-	-0.04	0.835
Brasil, verão, sol	0.20	0.267	-0.00	0.998	-	-	0.06	0.730
Hungria, inverno, externo	0.08	0.413	0.19	0.067	-0.04	0.724	-0.11	0.266

Pelas figuras 47 a 50, não parece haver correlação entre a sensação térmica e os quatro índices para todas as condições, devido ao N ser muito pequeno. Pela tabela 22, com exceção do Brasil, no verão, na sombra, para o índice PMV ( $^{\circ}\text{C}$ ), valor de r de 0.44, a conclusão obtida é que em nenhum caso a correlação foi significativa ao nível de 5% de significância. No Brasil, fixada a condição, em geral, os índices apresentam pouca variação, o que pode ter causado a ausência de correlação. Assim, para avaliar se existe associação entre a variável sensação térmica e os quatro índices, é importante que os índices variem, o que é obtido não se considerando as estações e ambientes no Brasil.

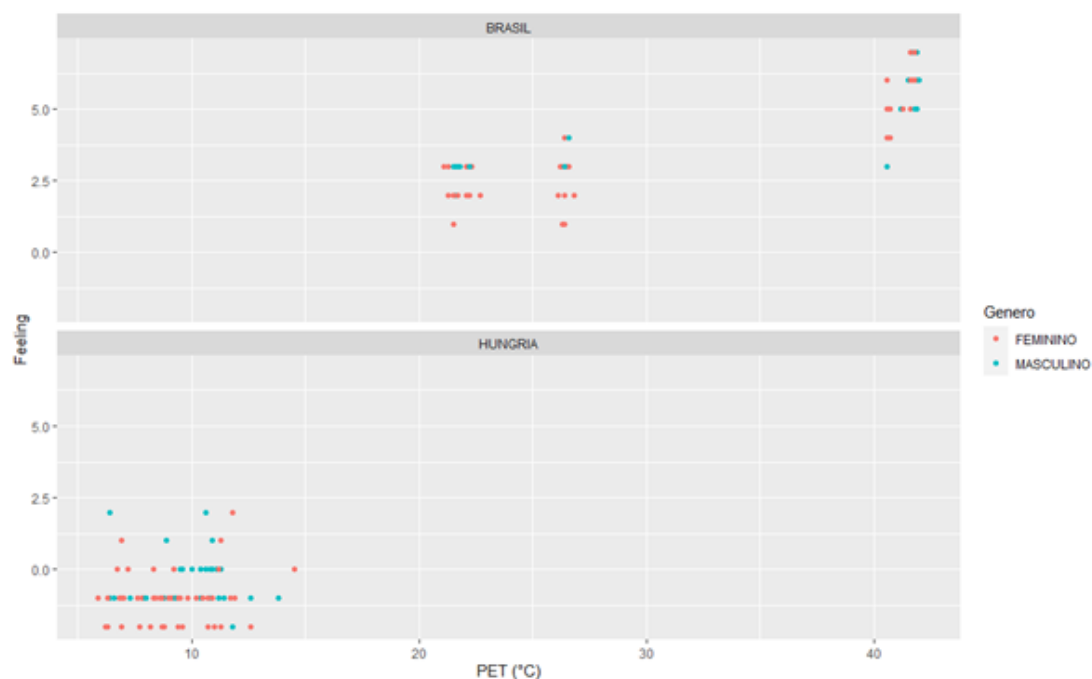
De modo a explorar mais as variáveis, foram construídos gráficos de dispersão (figuras 51 a 54) entre a variável *feeling* (sensação térmica) e os quatro índices, para cada país, por gênero.

**Figura 51 – Gráficos de dispersão entre sensação térmica e PMV ( $^{\circ}\text{C}$ ), por gênero, para cada país**



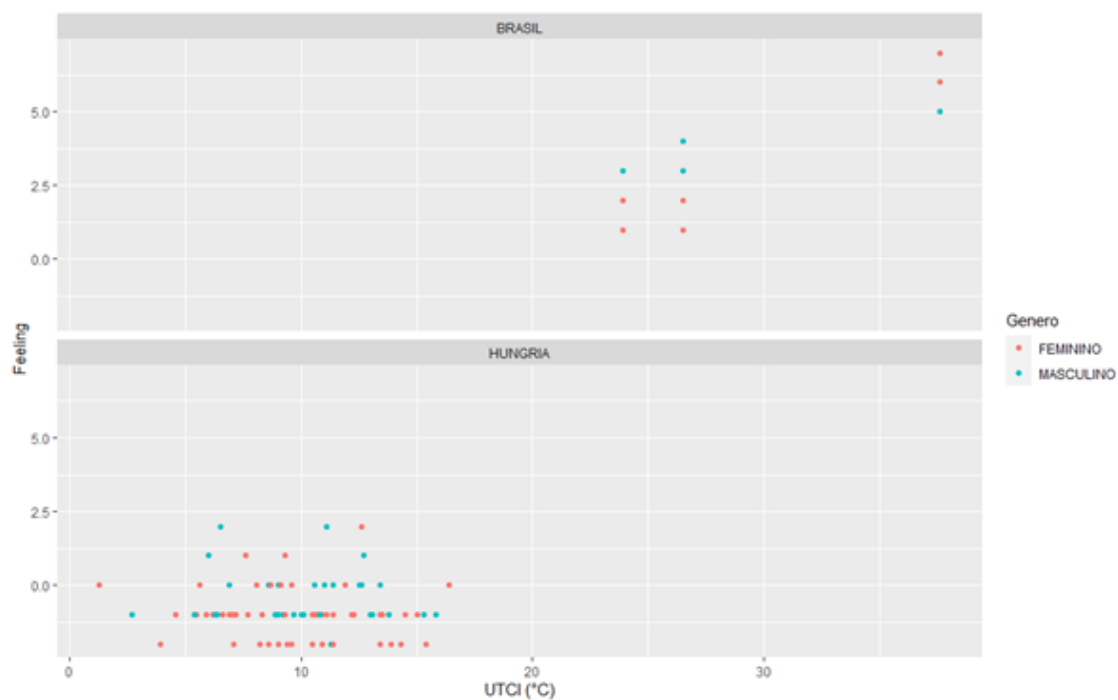
Do autor

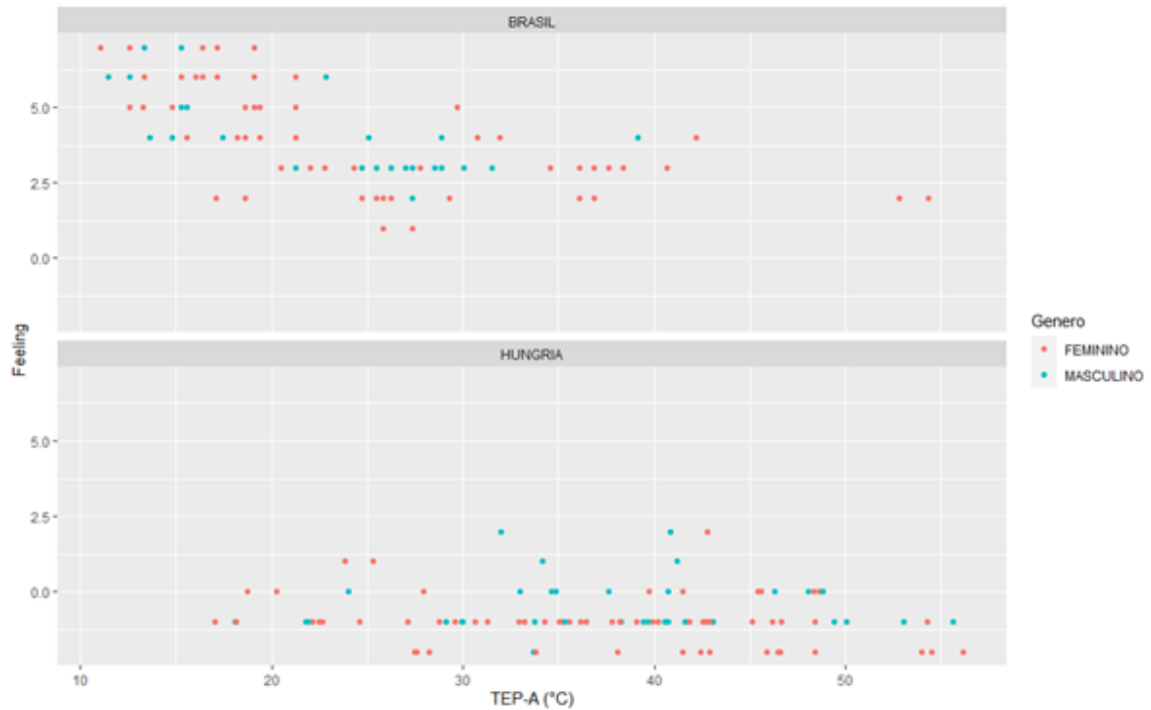
Figura 52 – Gráficos de dispersão entre sensação térmica e PET (°C), por gênero, para cada país



Do autor

Figura 53 – Gráficos de dispersão entre sensação térmica e UTCI (°C), por gênero, para cada país



**Figura 54** – Gráficos de dispersão entre sensação térmica e TEP-A ( $^{\circ}\text{C}$ ), por gênero, para cada país

Do autor

Em seguida, foram construídas as tabelas 23 e 24, com os valores do coeficiente de correlação de Spearman ( $r$ ) e respectivos valores-p do teste da hipótese nula de ausência de correlação populacional entre a variável de sensação térmica e os diferentes índices para cada país, ou seja, uma para a Hungria e outra para o Brasil. A primeira linha de cada tabela considera todos os participantes sem distinção de gênero, a segunda considera apenas o gênero feminino e a terceira apenas o masculino.

Tabela 23 – Coeficientes de correlação de Spearman e valores-p para a Hungria

	PMV (C°)		PET (C°)		UTCI (C°)		TEP-A (C°)	
	r	valor-p	r	valor-p	r	valor-p	r	valor-p
Hungria	0.08	0.413	0.19	0.077	-0.04	0.724	-0.11	0.266
Hungria feminino	-0.25	0.048	0.13	0.313	-0.09	0.501	-0.22	0.088
Hungria masculino	-0.07	0.689	0.12	0.489	0.03	0.888	0.06	0.723



Tabela 24 – Coeficientes de correlação de Spearman e valores-p para o Brasil

	PMV (C°)		PET (C°)		UTCI (C°)		TEP-A (C°)	
	r	valor-p	r	valor-p	r	valor-p	r	valor-p
Brasil	0.85	<0,001	0.90	<0,001	0.84	<0,001	-0.71	<0,001
Brasil feminino	0.85	<0,001	0.87	<0,001	0.78	<0,001	-0.66	<0,001
Brasil masculino	0.85	<0,001	0.92	<0,001	0.89	<0,001	-0.74	<0,001

Pelas figuras 47 a 50, para a Hungria, não parece haver correlação entre a variável de sensação térmica e os quatro índices, tanto para o gênero feminino quanto para o masculino (85% PMV), possivelmente devido a não calibração deste índice para região e o uso das faixas interpretativas apresentadas na seção 2. Já no Brasil, a variável de sensação térmica tem correlação com os quatro índices para os dois gêneros. Pela tabela 23, nota-se que, na Hungria, os valores-p são bem altos, ou seja, a conclusão obtida é que não há evidência de correlação significativa ao nível de 5% de significância, sem ou com distinção de gênero. Uma explicação para esse resultado pode ser o fato de os dados terem sido coletados apenas no inverno. Pela tabela 24, observa-se, no Brasil, que todos os valores-p estão abaixo de 5%, ou seja, há evidência de correlação significante entre a variável e os quatro índices, sem e com distinção de gênero. Além disso, é visto altas correlações para todos os índices, sendo que os maiores valores ocorreram para o índice PET (C°), mostrando assim que este é o índice mais associado à variável de sensação térmica ao analisar os indivíduos de maneira específica. Um destaque nesse índice está no valor para o Brasil masculino, em que a correlação está acima de 0,9.

## 5 Conclusões

Neste estudo foram calculados diferentes índices de conforto térmico em duas localidades e estações do ano climaticamente diferentes em experimentos de campo com voluntários jovens entre 20-29 anos. Adicional a este resultado, foi realizado uma análise dos questionários aplicados aos voluntários para caracterização da percepção e preferência térmica do grupo com relação às variáveis meteorológicas. Desta forma, após identificar um possível desconforto, indicaram-se maneiras de obter o conforto variando o metabolismo ou as vestimentas através de equações da literatura. Por fim, foi possível comparar os resultados considerando os experimentos realizados em duas regiões (Brasil e Hungria) e duas estações do ano (verão e inverno) diferentes.

Com relação aos cálculos dos índices de conforto, grande parte sugere um intenso calor para o dia típico de verão brasileiro (PMV, PET e UTCI). Informação que, cruzada aos dados dos questionários, é coerente à opinião das pessoas (que sentiam calor). No inverno, isso não fica tão evidente, apenas os índices desenvolvidos para a região de estudo, por MONTEIRO (2008) (TEP, TEPM e TEG), apresentaram resultados dentro da faixa de desconforto (indicando que estaria frio). Portanto, estes (TEP, TEPM e TEG) foram os índices que mais se aproximaram aos dados dos questionários. Uma das hipóteses levantadas é de que, isso ocorreu pela melhor adequação da faixa de conforto do índice à localidade. Quanto a caracterização de cenários, para o verão, o caso protegido do Sol na sombra mostrou resultados mais favoráveis ao conforto, atingindo valores mais próximos à faixa de neutralidade, mesmo ainda estando quente. Entretanto, no caso de inverno, essa diferença entre as categorias selecionadas não fica tão evidente. O caso desprotegido apresenta resultados melhores com relação ao conforto, mas não é uma variação tão significativa quanto o experimento realizado no verão. Para a Hungria, os índices variam da faixa de neutralidade (WBGT e TEG) para leve desconforto causado por um pouco de frio (PMV, PET, UTCI e TEP), informação coerente aos dados dos questionários.

Numa abordagem metabólica, as conclusões reforçam o resultado esperado de que, no verão procura-se o cenário mais flexível em que possam ser realizadas atividades sem sentir tanto calor e, para o inverno, são necessárias atividades que promovam calor. No caso, a partir deste estudo, foi possível estabelecer um paralelo entre possíveis cenários de maior conforto, sendo que para o verão, as pessoas possuem maior liberdade para realizar mais atividades no caso da sombra, uma vez que poderiam fazer atividades de baixo teor metabólico ao invés de terem que permanecer apenas reclinadas de modo a evitar promover mais calor; para o inverno brasileiro, o caso coberto permite a realização de atividades menos intensas na finalidade de promover calor e obter conforto. Para a Hungria, o metabolismo é diferente ao sugerido no Brasil, isso porque as variáveis meteorológicas e antropológicas são diferentes, sugerindo uma caminhada acima de 2 km/h para que, ambos os gêneros, possam atingir o conforto. Adicional a análise, nota-se uma diferença

entre o metabolismo do homem e da mulher, entretanto, ao comparar à lista de possíveis atividades a serem realizadas com o objetivo de atingir o conforto, essa variação se mostrou irrelevante para os indivíduos considerados na pesquisa.

Outra sugestão para obter o conforto é a modificação das roupas. Neste caso, a diferença entre os gêneros se mostrou mais influente, uma vez que permitia ao homem utilizar um volume menor de roupas. Além disso, nos experimentos realizados no Brasil, foi possível identificar a sensibilidade das equações com relação à sazonalidade e a variação dos cenários. No verão brasileiro, o índice de transferência de calor superficial para o meio apresentou resultados negativos, o que indica a necessidade de roupas com tecnologia para refrescar enquanto, o TEPa, apresentou resultados muito coerentes com os coletados nos questionários em todos os casos. Ou seja, reforça a hipótese de ser um índice desenvolvido para localidade e representar melhor a realidade local. Para Hungria, o inverno é mais rigoroso devido o clima local e foram indicadas roupas de maior resistência térmica, ou seja, roupas mais pesadas e grossas atingindo valores de até 1.88 clo.

De modo geral, as pessoas estão mais satisfeitas no ambiente protegido do que exposto, permitindo a realização de atividades metabólicas mais flexíveis e menos intensas na obtenção de conforto e/ ou menores variações nas roupas para atingir a faixa de neutralidade. O Brasil e a Hungria possuem características diferentes e isso foi observado no caso de inverno, mesmo o experimento não sendo realizado em um dia de frio extremo europeu, foram indicadas atividades mais intensas e roupas mais pesadas para obtenção do conforto. Por fim, a diferença quanto ao gênero foi identificada, principalmente influenciando no volume total de roupas sugerido, em que, o homem poderia utilizar uma peça a menos que a mulher.

## 6 Aplicações e Estudos Futuros

Como apresentado na seção 1.2, este estudo visou contribuir para o maior entendimento com relação ao comportamento térmico adequado ao clima local auxiliando diversas outras áreas, tais como: saúde, economia, arquitetura, urbanismo e etc.

Além disso, ao inovar utilizando uma metodologia baseada no conforto térmico comparando às equações de CAMPBELL e NORMAN (1998) e a consideração de variação do metabolismo e da resistência das roupas neste processo, espera-se que este estudo tenha colaborado com a comunidade acadêmica e que, em estudos futuros, novas pesquisas sejam realizadas para dar mais suporte aos resultados obtidos neste trabalho.

Dentre as sugestões de estudos futuros, primeiramente, indica-se a aplicação desta metodologia para um maior número de pessoas e locais, realizando mais experimentos. Outra sugestão, é utilizar deste embasamento científico em parceria à indústria têxtil para o desenvolvimento de novas tecnologias com a capacidade de resfriamento, projeto que já está sendo desenvolvido a nível internacional por grandes universidades.

Outra possível parceria é com um grupo de programadores, com a finalidade de aprimorar a informação com relação a previsão. Ou seja, criar e fornecer via aplicativo *mobile* informações sobre o conforto térmico individual do usuário considerando os dados de previsão, e, por conseguinte, indicar quais as atividades físicas e roupas são necessárias. Este tipo de tecnologia e informação é de extremo interesse aos atletas, que precisam saber as atividades indicadas ao nível individual de acordo com as condições atmosféricas de modo a maximizar o conforto; também muito útil aos turistas, que tem interesse em saber quais as roupas e atividades mais indicadas para se levar e realizar na viagem, respectivamente.

Por fim, sugere-se a aplicação desta metodologia considerando os cenários de mudanças climáticas para compreender quais serão os impactos das mudanças climáticas no conforto térmico e na indicação das atividades físicas (metabolismo) e vestimentas.

## Referências

ÁCS, F.; KRISTÓF, E.; ZSÁKAI, A. New clothing resistance scheme for estimating outdoor environmental thermal load. **Geographica Pannonica**, v. 23, n. 4, p. 245 – 255, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 81.

ÁCS, F. et al. Carpathian Basin climate according to Köppen and a clothing resistance scheme. **Theoretical and Applied Climatology**, oct/apr 2020. Citado na página 47.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Gebrüder Borntraeger, v. 22, n. 6, p. 711 – 728, Jan 2013. Citado na página 42.

ARAÚJO, R. Thermal Comfort and the Implications for Health: a preliminary approach on its effects on urban population of São Luís-Maranhão. **Caderno de Pesquisa**, v. 19, n. 3, p. 51 – 61, 2012. Citado na página 24.

ASSIS, E. S. A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexões sobre uma trajetória. **IN: Encac-elacac**, Maceió, Alagoas, Brasil, 2005. Disponível em: [http://cecaceix.wikispaces.com/file/view/ENCAC05\\_0092101.pdf](http://cecaceix.wikispaces.com/file/view/ENCAC05_0092101.pdf). Acesso em: 28 de dezembro de 2021. Citado na página 35.

AULICIEMS, A. **Weather Perception: A subtropical study**. Toronto: [s.n.], 1976. Citado 3 vezes nas páginas 17, 24 e 31.

AULICIEMS, A.; KALMA, J. A Climatic Classification of Human Thermal Stress in Australia. *Journal of Applied Meteorology*. v. 18, p. 616 – 626, 1979. Disponível em: 10.1175/1520-0450(1979)018<0616:ACCOHT>2.0.CO;2. Acesso em: 30 de novembro de 2020. Citado na página 31.

BEDFORD, T.; WARNER, C. The globe thermometer in studies of heating and ventilation. **J. Hyg.**, Londres, v. 34, n. -, p. 458 – 473, - 1934. Citado na página 29.

BLAZEJCZYK, K.; KRAWCZYK, B. The influence of climatic conditions on the heat balance of the human body. **International Journal of Biometeorology**, v. 35, p. 103 – 6, 1991. Citado na página 31.

BRÖDE, P.; KRÜGER, E. L.; ROSSI, F. A. Assessment of urban outdoor thermal comfort by the Universal Thermal Climate Index UTCI. In: KOSKOLOU, M. (Ed.). **XIV International Conference on Environmental Ergonomics Stylianos Kounalakis**. Greece: [s.n.], 2011. Citado na página 35.

BUONOCORE, C. et al. Avaliação de conforto térmico em um ambiente acadêmico naturalmente ventilado localizado em Florianópolis - SC. In: ENCAC, 1., 2017, Camboriú. **XIV Encontro Nacional e X Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**. Camboriú, 2017. p. 672 – 681. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 24.

BURTON, A. C.; EDHOLM, O. G. **Man in a Cold Environment: Physiological and Pathological Effects of Exposure to Low Temperatures**. 2. ed. Califórnia: Arnold, 1955. 273 p. ISSN 9780598919267. ISBN 0598919260. Citado na página 31.

CAMPBELL, G. S.; NORMAN, J. M. **An introduction to environmental biophysics**. 2. ed. New York: Springer, 1998. ISBN 0-387-94937-2. Citado 7 vezes nas páginas 18, 20, 58, 71, 78, 81 e 120.

CARDOSO, G. L. **Conforto térmico no vestuário em cidades de calor intenso**. 2017. 94 p. Monografia (Desing de Moda) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Citado na página 19.

CARRILLO-GARCÍA, C. et al. Influência do gênero e da idade: satisfação no trabalho de profissionais da saúde. **Rev. Latino-Am. Enfermagem**, v. 21, n. 6, p. 1314 – 1320, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0104-1169.3224.2369>. Acesso em: 28 de dezembro de 2021. Citado na página 35.

CHANGNON, S. A. et al. Human Factors Explain the Increased Losses from Weather and Climate Extremes. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 81, n. 3, p. 437 – 442, 2000. Disponível em: [https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/81/3/1520-0477\\_2000\\_081\\_0437\\_hfetil\\_2\\_3\\_co\\_2.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/81/3/1520-0477_2000_081_0437_hfetil_2_3_co_2.xml). Acesso em: 28 de dezembro de 2021. Citado na página 27.

CHAVES, V. L. et al. Análise De Conforto Térmico Para Diferentes Estratégias De Melhorias Climáticas Em Salas De Aulas: Comparação Entre Dados Técnicos E a Percepção Dos Usuários: XVI Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído. In: ANAIS, 2016, São Paulo. **XVI Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído**. São Paulo, 2016. p. 682 – 697. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 24.

COLLINS, K. J.; EXTON-SMITH, A. N. Thermal homeostasis in old age. **Journal of the American Geriatrics Society**, v. 31, n. 9, p. 519 – 524, 1983. Citado na página 25.

DONALDSON, G. C.; R., K. W.; D., S. R. Cardiovascular responses to heat stress and their adverse consequences in healthy and vulnerable human populations. **International Journal of Hyperthermia**, v. 19, n. 3, p. 225 – 235, julho 2003. Citado na página 27.

DUBOIS, D.; DUBOIS, E. F. **A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known**. [S.l.]: Arch. Intern. Med., 1916. Citado na página 77.

EMPLASA. Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 42.

EPSTEIN, Y.; MORAN, D. Thermal Comfort and the Heat Stress Indices. **Industrial Health**, v. 44, p. 388 – 398, 2006. Citado na página 22.

FANGER, P. O. **Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering**. Copenhagen: R.E. Krieger Pub. Co: [s.n.], 1970. Citado 5 vezes nas páginas 18, 24, 32, 34 e 72.

FARIA, M. A. **Avaliação das Condições de Conforto Térmico nas Salas de Aula do Campus Morro do Cruzeiro da UFOP**. 2013. 157 p. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Ouro Preto. Citado na página 54.

FERREIRA JÚNIOR et al. Distribuição regional do suor durante exercício progressivo até a fadiga. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, v. 23, n. 4, p. 405 – 414, 2009. Citado na página 22.

- FINGER, F.; GOEDERT, G.; MELO, N. R. Avaliação das condições de conforto térmico em sala de estudos: aplicabilidade dos modelos estático e adaptativo comparados aos dados comportamentais do usuário. In: ANAIS, 2016, São Paulo. **XVI Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído**. São Paulo, 2016. p. 1627 – 1643. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 24.
- FRANKENFIELD, D.; ROTH-YOUSEY, L.; COMPHER, C. Comparison of predictive equations for resting metabolic rate in healthy nonobese and obese adults: A systematic review. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 10, n. -, p. 775 – 789, fev 2005. Citado na página 76.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Studio Nobel: [s.n.], 2001. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 28.
- GAGGE, A. et al. Standard Predictive Index of Human Response to the Thermal Environment. **ASHRAE Trans**, v. 92, p. 709 – 731, 1986. Citado na página 35.
- GAGGE, A. P.; WINSLOW, C. E. A.; HERRINGTON, L. P. The influence of clothing on the physiological reactions of the human body to varying environmental temperatures. **Am. J. Physiol.**, v. 124, p. 30 – 50, 1937. Citado na página 31.
- GOLDEN, J. et al. A biometeorology study of climate and heat-related morbidity in phoenix from 2001 to 2006. **International Journal of Biometeorology**, v. 52, n. 6, p. 471 – 480, 2008. Citado na página 27.
- GONÇALVES, F. L. T. **Aula 1 de Biometeorologia: Classificação e definição**. 2019. Online. Disponível em: <http://dca.iag.usp.br/material/fgoncalv/biometeo/Aula%201.pdf>. Acesso em: 28 de dezembro de 2021. Citado na página 16.
- GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K.; AUTORES, V. **Edifício ambiental**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 24.
- GRIGOLETTI, G. D. C.; LINCK, G. I. Análise de comportamento térmico de HIS térreas unifamiliares em Santa Maria, RS. **Ambiente Construído**, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 109 – 123, abr./jun. 2014. ISSN 1678-8621. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 24.
- HAVENITH, G. Human surface to mass ratio and body core temperature in exercise heat stress - A concept revisited. **Journal of Thermal Biology**, v. 26, p. 387 – 393, 2001. Citado na página 25.
- HAVENITH, G.; FIALA, D. Thermal Indices and Thermophysiological Modeling for Heat Stress. **Comprehensive Physiology**, v. 6, p. 255 – 302, 2016. Citado na página 22.
- HIRASHIMA, S. Q. S. **Calibração do índice de conforto térmico temperatura equivalente fisiológica (PET) para espaços abertos do município de Belo Horizonte, MG**. 2010. 225 p. Dissertação (Escola de Arquitetura) — Universidade Federal de Minas Gerais. Citado na página 54.
- HÖPPE, P. R. The physiological equivalent temperature: a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, n. -, p. 71 – 75, - 1999. Citado na página 35.



HUMPHREYS, M. A. Field Studies of Thermal Comfort Compared and Applied. **Building Services Engineer**, Watfort, v. 44, p. 5 – 27, 1976. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 24.

IBGE. **Estimativa Populacional 2021**. 2021. Online. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/sao-paulo.html>. Acesso em: 10 de agosto de 2020. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 42.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Ergonomics of thermal environment**: Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scale. Genebra: [s.n.], 1995. Citado na página 54.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730**: Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of Conditions for Thermal Comfort. Geneva: [s.n.], 2005. Citado 7 vezes nas páginas 22, 26, 32, 34, 53, 63 e 69.

ISO 7243: Hot environments — Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature). 1989. Citado na página 36.

ISO 7726. **Ergonomics of the thermal environments**: Instruments for measuring physical quantities. Genebra: [s.n.], 1998. Citado 3 vezes nas páginas 20, 33 e 74.

JABARDO, J. M. S. **Conforto Térmico**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: [s.n.], 1984. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 24.

JENDRITZKY, G. **Perceived Temperature**: Klima-Michel-Model. Friburgo: The Development of Heat Stress Watch Warning Systems for European Cities, 2003. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 24.

JENDRITZKY, G.; DEAR, R. D.; HAVENITH, G. UTCI - why another thermal index? **International Journal of Biometeorology**, v. 56, n. 3, p. 421 – 428, 2011. Citado na página 35.

KEATINGE, W. R. et al. Heat related mortality in warm and cold reagions of Europe: observational study. **BMJ**, v. 321, n. 7262, p. 670 – 683, sep 2000. Citado na página 27.

KEATINGE, W. R.; HAYWARD, M. G. Sudden Death in cold water and ventricular arrhythmia. **Journal Forensic Science**, v. 26, n. 3, p. 459 – 461, Jul 1981. Citado na página 25.

KORHONEN, I. et al. Health monitoring in the home of the future IEEE Engineering. v. 22, n. 3, p. 66 – 73, May-June 2003. Citado na página 25.

KSH, K. S. H. **Gabinete Central de Estatística da Hungria - Központi Statisztikai Hivatal**. 2021. Disponível em: <http://www.ksh.hu/>. Acesso em: 29 de dezembro de 2021. Citado 2 vezes nas páginas 44 e 45.

LAMBERTS, R. Conforto e Stress Térmico. 2016. Citado 5 vezes nas páginas 18, 19, 20, 24 e 74.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. [S.l.]: ELETROBRAS/PROCEL, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 32.

LIN, T. P.; MATZARAKIS, A. Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan. **International Journal of Biometeorology**, v. 52, p. 281 – 290, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00484-007-0122-7>. Acesso em: 30 de dezembro de 2021. Citado na página 72.

LOB, H. E. et al. Induction of hypertension and peripheral inflammation by reduction of extracellular superoxide dismutase in the central nervous system. **Hypertension**, v. 55, n. 2, p. 277 – 282, 2010. ISSN 0194-911X. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2813894/>. Acesso em: 27 de dezembro de 2021. Citado na página 77.

LOIS, E. et al. **Variáveis relacionadas ao conforto térmico em áreas de vegetação ciliar**. 2001. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Disponível em: <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000223033>. Acesso em: 02 de dezembro de 2021. Citado na página 32.

MAGALHÃES, S. **Termorregulação**. Porto: Faculdade de Medicina da Universidade do Porto - Serviço de Fisiologia, 2001. Citado na página 22.

MAIA, J. A. **Uma análise do conforto térmico e suas relações meteorológicas na cidade de São Paulo**. 2002. Dissertação (Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas) — Universidade de São Paulo. Citado na página 17.

MARADEI, G. **MIT cria roupa de ginástica que esfria o corpo quando você sua**. 2017. Disponível em: <https://casavogue.globo.com/Design/noticia/2017/05/mit-cria-roupa-de-ginastica-que-esfria-o-corpo-quando-voce-sua.html>. Acesso em: 16 de Maio de 2022. Citado na página 101.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. **International Journal of Biometeorology**, v. 54, p. 131 – 139, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0261-0>. Acesso em: 30 de dezembro de 2021. Citado na página 72.

MCARDLE, W. D.; KATCH, F. I.; KATCH, V. L. **Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desempenho humano**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1992. 510 p. Citado na página 76.

MENDONÇA, F. Aquecimento global e saúde: uma perspectiva geográfica – notas introdutórias. **Revista Terra Livre**, v. 1, n. 20, p. 205 – 221, 2003. Citado na página 22.

MONTEIRO, L. M. **Manual confortímetro SENSU**. São Paulo: [s.n.], 2010. Citado na página 55.

MONTEIRO, L. M. **Modelos Preditivos de Conforto Térmico**: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos. 2008. 378 p. Tese (Engenharia Civil) — Universidade de São Paulo. Citado 10 vezes nas páginas 37, 38, 39, 54, 58, 64, 72, 82, 93 e 118.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Modelo adaptativo de conforto para avaliação in loco de espaços urbanos abertos. **Ambiente Construído**, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 61 – 79, 2012. ISSN 1678-8621.

Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/9vdvKHXbtMXStDr9T7qYyMb/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 28 de dezembro de 2021. Citado na página 24.

MORAIS, M. A.; CASTRO, W. A. C.; TUNDISI, J. G. Climatologia de frentes frias sobre a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), e sua influência na climatologia dos reservatórios de abastecimento de água. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 205 – 217, 2010. Citado na página 42.

MORETTIN, P. A.; SINGER, J. M. Estatística e Ciência de Dados (versão parcial em elaboração). 2021. Disponível em: <http://www.ime.usp.br/~jmsinger/MAE0217/cdados2021junho01.pdf>. Acesso em: 31 de dezembro de 2021. Citado na página 110.

MOZAFFARIEH, M. et al. Smell perception in normal tension glaucoma patients. **Molecular Vision**, Molecular Vision, v. 16, p. 506 – 510, 2010. ISSN 1090-0535. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2845666/>. Acesso em: 01 de dezembro de 2021. Citado na página 25.

NDEMBO, M. **Avaliação Subjetiva do Conforto Térmico Laboral de uma Empresa Angolana**. 2018. Dissertação (Faculdade de Engenharia do Ambiente) — Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias. Acesso em: 28/12/2021. Citado na página 23.

NICO-RODRIGUES, E. A. et al. Quando a janela define a condição de desempenho térmico em ambientes ventilados naturalmente: caso específico das edificações multifamiliares em Vitória, ES. **Ambiente Construído**, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 7 – 23, abr/jun 2015. ISSN 1678-8621. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212015000200011>. Acesso em: 28 de dezembro de 2021. Citado na página 24.

NINCE, P. C. do C. et al. USOS DOS ÍNDICES PET E UTCI NA AVALIAÇÃO DO CONFORTO TERMAL NO CAMPUS DA UFMT EM CUIABÁ-MT. **Revista Eletrônica Em Gestão, Educação E Tecnologia Ambiental**, v. 9, n. 9, p. 2026 – 2036, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/223611707707>. Acesso em: 28 de dezembro de 2021. Citado na página 35.

OKE, T. R. et al. **Urban climates**. [S.l.]: Cambridge: Cambridge University Press, 2017. Citado na página 19.

PAGNOSSIN, E.; BURIOL, G.; GRACIOLLI, M. Influência dos Elementos Meteorológicos no Conforto Térmico Humano: Bases Biofísicas. **Disciplinarum Scientia. Série Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 2, n. 1, p. 149 – 161, 2001. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 24.

PEREIRA, I. M.; ASSIS, E. S. D. Avaliação de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 1, p. 31 – 51, 2010. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1678-86212010000100002&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212010000100002&lng=pt&tlng=pt). Acesso em: 28 de dezembro de 2021. Citado na página 32.

ROBAA, S. M.; HASANEAN, H. M. Human climates of Egypt. **International Journal of Climatology**, v. 27, p. 781 – 792, 2007. Citado na página 31.

ROMERO, M. A. B. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. 2000. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 24.

RUAS, A. C. **Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificados e sua aplicação num software**. 2002. Citado na página 29.

RUPP, R. F. et al. Conforto térmico humano em escritórios com sistema central de condicionamento artificial em clima subtropical úmido: estudos de campo vs. abordagem analítica. **Ambiente Construído**, v. 17, n. -, p. 111 – 123, - 2017. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 24.

SARTORI, M. G. B. **Clima e percepção**. 2000. - p. Tese (Geografia) — Universidade de São Paulo. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 29.

SETTE, D.; RIBEIRO, H. Interações entre o clima, o tempo e a saúde humana. **Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 6, n. 2, p. 37 – 51, 2011. Citado na página 22.

SILVA, F.; ALVAREZ, C. **A correlação entre variáveis climáticas em diferentes configurações urbanas**. Guimarães, Portugal: Proceedings of EURO ELECS 2015, 2015. Citado na página 28.

SILVA, J. **Direito ambiental constitucional**. 3. ed. [S.l.]: Malheiros, 2000. Citado na página 16.

SPARK, W. Clima e condições meteorológicas médias em São Paulo no ano todo. 2021. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/30268/Clima-caracter%C3%ADstico-em-S%C3%A3o-Paulo-Brasil-durante-o-ano#Figures-Summary>. Acesso em: 29 de dezembro de 2021. Citado na página 43.

THOM, E. The Discomfort Index. **Weatherwise**, v. 12, p. 57 – 60, 1959. Citado na página 17.

TSUZUKI, K.; IWATA, T. Thermal comfort and thermoregulation for elderly people taking light exercise. 2002. Citado na página 25.

VANOS, J. et al. Thermal comfortmod-elling of body temperature and psychological variations of a human exercising in an outdoor environment. **International Journal of Biometeorology**, p. 1 – 12, 2010a. Citado na página 25.

VANOS, J. et al. Review of the physiology of human thermal comfort while exercising in urban landscapes and implications for bioclimatic design. **International Journal of Biometeorology**, v. 54, n. 4, p. 319 – 334, 2010b. Citado na página 25.

VECCHI, R. D.; 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**, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 189 – 202, jul/set 2013. ISSN 1678-8621. Citado 3 vezes nas páginas 18, 24 e 25.

WMO. **World Meteorological Organization**: Guide to the Global Observing. Genebra, Suíça: [s.n.], 1985. Citado na página 16.

YAGLOU, C. P.; MINARD, D. Control of heat casualties at military training centers. **Archives of Industrial Health, A.M.A.**, v. 16, n. -, p. 302 – 316, - 1957. Citado na página 36.

---

YAN, Y. Y. Human Thermal Climates in China. **Physical Geography**, v. 26, n. 3, p. 163 – 176, 2005. Citado na página 31.

YAN, Y. Y.; OLIVER, J. The clo: a utilitarian unit to measure weather/climate comfort. **International Journal of Climatology**, Hoboken, v. 16, p. 1045 – 1056, 1996. Citado na página 31.